



# 2. International Congress on Innovation Technologies & Engineering

June 12-13, 2023  
Ege University, Izmir, Türkiye

---

## Full Texts Book

**Editors:**

Prof. Dr. Bahri BAŞARAN  
Assist. Prof. Dr. Aysun BALTACI

**ISBN: 978-625-367-170-9**

# FULL TEXTS BOOK



## EGE 2nd INTERNATIONAL CONGRESS ON INNOVATION TECHNOLOGIES & ENGINEERING

June 12-13, 2023  
Ege University, Izmir, Türkiye

### Editors

Prof. Dr. Bahri BAŞARAN  
Assist. Prof. Dr. Aysun BALTACI

**Institute Of Economic Development And Social Researches Publications®**

(The Licence Number of Publicator: 2014/31220)

TÜRKİYE

TR: +90 342 606 06 75

E posta: kongreiksad@gmail.com

www.iksad.org www.iksadkongre.org

All rights of this book belong to IKSAD Publishing House

Authors are responsible both ethically and juridically

Iksad Publications - 2023©

Issued: 10.07.2023

**ISBN - 978-625-367-170-9**

# CONGRESS ID

## TITLE OF CONGRESS

EGE

2nd INTERNATIONAL CONGRESS ON INNOVATION  
TECHNOLOGIES & ENGINEERING

## PARTICIPATION

Keynote & Invited

## DATE - PLACE

June 12-13, 2023

Ege University, Izmir, Türkiye

## HONORARY BOARD

**Prof. Dr. Necdet BUDAK**

Rector of Ege University

**Prof. Dr. Botir USMONOV**

Rector of the Tashkent Institute of Chemical Technology

**Prof. Dr. Ahmed REIMOV**

Rector of Karakalpak State University

**Prof. Dr. Abdugappor KIRGIZBAYEV**

Rector of the Tashkent State Pedagogical University

**Dr. Mustafa Latif EMEK**

President of IKSAD Institute

## HEAD OF CONGRESS

**Prof. Dr. Bahri BAŞARAN**

Director of Ege University

Graduate School of Natural and Applied Science

(Turkey)

**Assoc. Prof. Dr. Gulbaxar TAVALDIEVA**

Tashkent Institute of Chemical Technology

(Uzbekistan)

## ORGANIZING BOARD

- Prof.Dr. Bahri BAŞARAN - Ege University, Türkiye  
Assist. Prof. Dr. Aysun BALTAÇI - Ege University, Türkiye  
Prof. Dr. Ali MERT - Ege University, Türkiye  
Prof. Dr. M.Bahattin TANYOLAÇ - Ege University, Türkiye  
Prof. Dr. Banu YÜCEL - Ege University, Türkiye  
Prof. Dr. Uğur SUNLU - Ege University, Türkiye  
Prof. Dr. Hasan YILDIZ - Ege University, Türkiye  
Prof. Dr. Şebnem TAVMAN - Ege University, Türkiye  
Prof. Dr. Ahmet ARSLAN - Ege University, Türkiye  
Prof. Dr. Gülsüm ÖZTÜRK - Ege University, Türkiye  
Prof. Dr. Candaş ADIGÜZEL ZENGİN - Ege University, Türkiye  
Khairulla Pulatov - Doctor of Technical Sciences, Professor,  
Tashkent Institute of Chemical Technology, Uzbekistan  
Zebo Babakhanova - Doctor of Medical Sciences, Professor,  
Tashkent Institute of Chemical Technology, Uzbekistan  
Sherzod Jalilov - Doctor of Economics, Associate Professor,  
Tashkent Institute of Chemical Technology, Uzbekistan  
Anisakhon Tukhtamushova - Tashkent Institute of Architecture  
and Civil Engineering, Uzbekistan  
Prof. Dr. Abdullayeva Barno Sayfutdinovna - Vice-Rector for  
Research and Innovation of the Tashkent State Pedagogical  
University  
Dr. Abdazimov Azizjan Abdusabirovich- Head of the  
Department of Scientific Research, Innovation and Training of  
Scientific and Pedagogical Personnel of the Tashkent State  
Pedagogical University  
Assoc. Prof. Dr. Ikromkhonova Firuza Ikromovna - Vice-Rector  
for International Cooperation of the Tashkent State Pedagogical  
University  
Prof. Dr. Saparov Kalandar Abdullaevich - Dean of the Faculty of  
Natural Sciences of the Tashkent State Pedagogical University  
Prof. Dr. Ergasheva Gulrukhsor Surkhonidinovna - Tashkent  
State Pedagogical University  
Assoc. Prof. Dr. Turdimambetov Izimbet Rakhmetovich -  
Karakalpak State University vice-rector for scientific affairs and  
innovations, Uzbekistan

Assoc. Prof. Dr. Niibmatdinov Kairat Keunimjaevich - Head of the Department of Scientific Research, Innovation and Scientific-Pedagogical Personnel Training of Karakalpak State University, Uzbekistan

Assoc. Prof. Dr. Reimov Kamal Mambetkarimovich - Head of the Department of "Electric Power Engineering" at Karakalpak Assoc. Prof. Dr. Tauseef ur Rehman- The Islamia University of Bahawalpur, Pakistan

Assoc. Dr. Yasin RÜSTEMOV - AMEA's Institute of Soil and Agrochemistry

Assoc. Dr. Rüstem RÜSTEMOV - Scientific-Organization Administration of AMEA's Reyaset Delegation

Res. Assist. Hilal YILMAZKARASU - Ege University, Türkiye

Res. Assist. Devrim TÜMER - Ege University, Türkiye

Res. Assist. Zekeriya Anıl GÜVEN - Ege University, Türkiye

Res. Assist. Muhammet Serdar AVCI - Ege University, Türkiye

Res. Assist. İsmail Tunç DURDU - Ege University, Türkiye

Res. Assist. Özlem AKBAŞ - Ege University, Türkiye

Dr. Tarık AYYILMAZ - Ege University, Türkiye

Dr. Ethem İ. ŞAHİN - Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University, Türkiye

Dr. Araş. Gör. Evrim KURTAY - Ege University, Türkiye

Dr. Araş. Gör. Ö. ALPER ERDEM - Ege University, Türkiye

Dr. Araş. Gör. Burcu TAYLAN - Ege University, Türkiye

Res. Assist. Enis KÖRPE - Ege University, Türkiye

Shaniyazov Shakhimardan Oliabaevich - Head of International Relations Department of Karakalpak State University, Uzbekistan

## SCIENTIFIC COMMITTEE BOARD

- Prof. Dr. M. Osman ÜNALIR - Ege University, Türkiye  
Prof. Dr. Şebnem TAVMAN - Ege University, Türkiye  
Prof. Dr. Erkan MEŞE - Ege University, Türkiye  
Prof. Dr. Şemsi YAZICI - Ege University, Türkiye  
Prof. Dr. Levent BALLICE - Ege University, Türkiye  
Prof. Dr. Yeliz PEKBEY - Ege University, Türkiye  
Prof. Dr. Perrin KUMBASAR - Ege University, Türkiye  
Prof. Dr. M. Bahattin TANYOLAÇ - Ege University, Türkiye  
Prof. Dr. Ahmet ASLAN - Ege University, Türkiye  
Prof. Dr. İbrahim DUMAN - Ege University, Türkiye  
Prof. Dr. Mustafa GÜMÜŞ - Ege University, Türkiye  
Prof. Dr. Harun UYSAL - Ege University, Türkiye  
Prof. Dr. Erhan AKKUZU - Ege University, Türkiye  
Prof. Dr. Hakan BAYRAKTAR - Ege University, Türkiye  
Prof. Dr. Şule İŞİN - Ege University, Türkiye  
Prof. Dr. Behçet KIR - Ege University, Türkiye  
Prof. Dr. Engin NURLU - Ege University, Türkiye  
Prof. Dr. Bülent ÇAKMAK - Ege University, Türkiye  
Prof. Dr. Sezai DELİBACAK - Ege University, Türkiye  
Prof. Dr. Alper DOĞAN - Ege University, Türkiye  
Prof. Dr. Akın Türker İLKYZAZ - Ege University, Türkiye  
Prof. Dr. Tevfik Ceyhan - Ege University, Türkiye  
Prof. Dr. Ismailov Qanatbay Abdreymovich - Head of the "Physics of Semiconductors" Department of Karakalpak State University  
Prof. Dr. Shakhmurova Gulnara Abdullaevna - Head of the Department of Zoology, Anatomy and Physiology, Tashkent State Pedagogical University  
Prof. Dr. Raul Duarte Salgueiral Gomes Campilho - Instituto Superior de Engenharia do Porto, Portugal  
Prof. Dr. Manojkumar Arthikala - Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Mexico  
Assoc. Prof. Dr. Khojanazarov Uktam Eshtemirovich - Head of the Department "Botany and Ecology" of the Tashkent State Pedagogical University  
Dr. Pulatova Durдона Ravshanovna - Tashkent State Pedagogical University  
Assist. Prof. Dr. Jabborov Ulugbek - Department of "Practical English course" of Tashkent State Pedagogical University  
Ismoil Safarov - (DcS), Professor, Tashkent Institute of Chemical Technology, Uzbekistan  
Mastura Aripova - (DcS), Professor, Tashkent Institute of Chemical Technology, Uzbekistan  
Oybek Sirozhov - (DcS), Professor, Tashkent Institute of Chemical Technology, Uzbekistan  
Ravshan Adilov - (DcS), Professor, Tashkent Institute of Chemical Technology, Uzbekistan  
Khasan Kadirov - (DcS), Professor, Tashkent Institute of Chemical Technology, Uzbekistan  
Gulnoz Khakimova - PhD, assistant. Professor, Tashkent Institute of Chemical Technology, Uzbekistan

Assoc. Prof. Dr. Alliyarov Ashraf Dauletyarovich - Chairman of Karakalpak State  
University Trade Union  
Assoc. Prof. Dr. İsmail Can PAYLAN - Ege University, Türkiye  
Assoc. Prof. Dr. Embergenov Nauryzbay Janabaevich - Dean of the Faculty of  
Geography and Natural Resources of Karakalpak State University  
Assoc. Prof. Dr. Nurymbetov Bakhtiyar Chimbersenovich - Dean of the Faculty of  
Chemical Technology of Karakalpak State University  
Dr. Nurlan Akhmetov - Ahmet Yesevi University, Kazakhstan

## **PARTICIPATING COUNTRIES (17)**

Türkiye, Azerbaijan, Uzbekistan, Pakistan, Algeria, Morocco, Malaysia,  
Indonesia, India, UK, Spain, Nigeria, Tunisia, Palestine, Georgia, Belgium,  
Kingdom of Saudi Arabia

## **TOTAL PAPERS: 140**

The number of abstracts from foreign countries: **76**

The number of abstracts from Türkiye: **64**

## **LANGUAGES**

Turkish, Uzbek, English, Russian,

## PHOTO GALLERY









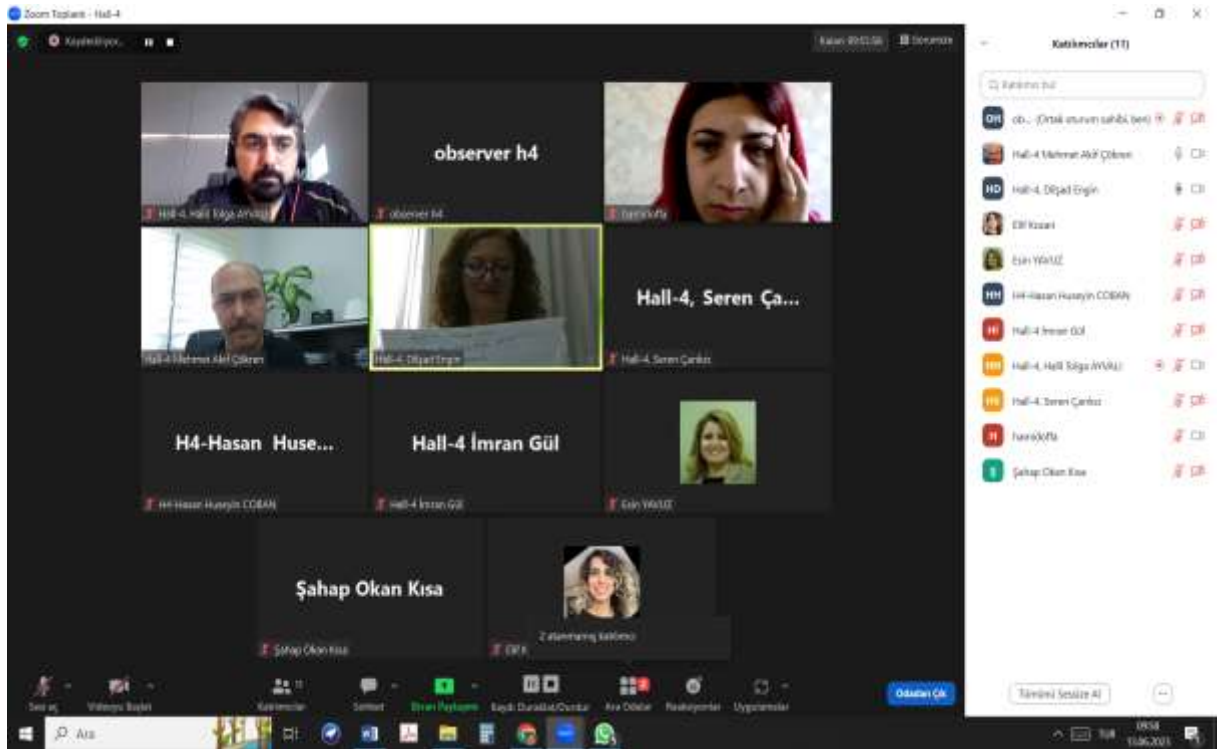
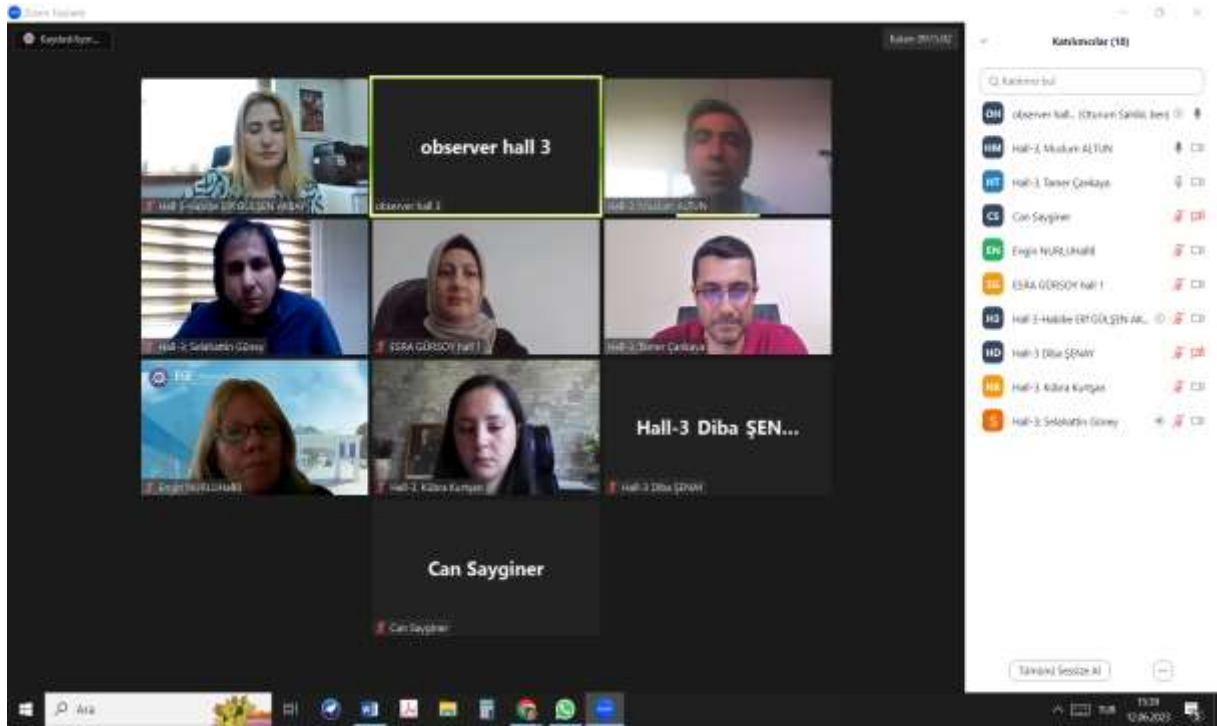




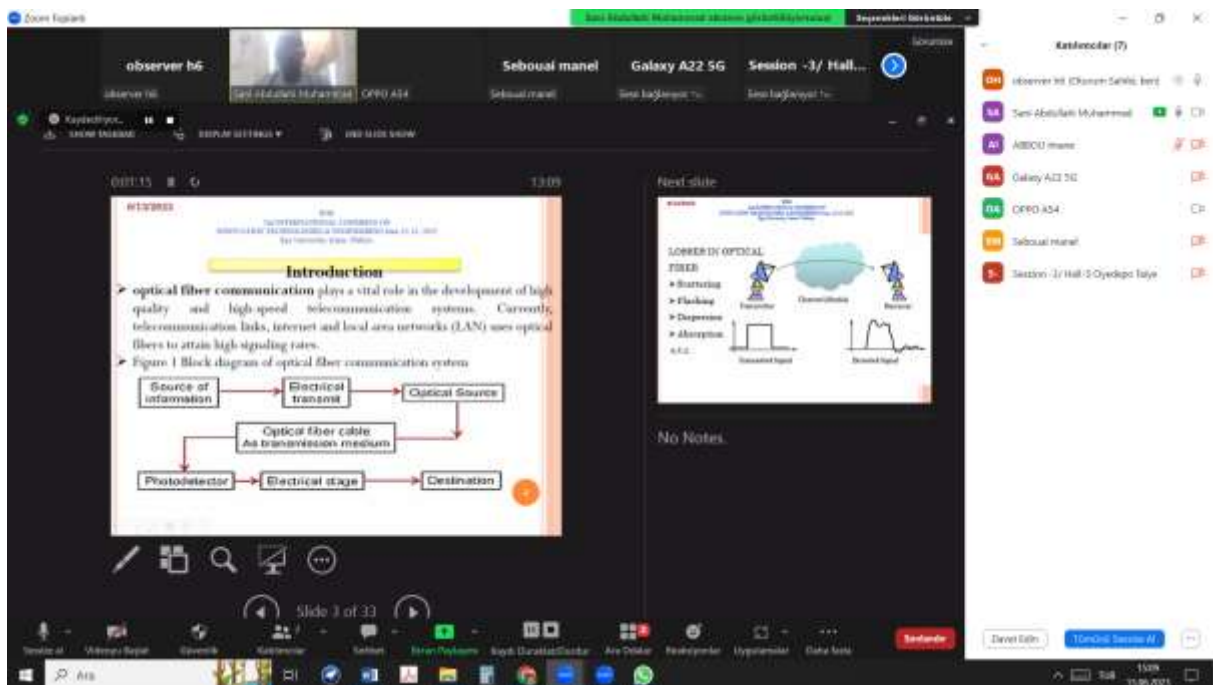
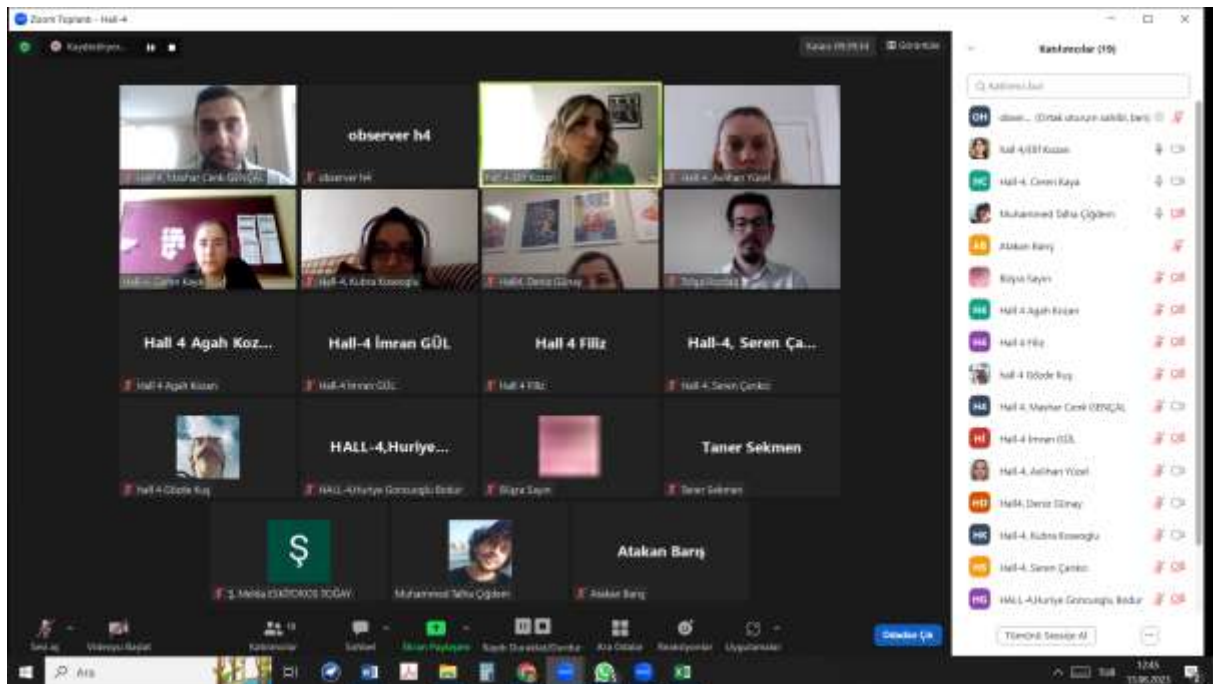


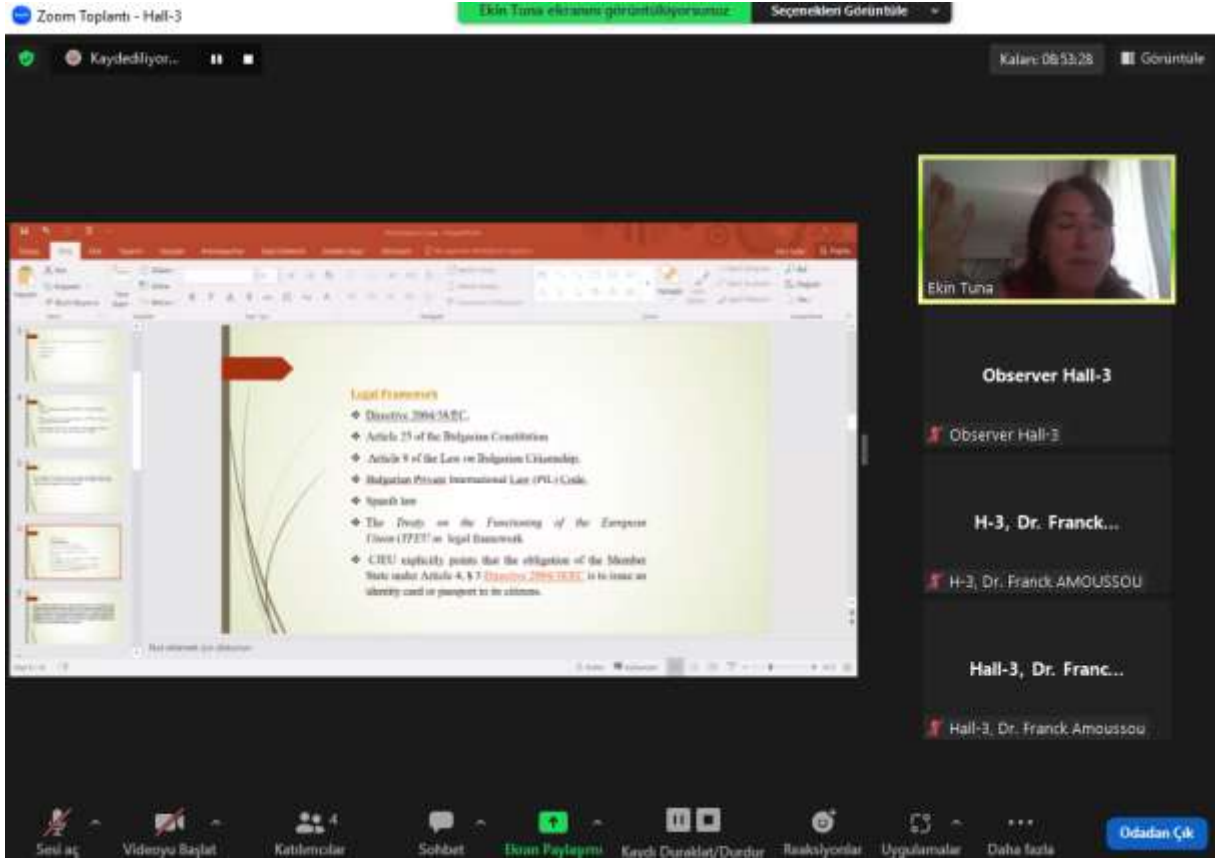
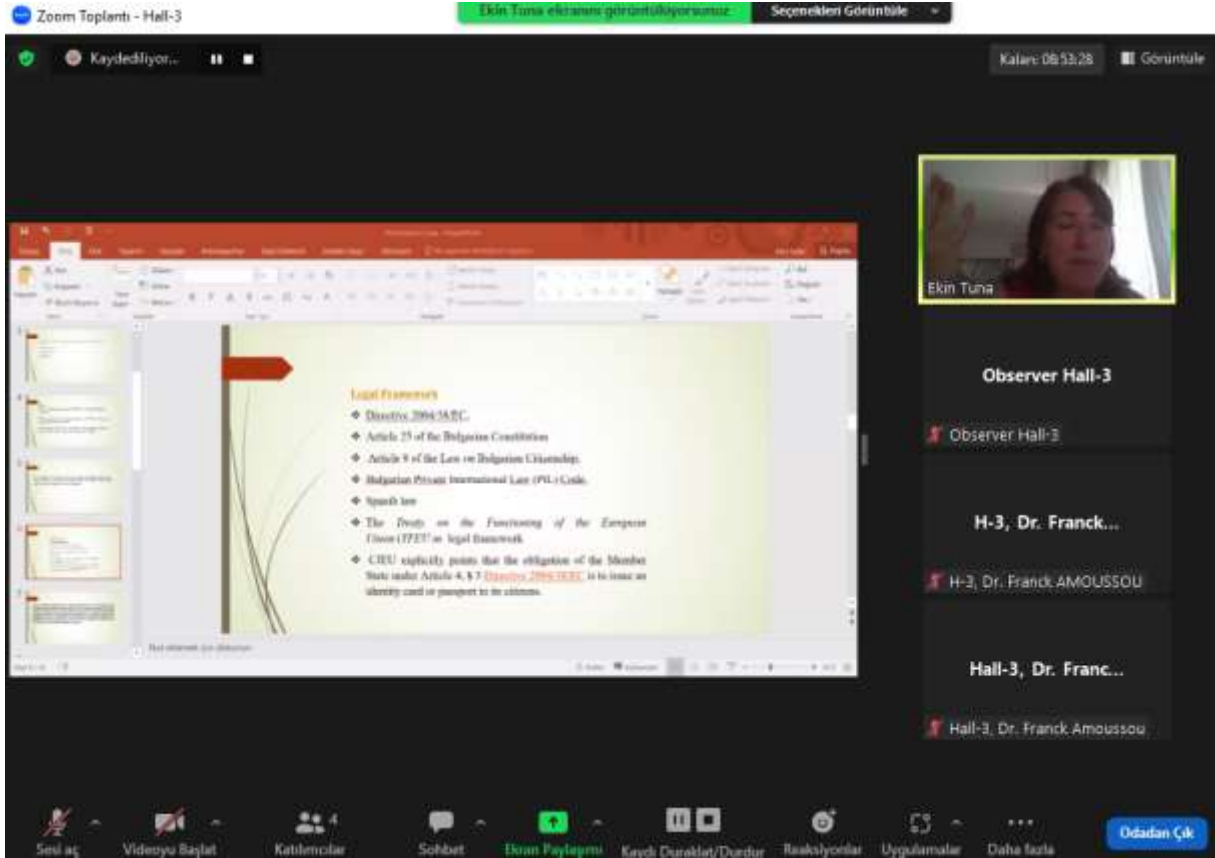














# EGE

## 2<sup>nd</sup> INTERNATIONAL CONGRESS ON INNOVATION TECHNOLOGIES & ENGINEERING

June 12-13, 2023

Ege University, Izmir, Türkiye

# PROGRAM

### PARTICIPANT COUNTRIES (17):

Türkiye, Azerbaijan, Uzbekistan, Pakistan, Algeria, Morocco, Malaysia, Indonesia,  
India, UK, Spain, Nigeria, Tunisia, Palestine, Georgia, Belgium, Kingdom of  
Saudi Arabia

---

**ÖNEMLİ, DİKKATLE OKUYUNUZ LÜTFEN / IMPORTANT, PLEASE READ CAREFULLY**

---

**Önemli, Dikkatle Okuyunuz Lütfen**

- ✓ Kongremizde Yazım Kurallarına uygun gönderilmiş ve bilim kurulundan geçen bildirimler için online (video konferans sistemi üzerinden) sunum imkanı sağlanmıştır.
- ✓ Online sunum yapabilmek için <https://zoom.us/join> sitesi üzerinden giriş yaparak “Meeting ID or Personal Link Name” yerine ID numarasını girerek oturuma katılabilirsiniz.
- ✓ Zoom uygulaması ücretsizdir ve hesap oluşturmaya gerek yoktur.
- ✓ Zoom uygulaması kaydolmadan kullanılabilir.
- ✓ Uygulama tablet, telefon ve PC’lerde çalışıyor.
- ✓ Her oturumdaki sunucular, sunum saatinden 15 dk öncesinde oturuma bağlanmış olmaları gerekmektedir.
- ✓ Tüm kongre katılımcıları canlı bağlanarak tüm oturumları dinleyebilir.
- ✓ Moderatör – oturumdaki sunum ve bilimsel tartışma (soru-cevap) kısmından sorumludur.

**Dikkat Edilmesi Gerekenler- TEKNİK BİLGİLER**

- ✓ Bilgisayarınızda mikrofon olduğuna ve çalıştığına emin olun.
- ✓ Zoom’da ekran paylaşma özelliğine kullanabilmelisiniz.
- ✓ Kabul edilen bildiri sahiplerinin mail adreslerine Zoom uygulamasında oluşturduğumuz oturuma ait ID numarası gönderilecektir.
- ✓ Katılım belgeleri kongre sonunda tarafınıza pdf olarak gönderilecektir
- ✓ Kongre programında yer ve saat değişikliği gibi talepler dikkate alınmayacaktır

---

**IMPORTANT, PLEASE READ CAREFULLY**

- ✓ To be able to attend a meeting online, login via <https://zoom.us/join> site, enter ID “Meeting ID or Personal Link Name” and solidify the session.
- ✓ The Zoom application is free and no need to create an account.
- ✓ The Zoom application can be used without registration.
- ✓ The application works on tablets, phones and PCs.
- ✓ The participant must be connected to the session 15 minutes before the presentation time.
- ✓ All congress participants can connect live and listen to all sessions.
- ✓ Moderator is responsible for the presentation and scientific discussion (question-answer) section of the session.

**Points to Take into Consideration - TECHNICAL INFORMATION**

- ✓ Make sure your computer has a microphone and is working.
- ✓ You should be able to use screen sharing feature in Zoom.
- ✓ Attendance certificates will be sent to you as pdf at the end of the congress.
- ✓ Requests such as change of place and time will not be taken into consideration in the congress program.
- ✓

---

**Before you login to Zoom please indicate your name\_surname and HALL number,  
exp. Hall-1, Awais Khan**

**Meeting ID: 852 8194 6857**

**Passcode: 121212**

**Join Zoom Meeting**

<https://us02web.zoom.us/j/85281946857?pwd=RnVxNmpjU2hZbis5ZWtuVCtmMXR6QT09>

# - Opening Ceremony-

Ege University, Faculty of Fisheries Conference Hall

12.06.2023

Time: 13:00-14:00

**Prof. Dr. Bahri BAŞARAN**

*Director of Ege University Graduate School of Natural and Applied Science*

HEAD OF CONGRESS (Türkiye) - Congress on Natural & Medical Sciences

HEAD OF CONGRESS (Türkiye) - Congress on Innovation Technologies & Engineering

\*\*\*

**Prof. Dr. Mustafa MUTLUER**

*Director of Ege University Institute of Social Sciences*

HEAD OF CONGRESS (Türkiye) - Congress on Social Sciences & Humanities

\*\*\*

**Assoc. Prof. Dr. Gulbaxar TAVALDIEVA**

*Tashkent Institute of Chemical Technology*

HEAD OF CONGRESS (Uzbekistan) - Congress on Natural & Medical Sciences

HEAD OF CONGRESS (Uzbekistan) - Congress on Innovation Technologies & Engineering

HEAD OF CONGRESS (Uzbekistan) - Congress on Social Sciences & Humanities

\*\*\*

**Dr. Mustafa Latif EMEK**

*President of IKSAD Institute*

HONORARY BOARD

\*\*\*

**Prof. Dr. Necdet BUDAK**

*Rector of Ege University*

HONORARY BOARD

**FACE TO FACE (HALL- Z8)****12.06.2023****Moderator: Dr. Yavuz Öztürk***Address: Ege University, Faculty of Fisheries***Ankara Local Time: 14:30 – 16:30**

TITLE	AUTHOR(S)	AFFILIATION
INCREASING EFFICIENCY IN NATURAL GAS REGULATOR INSTALLATIONS WITH IMAGE PROCESSING METHOD	Ruveyda TOSYA Hüseyin PEHLİVAN Duygu ALEMDAR	Eska Valve Ar-Ge Merkezi, Sakarya 1. OSB Arifiye/Sakarya Sakarya University, Türkiye
DEVELOPMENT OF NEW GENERATION SAFETY SHUTOFF VALVE TO BE USED IN NATURAL GAS LINES	Hüseyin PEHLİVAN Atıl ERİM	Sakarya University, Türkiye Türkiye Eska Valve Ar-Ge Merkezi, Sakarya 1. OSB Arifiye/Sakarya
IMPROVEMENT WORK ON MEMBRANES USED IN NATURAL GAS REGULATORS	Ruveyda TOSYA Hüseyin PEHLİVAN	Eska Valve Ar-Ge Merkezi, Sakarya 1. OSB Arifiye/Sakarya Sakarya University, Türkiye
A STUDY OF PHOTOACUSTIC EFFECT FOR TWO DIFFERENT THERMAL CONDUCTIVE MATERIALS	Damla Can ATICI İbrahim Akkaya Yavuz Öztürk	Ege University, Izmir, Türkiye
A NEW MODULATOR SURFACE DESIGN WITH FLUORESCENT LAMP ARRAY AS CURRENT CONTROLLED PLASMA REFLECTOR	Samed Gümüş Yavuz Öztürk	Ege University, Türkiye
INVESTIGATION OF THE MAGNETIC FIELD AND IT'S LINEARITY ON AN AXIS BETWEEN OF TWO CYLINDRICAL MAGNETS	Beste Aydoğmuş Samed Gümüş Yavuz Öztürk	Ege University, Türkiye
MEASURING MAGNETIC FIELD OF A MAGNET ON A PLANE BY USING THREE AXES HALL SENSOR OF A SMARTPHONE	Mahshad Ramezanabady Utku Can Sayın Erkan Zeki Engin Yavuz Öztürk	Ege University, Türkiye
DEVELOPMENT OF TEXTILE PRODUCTS WITH ANTIMICROBIAL AND INNOVATIVE APPEARANCE	Emre SAKAN İrem PALABIYIK	Ar-Ge Merkez Mühendisi FG Grup Konfeksiyon Sanayi A.Ş. İzmir/Türkiye.
PREDICTION AND RECOMMENDATION PLATFORM BASED ON MACHINE LEARNING AND DEEP LEARNING FOR MANAGEMENT OF SERVICE LEVEL AGREEMENTS	Yavuz ŞAHİN Mehmet Hakkı ERSOY Senem ŞAHAN VAHAPLAR Ahmet FEYZİOĞLU	Experilabs (SahaBT Yazılım), İstanbul, Türkiye Marmara University, Türkiye

**FACE TO FACE (HALL- Z9)****12.06.2023****Moderator: Prof. Dr. Ali MERT***Address: Ege University, Faculty of Fisheries***Ankara Local Time: 14:30 – 16:30**

TITLE	AUTHOR(S)	AFFILIATION
THE POTENTIAL FOR USING PHYTOGENICS IN AQUACULTURE	Ebru YILMAZ	Aydın Adnan Menderes University, Türkiye
DETERMINATION OF THE GENETIC DIVERSITY STATUS OF CAUCASIAN, BLACK SEA AND CAUCASIAN X BLACK SEA HYBRID HONEY BEE POPULATIONS WHICH ARE BRED FOR HYGIENIC BEHAVIOR USING MICROSATELLITE MARKERS	Fatih BİLGİ Levent MERCAN	Ondokuz Mayıs University, Türkiye
MOLECULAR CONTROL OF HYGIENIC BEHAVIOR AGAINST DISEASES AND PARASITES IN HONEY BEES ( <i>Apis mellifera</i> L.)	Fatih BİLGİ Levent MERCAN	Ondokuz Mayıs University, Türkiye
SELECTION OF EFFECTIVE PARASITOIDS FOR THE BIOLOGICAL CONTROL OF POTATO TUBER MOTH	Emine KAYA Hatice Kübra ÖZMEN Cem ÖZKAN	Ankara University, Türkiye
LEAN PRODUCTION IMPLEMENTATION IN THE PRODUCTION OF CONSTRUCTION MACHINERY PARTS THROUGH VALUE STREAM MAPPING	Erkan Sami KÖKTEN Beyza Koç	Karabük University, Türkiye
SMED METHODOLOGY AND TAGUCHI EXPERIMENTAL DESIGN: AN APPLICATION IN THE PLASTIC INDUSTRY	Erkan Sami KÖKTEN Nida TOPUZ Zeyneb Beyza KILIÇ	Karabük University, Türkiye
ENERGY-EFFICIENT RTOS DESIGNS AND POWER MANAGEMENT STRATEGIES	Hüseyin Cem Koç Mustafa Engin	Ege University, Türkiye
NEW APPROACHES IN BEEHIVE SENSING AND MONITORING	Ekin VAROL Banu YÜCEL Gamze ERTEM	Ege University, Türkiye
APITHERAPEUTIC PROPERTIES OF BEE VENOM IN HUMAN AND ANIMAL HEALTH	Ekin VAROL Banu YÜCEL	Ege University, Türkiye
SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF ARABINOSE COUMARIN AND THEIR SCHIFF BASE DERIVATIVES	Fatma ÇETİN TELLİ Ebru SARIOĞLU Yeşim SALMAN	Ege University, Türkiye

**FACE TO FACE (HALL- Z10)****12.06.2023****Moderator: Norboboeva Risolat Botirovna***Address: Ege University, Faculty of Fisheries***Ankara Local Time: 14:30 – 16:30**

TITLE	AUTHOR(S)	AFFILIATION
POSSIBILITIES OF APPLICATION OF INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN CHEMICAL EDUCATION	Kuchkarov Mexriddin Asamovich Mamadaliyeva Nodira Isakovna	Tashkent State Pedagogical University named after Nizami, Faculty of Natural Sciences, Tashkent, Uzbekistan
CHANGES IN THE CONTENT OF PHOSPHOLIPIDS AND THEIR FRACTIONS IN CARDIAC TISSUE IN SUBCOMPENSATED AND DECOMPENSATED HYPOBARIC HYPOXIA	Mamadaliyeva Nodira Isakovna	Tashkent State Pedagogical University named after Nizami, Faculty of Natural Sciences, Tashkent, Uzbekistan
PROGRAM EVALUATION OF THE ENTERPRISE EXPLOTATION SERVICE PROCESS	Umirov Ilkhomjon Umirova Gulmira	Jizzakh Polytechnic Institute, Jizzakh, Uzbekistan
PROSPECTS FOR THE USE OF A COMPLEX ADDITIVE FOR CERAMIC SLICK	Khakimova Gulnoz Nigmanovna	Tashkent Chemical-Technological Institute, Tashkent, Uzbekistan
BIOLOGICAL TREATMENT AND SYSTEMATIC ANALYSIS OF WASTE WATER OF OIL AND INSTALLATIONS OF COMBINED OIL TREATMENT	Norboboeva Risolat Botirovna	Tashkent State Pedagogical University named after Nizami, Tashkent, Uzbekistan
OBTAINING GLASSY MATERIALS FROM MINERAL RAW MATERIALS OF UZBEKISTAN AND INDUSTRIAL WASTE	Tukhtamushova Anisakhon Yunusov Mirjalil	Tashkent Institute of Chemical Technology, Tashkent, Uzbekistan
2-PHENYL-3-BUTYN-2-OL SYNTHESIS BASED ON ACETYLENE AND METHYL PHENYL KETONE	Yusupova Lola Azimovna Igamkulova Nargisa Abduvaliyevna	Tashkent Chemical - Technological Institute, Uzbekistan, Tashkent



## Session -1 / Hall-4

12.06.2023

**Moderator: Dr. Raja Mohammad Latif****Meeting ID: 852 8194 6857 / Passcode: 121212****Ankara Local Time: 10:00 – 12:00**

TITLE	AUTHOR(S)	AFFILIATION
ORIGIN OF RASHBA SPIN SPLITTING EFFECT IN HETEROSTRUCTURES	Loubna Melaab	Farhat Abbas University, Faculty of sciences, Department of Physics, Setif, Algeria
$g^*\beta$ -Compact and $g^*\beta$ -Lindelof Topological Spaces	Dr. Raja Mohammad Latif	Prince Mohammad Bin Fahd University, Kingdom of Saudi Arabia
$g^*\beta$ -Continuous and $g^*\beta$ -Irresolute Mappings in Topological Spaces	Dr. Raja Mohammad Latif	Prince Mohammad Bin Fahd University, Kingdom of Saudi Arabia
STABILIZATION OF SEMI-LINEAR SYSTEMS ON A HILBERT STATE SPACE	Ayoub CHEDDOUR, Abdelhai EL AZZOUZI	University of Sidi Mohamed Ben Abdellah-USMBA
UNIQUE DIVISION METHOD FOR CALCULATING CUBE ROOT OF A REAL NUMBER	Anupam Khanna	DAV College-Sadhaura, Yamunanagar, Haryana, INDIA
POWERING THE FUTURE: THE SMART ENERGY REVOLUTION SMART ENERGY MANAGEMENT SYSTEM	KOMAL DUBEY RAMYA NT HARINI B NIVETHA M	R.M.K. ENGINEERING COLLEGE
TECHNO-ECONOMIC FEASIBILITY ANALYSIS OF GRID-CONNECTED PV SYSTEM STUDY UNDER NORTH-WEST ALGERIAN CLIMATE CONDITIONS	Hocine Mammour Djamel Belatrache Abdeldjalil Djouahi Chouaib Ammari Amar Rouag Abdelkader Harrouz	Kasdi Merbah University, Ouargla, Algeria Adrar University, Adrar, Algeria
A NEW FINITE DIFFERENCE SCHEME FOR SOLVING TRANSMISSION LINE EQUATIONS IN A CLASS OF DISCONTINUOUS FUNCTIONS	Bahaddin SINSOYSAL Mahir RASULOV Ethem Ilhan SAHIN	Istanbul Gedik University, Turkey Institute of Oil and Gas of ANAS, Azerbaijan Adana Alparslan Türkes Science and Technology University, Turkey

All participants must join the conference 10 minutes before the session time.

Every presentation should last not longer than 10-12 minutes.

Kindly keep your cameras on till the end of the session.

## Session -1 / Hall-5

12.06.2023

Moderator: Dendouga Imane

Meeting ID: 852 8194 6857 / Passcode: 121212

Ankara Local Time: 10:00 – 12:00

TITLE	AUTHOR(S)	AFFILIATION
THE SENSORY EFFECT OF CINNAMON	Mebarki Amani Hayat, Benaissa Yamina, Addou Samia	University Ahmed Ben Bella Oran
TO REMOVE INORGANIC AQUEOUS EFFLUENTS, LOW-COST BIO ADSORBENTS ARE USED	Djellouli Amir, Berredjem Yamina, Hattab Zhou, Khechai Mohamed, Guesmia Hadjer, Azri Naima, Sara Ncibi	Université mohammed chérif mesaadia de Souk-Ahras, Algeria University of soukahras, Algeria Badji Mokhtar-Annaba University, Algeria. University of Biskra, Algeria Center for Scientific and Technical Research on Arid regions CRSTRA, Algeria Laboratory of Physics of Matter and Radiation (LPMR) INSTITUT NATIONAL AGRONOMIQUE DE TUNISIE, Tunisie
COMPARISON OF ORDINARY AND UNIVERSAL KRIGING INTERPOLATION TECHNIQUES USING GSTAT	Dendouga Imane Messameh Abdelhamid	University Mohamed Khider, Biskra, Algeria
NUMERICAL PREDICTION OF THE DAMAGE DUCTILE OF THE STRUCTURE UNDER TENSILE LOADING	Benchabib Nadia, Mechab Belaïd, Mokadem Salem, Haddou Yagoubia Marwa	University of Sidi Bel Abbes, Algeria
EFFECTS OF ZINC OXIDE NANOPARTICLES ON GROWTH, CARCASS AND NUTRIENT DIGESTIBILITY IN MORI, CIRRHINUS MRIGALA, FINGERLINGS	Adan Naeem, Syed Makhdoom Hussain, Danish Riaz and Eman Naeem	Government College University, Faisalabad, Pakistan
EFFECTS OF IRON OXIDE NANOPARTICLES ON GROWTH TRAITS, BODY COMPOSITION AND BLOOD INDICES IN CYPRINUS CARPIO FINGERLINGS	Eman Naeem, Syed Makhdoom Hussain, Danish Riaz and Adan Naeem	Government College University, Faisalabad, Pakistan
PARTICLES MOTION THROUGH URINE FLOW DRIVEN BY ELECTROSMOSIS	Daya Ram, D. S. Bhandari, Dharmendra Tripathi, Kushal Sharma	Malaviya National Institute of Technology Jaipur, India University of Glasgow, UK

All participants must join the conference 10 minutes before the session time.

Every presentation should last not longer than 10-12 minutes.

Kindly keep your cameras on till the end of the session.

## Session -2 / Hall-4

12.06.2023

**Moderator: Assist. Prof. Dr. Nazım KUNDURACI****Meeting ID: 852 8194 6857 / Passcode: 121212****Ankara Local Time: 12:30 – 14:30**

TITLE	AUTHOR(S)	AFFILIATION
INVESTIGATION THE ROLE OF CERIUM IN THE STRUCTURE OF FERRITE TITANATE CATALYST FOR IMPROVED PHOTO-FENTON CATALYTIC EFFICIENCY	Esra BİLGİN SİMSEK Özlem TUNA	Yalova University, Türkiye
INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF DIFFERENT FILLING MATERIALS ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF FOAM CONCRETES	Nazım KUNDURACI	Zonguldak Bülent Ecevit University, Türkiye
INVESTIGATION OF CHANGE IN THE RADIATION ARMOR PROPERTIES OF COLEMANITE REINFORCED POLY (METHYL METHACRYLATE) BUILDING EXPOSED TO SPACE RADIATION	Atilla Volga ŞENGÜL Nilgun BAYDOGAN	Istanbul Technical University, Türkiye
SELECTING THE PARAMETERS THAT MINIMIZE THE ANGULAR DISTORTION IN THE WELDING PROCESS WITH THE ENTROPY METHOD WITHIN THE SCOPE OF MULTI-CRITERIA DECISION MAKING	Ezgi DOĞAN Ahmet FEYZİOĞLU Hüseyin HALİLOĞLU	Marmara University, Türkiye
EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF BURNER AIR-FUEL INLET OF A WALL-HANG GAS-FIRED HEATING APPLIANCE USING PARTICLE IMAGING VELOCIMETRY	Utku Alp YÜCEKAYA Dilek KUMLUTAŞ Özgün ÖZER Hasan AVCI	Dokuz Eylül University, Türkiye University of Manchester, United Kingdom
INVESTIGATION OF ADDITIVE MANUFACTURING OF LATTICE STRUCTURES WITH HYBRID UNIT CELL	Hüseyin KIRATLI Elmas SALAMCI	Gazi University, Türkiye
PROJECT EVALUATION AND REVIEW TECHNIQUE (PERT) APPLICATION IN DEFENSE INDUSTRY PROJECT PRODUCTION	Prof. Dr. Cevriye TEMEL GENCER Mahide Begüm ÇİÇEK ASLAN	Gazi University, Türkiye

**All participants must join the conference 10 minutes before the session time.**

**Every presentation should last not longer than 10-12 minutes.**

**Kindly keep your cameras on till the end of the session.**

**Session -2 / Hall-5****12.06.2023****Moderator: BENNOUD Salim****Meeting ID: 852 8194 6857 / Passcode: 121212****Ankara Local Time: 12:30 – 14:30**

<b>TITLE</b>	<b>AUTHOR(S)</b>	<b>AFFILIATION</b>
THEORETICAL STUDY OF MECHANISM FOR REMOVAL OF ENVIRONMENTAL HEAVY METALS FROM WASTEWATER USING AN EFFICIENT HYBRID MATERIAL	Morad Lamsayah Mohamed El-Massaoudi	Université Mohamed Premier, Morocco
USE LOW-COST BIO ADSORBENTS FOR HEAVY METAL REMOVAL INORGANIC COMPOUND	Djellouli Amir Berredjem Yamina Hattab Zhou Guesmia Hadjer Barbari Fateh Azri Naima Sara Ncibi	Université mohammed chérif mesaadia de Souk-Ahras, Algeria Laboratory for Water and Environmental Sciences and Technology, University of soukahras, Algeria Badji Mokhtar-Annaba University, Algeria. Department of industrial Chemistry, University of Biskra, PO Box 145, Biskra, 07000, Algeria Center for Scientific and Technical Research on Arid regions CRSTRA, Biskra, 07000, Algeria Laboratory of Physics of Matter and Radiation (LPMR) INSTITUT NATIONAL AGRONOMIQUE DE TUNISIE, Tunisie
ANALYTICAL OPTIMAL DESIGN OF NON-CONVENTIONAL TUNED MASS DAMPER WITH NEGATIVE STIFFNESS FOR IMPROVED EFFICIENCY OF STRUCTURAL VIBRATION CONTROL	Okba ABID CHAREF Mayada BOUAOUN	Ecole Nationale Polytechnique de Constantine, Algeria University of CONSTANTINE3 SALAH BOUBNIDER, Constantine, Algeria.
IMPLEMENTATION OF A SENSORLESS PREDICTIVE DTC-SVM OF AN INDUCTION MOTOR WITH A NEW MRAS OBSERVER	Mohamed Chebaani Ahmed Marouane Ghodbane Amar Goléa Med Toufik Benchouia Noureddine Goléa	Biskra University, Algeria
SENSORLESS CONTROL METHOD FOR BLDC MOTOR	ALILI Zakaria Ghadban Ismail Bouzidi Riad	University of Msila, Algeria
ALGORITHM FOR SOLVING THE MOTION'S TYPE OF THE BOLTED BEAM	CHEKIROU Fatine BRAHIMI Khaled	Université des Sciences et de la technologie Houari Boumediene, Faculty of Mechanical Engineering and Process Engineering, mechanical and production

		construction departement, Algiers 16111, Algeria.
ANALYSIS OF THE VARIATION OF AMBIENT AIR PARAMETERS ON THE GAS TURBINE OUTPUT	BENNOUD Salim	Université de BLIDA 1 (SAAD DAHLAB)
A FRACTIONAL ORDER BASED ADAPTIVE SYNCHRONIZATION OF CHAOTIC SYSTEM WITH UNKNOWN PARAMETERS	Mohsen Mohamed Hadji, Samir Ladaci	National Polytechnic School of Algiers, Constantine, Algeria.
CORRELATION OF ULTRASOUND PARAMETERS BY PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS (PCA)	Pr. Mourad DERRA	Ibn Zohr University, Agadir, Morroco

**All participants must join the conference 10 minutes before the session time.**

**Every presentation should last not longer than 10-12 minutes.**

**Kindly keep your cameras on till the end of the session.**

**Session -3 / Hall-3****12.06.2023****Moderator: Prof. Dr. Taner BAYSAL****Meeting ID: 852 8194 6857 / Passcode: 121212****Ankara Local Time: 15:00 – 17:00**

<b>TITLE</b>	<b>AUTHOR(S)</b>	<b>AFFILIATION</b>
DEVELOPMENT AND CHARACTERIZATION OF BLACK CUMIN CAKE REINFORCED BIOCOMPOSITES FOR ECO-FRIENDLY APPLICATIONS	Müslüm ALTUN	Adıyaman University, Türkiye
THE INVESTIGATION OF BIODEGRADATION OF MICROPLASTICS AND EVALUATION OF EXTRACTION PROCESSES	Ceyhun AKARSU Habibe Elif GÜLŞEN AKBAY	İstanbul Üniversitesi- Cerrahpaşa, Türkiye Mersin University, Türkiye
WATER FOOTPRINT AND INDUSTRIAL WATER CONSERVATION WITH SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS: A RESEARCH ON THE COLD MILLING - GALVANIZING INDUSTRY	Tamer Çankaya Ceyhun AKARSU Tuğba ÖLMEZ-HANCI	İstanbul Teknik University, Türkiye Borçelik Çelik Sanayii Ticaret A.Ş., Türkiye
TEMPERATURE STRESS, NUTRITIONAL REQUIREMENTS AND NUTRITION APPLICATIONS AGAINST STRESS IN POULTRY	Esra GÜRSOY Tugay AYAŞAN	Ağrı İbrahim Çeçen University, Türkiye Osmaniye Korkut Ata University, Türkiye
PULSED LIGHT (HIPL) AND ULTRAVIOLET (UV-C) APPLICATIONS ON GREEN VEGETABLES FOR MICROBIAL DECONTAMINATION	Zeynep SİNANGİL Taner BAYSAL	Ege University, Türkiye
SPATIO-TEMPORAL ANALYSIS OF LANDSCAPE DYNAMICS: THE CASE OF SELÇUK, İZMİR, TÜRKİYE	Kübra KURTŞAN Can SAYGINER Diba ŞENAY Engin NURLU	Ege University, Türkiye
EVALUATION OF THE APPLICABILITY OF THE WASHING PROCESS IN HEAP LEACHING AREAS IN GOLD MINING	Selahattin GÜNEY Şükrü TANER AZGIN	Erciyes University, Türkiye
<b>All participants must join the conference 10 minutes before the session time. Every presentation should last not longer than 10-12 minutes. Kindly keep your cameras on till the end of the session.</b>		

**Session -3 / Hall-4****12.06.2023****Moderator: Assist. Prof. Dr. Berna AKSOY****Meeting ID: 852 8194 6857 / Passcode: 121212****Ankara Local Time: 15:00 – 17:00**

<b>TITLE</b>	<b>AUTHOR(S)</b>	<b>AFFILIATION</b>
INVESTIGATION OF DISASTER SUSCEPTIBILITY WITHIN THE SCOPE OF URBAN PLANNING: MENTEŞE DISTRICT (MUĞLA)	Kübra ALĞIN DEMİR Mercan EFE GÜNEY	Dokuz Eylül University, Türkiye
EFFECT OF BED MATERIAL CHANGE ON FLOW RATE IN RECTANGULAR CHANNELS	Berna Aksoy Dilek Cansu Bozacıoğlu	Zonguldak Bülent Ecevit University, Türkiye
INVESTIGATION OF SETTLEMENT BEHAVIORS OF LOW PLASTICITY FINE GRAINED SOILS – ZONGULDAK EXAMPLE	Dilek Cansu Bozacıoğlu Emrah Dağlı	Zonguldak Bülent Ecevit University, Türkiye
INVESTIGATION OF STIFFNESS ON THE RESPONSE OF HIGH MODULUS COLUMNS UNDER LATERAL LOADING CONDITIONS	Abdulhai Nafea MHMOOD Pelin TOHUMCU ÖZENER	Yıldız Technical University, Türkiye
NUMERICAL INVESTIGATION OF THERMAL PERFORMANCE OF THE INTERNALLY CHANNELS TYPE OF THE FINNED TUBE HEAT EXCHANGER USED FOR CONDENSING WALL HANG HEATING APPLIANCE	Hasan AVCI Dilek KUMLUTAŞ Özgün ÖZER Utku Alp YÜCEKAYA	Dokuz Eylül University, Türkiye The University of Manchester, Department of Mechanical, Aerospace and Civil Engineering, Manchester, United Kingdom
<p><b>All participants must join the conference 10 minutes before the session time.</b>  <b>Every presentation should last not longer than 10-12 minutes.</b>  <b>Kindly keep your cameras on till the end of the session.</b></p>		

## Session -3 / Hall-5

12.06.2023

**Moderator: AJAYDESOUZA V****Meeting ID: 852 8194 6857 / Passcode: 121212****Ankara Local Time: 15:00 – 17:00**

TITLE	AUTHOR(S)	AFFILIATION
STUDIES OF MACRO AND MICRO FERTILIZERS INFLUENCE ON MULBERRY GROWTH, QUALITY PARAMETERS AND NUTRIENT UPTAKE	Devamani.M, Dahira Beevi. N	Periyar University, India
ROLE OF MYCOVIRUS IN PLANT PATHOLOGY	VIGNESH K MANIKANDAN K SUNIL SURIYA M SATHIYA ARAVINDAN V AJAYDESOUZA	Annamalai University
INVESTIGATE THE EFFECT OF ENVIRONMENTAL CONDITIONS ON SOIL-BORNE <i>Macrophomina phaseolina</i> AND THEIR ABILITY TO INFECT PLANTS, SUCH AS SOIL MOISTURE, TEMPERATURE, AND pH.	AJAYDESOUZA V	Annamalai university
SURVEY OF LITTLE LEAF OF BRINJAL ( <i>Candidatus Phytoplasma</i> ) IN DIFFERENT VILLAGES OF CUDDALORE AND CHENGALPATTU DISTRICT	Lokesh R Sundaramoorthy S Vignesh K Sathiya Aravindan V Ajaydesouza V	Annamalai University
COMPARATIVE EFFICACY OF MEDIUM SUPPLEMENT ASCORBATE AND THIOUREA ON THE HEAT TOLERANCE OF WHEAT	Ayesha IJAZ Kabeer Ahmed Hafiz Qadeer AHMED	University of Agriculture, Faisalabad, Pakistan. University of Central Punjab, Pakistan
ANTI- OXIDANT ACTIVITIE OF EXTRACTS FROM <i>Ocimum basilicum</i> L and <i>Artemisia campestris</i> A	Dr.Yassmine CHENNAI Dr.Assma FETTEH	Mohamed Khaidhar University, Biskra
THE EFFECTIVENESS OF WHEAT STRAW AND OTHER PLANTS ON THE MORPHOLOGY AND PRODUCTIVITY OF <i>AGARICUS BISPORUS</i>	Ajaydesouza V Sathiya Aravindan V Lokesh R Vignesh K	Annamalai University
PRODUCTION OF ORNAMENTAL PLANTS USING EARTHWORM-BASED ORGANIC FERTILIZER (VERMICOMPOST) CONTAINING BACTERIA: SUSTAINABLE AGRICULTURE PRACTICES	Saiqa Andleeb, Iram Liaqat, Irsa Shafique, Shaukat Ali	University of Azad Jammu and Kashmir, Pakistan Government College University, Lahore, 54000, Pakistan.
APPLICATION OF VEGETABLE TANNIN IN LEATHER PROCESSING EXTRACTED FROM <i>ACACIA NILOTICA</i> L.	Al Mizan Çiğdem Kılıçarıslan Özkan Bahri Başaran Oğuz Bayraktar	Ege University, Turkey

All participants must join the conference 10 minutes before the session time.

Every presentation should last not longer than 10-12 minutes.

Kindly keep your cameras on till the end of the session.



**Session -1 / Hall-4****13.06.2023****Moderator: Assist. Prof. Dr. Dilşad ENGİN****Meeting ID: 852 8194 6857 / Passcode: 121212****Ankara Local Time: 10:00 – 12:00**

<b>TITLE</b>	<b>AUTHOR(S)</b>	<b>AFFILIATION</b>
DESIGN AND IMPLEMENTATION OF MICROCONTROLLER BASED PI CONTROLLER FOR BUCK CONVERTER	Mehmet Akif ÇÖKREN Dr. Tarık ERFİDAN	Kocaeli University, Türkiye
PREDICTING OCCUPANCY RATE IN PUBLIC TRANSPORTATION SYSTEMS USING AIR POLLUTION DATA	Seren ÇARIKCI Bekir ÖZYURT Mehmet Burak AYDIN	Kent Kart Ege Elektronik San. Tic. A.Ş / R&D Center, İzmir, Turkey
EXPERIMENTAL STUDY OF BIFACIAL SOLAR PHOTOVOLTAIC SYSTEMS IN SNOWY ENVIRONMENTS	Hasan Hüseyin ÇOBAN	Ardahan University, Türkiye
WELDING ROBOT AXIAL REPEATABILITY TESTS AND VALIDATION STUDIES	Halil Tolga AYVALI Hamdi TAPLAK	Erciyes University, Türkiye
GREEN LIGHT OPTIMAL SPEED ADVISORY (GLOSA) SYSTEM FOR INTELLIGENT CONNECTED VEHICLES	Şahap Okan KISA Esin YAVUZ	Süleyman Demirel University, Türkiye
IMAGE-BASED NAVIGATION AND LOCALIZATION FOR MOBILE MULTI-ROBOTS IN DYNAMIC ENVIRONMENT	Serkan PINAR Dilşad ENGİN	Ege University, Türkiye
SECURITY ISSUES IN CLOUD TECHNOLOGIES	Raqsana Hamidova	Baku Engineering University
<b>All participants must join the conference 10 minutes before the session time.</b> <b>Every presentation should last not longer than 10-12 minutes.</b> <b>Kindly keep your cameras on till the end of the session.</b>		

**Session -1 / Hall-5****13.06.2023****Moderator: Subhashish Dey****Meeting ID: 852 8194 6857 / Passcode: 121212****Ankara Local Time: 10:00 – 12:00**

TITLE	AUTHOR(S)	AFFILIATION
IN SOIL SAMPLES CONTAMINATED WITH PESTICIDES	Konul Gahramanova Aygün Almammodova Tarana Ibragimova Gulzar Mammadova	Ministry of Science and Education Institute of Additives of Chemistry named after acad. A.M.Kuliev, Azerbaijan
BaHPO <sub>4</sub> DEPOSITED ON DIFFERENT SUBSTRATES FOR THE ELECTRO-DEGRADATION OF RHODAMINE B	Ayoub AHDOUR, Ali AIT BAHA, Aziz TAOUFYQ, Latifa ANEFLOUS, Abdeljalil BENLHACHEMI, Bahcine BAKIZ	Ibn Zohr university faculty of science, Department of chemistry, Agadir, Morocco.
AIR, SOIL AND NOISE POLLUTION IN THE OIL INDUSTRY, A CASE STUDY OF THE FULA AND AL-JECKE FIELDS IN WEST KORDOFAN STATE, SUDAN	Adam Abdelsamad	Baku State University, Baku, Azerbaijan
DIVERSIFIED LIVELIHOOD, FLORISTIC INVENTORY, AND ECOLOGICAL CHARACTERISTICS OF NEWLY MERGED DISTRICT KURRAM	Farhan Ahmad Dr. Ristina Siti Sundari Ali Sher	The University of Padjadjaran, Indonesia
WAYS OF REDUCING FRESHET PROCESSES BY THE TECHNOLOGY OF ANTI-EROSIONAL IRRIGATION	Vakhtang Nanitashvili	Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia
STUDY OF THE RELATION BETWEEN THE CONCENTRATION OF SEDIMENTS IN SUSPENSION AND THE LIQUID FLOW AT THE HYDROMETRIC STATION M'CHOUNECHE ON OUED L'ABIOD BISKRA	Debabeche Bouthaina Benkhalel Abdelkader Debabeche Kaouther	Mohamed Khider University, Algeria University of Liege, Belgium
DIVERSITY OF PLANT GENETIC RESOURCES IN THE EASTERN ZAB OF THE WILAYAH OF BISKRA	Debabeche Kaouther Debabeche Bouthaina	Scientific and Technical Research Center on Arid Regions, Algeria Mohamed Khider University
DEGRADATION OF PLASTICS WASTE EFFECTS ON THE ENVIRONMENT: A SCIENTIFIC REVIEW	Subhashish Dey	Gudlavalleru Engineering College, Gudlavalleru, Andhra Pradesh, India
DAM BREAK ANALYSIS AND ITS IMPACT IN GURARA WATERSHED UNDER VARIED LAND-USE AND CLIMATE CONDITIONS	Al-Amin Danladi Bello; Abdullahi Sule Argungu; Aminu Tijjani Soron Dinki, Aliyu Bamaiyi Usman; khalid Sulaiman; Abdulrazaq Salaudeen	Ahmadu Bello University, Zaria-Nigeria Abubakar Tafawa Balewa University-Bauchi-Nigeria
APPLICATION OF GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM FOR SOLID WASTE MANAGEMENT IN CITY	Subhashish Dey	Gudlavalleru Engineering College, India

**All participants must join the conference 10 minutes before the session time.**

**Every presentation should last not longer than 10-12 minutes.**

**Kindly keep your cameras on till the end of the session.**

## Session -2 / Hall-4

13.06.2023

Moderator: Dr.Elif KOZAN

Meeting ID: 852 8194 6857 / Passcode: 121212

Ankara Local Time: 12:30 – 14:30

TITLE	AUTHOR(S)	AFFILIATION
U.S. BANKNOTES RECOGNITION BY SURF FEATURES	Mashar Cenk GENÇAL	Ardahan University, Türkiye
GOVERNANCE IN TECHNOLOGY AND AN APPLICATION FROM THE FINANCIAL TECHNOLOGY SECTOR	Kübra Köseoğlu	Harran University, Türkiye
ESTIMATION OF BUILDING HEIGHT FROM ICESat-2/ATLAS AND AIRBORNE LiDAR DATA USING MACHINE LEARNING ALGORITHMS	Müge AĞCA Aslıhan YÜCEL Ali İhsan DALOĞLU Efdal KAYA Mevlüt YETKİN Femin YALÇIN KÜÇÜKBAYRAK	İzmir Kâtip Çelebi University, Türkiye
PREDICTION OF BRAIN TUMOR FROM MAGNETIC RESONANCE IMAGES USING CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK	Rukiye UZUN ARSLAN Ceren KAYA İrem ŞENYER YAPICI	Zonguldak Bülent Ecevit University, Türkiye
OPTIMIZERS COMPARISON OF COVID-19 PREDICTION PERFORMANCES USING CHEST X-RAY IMAGES	Ceren KAYA Tuğba PALABAŞ	Zonguldak Bülent Ecevit University, Türkiye
CHAOTIC WAR STRATEGY OPTIMIZATION ALGORITHM	Muhammed Talha ÇİĞDEM Sinem AKYOL Fatih ÖZYURT	Fırat University, Türkiye
CONTENT ANALYSIS OF E-MENTORING APPLICATIONS IN HIGHER EDUCATION	Deniz GÜNAY Huriye GÖNCÜOĞLU-BODUR	Ege University, Türkiye
NATURAL LANGUAGE PROCESSING VIA TWITTER DATA: SENTIMENT ANALYSIS WITH BERT	Taner SEKMEN Atakan BARIŞ Büşra SAYIN Elif KOZAN	Ege University, Türkiye e
OBTAINING USER-SPECIFIC INFORMATION FROM THE INTERNET VIA TEXT MINING AND MOBILE BASED SYSTEM	Imran GÜL Ferdı SARAÇ	Süleyman Demirel University, Türkiye
A RANDOM NUMBER GENERATION APPROACH FOR INTUITIONISTIC FUZZY REGRESSION ANALYSIS	Tolga BOZDAĞ Ali MERT	Ege University, Türkiye
A NOVEL TOOL TO ENABLE VISUALLY IMPAIRED USERS TO USE THE INTERNET FOR THEIR INVESTMENTS	Ferdı SARAÇ	Süleyman Demirel University, Türkiye

All participants must join the conference 10 minutes before the session time.

Every presentation should last not longer than 10-12 minutes.

Kindly keep your cameras on till the end of the session.

**Session -2 / Hall-5****13.06.2023****Moderator: Dr. Béla Kovács****Meeting ID: 852 8194 6857 / Passcode: 121212****Ankara Local Time: 12:30 – 14:30**

TITLE	AUTHOR(S)	AFFILIATION
IOT BASED SMART LOCK DOOR SYSTEM USING RASPBERRY PI	Dhulasiraman M, Rahul D, Arshath Ahamed H, Dr. P .S LATHAMAHESHWARI, Dr.S.RAMYA, Dr.P.Radhika	R.M.K Engineering college, Kavaraipeitai-601206, India
THE ROLE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN DISEASE DIAGNOSIS AND TREATMENT	Nishant K. Singh, Yashvir Singh, Virendar Kumar, Rajesh Kumar Verma	Harcourt Butler Technical University, Kanpur, UP, India Graphic Era Deemed to be University, Dehradun, Uttarakhand, India
INVESTIGATION ON SOLAR PV DEFECTS BY USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND DEEP LEARNING	Alhassan Issah Fofana Assist. Prof. Dr. Vedat Öztürk	Istanbul Aydin University, Istanbul, Turkiye
PROXIMAL POLICY OPTIMIZATION WITH CURRICULUM LEARNING FOR ENHANCED PATH PLANNING IN SWARM ROBOTICS	ALAA ISKANDAR, Dr. Béla Kovács	University of Miskolc, Faculty of Mechanical Engineering and Informatic
HOME VISION AI BASED HOUSE PRICE FORECASTING	Mohd Faizaanuddin Afrah Fathima Mohammed Affanuddin	CBIT College (Osmania University), M.tech Student, Department of Artificial Intelligence and Data Science
IMPLEMENTATION OF A SENSORLESS PREDICTIVE DTC-SVM OF AN INDUCTION MOTOR WITH A NEW MRAS OBSERVER	Mohamed Chebaani, Ahmed Marouane Ghodbane, Amar Goléa, Med Toufik Benchoui, Noureddine Goléa	LGEA laboratory, Oum El Bouaghi University, Algeria.
BLOCKCHAIN TECHNOLOGY IN HEALTHCARE AND REAL ESTATE	Arijan Muslijevic Muzafer Mollazeqiri Erjon Coba Ersan Hamdiu	AAB College, Computer Science, Cyber security, Prishtine, Kosova

**All participants must join the conference 10 minutes before the session time.**

**Every presentation should last not longer than 10-12 minutes.**

**Kindly keep your cameras on till the end of the session.**

## Session -3 / Hall-3

13.06.2023

**Moderator: Ugochukwu Okechukwu Ozojiofor****Meeting ID: 852 8194 6857 / Passcode: 121212****Ankara Local Time: 15:00 – 17:00**

TITLE	AUTHOR(S)	AFFILIATION
FUNGI LACCASES: STRUCTURE, FUNCTIONS, AND POTENTIAL APPLICATION IN THE BIODEGRADATION OF PHARMACEUTICAL MICROPOLLUTANTS	Ugochukwu Okechukwu Ozojiofor, Mohammed Sani Abdulsalami, Nkechi Eucharia Egbe and Ahmed Ali Haroun	Nigerian Defence Academy, Kaduna, Nigeria.
ISOLATION AND CHARACTERIZATION OF KERATIN-DEGRADING BACTERIA FROM SOME CHICKEN SLAUGHTERHOUSES IN KADUNA	Ugochukwu Okechukwu Ozojiofor, Uchenna Bob Odurukwe	Nigerian Defence Academy, Kaduna, Nigeria.
STUDY OF SOME CHEMICAL AND BIOCHEMICAL PARAMETERS OF POMEGRANATE BARK GROWN IN GHRADIA (ALGERIA)	BENAISSA Yamina, Djelled djihen, ADDOU Samia	University Ahmed Ben Bella Oran
SYNTHESIS OF WURTZITE PHASE ZnO NANOPARTICLES USING COMBUSTION METHOD AND COMPUTATIONAL STUDIES	Samy mansy Hussam Musleh Sami Shaat Jihd Asad naji AlDahoudi	University collage of Science and Technology, Department of Engineering Sciences and Applied Arts, Palestine Al Azhar University-Gaza, Physics Department, P.O. Box 1277, Gaza, Palestine
ANTIOXIDANT PROPERTIES OF FIVE <i>LACTOBACILLUS PLANTARUM</i> STRAINS AS PROBIOTICS	Manel Sebouai	University of Bejaia, Faculty of Nature and Life Sciences, Department of Physical Biology and Chemistry , Bejaia, Algeria
DISPERSION CHARACTERIZATION OF OPTICAL FIBER IMPAIRMENTS IMPACT ON SINGLE MODE OPTICAL FIBER COMMUNICATION SYSTEMS	Sani Abdullahi Muhammad Ishaq Bala Adam Sani Ahmad Muhammad Sani Sale Yakubu Umar Alhassan Umar	Kano State Polytechnic, Kano State, Nigeria
EFFECT OF CLAY CONCENTRATION ON MORPHOLOGY AND PROPERTIES OF POLY (VINYL ALCOHOL) FILMS	Imane ABBOU, Abdelmajid BELKHODJA, Souhila GUENDOZ, Amal BENKHALED, Fatima El BERRICHI, Esma CHOUKCHOU-BRAHAM	Laboratoire de Recherche Toxicomed, Université Abou Baker Belkaid, BAlgérie. Laboratoire de Chimie Physique, Université de 8mai45, BP 401, Algérie
NiO SYNTHESIS, ELECTROCHEMICAL AND OPTICAL PROPERTIES	Marilena Carbone	University of Rome Tor Vergata, Department of Chemical Science and Technologies, Rome Italy

All participants must join the conference 10 minutes before the session time.

Every presentation should last not longer than 10-12 minutes.

Kindly keep your cameras on till the end of the session.

**Session -3 / Hall-4****13.06.2023****Moderator: Assist. Prof. Dr. Şükran Melda ESKİTOROS TOĞAY****Meeting ID: 852 8194 6857 / Passcode: 121212****Ankara Local Time: 15:00 – 17:00**

<b>TITLE</b>	<b>AUTHOR(S)</b>	<b>AFFILIATION</b>
DRUG-LOADED ELECTROSPUN POLYMER/CLAY NANOCOMPOSITES FOR DRUG DELIVERY SYSTEMS	Şükran Melda ESKİTOROS TOĞAY	University of Health Sciences, Turkey
A NOTE ON SET-VALUED KRASNOSEL'SKII TYPE EQUATIONS	Cesim Temel Müberra Selah	Van Yüzüncü Yıl University, Türkiye
SOME EXISTENCE RESULTS FOR SET-VALUED MAPPINGS WITH GENERALIZED CONTRACTION CONDITION	Cesim Temel Müberra Selah	Van Yüzüncü Yıl University, Türkiye
DESIGN PRINCIPLES FOR MODERN MANUFACTURING METHODS	Tuğçe Tezel Volkan Kovan	Akdeniz University, Türkiye
NUMERICAL ANALYSIS OF THE USAGE OF VEHICLE PISTONS IN ADDITIVE MANUFACTURING	Gülsüm Tekavit Tuğçe Tezel Volkan Kovan	Akdeniz University, Türkiye
DEVELOPMENT OF ORNITHOPTER TECHNOLOGIES	Sait Büyükkaya Volkan Kovan Tuğçe Tezel	Akdeniz University, Türkiye
NATURAL FIBER-REINFORCED COMPOSITE FILAMENT MANUFACTURING	Tuğçe Tezel Volkan Kovan	Akdeniz University, Türkiye

**All participants must join the conference 10 minutes before the session time.  
Every presentation should last not longer than 10-12 minutes.  
Kindly keep your cameras on till the end of the session.**

## Session -3 / Hall-5

13.06.2023

Moderator: Taiye Oyedepo

Meeting ID: 852 8194 6857 / Passcode: 121212

Ankara Local Time: 15:00 – 17:00

TITLE	AUTHOR(S)	AFFILIATION
CATALYTIC OXIDATION OF VOCs PRODUCES ALKENE AT SPECIFIC TEMPERATURES BY MESOPOROUS MATERIALS	Boughedir nadia, Bailiche Zohra	Université de Tlemcen BP 119 Laboratoire de Catalyse et Synthèse en Chimie Organique, Algérie université de Ain t émouchent laboratoire de chimie ;Algérie
NUMERICAL SOLUTION OF VOLTERRA INTEGRO-DIFFERENTIAL EQUATIONS USING BERNSTEIN POLYNOMIALS	Oluwaseun Biodun Onuoha, Emmanuel Adewale Adenipekun, Zubair Obashola Rufiu, Ibrahim Salihu, Abdullahi Muhammed Ayinde, Taiye Oyedepo	Adekunle Ajasin University, Akungba-Akoko, Nigeria Federal Polytechnic Ede, Odun, Nigeria Kwara State Polytechnic, Ilorin, Nigeria University Abuja, Abuja, Nigeria Federal College of Dental Technology and Therapy, Enugu, Nigeria
STRUCTURAL STUDY OF A MEMBRANE BASED ON CHITOSAN AND HYDROXYETHYL CELLULOSE	Nassima CHEKROUN Houcine Ziani Cherif	Abou Bekr Belkaid University, Faculty of Sciences, Departement of chemistery, Tlemcen, Algeria
THE DUAL ION CONDUCTING SOLID OXIDE FUEL CELLS	Sarah Guenou Dr Ali Chenane Dr. Naceur Selman	Amar Thlidji University, Laghouat, Algeria
THERMAL AND CONCENTRATION STRATIFICATION EFFECTS OF BIOCONVECTIVE WILLIAMSON FLUID FLOW CONSISTING TINY PARTICLES WITH GYROTACTIC MICROORGANISMS	Ephesus O. Fatunmbi, Olumuyiwa A. Agbolade	Federal Polytechnic, Ilaro, Nigeria
STUDY OF THE MECHANICAL PROPERTIES AND THE BOND STRENGTH OF SISAL FIBER-REINFORCED SELF-COMPACTING REPAIR MORTAR BASED IN DUNE-LIMESTONE SAND	Krobba Benharzallah Djamed Anfal	Univerity Amar Telidji of Laghouat, Faculty of Civil engineering and Architecure, Departemen of Civil engineering, Laghouat Algeria.
INVESTIGATING THE EFFECTIVENESS OF CRUMB RUBBER AND RICE HUSK ASH IN SUBGRADE SOIL STABILIZATION	Sikander Khan Amir Nawaz Khan	University of Wah, Wah Engineering College, Civil Engineering Department, Taxila, Pakistan
LANTHANUM-MODIFIED BIOCHAR EFFICIENCY TOWARD PHOSPHORUS	Nail Amara, Abdelkader Ouakouak Asma Nouioua Dhirar Ben salem	Hydraulic and Civil Engineering Department, University of El Oued, PO Box 789, El Oued, 39000, Algeria.

		Research Laboratory in Subterranean and Surface Hydraulics, University of Biskra, PO Box 145, Biskra, 07000, Algeria.
STRAIN BASED FINIT ELEMENT FORMULATION FOR THE ANALYSIS OF HOMOGENEOUS PLATES	CHENAFI Madjda, Messaoud BOUREZZANE Taqiyeddine ASSAS	University of Biskra, Science and technology faculty, Civil Engeneering and Hydraulic Department,
<b>All participants must join the conference 10 minutes before the session time. Every presentation should last not longer than 10-12 minutes. Kindly keep your cameras on till the end of the session.</b>		





## CONTENT

<b>CONGRESS ID</b>	<b>I</b>
<b>SCIENTIFIC COMMITTEE</b>	<b>II</b>
<b>PHOTO GALLERY</b>	<b>III</b>
<b>PROGRAM</b>	<b>IV</b>
<b>CONTENT</b>	<b>V</b>

Author	Title	No
Ruveyda TOSYA Hüseyin PEHLİVAN	IMPROVEMENT WORK ON MEMBRANES USED IN NATURAL GAS REGULATORS	1
Mohd Faizaanuddin Afrah Fathima Mohammed Affanuddin	HOME VISION AI BASED HOUSE PRICE FORECASTING	7
Sani Abdullahi Muhammad Ishaq Bala Adam Sani Ahmad Muhammad Sani Sale Yakubu Umar Alhassan Umar	DISPERSION CHARACTERIZATION OF OPTICAL FIBER IMPAIRMENTS IMPACT ON SINGLE MODE OPTICAL FIBER COMMUNICATION SYSTEMS	13
Rukiye UZUN ARSLAN Ceren KAYA İrem ŞENYER YAPICI	PREDICTION OF BRAIN TUMOR FROM MAGNETIC RESONANCE IMAGES USING CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK	22
Dendouga IMANE Abdelhamide MESSAMEH	COMPARISON OF ORDINARY AND UNIVERSAL KRIGING INTERPOLATION TECHNIQUES USING GSTAT	31
Hocine Mammour Djamel Belatrache Abdeljalil Djouahi Chouaib Ammari Amar Rouag Abdelkader Harrouz	TECHNO-ECONOMIC FEASIBILITY ANALYSIS OF GRID-CONNECTED PV SYSTEM STUDY UNDER NORTH-WEST ALGERIAN CLIMATE CONDITIONS	34
Benchaib Nadia Mechab Belaïd Mokadem Salem Haddou Yagoubia Marwa	NUMERICAL PREDICTION OF THE DAMAGE DUCTILE OF THE STRUCTURE UNDER TENSILE LOADING	44
Umirov ILKHOMJON Umirova GULMIRA	PROGRAM EVALUATION OF THE ENTERPRISE EXPLOITATION SERVICE PROCESS	51
Anupam KHANNA	KHANNA'S UNIQUE DIVISION METHOD FOR CALCULATING THE CUBE ROOT OF ANY REAL NUMBER	56
Alhassan Issah FOFANA Vedat ÖZTÜRK	INVESTIGATION ON SOLAR PV DEFECTS BY USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND DEEP LEARNING	65
Khakimova Gulnoz NİGMANOVNA	PROSPECTS FOR THE USE OF A COMPLEX ADDITIVE FOR CERAMIC SLICK	76
Fatih BİLGİ Levent MERCAN	DETERMINATION OF THE GENETIC DIVERSITY STATUS OF CAUCASIAN, BLACK SEA AND CAUCASIAN X BLACK SEA HYBRID HONEY BEE POPULATIONS WHICH ARE BRED FOR HYGIENIC BEHAVIOR USING MICROSATELLITE MARKERS	83



Fatih BİLGİ Levent MERCAN	MOLECULAR CONTROL OF HYGIENIC BEHAVIOR AGAINST DISEASES AND PARASITES IN HONEY BEES ( <i>Apis mellifera</i> L.)	94
Tolga BOZDAĞ Ali MERT	A RANDOM NUMBER GENERATION APPROACH FOR INTUITIONISTIC FUZZY REGRESSION ANALYSIS	103
Deniz GÜNAY Huriye GÖNCÜOĞLU BODUR	CONTENT ANALYSIS OF E-MENTORING APPLICATIONS IN HIGHER EDUCATION	115
Dilek Cansu BOZACIOĞLU Emrah DAĞLI	INVESTIGATION OF SETTLEMENT BEHAVIORS OF LOW PLASTICITY FINE GRAINED SOILS – ZONGULDAK EXAMPLE	122
Raja Mohammad LATIF	<b><math>g^{*\beta}</math>-Compact and <math>g^{*\beta}</math>-Lindelof Topological Spaces</b>	133
Raja Mohammad LATIF	<b><math>g^{*\beta}</math>-CONTINUOUS AND <math>g^{*\beta}</math>-IRRESOLUTE MAPPINGS IN TOPOLOGICAL SPACES</b>	155
Al-Amin Danladi BELLO Abdullahi Sule ARGUNGU Aminu Tijjani Soron DİNKİ Aliyu Bamaïyi USMAN Khalid SULAIMAN Abdulrazaq SALAUDEEN	DAM BREAK ANALYSIS AND ITS IMPACT IN GURARA WATERSHED UNDER VARIED LAND-USE AND CLIMATE CONDITIONS	176
Hasan Hüseyin ÇOBAN	EXPERIMENTAL STUDY OF BIFACIAL SOLAR PHOTOVOLTAIC SYSTEMS IN SNOWY ENVIRONMENTS	189
Halil Tolga AYVALI Hamdi TAPLAK	WELDING ROBOT AXIAL REPEATABILITY TESTS AND VALIDATION STUDIES	202
Ceren KAYA Tuğba PALABAŞ	OPTIMIZERS COMPARISON OF COVID-19 PREDICTION PERFORMANCES USING CHEST X-RAY IMAGES	224
Abduhadi Nafea MHMOOD Pelin TOHUMCU ÖZENER	INVESTIGATION OF STIFFNESS ON THE RESPONSE OF HIGH MODULUS COLUMNS UNDER LATERAL LOADING CONDITIONS	235
Esra GÜRSOY Tugay AYAŞAN	TEMPERATURE STRESS, NUTRITIONAL REQUIREMENTS AND NUTRITION APPLICATIONS AGAINST STRESS IN POULTRY	250
Erkan Sami KÖKTEN Beyza KOÇ	LEAN PRODUCTION IMPLEMENTATION IN THE PRODUCTION OF CONSTRUCTION MACHINERY PARTS THROUGH VALUE STREAM MAPPING	258
Erkan Sami KÖKTEN Nida TOPUZ Zeyneb Beyza KILIÇ	SMED METHODOLOGY AND TAGUCHI EXPERIMENTAL DESIGN: AN APPLICATION IN THE PLASTIC INDUSTRY	265
Hüseyin KIRATLI Elmas SALAMCI	INVESTIGATION OF ADDITIVE MANUFACTURING OF LATTICE STRUCTURES WITH HYBRID UNIT CELL	272
Kübra ALĞİN DEMİR Mercan EFE GÜNEY	INVESTIGATION OF DISASTER SUSCEPTIBILITY WITHIN THE SCOPE OF URBAN PLANNING: MENTEŞE DISTRICT (MUĞLA)	281
Beste AYDOĞMUŞ Samed GÜMÜŞ Yavuz ÖZTÜRK	INVESTIGATION OF THE MAGNETIC FIELD AND IT'S LINEARITY ON AN AXIS BETWEEN OF TWO CYLINDRICAL MAGNETS	293
Mahshad RAMEZANABADY Utku Can SAYI Erkan Zeki ENGİN Yavuz ÖZTÜRK	MEASURING MAGNETIC FIELD OF A MAGNET ON A PLANE BY USING THREE AXES HALL SENSOR OF A SMARTPHONE	298



Damla CAN ATICI İbrahim AKKAYA Yavuz ÖZTÜRK	A CASE STUDY OF PHOTOACUSTIC EFFECT FOR TWO DIFFERENT THERMAL CONDUCTIVE MATERIALS	306
Manel SEBOUAI	ANTIOXIDANT PROPERTIES OF FIVE LACTOBACILLUS PLANTARUM STRAINS AS PROBIOTICS	311
Taner SEKMEN Atakan BARIŞ Büşra SAYIN Elif KOZAN	NATURAL LANGUAGE PROCESSING VIA TWITTER DATA: SENTIMENT ANALYSIS WITH BERT	314
Oluwaseun Biodun ONUOHA Emmanuel Adewale ADENIPEKUN Zubair Obashola RUFU Ibrahim SALIHU Abdullahı Muhammed AYINDE Taye OYEDEPO	NUMERICAL SOLUTION OF VOLTERRA INTEGRO-DIFFERENTIAL EQUATIONS USING BERNSTEIN POLYNOMIALS	321
Şahap Okan KISA Esin YAVUZ	GREEN LIGHT OPTIMAL SPEED ADVISORY (GLOSA) SYSTEM FOR INTELLIGENT CONNECTED VEHICLES	325
Samed GÜMÜŞ Yavuz ÖZTÜRK	A NEW MODULATOR SURFACE DESIGN WITH FLUORESCENT LAMP ARRAY AS CURRENT CONTROLLED PLASMA REFLECTOR	333
Raqsana HAMİDOVA	SECURITY ISSUES IN CLOUD TECHNOLOGIES	339
Hüseyin Cem KOÇ Mustafa ENGİN	ENERGY-EFFICIENT RTOS DESIGNS AND POWER MANAGEMENT STRATEGIES	344
Serkan PINAR Dilşad ENGİN	IMAGE-BASED NAVIGATION AND LOCALIZATION FOR MOBILE MULTI-ROBOTS IN DYNAMIC ENVIRONMENT	352
Sikander KHAN Amir Nawaz KHAN	INVESTIGATING THE EFFECTIVENESS OF CRUMB RUBBER AND RICE HUSK ASH IN SUBGRADE SOIL STABILIZATION	365
Kübra KURTŞAN Can SAYGINER Diba ŞENAY Engin NURLU	SPATIO-TEMPORAL ANALYSIS OF LANDSCAPE DYNAMICS: THE CASE OF SELCUK, IZMIR, TURKIYE	374
Mehmet Akif ÇÖKREN Tarık ERFİDAN	DESIGN AND IMPLEMENTATION OF MICROCONTROLLER BASED PI CONTROLLER FOR BUCK CONVERTER	383
Atıl ERİM Hüseyin PEHLİVAN	DEVELOPMENT OF NEW GENERATION SAFETY SHUTOFF VALVE TO BE USED IN NATURAL GAS LINES	395
Duygu ALEMDAR Hüseyin PEHLİVAN Ruveyda TOSYA	INCREASING EFFICIENCY IN NATURAL GAS REGULATOR INSTALLATIONS WITH IMAGE PROCESSING METHOD	403
Kübra KÖSEOĞLU	GOVERNANCE IN TECHNOLOGY AND AN APPLICATION FROM THE FINANCIAL TECHNOLOGY SECTOR	412
Tuğçe TEZEL Volkan KOVAN	NATURAL FIBER-REINFORCED COMPOSITE FILAMENT MANUFACTURING	416
Tuğçe TEZEL Volkan KOVAN	DESIGN PRINCIPLES FOR MODERN MANUFACTURING METHODS	421



Gülsüm TEKAVİT Tuğçe TEZEL Volkan KOVAN	NUMERICAL ANALYSIS OF THE USAGE OF VEHICLE PISTONS IN ADDITIVE MANUFACTURING	426
Sait BÜYÜKKAYA Volkan KOVAN Tuğçe TEZEL	DEVELOPMENT OF ORNITHOPTER TECHNOLOGIES	432
Bahaddin SINSOYSAL Mahir RASULOV Ethem Ilhan SAHIN	NEW FINITE DIFFERENCE SCHEME FOR SOLVING TRANSMISSION LINE EQUATIONS IN A CLASS OF DISCONTINUOUS FUNCTIONS	440
Ezgi DOĞAN Ahmet FEYZİOĞLU Hüseyin HALILOĞLU	SELECTING THE PARAMETERS THAT MINIMIZE THE ANGULAR DISTORTION IN THE WELDING PROCESS WITH THE ENTROPY METHOD WITHIN THE SCOPE OF MULTI-CRITERIA DECISION MAKINGS	449



# DOĞALGAZ REGÜLATÖRLERİNDE KULLANILAN MEMBRANLARDA YAPILAN İYİLEŞTİRME ÇALIŞMASI

## IMPROVEMENT WORK ON MEMBRANES USED IN NATURAL GAS REGULATORS

**Ruveyda TOSYA**

*Eska Valve A.Ş. Sakarya, Türkiye*

*ORCID ID: 0009-0009-8113-8995*

**Prof. Dr. Hüseyin PEHLİVAN**

*Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakülte, Makine Bölüm, Sakarya, Türkiye*

*ORCID ID: 0000-0003-3048-8986*

### ÖZET

Doğalgaz regülatörlerinde kullanılan membranların ticari ürünleri süresince ön görülen çalışma şartlarında verimli bir şekilde çalışmaları öngörülür. Fakat süreç içerisinde dayanım ve performans düşüşünün artışı sonucunda hurda oluşmaya başlar. Buda maliyet, süreç ve işçilik açısından işletmelerin üstesinden gelmesi gereken bir sonuç haline gelir. Bu çalışma kapsamında membran imalatında kullanılan bileşen değiştirilerek uygulanan basınç ve su testlerinde daha uygun olması ve EN549 Kauçuk standartına dayanarak belirlenen kalite ve performans testlerinde başarılı olacak membran geliştirilmesi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında EN549 Standardı gereğince yapılan testler neticesinde geliştirilen üründe 152 N'luk max kuvvete karşılık gelen 387 mm uzama miktarı, 150 MPa'lık kopma kuvveti değerleri elde edilmiştir. Yapılan bu çalışma ile geliştirilen yeni membranın muadiline göre dayanımında %22'lik artışı elde edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Regülatör, membran, sızdırmazlık elemanı.

### ABSTRACT

Membranes used in natural gas regulators are expected to operate efficiently under the anticipated operating conditions during their commercial products. However, as a result of the increase in strength and performance decrease in the process, scrap begins to form. This becomes a result that businesses have to deal with in terms of cost, process and labor. Within the scope of this study, it is aimed to develop a membrane that will be more suitable in pressure and water tests applied by changing the component used in membrane manufacturing and that will be successful in the quality and performance tests determined based on the EN549 Rubber standard. Scope of work, as a result of the tests carried out in accordance with the EN549 Standard, 387 mm elongation amount corresponding to the maximum force of 152 N and breaking force values of 150 MPa were obtained in the product developed. With this study, a 22% increase in strength was obtained compared to the equivalent of the new membrane developed.

**Keywords:** Regulator, membrane, sealing element.

### GİRİŞ

Doğalgaz regülatörlerinde sızdırmazlık elemanı olarak kullanılan membranların, uygulanan basınç ve su testlerinde kalite ve performansın azalması sonucunda hurda artışı meydana gelmektedir. Bu durum, işçilik süresi ve hurda miktarının artması gibi zorlukları beraberinde getirmektedir.

Bu bağlamda, membranların hazırlanışında kullanılan karbon malzemesinin değiştirilmesiyle dayanım ve performans üzerindeki etkisinin artırılması hedeflenmiştir. Karbon değiştirme çalışması, hem imalat sürecindeki iş yükünü azaltmayı hem de işletme kalite hassasiyetini artırmayı amaçlamaktadır.



Verimlilik artırma çalışmasında, yapılan araştırma sonuçlarına göre reçetede ki ham madde ve gramlar sabit tutularak FEF N550 siyah karbon maddesinin yerine SPHERON SOA (pure grade) siyah karbon kullanılmasına karar verilmiştir. Bu değişimle birlikte hem üretim sürecinde verimlilik artacak hem de membranların kalite ve performansı iyileştirilecektir.

Çalışmanın kapsamı, regülatörlerde kullanılan membranların ham maddesi olan karbonun FEF N550 siyah karbon yerine SPHERON SOA (pure grade) siyah karbonun kullanılmasına geçiş çalışmasını içermektedir.

Sızdırmazlık amacıyla kullanılan o-ring contalarının montaj modellemesi ve farklı basınç altında davranışlarını bilgisayar destekli analiz programı kullanarak simüle eder test eden, (S. Hakan Oka, 2005) farklı basınçlardaki gerilme dağılımı ve yüzey basınçlarını belirleyerek geliştirdiği modeller arasında sızdırmazlık elemanın davranışlarını inceleyerek güvenli çalışma şartları öngörmüştür.

Kauçuk türü malzemelerin elastik davranışlarını modelleyebilmek için birçok farklı formda şekil değiştirme fonksiyonları için literatür taraması yaparak gerçekleştiren deneysel çalışmaları. (Vahap Vahapoğlu, 2010) incelemiştir. İncelemeler sonucunda kauçuk türü malzemelerin mekanik davranışlarının belirlenmesinde, literatürde, yapılan homojen şekil değişimine sahip çekme, basma ve kayma deneylerini incelemiş ve bu yapılan deneyler neticesinde de çalışmalarını sınıflandırmıştır.

Kauçuk bazlı reçete formülasyonuna sahip 8 farklı karbon siyahı malzemeyi inceleyerek, kopma, uzama, elastik modülü ve sertlik değerleri açısından kıyaslamıştır. Tanecik boyutunun artması ile sonuçlarda meydana gelen değişimleri (A. Gasim ALTUNDAL, 2022) belirtmiştir

Farklı uzama oranlarındaki kauçuk türü malzemelerin ömürleri, malzemenin gerilme gevşemesi deneyinden elde edilen gerilme-zaman verilerini, (Uğur Mazlum, 2020) incelemiştir. İncelemeler doğrultusunda ön prosedür uygulamak malzemenin özelliklerini etkilemesi yanında malzemenin ömür değerini de etkilediği sonucuna varmıştır

EPDM kauçuk hamurunun mekanik özelliklerinde meydana gelen değişimleri incelenmiş, (Berna BOŞNAK, 2010) bunun için kauçuk üretiminde hammaddelerin karışım sıralarının değiştirilmesinin yanı sıra orijinal EPDM hamuruna farklı hammaddeler ekleyip numuneler hazırlamış ve numunelerin kopma gerilmesi, uzama, sertlik, yoğunluk ve aşınma deneylerini yapmıştır.

NR-SBR elastomer esaslı kauçuk malzemelerde kullanılan dolgu malzemelerinin mekanik özellikleri üzerindeki etkisini (ŞABAN BÜLBÜL, 2014) incelenmiştir. Kullanılan dolguların kauçuk matris içerisindeki fiziksel ve kimyasal davranışlarının belirlenmesi için ön çalışmalar yapılmıştır.

Sızdırmazlık elemanının malzemesi, geometrisi, sayısı ile mil malzemesi, yüzey pürüzlülüğü ve akma boşluğunun sızdırmazlık ömrüne etkilerini (Dede Can EVCEN, 2022) belirlenmiştir. Her bir parametrede iki düzeye sahip olacak şekilde ömür test sistemi kurulmuş ve iki adet 4500 bar kapasiteli basınç yükseltici karşılıklı olarak çalıştırılarak ömür deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Araştırmamızın sonuçlarına göre, önceden kullandığımız büyük tanecikli karbon siyahının, sızdırmazlık elemanlarında kopma ve yırtılmaya neden olduğu tespit edildi. Yapılan karbon değişimi sonucunda ise tanecik boyutunun küçültülmesiyle kopma ve yırtılma sorunları giderildi. Yeni karbon malzemesi, daha küçük tanecik boyutu sayesinde sızdırmazlık elemanlarının dayanıklılığını arttırdı. Bu durum, üretim sürecindeki hataları ve hurda miktarını azalttı.

## YÖNTEM

Öngörülen çalışma kapsamında aşağıda belirtilen yöntemler uygulanmıştır:

Mevcut reçete üzerinden karbon değiştirilerek SPHERON SOA ham maddesi kullanılmak üzere yeni bir reçete oluşturuldu. Aktif olarak kullanılan iş akışı sırası değiştirilmeden hazırlanan reçeteye göre ham maddeler ve bağlayıcı özelliklere sahip kimyasallar, kauçuk mikserine gönderilmeden önce dozajlama işlemi yapıldı ve iyileştirme çalışması için SPHERON SOA (pure grade) karbonu kullanıldı. Dozajlama işlemi tamamlandıktan sonra, ham maddeler ve kimyasallar kapalı ortamda bulunan Kneader kauçuk mikserine gönderilir. Belirli bir devir ve süre boyunca kapalı olarak karıştırılarak ham kauçuk elde edildi. Elde edilen ham kauçuk, açık ortamda bulunan silindir makinesinde pişirici kimyasalların ilavesiyle homojen bir karışım elde edilene kadar silindirleme makinasından geçirildi.

Homojen yapı elde edildikten sonra hamur makinadan alındı ve elde edilen hamur test için gerekli olan standartlar gereğince uygun plakalar hazırlandı.

Bu adımlar değiştirilmeden FEF N550 siyah karbon türü için de aynı işlem uygulanarak toplamda 2 adet numune plaka hazırlandı. Hazırlanan plakalar, kalite ve TSE onayı için EN549 standartlarına göre yapılması gereken çekme-kopma testine gönderildi. Testler sonucunda eski karbon olan FEF EN550 ve SPHERON SOA karbon arasında analiz çalışmaları yapıldı. Bu çalışma, karbon değişiminin etkisini değerlendirmek amacıyla gerçekleştirildi.

**Tablo 1.** İki farklı karbonun çekme-kopma testi sonucu değerleri

Karbon	Max Kuvvet Fmax	Max Kuvvette Uzama	Max Gerilme	Kopma Kuvveti(N)	Kopma Anında Uzama(mm)	Kopma Uzaması
FEF N550	124	341,09	10	124	346,66	462,2
SPHERON SOA	152	387,03	13	150	390,69	520,9

Tablo 1’de belirtilen çekme-kopma test raporunda; kullanılan reçetede FEF N550 siyah karbonun kopma kuvveti 124N’a dayanırken, reçetede değiştirilen SPHERON SOA siyah karbonun kopma kuvveti 150N’a çıkmıştır. Bunun sonucunda %22 oranında artış gerçekleşmiştir.

### BULGULAR

Fabrikada üretilen membranlar genellikle 1,5-4 bar basınç değerleri arasında çalışmaktadır. Bu nedenle ürünlerde oluşabilecek maksimum dayanım sağlaması gerekmektedir.

İyileştirme çalışması öncesinde sızdırmazlık elemanı olarak kullanılan membran reçetelerinde karbon malzemesi olarak FEF N550 kullanılmaktadır. Kullanılan bu karbon, içerisinde gözle görülebilir küçük partikül yapıya sahiptir. Partiküller, membran üretimi sırasında bir sorun teşkil etmezken membranlar için uygulanan fonksiyonel testler olan basınç ve su testinde membranlarda deformasyondan kaynaklı problemlerin çıkmasına sebep olmuştur. Şekil 1’de de görüldüğü üzere deformasyon kaynaklı membranlardaki hatalar yer almaktadır.

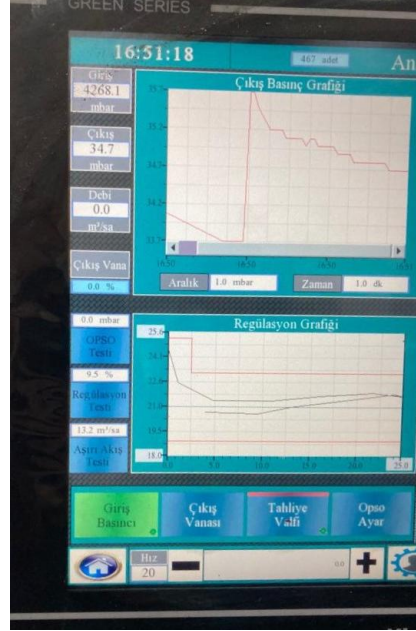


**Şekil 1.** Deforme olmuş membranlar



Şekil 2. Membran deformasyonundan kaynaklı gaz kaçağı

Su testi, sızdırmazlığı kontrol etmek için kullanılan bir yöntemdir. Bu test, tasarım ve üretim aşamasında kalite kontrolünün bir parçası olarak uygulanır. Su testi, ürünleri 4268,1 mBar giriş basıncına maruz bırakılarak su geçirmezliklerinin kontrol edilmesini sağlar. Su testi sonuçları, ürünlerin sızdırmazlık performansını değerlendirmek ve gerekli düzeltici önlemleri almak için kullanılır. Şekil 2’de membran hatasından kaynaklı gaz kaçaqları görülmektedir. Bu test sonuçlarına göre, gerektiğinde ürünlerin sızdırmazlık elemanlarının değiştirilmesi gibi işlemler gerçekleştirilmektedir.



Şekil 3. Fonksiyon test grafiği

Fonksiyon testi ilgili ürünün çalışma şartlarındaki karakterini görebilmek için uygulanmaktadır.

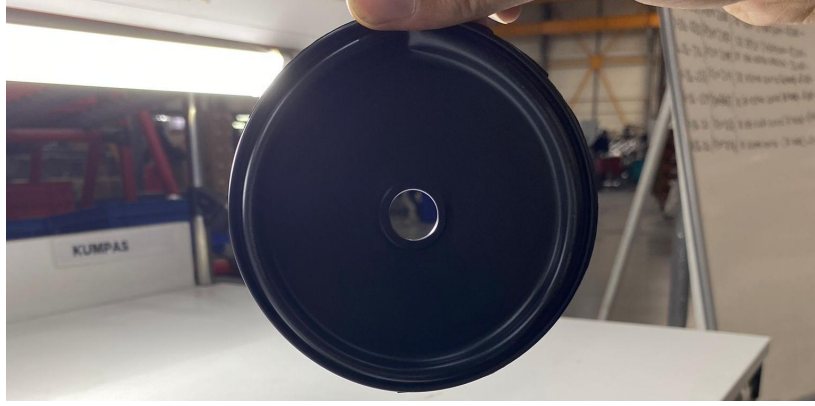
Fonksiyon test düzeneğinde test şartları şöyledir;

- Giriş Basıncı: 4268,1 mbar,
- Çıkış Basıncı: 34,7 mbar,
- Test Süresi: 58 s,



Test Sonucunda elde edilen grafik Şekil 3'te verilmiştir. Grafikte görüldüğü üzere membran deformasyonundan kaynaklı üren dış kaçak yapmaktadır. Bu sebepten histeresizlik grafiği incelendiğinde grafik zaman-basınç grafiği yukarı yönde artış göstermektedir.

İyileştirme çalışması için kullanılan SPHERON SOA karbon partikülsüz ve tamamen saf bir yapıya sahiptir. SPHERON SOA karbonu kullanılarak üretilen membranlarda uygulanan fonksiyonel testlerde deformeden kaynaklı problemler oluşmamıştır.



Şekil 4. Deforme olmamış membran

Bu durum, değiştirilen SPHERON SOA karbonun saf ve partikülsüz yapısı membran kalitesi üzerinde olumlu bir etkisi olduğunu ve hataların ortadan kalmasını sağlamıştır. Şekil 4'te görüldüğü gibi membranlarda herhangi bir deformasyon oluşmamıştır.

#### TARTIŞMA VE SONUÇ

Kauçuk endüstrisi, sürdürülebilirlik hedeflerine uygun olarak faaliyet göstermek zorundadır. Yeni tercih ettiğimiz karbon siyahı sayesinde yırtılma ve kopma gibi gaz kaçağına sebebiyet veren sorunlar ortadan kalkmıştır. Bunun sonucunda yeniden üretim için gerekli olan ham madde ve enerji tüketimleri olmamaktadır, dolaylı olarak bu çalışma sonucunda kauçuk üretiminden kaynaklı olumsuz çevre etkileri ortadan kaldırılmıştır.

Yeni üretim hammaddesi sayesinde üretim sonucu ortaya çıkan hatalı ürün sayısında düşüşler gözlemlenmiştir ve firma içi iç kalite oranında iyileşmeler görülmüştür. İyileştirme çalışması öncesinde hata sayısı haftalık 1000 adet iken, geliştirilen yeni reçete sonucunda üretilen membranlarda haftalık hurda sayısı 20 adete kadar düşüş sağlamıştır. Bu etkilerin neticesinde bir ürün için hesaplanan maliyet düşürülerek ürün başı kar miktarı %70 oranında artırılmıştır. Ayrıca, membranların imalatı esnasında oluşabilecek delinme/yırtılma miktarında da %90 oranında bir azalma olmuştur.

Sızdırmazlık ürünleri üreten firmalar makaleye konu olan karbon siyahını tercih ederek ürünlerinin performans değerlerini ve kaliteyi artırarak ürün üretim maliyetini de olumlu sonuçlar elde edebilirler.

#### KAYNAKLAR

Berna BOŞNAK, (2010), Kauçuktan Yarı Mamül Üretim Teknolojileri, Yıldız Teknik Üniversitesi

Dede Can EVCEN (2022), Yüksek Basınç Altında Çalışan Sızdırmazlık Elemanlarının Ömürlerinin Belirlenmesi, Konya Teknik Üniversitesi

Gasim ALTUNDAL, (2022), S-SBR (Solution Stiren Bütadien Kauçuk) Bazlı Kauçuk Karışımlarına Farklı Karbon Siyahlarının Etkisi, Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 10, 1865-1872

S. Hakan Oka, (2005), Sızdırmazlık elemanlarının montajı ve yüksek basınç altındaki davranışlarının incelenmesi, IV. Ulusal Hidrolik Pnömatik Kongresi

Şaban BÜLBÜL, (2014), Farklı İnorganik ve Organik Dolguların NR/SBR Tipi Elastomer Malzemelerin Mekanik Özellikleri Üzerindeki Etkisi, Karabük Üniversitesi



Uğur Mazlum, (2020), SBR, NBR, NR ve EPDM Sentetik Kauçuk Türlerinin Normalize Edilmiş Gerilme Gevşemesi Davranışları, DEÜ FMD 22(66), 965-973

Vahap VAHAPOĞLU (2010), Kauçuk Türü Malzemeler: Şekil Değişirme Hızı Etkileri, Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 16, Sayı 3, Sayfa 265-281



## HOME VISION AI BASED HOUSE PRICE FORECASTING

**Mohd Faizaanuddin<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Chaitanya Bharathi Institute of Technology (Osmania University), Student, Department of Artificial Intelligence and Data Science, Hyderabad, Telangana, India.*

**Afrah Fathima<sup>2</sup>**

<sup>2</sup>*Maulana Azad National Urdu University, Hyderabad, Assistant Professor, Department of CS & IT, Hyderabad, Telangana, India.*

**Mohammed Affanuddin<sup>3</sup>**

<sup>3</sup>*Lords Institute of Technology, Student, Department of Computer Science, Hyderabad, Telangana, India.*

### ABSTRACT

Real estate is a popular investment option, and knowing the value of a property is crucial in making informed investment decisions. Investors need to know the current market value of a property, to determine if it is a good investment opportunity. We have proposed a Machine Learning model that predicts the price of properties in Bangalore. The four most important parameter's location, square feet's, number of rooms and number of bathrooms are used as an input to predict the price. The main purpose of this research is to determine the price of the house without going and enquiring physically. Two regression models have been used for this purpose.

**Keywords:** Machine Learning, Real estate.

### I. INTRODUCTION

House is a fundamental human need that is necessary for survival, just like food, water, and other basic necessities. As people's living standards have improved, the demand for houses has grown rapidly over the years. While some individuals purchase houses as investments and properties, most people around the world buy houses as their homes or as a source of income. In today's digital age, people use the internet to plan their lives, such as finding places of interest, looking for restaurants, renting hotels, and even renting out their own homes. Factors such as bedrooms, bathrooms, square footage, and location are considered when predicting house prices. The aim of this study is to determine the accurate price by comparing errors between various algorithms. The increasing demand for houses every year leads to rising house prices. However, variables such as location and property demand can have a significant impact on house prices, making it necessary for investors, buyers, developers, and the real estate industry to understand the specific factors that influence house prices. Multiple prediction models (Machine Learning Model) can be used to predict house prices.

Recent years have witnessed an increase in real estate studies due to the development of machine learning techniques and the availability of large amounts of data. Researchers use statistical learning methods to explore the housing market, and there is a variety of studies in this field.

Manasa and Gupta [1] conducted a case study in Bengaluru, where they examined how the size of a property in square feet, its location, and its facilities impact its cost. They analyzed nine different attributes and employed various experimental methods.

Luo [2] proposes that studies on residential asset prices have primarily focused on macroeconomic factors, but it is also essential to consider micro characteristics such as lot size and pool size as features for estimating house prices. In this research, machine learning methods were utilized to predict asset pricing. All regression models resulted in an R-squared value greater than 0.9.



Panjali and Vani [3] emphasize the importance of forecasting the resale price of a house over the long-term, particularly for individuals who plan to reside in it for a significant period before selling it or for those who want to minimize risks while constructing the dwelling. The authors employ various classification methods to determine the house's resale value. They also apply the AdaBoost technique to strengthen weak learners. The resale price of a house is influenced by its physical characteristics, location, and numerous economic factors prevailing at the time. The authors measure performance accuracy across different datasets and identify the optimal approach for sellers to anticipate the resale price.

Sawant and Jangid [4] report that India's housing market is expected to grow at a rate of 30-35 percent over the next decade, making it the second-largest job creator after the agriculture industry. Pune is an attractive location for real estate investment. However, the inconsistency in housing valuation poses a challenge for house buyers, who need to arrive at an estimated price that is a win-win for both the seller and the buyer. This ensures that the price is neither overestimated nor underestimated. To achieve this, the authors select various features from the set of features as input and employ algorithms such as Decision Tree and bagging techniques such as Random Forest.

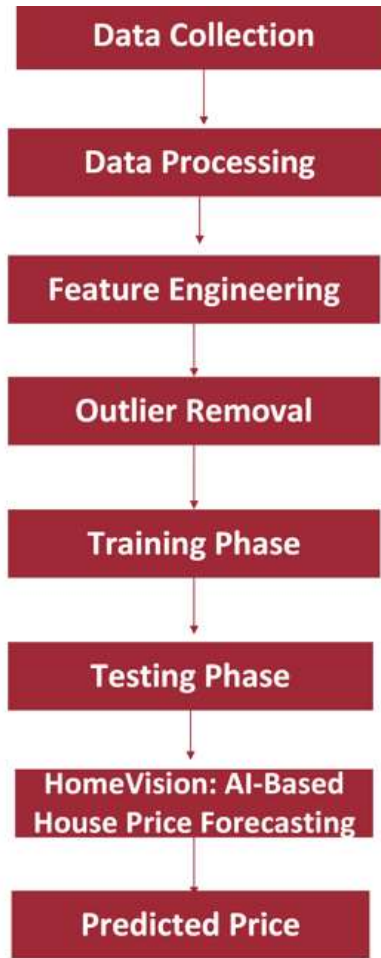
Lim et al. [6] conducted a study to compare the performance of the multilayer perceptron (ANN) model with the autoregressive integrated moving average (ARIMA) model in predicting the Singapore housing market. The authors used the more superior model to anticipate potential condominium price indexes, which is the Consumer Price Index (CPI). The ANN model's lower mean square error (MSE) demonstrated its superiority over all other prediction models.

Piao et al. [7] discovered that determining the factors that impact residential real estate prices is complex, and the identification of useful features is unclear, resulting in decreased accuracy in many traditional home price prediction systems. As a solution, the authors propose a novel CNN-based prediction model for house value prediction, coupled with a feature selection procedure. The study demonstrates better results in comparison to other traditional methodologies through tests that utilize real-world property transaction details.

The method proposed by Dharwadkar and Arage [8] demonstrated superior performance compared to three previous methods. The authors employed a different approach, utilizing the scheduled rates of construction projects from the past 12 years to predict project cost using the ordinary least squares regression (OLSR) and multilayer perceptron (MLP) techniques. The MLP technique achieved the best accuracy, ranging from 91% to 98%.

Wang et al. [5] assert that studies that fail to consider all factors that influence property values yield inaccurate prediction results. Therefore, to improve the accuracy of house price prediction, the authors propose a full circle joint self-attention model. The model utilizes satellite imagery to evaluate the surrounding environment of the residential area and input information about public facilities such as parks, schools, and BRT stops to depict amenities. The method employs attention mechanisms, commonly used in image, speech, and language processing, to identify critical features that potential home buyers evaluate. When fed with transaction data, the model automatically applies weights. The proposed model distinguishes itself from self-attention models by considering the interrelationship between two different parameters, thereby learning the complex relationship between them and enhancing prediction accuracy.

## II. METHODOLOGY



**Figure 1:** Architecture of Model

### Data Collection

The data has been gathered from Kaggle which has features of various houses which are present in Bangalore.

```
In [4]: data.shape
Out[4]: (13320, 9)
```

**Figure 2:** Size of Data

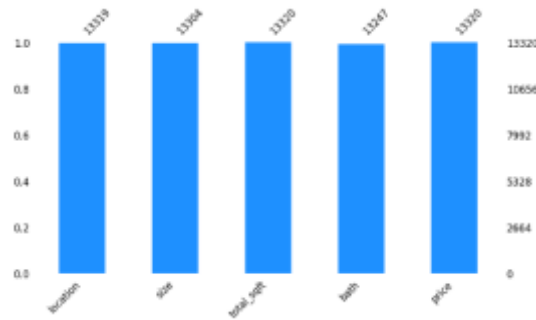
S.no	Attributes
1	Area type
2	Availability
3	Location
4	Size
5	Society
6	Total Square feet's
7	Number of bathrooms
8	Number of balconies
9	Price

**Figure 3:** Attributes of Dataset



## Data Pre-processing

- The Features that are not of importance which don't play great role in the price of house are dropped.
- As null values reduce the effectiveness of the system.
- In this step the null values have been checked, and 74 null values were found, and they were dropped
- The Features that are not of importance which don't play great role in the price of house are dropped.
- One hot encoding has been used for the Location feature as it helps to represent categorical variables in numerical form.



**Figure 4:** Checking null values using missingno library.

## Feature Engineering

- A new column named as 'bhk' has been created which represents the number of rooms.
- Another column named as 'Price per S.ft' has been created which represents the price per square feet.

## Outlier Removal

- Outliers are the values in the dataset that differ a lot from other values.
- The presence of the outliers in data can lead to inaccurate predictions that is why we have identified and removed the outliers.
- Outliers have been removed using standard deviation.

## Training Phase

- Eighty percent of the dataset have been used for training the models.
- We have used two Machine Learning models:
- Linear Regression
- Lasso Regression

### Linear Regression:

- Linear Regression is a supervised learning-based machine learning algorithm that is primarily used to perform regression tasks.
- Linear regression is referred to as such because it exhibits a linear relationship between a dependent variable (y) and one or more independent variables (x).
- This algorithm determines how the dependent variable changes as a function of the independent variable by modelling the relationship using a linear equation.



- The relationship between the variables can be represented by a straight line with a slope in the linear regression model.

#### Lasso Regression:

- Lasso Regression is a linear regression approach that uses regularization methods to prevent overfitting and enhance prediction accuracy.
- This is achieved by introducing a penalty term into the cost function, which reduces the coefficients of less significant features towards zero, effectively eliminating them from the model.
- As a result, Lasso Regression only identifies the most critical variables for prediction, making it a valuable technique for tasks involving feature selection and variable reduction.

#### Testing Phase

- Twenty percent of the dataset have been used for testing the models.
- Four parameters named as location, square feet, number of bedrooms and bathrooms have been used to determine the price of the houses.

### III. RESULTS AND DISCUSSION

The proposed work has been evaluated based upon accuracy percentage. We can observe that Linear regression has shown better accuracy than Lasso regression.

S.NO	Model	Accuracy (%)
1	Linear Regression	85
2	Lasso Regression	72

**Table 1:** Comparison of Accuracy of the models

```
In [74]: a=predict_price('1st Phase JP Nagar',1000, 1, 2)|
format_a = "{:.2f}".format(a)
print("Estimated Price",format_a)

Estimated Price 80.15
```

**Figure 5:** Input and Output of the Project

#### CONCLUSION

In order to sell or buy real estate property accurate estimation of house prices is necessary. In this research paper we have used two machine learning models named as Linear regression and Lasso regression to build a House price predictor which can predict the prices of the houses located in Bangalore city. Linear regression has shown the highest accuracy which is 85 percent.

#### References

[1] J. Manasa, R. Gupta, and N. Narahari, "Machine learning based predicting house prices using regression techniques," in 2020 2nd International conference on innovative mechanisms for industry applications (ICIMIA). IEEE, 2020, pp. 624–630.

[2] Y. Luo, "Residential asset pricing prediction using machine learning," in 2019 International Conference on Economic Management and Model Engineering (ICEMME). IEEE, 2019, pp. 193–198.

[3] P. Durganjali and M. V. Pujitha, "House resale price prediction using classification algorithms," in 2019 International Conference on Smart Structures and Systems (ICSSS). IEEE, 2019, pp. 1–4.



- [4] R. Sawant, Y. Jangid, T. Tiwari, S. Jain, and A. Gupta, "Comprehensive analysis of housing price prediction in pune using multi-featured random forest approach," in 2018 Fourth International Conference on Computing Communication Control and Automation (ICCUBEA). IEEE, 2018, pp. 1–5.
- [5] P.-Y. Wang, C.-T. Chen, J.-W. Su, T.-Y. Wang, and S.-H. Huang, "Deep learning model for house price prediction using heterogeneous data analysis along with joint self-attention mechanism," IEEE Access, vol. 9, pp. 55 244–55 259, 2021
- [6] W. T. Lim, L. Wang, Y. Wang, and Q. Chang, "Housing price prediction using neural networks," in 2016 12th International conference on natural computation, fuzzy systems and knowledge discovery (ICNC-FSKD). IEEE, 2016, pp. 518–522. [7] Y. Piao, A. Chen, and Z. Shang, "Housing price prediction based on cnn," in 2019 9th international conference on information science and technology (ICIST). IEEE, 2019, pp. 491–495
- [7] Y. Piao, A. Chen, and Z. Shang, "Housing price prediction based on cnn," in 2019 9th international conference on information science and technology (ICIST). IEEE, 2019, pp. 491–495.
- [8] N. V. Dharwadkar and S. S. Arage, "Prediction and estimation of civil construction cost using linear regression and neural network," International Journal of Intelligent Systems Design and Computing, vol. 2, no. 1, pp. 28–44, 2018.





## DISPERSION CHARACTERIZATION OF OPTICAL FIBER IMPAIRMENTS IMPACT ON SINGLE MODE OPTICAL FIBER COMMUNICATION SYSTEMS

**Sani Abdullahi Muhammad**

*Kano State Polytechnic, School of Technology, Department of Electrical & Electronics Engineering, Kano State, Nigeria*

*ORCID ID:0000-0003-0178-5623*

**Ishaq Bala Adam**

*Kano State Polytechnic, School of Technology, Department of Mechanical Engineering, Kano State, Nigeria*

**Sani Ahmad Muhammad**

*Kano State Polytechnic, School of Technology, Department of Computer Science, Kano State, Nigeria*

**Sani Sale Yakubu**

*Kano State Polytechnic, Kano State Institute of Information Technology, Department of Computer Engineering, Kano State, Nigeria*

**Umar Alhassan Umar**

*Kano State Polytechnic, Kano State Institute of Information Technology, Department of Computer Science, Kano State, Nigeria*

### ABSTRACT

The single mode fiber (SMF) is a dielectric cylinder waveguide, made out of silica ( $\text{SiO}_2$ ) glass, whose guiding properties are based on the total internal reflection principle. Propagation of light inside an SMF is subjected to linear and nonlinear effects that have to be considered together to define an accurate fiber channel model. In optical networks chromatic dispersion (CD) is one of the main obstacles in high-speed transmission. Pulse spreading due to the dispersion causes the overlapping of the transmitted pulses at the receiver end known as inter symbol interference (ISI). To reduce the dispersion and to improve the overall performance of this optical networks system, Dispersion Compensation Fiber and optical fiber amplifier dispersion compensation techniques are enacted on this proposed optical network system. In this paper the description of the impact of optical fiber impairments on quality of optical fiber transmission systems had been demonstrated analytically and verified numerically with simulation results.

**Keywords:** Optical fiber communication, Dispersion, Dispersion Compensation fiber (DCF). Single mode fiber (SMF), intersymbol interference (ISI)

### 1. Aim and Objectives

The aim of this research project is to investigate the effect of chromatic dispersion and to discuss how it cause dispersion on input signals. The aim of the research will be achieved through the following objectives:

- i. To characterized the impairments of the optical fiber transmission using analytical model and numerical simulations using MATLAB software.
- ii. To study the response of single mode fiber to input signal to see its effectiveness in measuring system performance in the presence of attenuation and dispersion.

- iii. To setup, simulate and validate the dispersion compensation fiber technique by using Optisystem software.
- iv. To analyze the result, obtain from the simulation.

## 2. Methods

Dispersion compensating fibers (DCFs) are important elements in today's optical fiber transmission systems; they are used to compensate fiber dispersion which is no longer tolerable by the system after some transmission length. This chapter presents the mathematical model of an optical pulse propagating in a single mode optical fiber communication system which is obtained from the nonlinear Schrodinger equation (NLSE). It was discussed that linear distortions such as chromatic dispersion and attenuation can be eliminated to recover the input pulse at the receiver by using the dispersion compensation fiber. The pulse envelope in time  $t$  at the spatial position  $z$ ,  $A(z,t)$  propagating from transmitting to the receiving end of an optical fiber communication system is described by the non-linear Schrodinger as in equation 3.2

$$\frac{\partial}{\partial z} A(z,t) = -\frac{\alpha}{2} A(z,t) - \beta_1 \frac{\partial}{\partial t} A(z,t) - i \frac{\beta_2}{2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} A(z,t) + \frac{\beta_3}{6} \frac{\partial^3}{\partial t^3} A(z,t) - i\gamma |A(z,t)|^2 A(z,t) + i\gamma T_R |A(z,t)|^2 A(z,t) - \frac{\gamma}{\omega_0} |A(z,t)|^2 A(z,t) \quad (3.2)$$

## 3. Results

The input signals are the signals that will be transmitted through the fiber link, or the output signals of the light sources. These signals are converted in to a shape that the computer can deal with it. So, the input signal must first be represented in the form of a numeric array. The array contains samples of the amplitude profile at  $N$  equally spaced points. The sampling resolution must be fine enough to resolve all spatial features of the amplitude profile, at the same time it must be sparse enough to allow reasonable processing speed on a computer. The type of pulse that was used in the simulation is a Gaussian pulse. The Gaussian pulse is used because the optical sources have a distribution of power with wavelength that is approximately Gaussian distribution in form, pulse at 180km SMF

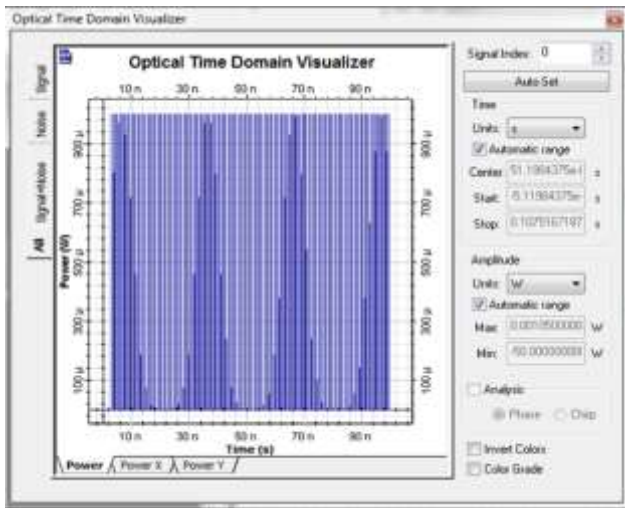


fig 1.0 initial Gaussian pulse

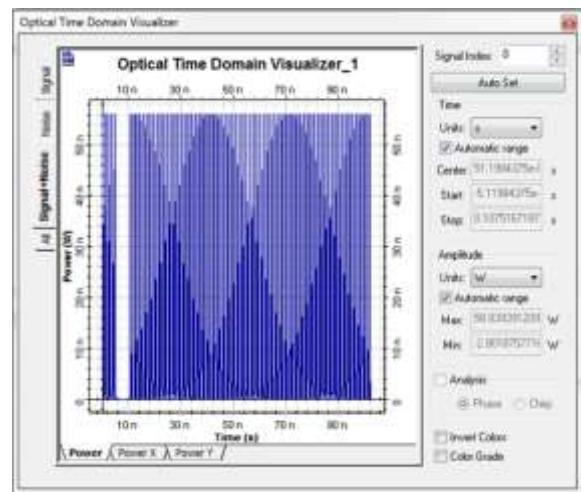


Fig. 1.2 Dispersion and attenuation effect

## 4.0 Conclusion

The results indicate that the linear effects of chromatic dispersion and attenuation increases with increasing the distance along the fiber optic length. As the input signal propagates degradation occur due to these effects and eventually lead to detection problem. Therefore at certain distances, there is need for dispersion compensation system to overcome such signal distortions.



## REFERENCES

- Abu Aloff, N.M. (2014). Coherent OFDM for Optical Communication systems, Master's thesis, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, The Islamic University Gaza
- Ahmed, I. Shames, Z. and Md, S. (2013). Performance of Signal in Dispersion Managed Quasi Linear High Bit Rate Optical Transmission System. *IEEE 11th International Conference on Communications, Malaysia*.
- Agrawal, G. P. (2010). *Fiber-Optic Communication Systems. 4th edition*, John Wiley & Sons, Inc, New York.
- Agrawal, G.P. (2013). *Nonlinear Fiber-Optic. 5th edition, Optics and Photonics, Academic Press*
- Alla, A. K. Baydaa, F. D. and Xiquan, F. (2014). Achieving Optical Fiber Communication Experiments by OptiSystem. *International Journal of Computer Science and Mobile Computing*, Vol.3 Issue.6, pg. 42-53
- Arora, O. and Garg, A. K. (2012). Dispersion compensation for High speed optical Networks. *MIT International journal of electronic and communication Engineering Vol. 2, No. 1, 1-4*.



## U.S. BANKNOTES RECOGNITION BY SURF FEATURES

*Mashar Cenk GENÇAL*

*Assistant Professor, Ardahan University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, Ardahan, Turkey.*

*ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1317-3950>*

### ABSTRACT

With the advancement of technology, great progress has been made in the studies on artificial intelligence, which has led to innovations in the use of computer vision for recognition an object. However, technological developments have also led to a change in the tricks that can be made on money. These tricks made it insufficient to manually or visually check whether a banknote is counterfeit; therefore, systems that could control banknotes have been needed. Furthermore, the recognition of the currencies used in commercial transactions by a system is great importance as it will enable the existing monetary transactions to take a shorter time. For these reasons, studies on banknote recognition processes have become important. Nowadays, most of works that have been done in the area of banknote recognition are based on machine learning approaches or computer vision approaches, especially Scale Invariant Feature Transform (SIFT) and Speeded-up Robust Features (SURF). In this paper, the algorithm, we have developed, utilizes SURF method to recognize American banknotes in a photograph. The algorithm detects different banknotes in the photo and shares the total amount with the user. To test the success of the algorithm, it has been examined under the different cases: only one banknote, more than one banknotes, overlapping banknotes and a folded banknote. According to the obtained results, the algorithm have detected banknotes and showed total amount of money in the photos correctly. Thus, it is obvious to say that the algorithm produces adequate results in terms of performance.

**Keywords:** Banknote recognition, computer vision, SURF

### INTRODUCTION

Money has long been used as a physical medium of exchange for goods and services. This trading method outperformed previously used trading methods such as barter due to many factors; ease of use, availability of common measure and value unit.

On the other hand, the development of artificial intelligence methods together with technological developments has led to the necessity of recognizing the currencies used in commercial transactions. However, the methods of tricks that can be made on money have also adjusted with the advancement of technology. These tricks made it insufficient to manually or visually check whether a banknote is counterfeit; therefore, systems that could control banknotes have been needed. Thus, studies in the field of money recognition systems have gained importance in the literature of banknote recognition.

In the literature, most of the works on money recognition systems consist of machine learning approaches and computer vision approaches:

One of the first method that utilizes a machine learning approach is (Takeda, F., Onami, S., Kadono, T., Terada, K., & Omatu, 1994). In this paper, an algorithm based on a Neural Network (NN) approach is operated. Moreover, it may be the first paper that recognizes Turkish banknotes is (Sevкли, Turkyilmaz, & Aksoy, 2002). They uses the inductive learning algorithm for the recognition. Furthermore, Masato et.al employ two different types of NN to identify Euro banknotes (Aoba, Kikuchi, & Takefuji, 2003); a three-layer perceptron for the classification and Radial Basis Function (RBF) networks for the validation. Park et.al. utilize an hierarchial recognition algorithm, which uses a K-mean algorithm and a Support Vector Machine (SVM), to identify United States Dollar (USD) (Park et al., 2015). In recent years, for the visually impaired people, an machine learning method that controls whether a banknote is Hong Kong dollar or not is employed (Ng, Kwok, Chung, Leung, & Pang, 2020).



Toytman and Jonathan (Toytman & Thambidurai, 2011) and Hasanuzzaman et al. (Hasanuzzaman, Yang, & Tian, 2012) both utilize Speed-up Robust Feature (SURF) in their money recognition systems. They have focused especially on developing a system that can help visually impaired people recognize coins. In both studies, tests were conducted in different conditions such as lightness and wrinkling while performing the money recognition process, and they claimed that they achieved more successful results than their previous studies. In addition, Scale Invariant Feature Transform (SIFT) method is operated to identified Jordanian currency (Abu Doush & AL-Btoush, 2017). In this paper, by mobile recognition system using a smartphone, both banknotes and coins are identified owing to SIFT features.

The most important advantages of computer vision-based banknote recognition systems are that they do not require the complex, mechanical and electronic equipment that exist in other systems, and with light mobile applications that can be developed, the recognition can be performed using mobile devices.

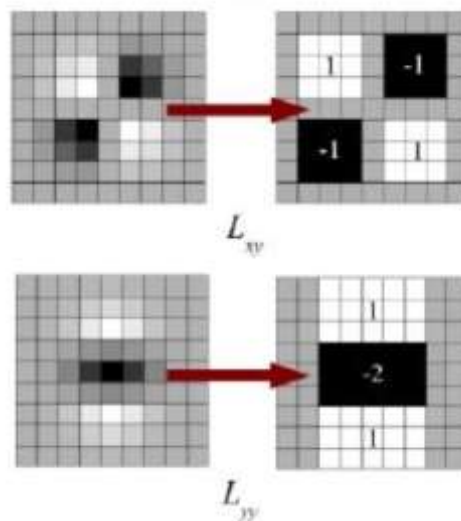
The recognition system we have used identifies and classifies banknotes in a given photograph by using the SURF method. The system was tested under different conditions, and it presents adequate results in terms of performance.

### SPEED-UP ROBUST FEATURE (SURF)

SURF, which is inspired by SIFT, was presented by Herbert in 2006 (Bay, Tuytelaars, & Van Gool, 2006). It is a feature descriptor and detector that can be utilized in real time application such as object recognition, image registration and classification. The algorithm consist of two main steps; feature detection and feature descriptor.

#### Feature Detection

The process starts by finding the keypoints (points of interest). To do this, the given image is filtered at different scales. However, unlike the SIFT method, the Gaussian filter is applied together with the box filtering method, see Fig. 1. Moreover, the determinant of the Hessian matrix is used to measure the local variation around the point and determine the required scale (Bay et al., 2006).



**Fig. 1:** Box filtering

For the representation of scale spaces, box filters of different sizes are applied in SURF. In other methods, the scale area is analyzed by iteratively reducing the image size as if it were going from up to the bottom of the pyramid. Conversely, in SURF algorithm, the up-scaling filter method is applied as if it were going from the top to the bottom (the pyramid is analyzed in reverse).

#### Feature Descriptor

In this step, one or more orientations are assigned to each key point based on the slope direction in the local image. In this blurred image by applying a Gaussian and box filter, the magnitude and direction of



the slope is checked for each pixel in the neighboring region around the key points. To perform this operation, Haar-wavelet responses in x and y-direction are employed (Bay et al., 2006).

## PROPOSED METHOD

The proposed method detects the banknotes present in a given photo by looking at the part showing its value and the person on it. First, by applying the Hough transform to the given photo, the rectangular shapes that exist in the photo are determined. Then, using the SURF method, the existing regional features in the photo and the samples in the training set are compared with the assistance of keypoint descriptors, and the recognition process is completed according to the sample with the most correct match.

### Hough Transform

The Hough transform is a method used to specify any shape that exists in a given image. In this method, the information is collected in a table with the help of the voting method, by using the attributes of each pixel that indicates the characteristics of the location (in terms of size and degree). The collected information show where the shape in the photo is. In this paper, Hough transform is operated to determine the rectangular shapes in the photos.

### Training Set

One of the important parts of the method is to select the appropriate training set. Assuming that the middle part of the banknote and the parts that indicate the value of the banknote are sufficient to recognize the money, a training was created set by taking the middle parts of the banknote instead of the whole banknote, shown in Fig. 2.

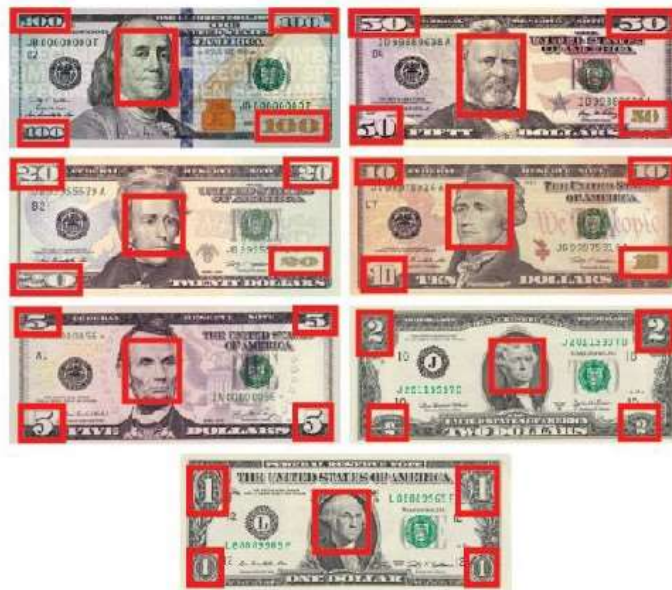
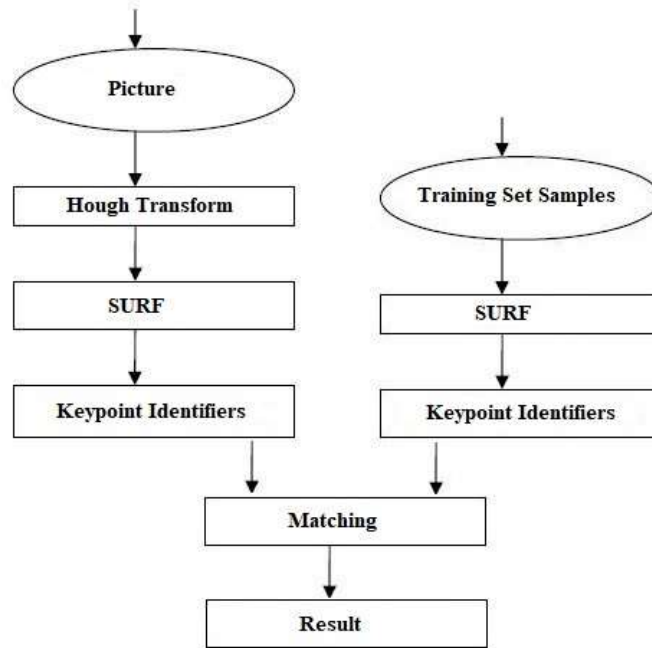


Fig.2: Training set samples

### Matching by SURF

With the support of the SURF method, the keypoints in the photo and the identifiers of these points are determined. The same process is applied to all elements in the training set. Matching is made by comparing the identifiers in the photo with the identifiers of the training set elements, see Fig. 3. As a result of this matching, the method tells whether there is banknote in the photo, how many dollars if any, and shares the total amount.



**Fig. 3:** The proposed method



**Fig. 4:** Detecting variety of single banknotes

## EXPERIMENTS AND RESULTS

C++ programming language was implemented to create the proposed method. It has also benefited the openCV library to apply computer vision techniques.



Furthermore, all photos used in this paper were obtained using a phone camera. On the other hand, the method only detects the front side of the banknotes as the front side gives more clues about what money is. Hence, the back side of the banknote is not been detected as a part of the testing.



**Fig. 5:** Detecting separated banknotes

In order to test the performance of the algorithm, it has been examined under the different cases; only one banknote, more than one banknotes, overlapping banknotes and a folded banknote.



**Fig. 6:** Overlapping banknotes

It is clearly the easiest cases to test the algorithm with single banknotes which are in the middle of the photo. As expected, the algorithm produced the right total in each time, shown in Fig. 4.

After this test, the algorithm was examined where there are more than one banknote in the photo, see Fig. 5. The algorithm presents that the total value in the photo is \$7 which is correct amount.

Finally, the algorithm was tested in the photos having overlapping or folded banknotes. Fig. 6 demonstrates that the algorithm accurately recognized the middle part of the banknotes; therefore it returns the exact value as an output, which is \$106. However, in Fig. 7, although the algorithm wasn't able to identify the searched areas; the middle part of the banknote and the parts that indicate the value of the banknote, it still offers correct total amount of money, which is \$1.





**Fig. 7:** Folded the banknote

## CONCLUSION

The proposed algorithm recognizes U.S. banknotes in a given photograph using the SURF method. While performing this application, care has been taken to ensure that the banknote were used in the test photos and the banknote in the training set are in the same conditions.

The algorithm was tested under different cases; only one banknote, more than one banknotes, overlapping banknotes and a folded banknote. Based on the obtained results, it presents satisfactory results in terms of performance.

As a future work, the success of the algorithm in recognizing not only the front but also the back of the banknote will be tested.

## REFERENCES

- Abu Doush, I., & AL-Btoush, S. (2017). Currency recognition using a smartphone: Comparison between color SIFT and gray scale SIFT algorithms. *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, 29(4), 484–492. <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2016.06.003>
- Aoba, M., Kikuchi, T., & Takefuji, Y. (2003). Euro banknote recognition system using a three-layered perceptron and RBF networks. *IPSJ Trans. Math. Model. Appl*, 44(May), 99–109.
- Bay, H., Tuytelaars, T., & Van Gool, L. (2006). SURF: Speeded up robust features. *Lecture Notes in Computer Science*, 3951 LNCS(3), 404–417. [https://doi.org/10.1007/11744023\\_32](https://doi.org/10.1007/11744023_32)
- Hasanuzzaman, F. M., Yang, X., & Tian, Y. (2012). Robust and effective component-based banknote recognition for the blind. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics Part C: Applications and Reviews*, 42(6), 1021–1030. <https://doi.org/10.1109/TSMCC.2011.2178120>
- Ng, S. C., Kwok, C. P., Chung, S. H., Leung, Y. Y., & Pang, H. S. (2020). An Intelligent Banknote Recognition System by using Machine Learning with Assistive Technology for Visually Impaired People. *10th International Conference on Information Science and Technology, ICIST 2020*, 185–193. <https://doi.org/10.1109/ICIST49303.2020.9202087>
- Park, Y. H., Kwon, S. Y., Pham, T. D., Park, K. R., Jeong, D. S., & Yoon, S. (2015). A high performance banknote recognition system based on a one-dimensional visible light line sensor. *Sensors (Switzerland)*, 15(6), 14093–14115. <https://doi.org/10.3390/s150614093>
- Sevkli, M., Turkyilmaz, A., & Aksoy, M. S. (2002). Banknote recognition using inductive learning. *Int. Conf. On Fuzzy Syst. And Soft Computational Intelligence in Management and Industrial Eng., FSSCIMIE*, 2(January), 122–128.
- Takeda, F., Onami, S., Kadono, T., Terada, K., & Omatu, S. (1994). A Paper Currency Recognition Method by a Small Size Neural Network with Optimized Masks by GA. *1994 IEEE International Conference on Neural Networks (ICNN'94)*, 7, 4243–4246.
- Toytman, I., & Thambidurai, J. (2011). *Banknote recognition on Android platform*. Retrieved from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?rep=rep1&type=pdf&doi=10.1.1.208.3502>



## PREDICTION OF BRAIN TUMOR FROM MAGNETIC RESONANCE IMAGES USING CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK

**Rukiye UZUN ARSLAN**<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Zonguldak Bulent Ecevit University, Faculty of Engineering, Department of Electrical-Electronics Engineering, Zonguldak, Turkey.

<sup>1</sup>ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2082-8695>

**Ceren KAYA**<sup>2,\*</sup>

<sup>2</sup>Zonguldak Bulent Ecevit University, Faculty of Engineering, Department of Biomedical Engineering, Zonguldak, Turkey.

<sup>2</sup>ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1970-2833>

**İrem ŞENYER YAPICI**<sup>3</sup>

<sup>3</sup>Zonguldak Bulent Ecevit University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, Zonguldak, Turkey.

<sup>3</sup>ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0655-340X>

### ABSTRACT

According to the report published by the World Health Organization, cancers originating from brain tumors are among the most common types of cancer worldwide. Therefore, an accurate and rapid diagnosis of brain tumors is of great importance in the selection of an appropriate treatment method and thus increasing the survival rate. In clinical environment, specialized doctors or radiologists commonly utilize magnetic resonance imaging technique due to its many advantages for detection of brain tumors. Deep learning approaches lately gained more popularity have been started to use for diagnosing disease using medical images. In this study, classification of brain tumors as glioma, meningioma, pituitary, and normal from magnetic resonance images has been investigated in relation to the impact of batch sizes on DenseNet121 convolutional neural network, one of the deep learning architectures. In this context, different batch sizes (4, 8, and 16), shear (0.1) and zoom (0.1) ranges have been used. According to the experimental findings, average classification accuracy of DenseNet121 model for four classes, when batch size = 16 (99.50%) has exceeded the results obtained from other batch sizes (batch size = 4 (99.43%) and batch size = 8 (99.43%)).

**Keywords:** Brain Tumor, Magnetic Resonance Images, Classification, Deep Learning, DenseNet121

### INTRODUCTION

Brain plays an important role for central nervous system, which controls all vital functions of human (such as thinking, moving, speaking, senses, writing, learning, gathering information) via a large number of interconnected neurons [1, 2]. Nowadays, cancer becomes one of the most common diseases and continues to threaten human health, whereas it has not yet been fully cured [3]. Brain and other nervous system cancer types, affected the human body at almost all ages and genders, are ranked 10th in leading cause of death in the worldwide [4].

A brain tumor is defined as a sudden and uncontrolled growth of abnormal cells in the brain or central spinal canal. Brain tumors are classified into two main categories as primary and secondary (metastatic) in general. However, specialist doctors have identified brain tumors as benign and malignant [5]. Benign brain tumors tend to grow slowly, have sharp borders and rarely spread to other parts of the body. On the other hand, malignant brain tumors generally tend to grow rapidly can metastasize to distant and different organs in the body, and therefore they exhibit invasive and life-threatening characteristics.



Brain tumors have been referred to by different names regarding their location, the structure of cells they contain, and the type of tumor (benign or malignant). So far, more than 120 different types of brain tumors have been identified and meningioma, glioma, and pituitary tumors are the most common among them [6, 7]. Glioma is a type of tumor seen in glial cells, which are responsible for forming the supporting tissue in the brain, and are generally considered malignant. Meningioma is a type of mostly benign and slowly growing tumor that occurs in the membranes surrounding brain or spinal cord. Pituitary tumor occurs due to uncontrolled cell growth in the pituitary gland located in lower part of the brain. Although this type of tumor is mostly benign, it is the most common type of primary brain tumor after meningioma and glioma tumors [8-10].

In clinical environment, the incidence rates of glioma, meningioma, and pituitary tumors among all brain tumors have been calculated to be approximately 45%, 15%, and 15%, respectively [11]. Brain tumor treatment and application method depends on many factors such as the type of tumor, its diameter, the site of formation and the condition of the patient [12]. In brain tumor treatment, the most commonly used treatment modalities are surgery, chemotherapy and radiotherapy [13]. Early diagnosis of the tumor plays an important role in increasing the survival rate determined by the patient's positive response to treatment.

Specialist physicians and radiologists utilize various medical imaging techniques such as positron emission tomography (PET), computed tomography (CT), and magnetic resonance imaging (MRI) to locate and analyze the characteristics of any possible tumor [13, 14]. Nowadays, MRI becomes the most widely used imaging technique in brain tumor detection due to its sharpness in showing soft tissues, not containing harmful X-rays and being noninvasive [12, 14, 15]. However, the analysis of MR images is easy to mistake and, more importantly, time-consuming process) that requires a great deal of expertise. Therefore, automatic computer-aided detection (CAD) systems that can assist specialist doctors and radiologists in detecting brain tumors have been developed.

In literature, there have been many studies based on classical machine learning algorithms and deep learning models to diagnose brain tumors with CAD systems [16-22]. The performance of classical machine learning algorithms depends on the ability of feature extraction. On the other hand, deep learning algorithms automatically learn distinctive features from existing datasets (i.e. without feature extraction) and therefore, provide higher performance compared to traditional machine learning algorithms [23-31]. In recent studies, deep learning techniques have been used to diagnose brain tumors using MR images [32-39]. For instance, Anakari et al. (2019) proposed a model based convolutional neural networks (CNN) and genetic algorithm (GA) to classify different grades of glioma using MR images. Singh et al. (2021) proposed a pre-trained VGG-16 CNN model for binary classification of tumor and non-tumor brain MR images. Deepak and Ameer (2019) introduced an approach using a pre-trained GoogleNet model based on deep transfer learning for the classification of three types of brain tumors (meningioma, glioma, and pituitary tumors). Ismael et al. (2020) utilized residual network (ResNet) model to classify three different brain tumors. Irmak (2021) proposed three different CNN models for three datasets containing different types of brain tumors. Aurna et al. (2022) presented a two-stage deep CNN model to categorize three different tumor types and normal brain cells. Aamir et al. (2022) utilized EfficientNet-B0 deep learning network architecture to classify three types of brain tumors (including meningioma, glioma, and pituitary) accurately and simply.

In this study, a CAD system is proposed to classify three pathological brain tumor types (glioma, meningioma, and pituitary tumor) and normal (non-tumor) MR images of the brain. Thus, it is aimed that both patients can early respond to treatment and help specialist doctors determine the correct treatment method. In the proposed system, classification of brain MR images is performed using a pre-trained DenseNet121 CNN model with deep transfer learning. To contribute to the literature; MR images in the dataset is resized, classification performance of the proposed model is compared by changing different batch sizes. The paper is structured as follows: Section 2 presents the details of the dataset and the proposed deep learning model, Section 3 describes the numerical simulations and their corresponding results; finally Section 4 discusses the conclusions.



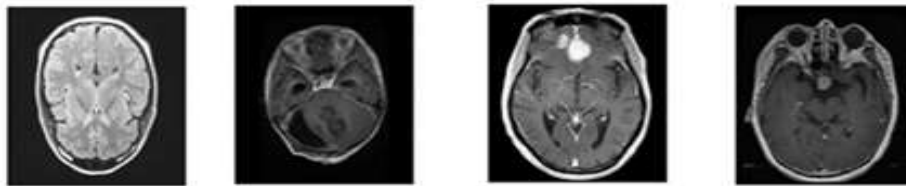
## MATERIAL and METHOD

In this study, DenseNet121 CNN model is used to detect brain tumor from MR images. To do this, firstly, images in the dataset are resized and the dataset is expanded by applying data augmentation in order to present more samples into the network. In the literature, data augmentation techniques are commonly used such as image rotation, image sharing, image scaling and image reflection [40].

Within the scope of this study, image rotation technique is used to augment the dataset and then resulting augmented data is given as input to the network to be trained. Rectified Linear Unit (ReLU) activation functions are used in the CNN layer to extract the features of the augmented data. Then, pooling is applied between the layers to reduce the partition and size of the network. Thus, a smaller sized matrix is obtained. After this process is carried out in successive stages, it is transmitted to the fully-connected layer. Outputs of four different classes are obtained with Softmax activation function in the output layer where classification will be made after this layer. As the learning algorithm, Adaptive Moment Estimation (Adam) algorithm known to have the best performance in reaching the optimum solution is preferred [41]. In addition, batch normalization is performed to reduce data dependency of the proposed model.

### Dataset

In this study, the dataset of Brain Tumor MRI Dataset, which is a combination of three different datasets (FigShare, SARTAJ and Br35H) and taken from an open-source Kaggle dataset, is utilized. The dataset contains different sizes of MR images. Brain MR images (3511) belonging to four different classes have been selected from the dataset: glioma (810), meningioma (822), pituitary (879) tumors and normal (tumor free, 1000). Figure 1 shows sample images of each of the classes [42].



**Figure 1.** Brain MR images of four different classes (a) Normal (b) Glioma, (c) Meningioma ve (d) Pituitary [42]

MR images have different height and width values, so all MR images must be resized to the same size for optimum performance. The original images with different sizes in the dataset used in the study are resized as 256x256 pixels to be given as input to the proposed model. For data augmentation technique applied to the training dataset; scaling (1/255), shear (0.1), zoom (0.1), brightness (0.1-1.5) range and horizontal displacement hyperparameters are preferred.

### Convolutional Neural Network (CNN)

Deep learning, a sub-branch of machine learning, is used to obtain meaningful information from big and complex data. The deep learning architecture varies depending on the type, size, volume, structure of data and selected parameters. Convolutional Neural Networks (CNN), one of the most widely used deep learning architectures, can perform complex operations through convolution filters. CNN architecture used in many different areas basically consists of three main layers as convolution, pooling, and fully connected layer [43, 44]. In the convolution layer, a feature map is obtained by convolution operation to input data.

Then, in the pooling layer, size of the feature map is reduced by decreasing the number of parameters to increase efficiency and reduce complexity. Thus, high-dimensional information can be effectively extracted from the image by repeatedly applying these two layers. Finally, output of the pooling layer converted into a column vector and given as input to the feedforward neural network for classification in fully connected layer. The fully connected layer performs similar functions to traditional neural networks [45]. In this study, DenseNet121 CNN model has been used to classify brain MR images. This



model, which has a 121-layer CNN architecture, is one of the DenseNet group models designed for image classification.

### Performance Metrics

The performance of proposed model to classify MR images has been evaluated regarding the criteria calculated using the *confusion* matrix. In this context, *accuracy*, *specificity*, *sensitivity*, *precision* and *F1-score* metrics have been utilized. The mathematical equations for these metrics are given below in Eq.1- Eq.5:

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad (1)$$

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \quad (2)$$

$$Sensitivity = \frac{TP}{TP + FN} \quad (3)$$

$$Specificity = \frac{TN}{TN + FP} \quad (4)$$

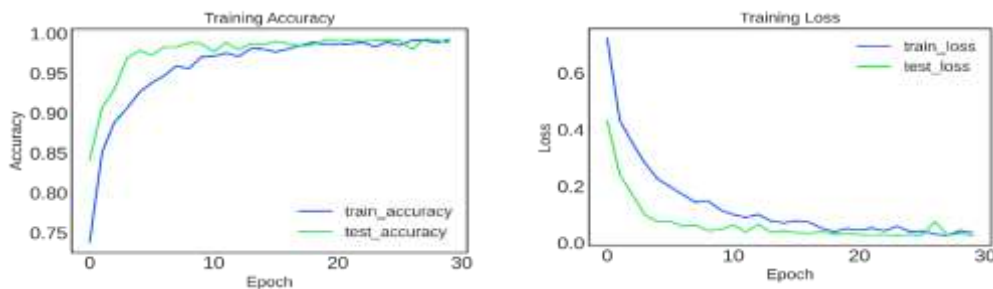
$$F1 - Score = \frac{2 * Precision * Sensitivity}{Precision + Sensitivity} \quad (5)$$

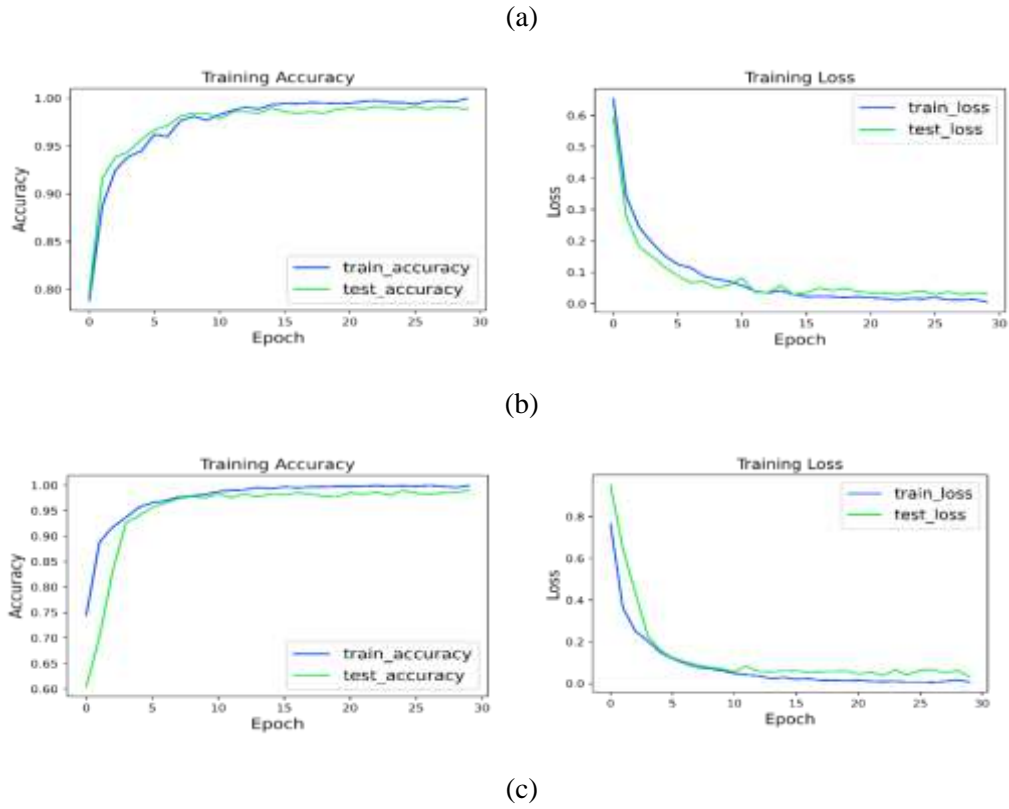
Here TP, TN, FP, and FN are, respectively, true positive, true negative, false positive and false negative values, in where true means correct classification, false means wrong classification, positive identifies patient, and negative identifies normal subjects [46].

### RESULTS AND DISCUSSIONS

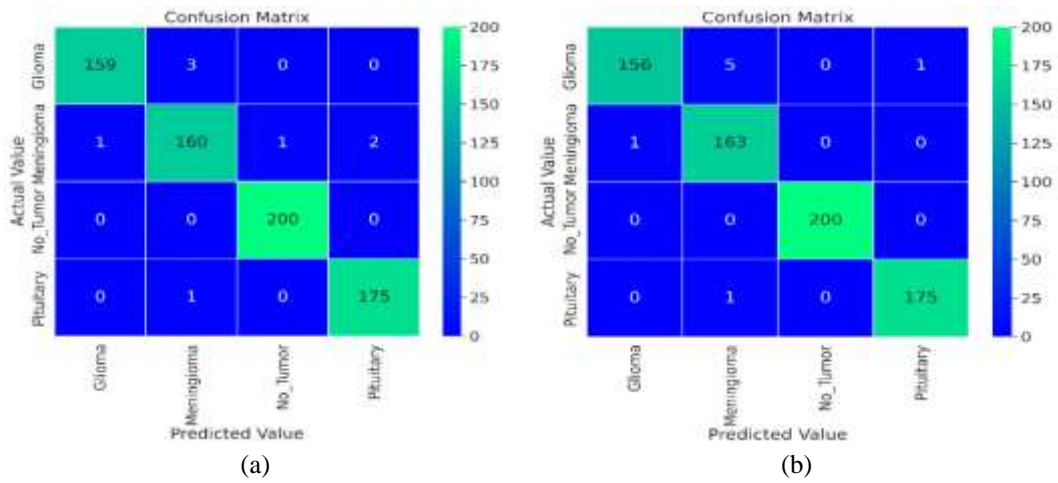
In this study, brain tumor classification is performed from MR images using deep DenseNet121 CNN model pre-trained in Python programming language with Keras and Tensorflow libraries in Google Colab environment containing Tesla K80 Graphics Processing Unit (GPU). The dataset used is randomly divided into 80%-20% training / test (2809/702). In pre-training the model with random initialization weights, Adam optimizer ( $\beta_1 = 0.9$  and  $\beta_2 = 0.999$ ) and categorical cross-entropy function are preferred. In the simulations, by keeping epoch number (30) and learning rate (0.00001) constant, the classification performance metrics of proposed deep learning architecture for different batch sizes (4, 8 and 16) are obtained.

Graphics of training / test accuracy and loss values, and confusion matrices of pre-trained DenseNet121 model are given in Figure 2 and Figure 3, respectively for different batch sizes (4, 8, and 16). When Figure 2 is examined, it has seen that proposed model produced a more stable result compared to other batch sizes, since less oscillation occurred in the loss graph after 5 iterations when batch size = 16. The training and test accuracy starts to converge when it reaches enough epochs. From the analysis of confusion matrices in Figure 3, average classification accuracy for four classes when batch size = 16 (99.50%) yielded higher than the results obtained from other batch sizes (batch size = 4 (99.43%) and batch size = 8 (99.43%)). Confusion matrices indicated in Figure 3 are compatible with simulation results obtained from the graphics in Figure 2.





**Figure 2.** Training / test accuracy and loss values of DenseNet121 model for 30 epochs (a) batch size = 4 (b) batch size = 8 (c) batch size = 16



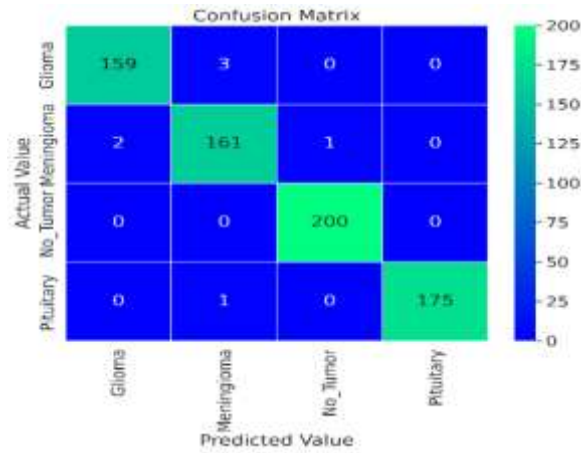


Figure 3. Confusion matrices of DenseNet121 model for 30 epochs (a) batch size = 4 (b) batch size = 8 (c) batch size = 16

In addition, five classification performance metrics (accuracy, specificity, sensitivity, precision and F1-score) are calculated for proposed DenseNet121 model from confusion matrices given in Figure 3. The classification performance results obtained from the relevant model for four classes are presented in Table 1 in detail.

In Table 1, it is clearly seen that when batch size of DenseNet121 model is selected as 16 performs better than other batch sizes. Average classification accuracy (99.50%), specificity (99.67%), sensitivity (98.94%), precision (98.96%) and F1-score (98.95%) has obtained at this batch size.

**Table 1.** Performance metrics of pre-trained DenseNet121 model at batch sizes (4, 8, and 16) for 30 epochs

Batch Sizes	Classes	Accuracy (%)	Precision (%)	Sensitivity (%)	Specificity (%)	F1-Score (%)
4	Glioma	99.43	99.38	98.15	99.81	98.76
	Meningioma	98.86	97.56	97.56	99.26	97.56
	Normal	99.86	99.50	100	99.80	99.75
	Pituitary	99.57	98.87	99.43	99.62	99.15
	<b>Average</b>	<b>99.43</b>	<b>98.83</b>	<b>98.78</b>	<b>99.62</b>	<b>98.81</b>
8	Glioma	99	99.36	96.30	99.81	97.81
	Meningioma	99	96.45	99.39	98.88	97.90
	Normal	100	100	100	100	100
	Pituitary	99.72	99.43	99.43	99.81	99.43
	<b>Average</b>	<b>99.43</b>	<b>98.81</b>	<b>98.78</b>	<b>99.63</b>	<b>98.78</b>
16	Glioma	99.29	98.76	98.15	99.63	98.45
	Meningioma	99	97.58	98.17	99.26	97.87
	Normal	99.86	99.50	100	99.80	99.75
	Pituitary	99.86	100	99.43	100	99.72
	<b>Average</b>	<b>99.50</b>	<b>98.96</b>	<b>98.94</b>	<b>99.67</b>	<b>98.95</b>

## CONCLUSIONS

Early diagnosis of brain tumor, one of the most common cancer types in the world, is critical for experts to increase the survival rate of patients by making right intervention. In this study, a pre-trained DenseNet121 model has used to automatically predict brain tumor from MR images of glioma, meningioma, pituitary and normal (tumor-free) classes. The dataset includes 2809 brain MR images to train associated model and 702 images used to test it. In the light of findings, it has determined that average classification accuracy of pre-trained DenseNet121 model for 30 epochs has increased when batch size = 16 compared to other batch sizes. Within the scope of this study, use of deep transfer learning model in early diagnosis of brain tumor has the potential to help minimize the misdiagnosis of specialist doctors and radiologists due to their workload. In future studies, classification performance of



different CNN models will be examined in more detail according to the hyperparameters to be changed. In addition, it is planned to investigate other current deep learning-based approaches in the diagnosis of brain tumors and to work on more brain MR images.

## KAYNAKLAR

- [1] Dandıl, E. "MR Görüntüleri ve MR Spektroskopi verileri ile yapay öğrenme tabanlı beyin tümörü tespit yöntemi ve uygulaması." Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye, 2015.
- [2] Dearmond, S.J., Fusco, M.M., Dewey M.M. "Structure of the human brain: A photographic atlas." Oxford University Press, 1989.
- [3] Kaya, C., Senyer Yapıcı, I., Uzun Arslan, R. "Colon cancer outcome prediction from histopathological images using deep convolutional neural network". In Proceedings of 4th International Engineering Research Symposium (INERS'22), 287-294, Duzce, Turkey, 2022.
- [4] Brain Tumor: Statistics. <https://www.cancer.net/cancer-types/brain-tumor/statistics>, Accessed 27 May 2023.
- [5] American Brain Tumor Association (ABTA), About Brain Tumors (A Primer for Patients and Caregivers). <http://www.abta.org/secure/about-brain-tumors-a-primer.pdf>, Accessed 27 May 2023.
- [6] Khan, Md.S.I., Rahman, A., Debnath, T., Karim, Md.R., Nasir, M.K., Band, S.S., Mosavi, A., Dehzangi, I. "Accurate brain tumor detection using deep convolutional neural network." Computational and Structural Biotechnology Journal, 20, (2022), 4733-4745.
- [7] Kaplan, K. "Beyin tümör tiplerinin makine öğrenmesi ve derin öğrenme tabanlı teknikler ile sınıflandırılması". Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye, 2020.
- [8] Gab Allah, A.M., Sarhan, A.M., Elshennawy, N.M. "Edge U-Net: Brain tumor segmentation using MRI based on deep U-Net model with boundary information." Expert Systems with Applications, 213, (2023) 118833.
- [9] Kesav, N., Jibukumar, M.G. "Efficient and low complex architecture for detection and classification of Brain Tumor using RCNN with Two Channel CNN." Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences, 34, 8 (2022), 6229-6242.
- [10] National Brain Tumor Society, Brain Tumor Types. <https://braintumor.org/brain-tumors/about-brain-tumors/brain-tumor-types/>, Accessed 27 April 2023.
- [11] Swati, Z.N.K, Zhao, Q., Kabir, M., Ali, F., Ali, A., Ahmed, S., Lu, J. "Content-based brain tumor retrieval for MR images using transfer learning." IEEE Access, 7, (2019), 17809-17822.
- [12] Ismael, S.A.A., Mohammed, A., Hefny, H. "An enhanced deep learning approach for brain cancer MRI images classification using residual networks." Artificial intelligence in medicine, 102, (2020), 101779.
- [13] Oksuz, C., Urhan, O., Gullu, M.K. "Brain tumor classification using the fused features extracted from expanded tumor region." Biomedical Signal Processing and Control, 72, (2022), 103356.
- [14] Sahayam, S., Nenavath, R., Jayaraman, U., Prakash, S. "Brain tumor segmentation using a hybrid multi resolution U-Net with residual dual attention and deep supervision on MR images." Biomedical Signal Processing and Control 78, (2022) 103939.
- [15] Kumar, S., Dabas, C., Godara, S. "Classification of brain MRI tumor images: a hybrid approach." Procedia Computer Science, 122, (2017), 510-517.
- [16] Aslan, M. "Derin Öğrenme Tabanlı Otomatik Beyin Tümör Tespiti." Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 34, 1 (2022), 399-407.
- [17] Polat, Ö. "Sadeleştirilmiş U-Net mimarisi ile beyin tümörü segmentasyonu." Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 1, 1 (2022).





- [18] Vani, N., Sowmya, A., Jayamma, N. "Brain tumor classification using support vector machine." *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 4, 7, (2017), 792–796.
- [19] Citak-Er, F., Firat, Z., Kovanlikaya, I., Ture, U., Ozturk-Isik, E. "Machine-learning in grading of gliomas based on multiparametric magnetic resonance imaging at 3T." *Computers in Biology and Medicine*, 99, (2018), 154–160.
- [20] Shahin, A.I., Aly, W., Aly, S. "MBTFCN: A novel modular fully convolutional network for MRI brain tumor multi-classification." *Expert Systems with Applications*, 212, (2023) 118776.
- [21] Aurna, N.F., Yousuf, M.A., Taher, K.A., Azad, A.K.M, Moni, M. A. "A classification of MRI brain tumor based on two stage feature level ensemble of deep CNN models." *Computers in Biology and Medicine*, 146, (2022), 105539.
- [22] Gaikwad, S., Patel, S., Shetty, A. "Brain tumor detection: an application based on machine learning." In *2021 2nd International Conference for Emerging Technology (INCET)*, pp. 1-4, Belagavi, India, 2021.
- [23] Ayadi, W. Elhamzi, W., Charfi, I., Atri, M. "Deep cnn for brain tumor classification." *Neural Processing Letters*, 53, 1, (2021), 671–700.
- [24] Ge, C., Gu, I.Y.H., Jakola, A.S., Yang, J., "Enlarged training dataset by pairwise gans for molecular-based brain tumor classification." *IEEE Access*, 8, (2020), 2560–22570.
- [25] Hemanth, D.J., Anitha, J., Naaji, A., Geman, O., Popescu, D.E., Son L.H. "A modified deep convolutional neural network for abnormal brain image classification." *IEEE Access*, 7, (2018), 4275–4283.
- [26] Huang, Z., Zhu, X., Ding, M., Zhang, X. "Medical image classification using a light-weighted hybrid neural network based on PCANet and DenseNet." *IEEE Access*, 8, (2020), 24697–24712.
- [27] Jain, R., Jain, N., Aggarwal, A., Hemanth, D.J. "Convolutional neural network based Alzheimer's disease classification from magnetic resonance brain images." *Cognitive Systems Research*, 57, (2019), 147–159.
- [28] Kumar, R.L., Kakarla, J., Isunuri, B.V., Singh, M. "Multi-class brain tumor classification using residual network and global average pooling." *Multimedia Tools and Applications*, 80, 9, (2021), 13429–13438.
- [29] Sajjad, M., Khan, S., Muhammad, K., Wu, W., Ullah, A., Baik, S.W. "Multigrade brain tumor classification using deep CNN with extensive data augmentation." *Journal of Computer Science*, 30, (2019), 174–182.
- [30] Shao, L., Zhu, F., Li, X. "Transfer learning for visual categorization: A survey." *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, 26, 5, (2014), 1019–1034.
- [31] Sultan, H.H., Salem, N.M., Al-Atabany, W. "Multi-classification of brain tumor images using deep neural network." *IEEE Access*, 7, (2019), 69215–69225.
- [32] Anaraki, A.K., Ayati, M., Kazemi, F. "Magnetic resonance imaging based brain tumor grades classification and grading via convolutional neural networks and genetic algorithms." *Biocybernetics Biomed. Eng.*, 39, 1, (2019), 63-74.
- [33] Singh, V. Sharma, S. Goel, S. Lamba, S., Garg, N. "Brain tumor prediction by binary classification using VGG-16." *Smart and Sustainable Intelligent Systems*, (2021), 127-138.
- [34] Deepak, S. Ameer, P.M. "Brain tumor classification using deep cnn features via transfer learning." *Comput. Biol. Med.*, 111, (2019), 103345.
- [35] Ismael, S.A.A., Mohammed, A., Hefny, H. "An enhanced deep learning approach for brain cancer MRI images classification using residual networks." *Artificial Intelligence in Medicine*, 102, (2020), 101779.



- [36] Irmak, E. "Multi-classification of brain tumor mri images using deep convolutional neural network with fully optimized framework." *Iran. J. Sci. Technol., Transac. Electr. Eng.*, 45, 3, (2021), 1015-1036.
- [37] Aurna, N.F., Yousuf, M.A., Taher, K.A., Azad, A.K.M., Moni, M.A., "A classification of MRI brain tumor based on two stage feature level ensemble of deep CNN models." *Computers in Biology and Medicine*, 146, (2022), 105539.
- [38] Aamir, M., Rahman, Z., Dayo, Z.A., Abro, W.A., Uddin, M.I., Khan, I., Imran, A.S.I., Ali, Z., Ishfaq, M., Guan, Y., Hu, Z. "A deep learning approach for brain tumor classification using MRI images." *Computers and Electrical Engineering*, 101, (2022), 108105.
- [39] Salama, W.M., Shokry, A. "A novel framework for brain tumor detection based on convolutional variational generative models." *Multimedia Tools and Applications*, 81, 12, (2022), 16441-16454.
- [40] Ali, R., Al-jumaili, S., Duru, A.D., Uçan, O.N., Boyaci, A., Duru, D.G. "Classification of brain tumors using MRI images based on convolutional neural network and supervised machine learning algorithms." *2022 International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT)*, pp. 822-827, Ankara, Turkey, 20-22 October 2022.
- [41] Uckuner, M., Erol, H. "A new deep learning model for skin cancer classification." *6th International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK)*, pp. 27-31, Ankara, Turkey, 15-17 September 2021.
- [42] Nickparvar, M. (2021). Brain Tumor MRI Dataset. Available: <https://www.kaggle.com/datasets/masoudnickparvar/brain-tumor-mri-dataset>.
- [43] Afshar, P., Mohammadi, A., Plataniotis, K.N., Oikonomou, A., Benali, H. "From handcrafted to deep-learning-based cancer radiomics: challenges and opportunities." *IEEE Signal Processing Magazine*, 36, 4, (2019), 132-160.
- [44] Yamashita, R., Nishio, M., Do, R.K.G., Togashi, K. "Convolutional neural networks: an overview and application in radiology." *Insights Imaging* 9, (2018), 611–629.
- [45] Uzen, H., Yeroglu, C., Hanbay, D. "Development of CNN architecture for honeybees disease condition." *2019 International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium (IDAP)*, pp. 1-5. Malatya, Turkey, 21-22 September 2019.
- [46] Narin, A., Kaya, C., Pamuk, Z. "Automatic detection of coronavirus disease (covid-19) using X-ray images and deep convolutional neural networks." *Pattern Analysis and Applications*, 24, 3, (2021), 1207-1220.



## COMPARISON OF ORDINARY AND UNIVERSAL KRIGING INTERPOLATION TECHNIQUES USING GSTAT

*Dendouga Imane<sup>1,a</sup>, Abdelhamide Messameh<sup>2,b</sup>*

*1. a. University Mohamed Khider, Departments of Civil Engineering and Hydraulics, Biskra, Algeria*

*2. b. University Mohamed Khider, Departments of Civil Engineering and Hydraulics, Biskra, Algeria*

### ABSTRACT

In recent times, human activity has increased, and during this time, a lot of air or water pollution caused by industrial waste, coal ash, or chemical spills has occurred. These are examples of pollution that can pollute the environment and damage human health. To solve this problem, we need a method that is capable of predicting contaminant levels at unobserved locations. Therefore, the geostatistical method is the application of statistics to geological observations for prediction and mapping in unobserved locations. In this research, two types of interpolation methods are compared: universal kriging, which is an interpolation method that has a tendency to drift, and a special evaluation method used to deal with non-stationary sample data using ordinary kriging. Using Gstat R is a program based on the open source software R that can be used to predict pollutants in rivers at unobserved locations. The aim of this paper is to describe and compared the OK and UK methods by mapping a zinc variable, and their advantages and disadvantages will be discussed

**Key words:** universal kriging, ordinary kriging, geostatistic, variogram.

### INTRODUCTION

Geostatistics is widely used in geology as an interpolation approach for mapping different geological parameter. The use of geostatistical techniques such as kriging, or spatial Best Linear Unbiased Estimation (BLUE) for estimating chemical parameter (zinc) of Meuse River. Kriging calculation process can be distinguished several kinds, namely: simple Kriging, Ordinary Kriging, Co-Kriging, Universal Kriging. In these study we are compared the universal kriging is the kriging of data that has a particular tendency to have a trend, can also be interpreted as an evaluation method that is used to deal with problems of non-stationarity in the sample data and can help solve the problems in real life, and we use the ordinary kriging.

They are based on experimental semivariograms that were computed from data (zinc) of Meuse River. and fitted theoretical variogram models. The best model is tested while the estimation error is minimized.

### MATERIALS AND METHODS

The present research work applies the geostatistics method based on the theory of regionalized variables, for interpolation and predicts unknown points based on the autocorrelation and spatial structure of the measured points to obtain the best estimation with minimal error, for describing spatial continuity and making predictions of some natural phenomena. An open source statistical project called R is used for interpolation and statistical analysis of spatial data and graphics in geostatistics, kriging and cokriging methods.

Gstat R is a program based on the open source software R is a program for geostatistical model, prediction and simulation in one, two, or three dimensions comprising the sample variogram calculation, cross variogram and match the model.

### LITERATURE STUDY

In this section, we briefly describe the main theoretical tools that will be used in the analysis.



In geostatistics, the variogram is the essential tool for analysing and modelling the spatial structure of the regionalized variable. (ROUİL, 2003)

The variogram is an important step in geostatistics to describe the spatial continuity of the variables studied. The theoretical variogram can be defined by the following equation:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} E \left\{ [(Z(x_i + h)) - (Z(x_i))]^2 \right\} \dots\dots 1$$

$$= \frac{1}{2} \text{Var}[(Z(x_i + h)) - (Z(x_i))] \dots\dots 2$$

According the equation (1) and (2) so the experimental semivariogram is defined as:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} \{Z(x_i) - Z(x_i + h)\}^2$$

$\gamma(h)$ : Experimental semivariogram value with distance  $h$

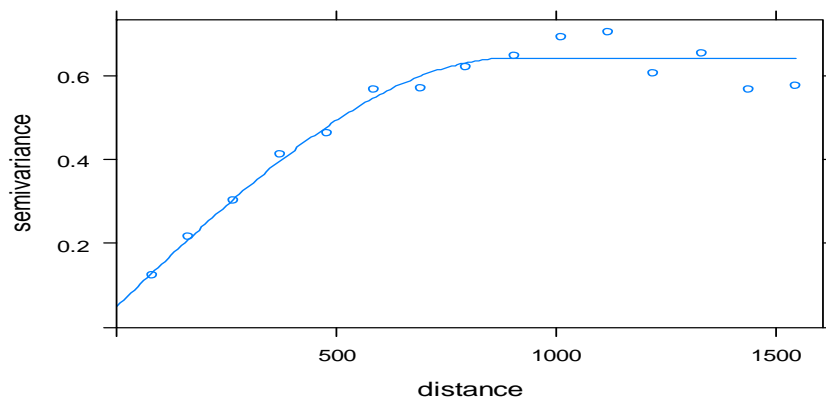
$Z(x_i)$ : Value of observations in  $x_i$

$Z(x_i + h)$ : Value of observations in  $x_i + h$

$N(h)$ : number of point pairs within  $h$

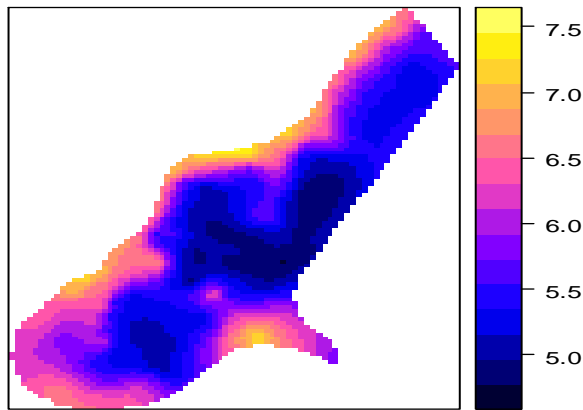
### RESULTS AND DISCUSSION

Results include maps of variogram surface for variables “depth” and “residuals”, experimental and theoretical variogram models, maps interpolated using OK and UK that were also compared using cross-validation. Variogram surface maps, as well as experimental and theoretical variogram models were obtained using Rstudio



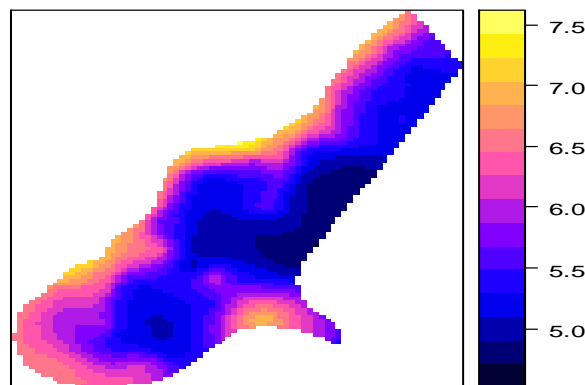
**Fig 01:** Experimental variogram and Spherical theoretical model of a “zinc” variable

## ORDINARY KRIGING



**Fig02: the ordinary kriging predictive of Zinc**

## Universal kriging



**Fig02: the universal kriging predictive of Zinc**

## CONCLUSION

This paper describes which kriging technique is more suitable for zinc interpolation in Meuse river. The OK interpolation used directional variograms of a zinc variable, and the UK interpolation applied the same method except that residuals were used as variables. A linear spatial trend or a drift, it is advisable to use UK in relation to OK because this technique was developed precisely to identify and calculate trends in the data, to describe the regression, and to give better mapping results.

## REFERENCES

Ahmed, Shakeel, and Ghislain De Marsily. 1987. "Comparison of Geostatistical Methods for Estimating Transmissivity Using Data on Transmissivity and Specific Capacity." *Water Resources Research* 23 (9): 1717–37. <https://doi.org/10.1029/WR023i009p01717>.

ROUÏL, Laure MALHERBE Laurence. 2003. "Méthodes de Représentation de La Qualité de l' Air Méthodes de Représentation de La Qualité de l' Air."



## TECHNO-ECONOMIC FEASIBILITY ANALYSIS OF GRID-CONNECTED PV SYSTEM STUDY UNDER NORTH-WEST ALGERIAN CLIMATE CONDITIONS

***Hocine Mammour***

*Renewable Energies Derpartement, Kasdi Merbah University, Ouargla, Algeria*

***Djamel Belatrache***

*VPRS Laboratory, Kasdi Merbah University, Ouargla, Algeria*

***Abdeldjalil Djouahi***

*VPRS Laboratory, Kasdi Merbah University, Ouargla, Algeria*

***Chouaib Ammari***

*Renewable Energies Derpartement, Kasdi Merbah University, Ouargla, Algeria*

***Amar Rouag***

*Renewable Energies Derpartement, Kasdi Merbah University, Ouargla, Algeria*

***Abdelkader Harrouz***

*Adrar University, Adrar, Algeria*

### ABSTRACT

Electricity price has been steadily increasing in recent years and all indications are that price will continue to rise in the foreseeable future. In the other side, electricity demand has increased significantly, particularly during summer periods, reaching significant peaks in consumption. This sharp increase in demand is a direct consequence of the change in consumer habits and the improvement of the quality of life, as well as the impulse given to the economic and industrial sectors. The work of this paper is reported on the techno-economic of the grid-connected PV systems in order to show the impact of the PV module cost over the time on the PV systems installation in Algeria between 2012 and 2018. The studied grid-connected PV system is located in the Chlef city in Algeria and has a power of 40 kWp to provide an annual energy of 91.28 MWh. Based on the \$/kW of the components (PV module and inverter), \$/kWh of the grid electricity and project lifetime, our study has focused on the study of the net present cost (NPC) for each component of the grid-connected PV system and the Annualized costs. In the year 2018, the results showed when the sellback price of PV energy is higher than 0.35 \$/kWh, the Total NPC becomes negative and represents a financial gain that increases when the project lifetime increases.

**Keywords:** PV system, Grid-connected, Net present Cost (NPC), Electricity price, Sellback price

### Introduction (*Heading 1*)

Sustainable development is strongly linked to the development of renewable energies in all economic sectors that depend on the electricity consumption from the grid or the direct consumption of fossil products such as industry, agriculture, housing, road transport, maritime transport, air transport. Solar PV remains the most important renewable energy source on planet Earth. In recent years, demand for electricity has increased significantly, particularly during summer periods, reaching significant peaks. This sharp increase in demand is a direct consequence of the change in consumer habits and the improvement of the quality of life, as well as the impulse given to the economic and industrial sectors. The continuous increase in consumption of oil and natural gas leads to the depletion of their sources and causes ecological damage linked to their extraction and use. Thus, they negatively affect the land and the environment by emitting greenhouse gases and driving climate change [1,2]. According to the BP Statistical Review of World Energy [3], the consumptions of natural gas and oil have reached 39 billion

m<sup>3</sup> and 19.3 Mt respectively in 2015 as shown in “Fig. 1”. The carbon dioxide emissions due to these fossil fuels consumption have negative impacts on climate and people's health [4,6].

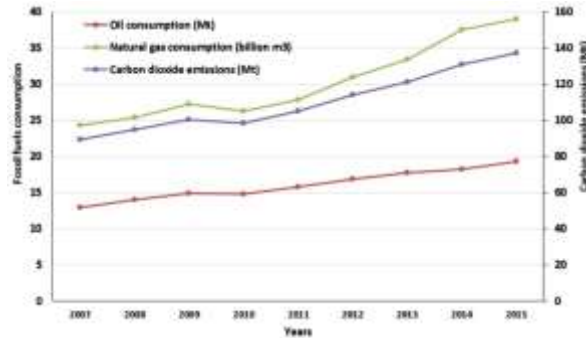


Fig.1. Fossil fuels consumption and carbon dioxide emissions in Algeria.

In 2014, the energy consumption reached 39.4 Mtoe, reflecting an increase of 1.9 Mtoe over 2013. This consumption could be divided into two types, energy consumption by product and energy consumption by activity sector [7]. As shown in “Fig. 2”, oil products are still the first form of energy consumed, with 38.1% of final energy consumption. Natural gas and electricity are the second and third forms of energy consumed respectively with 28.5 and 27.7 %. These energy forms recorded an increase compared to 2013 respectively with 5.6, 6.5 and 6.1%. The last form is the GPL (Liquefied Petroleum Gas) with 5.7%, down by (-7.4%) compared to 2013 [8].

• Oil products • Electricity • Natural gas • GPL

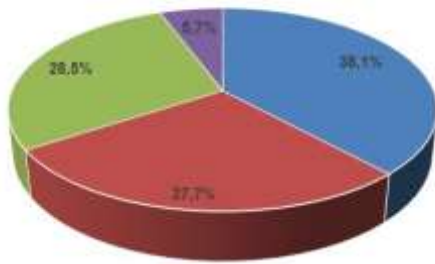


Fig. 2. Structure of final energy consumption by product.

The evolution of final energy consumption by activity sector in 2014 is given in “Fig. 3” [7].

- Consumption in the industry and BTP (Construction and public works) sector showed a slight increase (+ 2.8%) compared with the year 2013.
- Consumption in the transport sector increased by + 5.7% in 2014 compared with the year 2013, reaching 14.6 Mtoe .
- Residential and agriculture consumptions increased respectively by 456 and 183 Ktoe compared to 2013 to reach 12.6 Mtoe and 421Ktoe by 2014. Agriculture consumption represents 1% of the final energy consumption and residential consumption 32%.

Grid system in Algeria is powered by various power plants, which are interconnected through a transmission network of 60 kV, 220 kV and 400 kV, allowing the transfer of energy from production sites to energy consumers. “Fig. 4” presents the contribution of each power plant to cover the increasing national demand of electrical energy between 2007 and 2015, it will be as follows [9] :

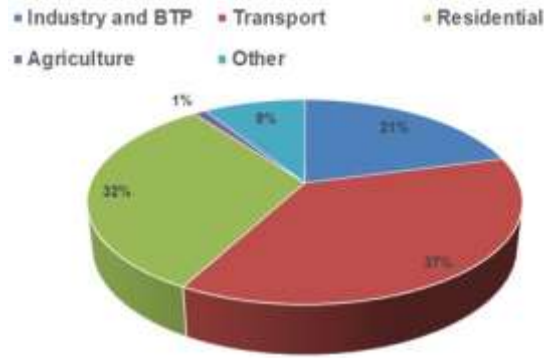


Fig. 3. Structure of final energy consumption by activity sector.

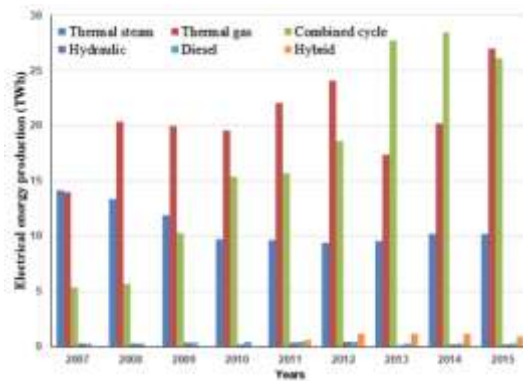


Fig. 4. Electrical energy production by power plants in Algeria.

- Almost all of the electric power production comes from thermal steam plant, thermal gas plant and combined cycle plant (between thermal steam and thermal gas).
- The contribution of hydraulic plant, diesel plant and hybrid plant in the electric power production is very low.
- The contribution of renewable energies to the improvement of the power grid remains almost nil. In 2015, electrical energy production from photovoltaic energy and wind energy reached 0.019 and 0.014 TWh respectively.

The electrical energy production in Algeria is constantly increasing due to the growth of the population and the development of various industrial sectors. The number of customers using the electrical energy has grown from 6.04 millions in 2007 to 8.45 millions in 2015 (“Fig. 5”) according to SONELGAZ [10]. During this period, the electrical energy production has increased from 33.95 TWh in 2007 to 64.66 TWh in 2015. We note that between 2007 and 2008, there was a greater increase in electrical energy production (18 %), and after then it varies between 6 and 11% from 2008 to 2015. Unfortunately, the electrical energy losses have grown from 6.75 TWh to 10.93 TWh during the same period. The rate of the electrical energy losses was ranging from 18 to 21 % during 2007 to 2015, so it is very high in comparison with other countries. In the European countries, the rate of the electrical energy losses ranges between 4 and 8 % during 2009 to 2013 [11].



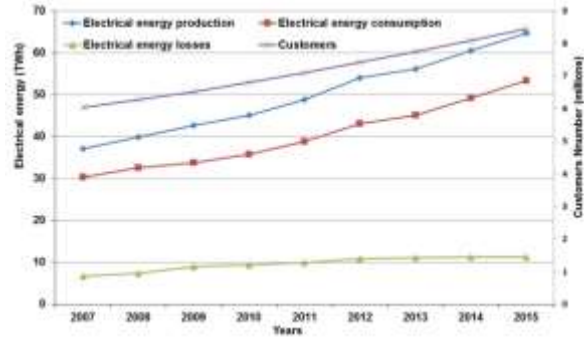


Fig. 5. Electrical energy production and consumption vs customers number in Algeria.

The electricity sale in Algeria is made in three voltage forms, high voltage (60, 220 and 400 kV), medium voltage (30 kV) and low voltage (220/380 V). According to SONELGAZ, “Fig. 6” shows the sales percentage for each voltage form between 2007 and 2014. It can be seen that the electricity sale in the low voltage form increased from 48.5 to 54%. While the electricity sale in the medium and high voltage decreased from 29.5% to 27% and from 21.6% to 19%,

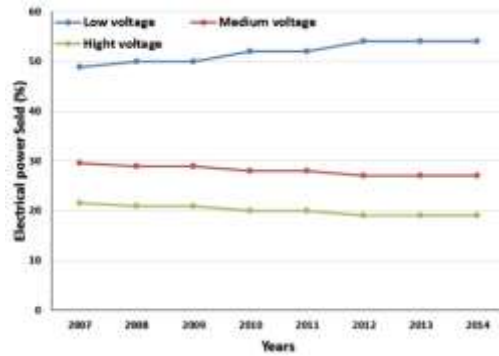


Fig. 6. Sale of electricity forms in Algeria.

respectively. We can note that more than 50% of the electrical energy produced in Algeria is intended for consumers who use low voltage. These data encourage investment in the production of low voltage electricity by renewable energies. In this case, photovoltaic energy should be given great importance by the government in its policy of encouraging the installation of a photovoltaic systems for consumers who use low voltage.

The development and use of renewable energies especially photovoltaic energy will reduce the ecological damage of fossil fuel consumption and contribute to the preservation the land for future generations. A grid-connected PV system is a photovoltaic solar power generation system that consists of PV modules, one or more inverters, a power conditioning unit, and grid-connected equipment. The power capacity of the grid-connected PV system ranges from small residential and commercial rooftop systems to large utility-scale solar power plants. When weather conditions are favourable, the grid-connected PV system reduces the electrical energy purchased from the grid by supplying the PV excess power. It can also reduce the energy losses of the grid and avoid or delay upgrades to the transmission and distribution grid where the average daily output of the PV system corresponds with the utility’s peak demand period [12,13]. Our work in this article is reported on the technical-economics of grid-connected PV systems to show the impact of PV module cost over time on the net present cost (NPC) of PV systems in Algeria between 2012 and 2018. The studied grid-connected PV system is located in the Chlef city in Algeria and has a power of 40 kWp to provide an annual energy of 91.28 MWh. The viability analysis based on the \$/kW and the exchange rate (\$/DA) focused on the study of the Net Present Cost (NPC) for each component of the grid-connected PV system, the Annualized costs, Total NPC and the project lifetime vs sellback price, Total NPC and Project lifetime vs Sellback price in 2012 and 2018.

### Solar energy potential and renewable energies program

Algeria’s annual average of global horizontal irradiation is very important as shown in “Fig. 7”, seven distinct solar radiation zones can be identified in this figure [14]. The minimum annual average of global horizontal irradiation value (1 700 kWh/yr) appears in the first zone, and the maximum value (2 300 kWh/yr) in the seventh zone. The sunshine duration over the quasi-totality of Algeria’s territory exceeds 2 000 hours annually and may reach 3 500 hours annually in the Sahara [15].

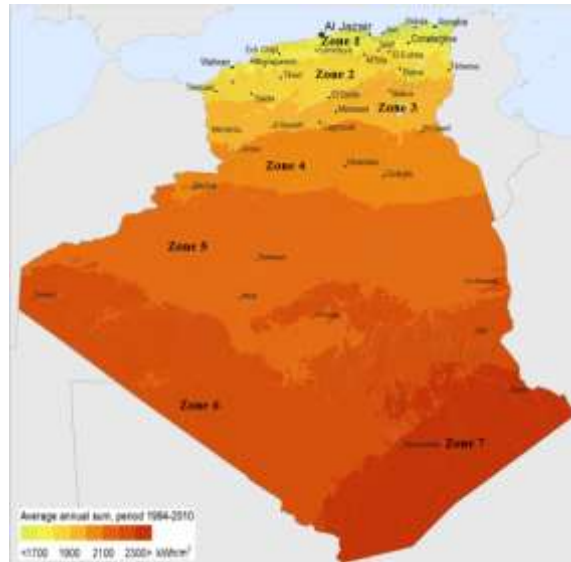


Fig. 7. Annual average of Algeria’s Global Horizontal Irradiation (GHI).

Through its renewable energies program, Algeria intends to produce electricity from solar, wind, biomass, cogeneration and geothermal energy. The Table 1 gives combined capacities of the renewable energies program, per type and phase, over 2015 – 2030 period [16]. This program involves a large-scale development of photovoltaic, wind and incorporating the concentrated solar power (CSP). Biomass, cogeneration and geothermal industries shall take place gradually. This ambitious program consists of installing a renewable power source of nearly 22 000 MW between 2011 and 2030, 12 000 MW will be dedicated to cover the national demand for electricity and 10 000 MW for export. Power generation is expected to reach 90 TWh in 2020 and 170 TWh in 2030. By 2030, about 40% of the electricity produced for domestic consumption will be from renewable energies. This data represents both a great saving in fossil energy and a significant reduction in the quantity of CO<sub>2</sub> gas emitted to the atmosphere as shown in Table 2.

Table 1. Capacities of the renewable energies program.

Renewable energies (MW)	1 <sup>st</sup> phase 2015-2020	2 <sup>nd</sup> phase 2021-2030	Total
Photovoltaic	3000	10575	13575
Wind	1010	4000	5010
CSP		2000	2000
Cogeneration	150	250	400
Biomass	360	640	1000
Geothermal	05	10	15
<b>Total</b>	<b>4525</b>	<b>17475</b>	<b>22000</b>

Table 2. CO<sub>2</sub> emissions to be avoided by 2030 [37]

	2015	2020	2025	2030
Reduction in the amount of CO <sub>2</sub> emitted (Mt)	1,1	32,1	95,9	193,3



Algeria has incorporated the renewable energies development in its energy policy by adopting a legal framework in favor of their promotion and realization of relevant infrastructures. Renewable energies development is supervised by whole legislative texts [16], incentive and encouragement measures are particularly provided for in the law pertaining to energy control (financial, tax and customs duties benefits) for actions and projects that contribute at improving energy efficiency and promoting renewable energies. Among these legislative texts, there are:

- Law No. 99-09 dated 28th July, 1999 regulates the energy control
- Law No. 04-09 dated 14th August, 2004, is about the promoting renewable energies under sustainable development
- Ministerial orders dated 02<sup>nd</sup>, February 2014 setting the purchase list prices guaranteed for power generating from facilities using the photovoltaic industry and the terms of the enforcement thereof.

The goal of the aforementioned measures is to encourage local products and provide favorable conditions, particularly tax, for investors who are willing to involve in different renewable energies and energy efficiency industries. The price of the PV energy sold to the grid encourages expanding the PV installation if it is higher than the price of the grid energy purchased from the grid..

### Solar PV cost

The price of solar photovoltaic systems has fallen rapidly due to the rapid and continuous deployment of solar photovoltaic energy in the world, driven by policies and the decline in solar energy prices [17-22]. The cost of solar photovoltaic electricity has fallen 73% since 2010 according to a new cost analysis from the International Renewable Energy Agency (IRENA). Additionally, solar PV costs are expected to be halved by 2020. Many papers have used the \$/Wp ratio to study the impact of PV module prices on the net present cost of PV systems [23-29]. Table 3 presents the prices of equipment used in photovoltaic installations in Algeria for the years 2012 and 2018 [30,31].

Table 3. PV module and inverter prices (\$).

Year	PV module price of 100 W <sub>p</sub>		Converter price of 1.2 kW		Electricity Price	
	(DA)	(\$)	(DA)	(\$)	(DA/kWh)	(\$/kWh)
2012	22 000	270.60	48 000	604.68	4.472	0.05
2018	11 115	101.53	48 465	442.72	4.472	0.04

In this study, HOMER (Hybrid Optimization Model for Multiple Energy Resources) is used for analysis of hybrid power systems to find and determine the optimal solar system architecture with the lowest Net Present Cost (NPC). NPC for each component includes the capital cost, the replacement cost, the maintenance cost and the salvage cost which is the remaining value of the component after the operating period of the system. The total NPC is the sum of the NPC components.

$$NPC = \frac{C_{acap} + C_{arep} + C_{aO\&M} - C_{sal}}{CRF(i, N)}$$

$C_{acap}$  (\$) : Annualized capital cost

$C_{arep}$  (\$) : Annualized replacement cost

$C_{aO\&M}$  (\$) : Annual operation & maintenance cost

$C_{sal}$  (\$) : Salvage cost

CRF : Capital recovery factor

$$CRF(i, N) = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1}$$



$i$  : Interest rate (6%)

$R_{proj}$  : Project lifetime

$N$  : Number of years.

In calculation, we had to use \$/kW as shown in Table 4.

Table 4. PV module and inverter prices (kW/\$).

Year	PV system price (kW/\$)	Converter price (kW/\$)
2012	2 700	500
2018	1 015	369

### Results

Based on the project lifetime of 25 years and the sellback price of PV energy (0.05 \$/kWh), “Fig. 8” shows the NPC of each component of the grid connected PV system sized in the year 2012 and in the year 2018. The Total NPC has reached 154 692 \$ and 82 011 \$ in the years 2012 and 2018 respectively. It can be noted that the drop in the Total NPC is due to the drop in the price of the PV module.

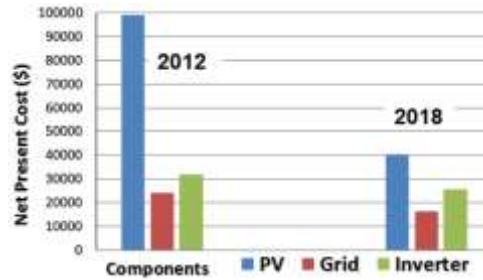


Fig. 8. NPC cost for each component of the grid-connected PV system in 2012 and 2018.

The different annualized costs for the grid-connected PV system in the year 2012 and in the year 2018 are shown in “Fig. 9”. The annualized capital cost which is the sum of the annualized capital costs of the PV array and the inverter is the highest cost than the other annualized costs. In addition, it is lower in the year 2018 than in the year 2012.

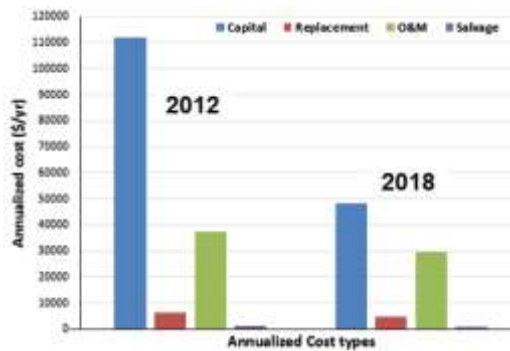


Fig. 9. Annualized costs of the grid-connected PV system in 2012 and 2018.

The relationship between the Total NPC, the sellback price of PV energy and the project lifetime helps to make a decision to install a grid-connected PV system. The economic study in the year 2012 (“Fig. 10”) showed the following notes :

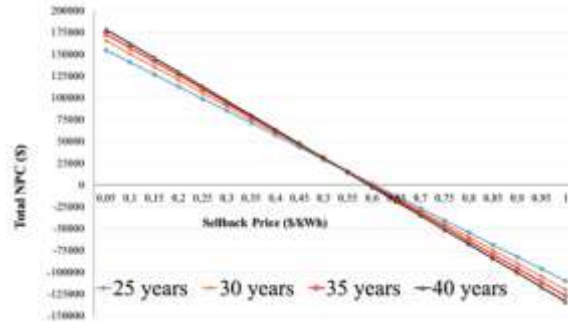


Fig. 10. Total NPC and Project lifetime vs. Sellback price of PV energy in 2012.

- Total NPC decreases significantly as the sellback price increases from 0.05 to 1 \$/kWh for all project lifetimes (25–40 years).
- Total NPC decreases as the project lifetime decreases when the sellback price ranges from 0.05 to 0.6 \$/kWh.
- Total NPC becomes zero when the sellback price equals to 0.6 \$/kWh regardless of the project lifetime value
- Total NPC becomes negative and represents a financial gain when the sellback price is higher than 0.6 \$/kWh. This financial gain increases when the project lifetime increases.

The economic study in the year 2018 (“Fig. 11”) showed the following notes :

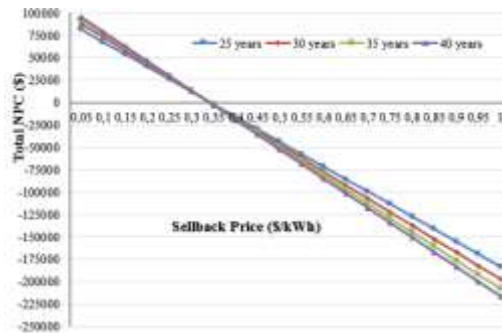


Fig. 11. Total NPC and Project lifetime vs. Sellback price of PV energy in 2018.

- Total NPC has the same evolution as that in 2012.
- Total NPC in the year 2018 is lower than the Total NPC in the year 2012 for all project lifetimes.
- When the sellback price of PV energy is equal to 0.35 \$, Total NPC becomes zero regardless of the project lifetime value.
- Total NPC becomes negative and represents a financial gain when the sellback price is higher than 0.35 \$/kWh. This financial gain increases when the project lifetime increases.

## V . CONCLUSION

The economic analysis of the studied grid-connected PV system shows that the Total NPC is very high in 2012 than in 2018, which they are 154 690 and 82 011 \$ respectively for a project lifetime of 25 years. This great fall of Total NPC is due to the decrease of the PV module cost and the converter cost from 270.60 \$ and 604.68 \$ in 2012 to 101.53 \$ and 442.72 \$ respectively in 2018. It has shown also in 2018 that when the sellback price of PV energy is higher than 0.35 \$/kWh, the Total NPC becomes negative and represents a financial gain increasing when the project lifetime increased. Consequently, policy that encourages expanding the PV systems installation and the PV energy sale to the low voltage (220/380 V) grid can play an important role in Algerian electrical energy generation.

## REFERENCES

- [1] K. Kaygusuz, “Climate Change Mitigation in Turkey,” Energy Sources. vol. 26, pp. 563–573, 2004.



- [2] A. Perera, M. Vahid, J. Nik, and L.Scartezini, “Impacts of extreme climate conditions due to climate change on the energy system design and operation,” *Energy Procedia*. pp.358–363, 2019.
- [3] BP Statistical Review of World Energy. 2015. <http://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>.
- [4] S. Abdul-Wahab, Y. Charabi, R. Al-Maamari, G. Al-Rawas, A. Gastli, and K .Chan, “CO<sub>2</sub> greenhouse emissions in Oman over the last forty-two years: Review,” *Renewable Sustainable Energy Reviews*. vol.52, pp. 1702–1712, 2015.
- [5] T. Ekholm, N. Karvosenoja, J. Tissari, L. Sokka, K. Kupiainen, O. Sippula, M. Savolahti, Jokiniemi J, and I. Savolainen, “A multi-criteria analysis of climate health and acidification impacts due to greenhouse gases and air pollution—The case of household-level heating technologies,” *Energy Policy*. Vol. 74, pp. 499–509, 2014.
- [6] N. Heidari, and M. Pearce, “A review of greenhouse gas emission liabilities as the value of renewable energy for mitigating lawsuits for climate change related damages,” *Renew Sustainable Energy Review*. Vol 55, pp. 899–908, 2016.
- [7] Ministère de l'énergie et de mines (MEM), 2016. [www.energy.gov.dz/francais/uploads/2016/Energie/energie-renouvelable.pdf](http://www.energy.gov.dz/francais/uploads/2016/Energie/energie-renouvelable.pdf).
- [8] Ministère de l'énergie et de mines (MEM), 2016. [www.energy.gov.dz/francais/uploads/2016/Energie/energie-renouvelable.pdf](http://www.energy.gov.dz/francais/uploads/2016/Energie/energie-renouvelable.pdf).
- [9] Ministère de l'énergie et de mines (MEM), 2016. <http://www.energy.gov.dz/francais/index.php?page=electricite>.
- [10] SONELGAZ, Société Nationale de l'Electricité et de Gaz. Rapports d'activités et comptes de gestion consolidés 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014. <http://www.sonelgaz.dz>.
- [11] World Bank, 2016. Electric power transmission and distribution losses (% of output). <http://data.worldbank.org/indicator/EG.ELC.LOSS.ZS>
- [12] A. Hussein, and T. Kazem, “Techno-economical assessment of grid connected photovoltaic power systems productivity in Sohar, Oman,” *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. Vol 3, pp.61–65, 2013.
- [13] Y. Kassahun, “Viability study of grid-connected solar PV system in Ethiopia,” *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. Vol. 10, pp. 63–70, 2015.
- [14] SolarGIS, Geographical Information System. 2016. <http://solargis.info/doc/free-solar-radiation-maps-GHI>.
- [15] A. Stambouli, “Promotion of renewable energies in Algeria: Strategies and perspectives,” *Renew Sustain Energy Review*. Vol 15, pp. 1169–1181, 2011.
- [16] Ministère de l'énergie et de mines (MEM), 2016. <http://www.energy.gov.dz/francais/index.php?page=energies-nouvelles-et-renouvelables-3>.
- [17] E. Baker, M. Fowlie, D. Lemoine, and S. Reynolds, “The economics of solar electricity,” *Annual Review of Resource Economics*. vol 5, pp. 387-26, 2013.
- [18] M. Bazilian, I. Onyeji, M. Liebreich, I. MacGill, J. Chase, J. Shah, D. Gielen, and D. Arent, “Re-considering the economics of photovoltaic power,” *Renewable Energy* vol. 53, pp. 329-338, 2013.
- [19] J. Huijben, K. Podoynitsyna, M. van Rijn, and G. Verbong, “A review of governmental support instruments channeling PV market growth in the Flanders region of Belgium (2006–2013),” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol. 62, pp. 1282-1290, 2016.
- [20] R. Pietzcker, D. Stetter, S. Manger, and G. Luderera, “Using the sun to decarbonize the power sector: The economic potential of photovoltaics and concentrating solar power,” *Applied Energy*. vol. 135, pp. 704-20, 2014.



- [21] H. Salvarli, and M. Salvarli, "Trends on energy policy and sustainable development in Turkey," Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy. 2017.
- [22] A. Elamim, B. Hartiti, A. Haibaoui, A. Lfakir, P. "Thevenin, Performance evaluation and economical analysis of three photovoltaic systems installed in an institutional building in Errachidia, Morocco," Energy Procedia. vol. 1471, pp. 121-129, 2018.
- [23] J. Burkhardt, R. Wiser, N. Darghouth, C. Dong, and J. Huneycutt, "Exploring the impact of permitting and local regulatory processes on residential solar prices in the United States," Energy Policy. vol. 78, pp. 102-12, 2015.
- [24] J. Daniel, L. Vivar, S. Suganthi, M. Iniyar, and I. Skryabin, "Market-acceptable cost for a hybrid solar linear concentrator in India—A sensitivity study," Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy. vol. 111, pp. 80-86, 2016.
- [25] C. Dong, R. Wiser, "The impact of city-level permitting processes on residential photovoltaic installation prices and development times: An empirical analysis of solar systems in California cities," Energy Policy. vol. 63, 531-542, 2014.
- [26] J. Lopez-Garcia, and T. Sample, "Evolution of measured module characteristics versus labelled module characteristics of crystalline silicon based PV modules," Solar Energy. vol. 160, pp. 252-59, 2018.
- [27] G. Nemet, E. O'Shaughnessy, R. Wiser, N. Darghouth, G. Barbose, K. Gillingham, and V. Rai, "Characteristics of low-priced solar PV systems in the United States," Applied Energy. vol.187, pp. 501-513, 2017.
- [28] T. Tran, and A. Smith, "Thermoeconomic analysis of residential rooftop photovoltaic systems with integrated energy storage and resulting impacts on electrical distribution networks," Sustainable Energy Technologies and Assessments. vol. 29, pp. 92-105, 2018.
- [29] W. Van Sark, P. Muizebelt, J. Cace, A. Vries, P. Rijk, "Price development of photovoltaic modules, inverters, and systems in the Netherlands in 2012," Renewable Energy. vol. 71 , pp. 18-22. 2014.
- [30] Prix du panneau photovoltaïque en Algérie. Available : [portail.cder.dz/IMG/article\\_PDF/article\\_a3925.pdf](http://portail.cder.dz/IMG/article_PDF/article_a3925.pdf). [Accessed 2018].
- [31] Ministère de finance.: <http://www.mf.gov.dz/article/48/Zoom-sur-les-Chiffres-/155/Taux-de-Change.html>. [Accessed 2017].



## NUMERICAL PREDICTION OF THE DAMAGE DUCTILE OF THE STRUCTURE UNDER TENSILE LOADING

*Benchaib Nadia, Mechab Belaïd, Mokadem Salem, Haddou Yagoubia Marwa*

*Department of Mechanical Engineering, LMPM, University of Sidi Bel Abbès, BP 89 Cité Ben M'hidi 22000, Sidi Bel Abbès, Algeria.*

### ABSTRACT

Reliability engineering is a field of engineering, which deals with the study, evaluation of the structures: for analyzing of the ability of a system to perform its required functions under specified conditions for a specified period of the time. For the individual component failure rate to complex system management, the discipline has undergone various transformations to serve the need of increasing reliability level. This study presents a numerical prediction of the damage ductile of the structure used by the three-dimensional finite element method analysis subjected to tensile loading. The effect of the thickness ( $e_p$ ) and length ( $h$ ) of structure is presented for analysis the probabilistic fracture mechanic of the damage ductile. The Monte Carlo method is used to predict the distribution function of the damage ductile. The failure probability of the structure was calculated by taking into account both the statistical uncertainty on the basic variables and the model uncertainty as previously discussed. The probability density function (pdf) is obtained by fitting the histogram with theoretical models. Three distribution laws are investigated Lorentz, Gaussian and Polynomial (9th order). The Gaussian law offers an acceptable approximation of the ( $\epsilon$ ) probability density function, with good estimation of the average. The uncertainties in the geometry parameter have a significant effect on increasing the probability of failure and reduced of the durability of the structure.

**Keywords:** Structure, Finite element method, Fracture, Probabilistic analysis, Damage ductile.

### I. INTRODUCTION

The prediction of the damage ductile plays an important role in the design of lightweight thin-walled metal structures [1-3]. The mechanisms responsible of the damage ductile are generally identified as growth of micro-voids that ultimately link to form cracks [4,5]. The several researches investigated to the ductile fracture of the structure. Hancock and Brown [6] compared experimental results from notched axisymmetric specimens and flat grooved plane strain specimens and concluded that the ductility was determined by the stress state, and not the strain state. Bao [7] presented an experimental analysis of aluminum 2024-T351 covering the stress ranging from compression to multi-axial tension, based on axisymmetric tensile. The numerical modeling to predict ductile fracture is crucial. The common issue is to predict ductile damage and fracture in multi-axial and non-proportional loadings involving very large plastic strain, in which the damage may localize away from the maximum critical strain locations [8-10]. This work present a numerical prediction of the damage ductile of the structure used by the three-dimensional finite element method analysis. The effect of the thickness ( $e_p$ ) and length ( $h$ ) of structure are presented. Monte-Carlo method is used to predict the distribution function of the damage ductile.

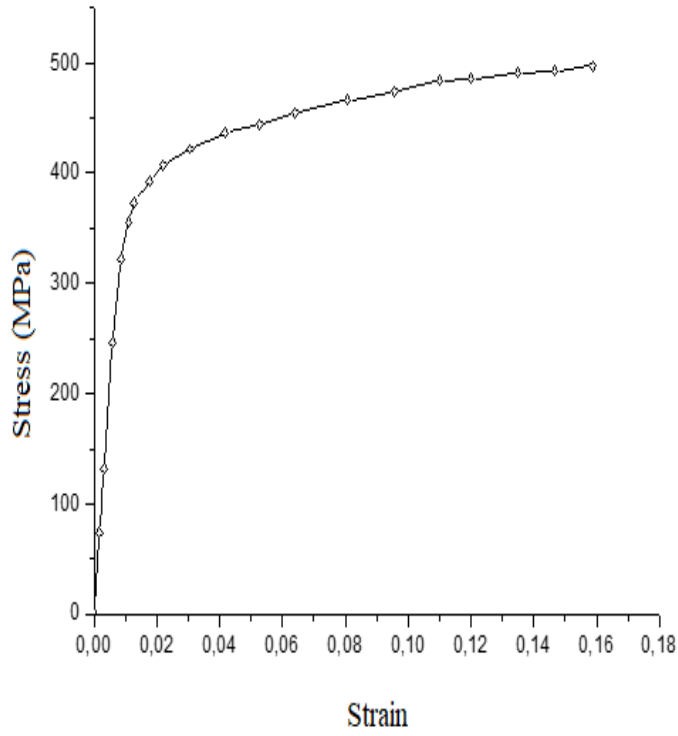
### II. MATERIALS AND METHOD

The basic geometry of the cracked structure considered in this study is shown in Fig. 1. Consider a plate with the following dimensions: The plate is characterized by the height  $h = (65\text{mm}, 100 \text{ and } 120\text{mm})$  and  $h_1 = 49\text{mm}$ , the value of  $b = 20\text{mm}$ , and thickness  $e_p = (1\text{mm}, 3 \text{ and } 5\text{mm})$ . The structure is loaded by a displacement  $U_y = 20\text{mm}$ .





Fig. 1 Geometrical model studied



The mechanical properties of the different materials are given in Table 1; the stress–strain curve of aluminum 2024-T3 is presented in Fig. 2.

Table 1. The mechanical properties of the different materials

Materials	Young modulus E (GPa)	Poisson's ratio $\nu$
Al 2024 T3	72	0.3

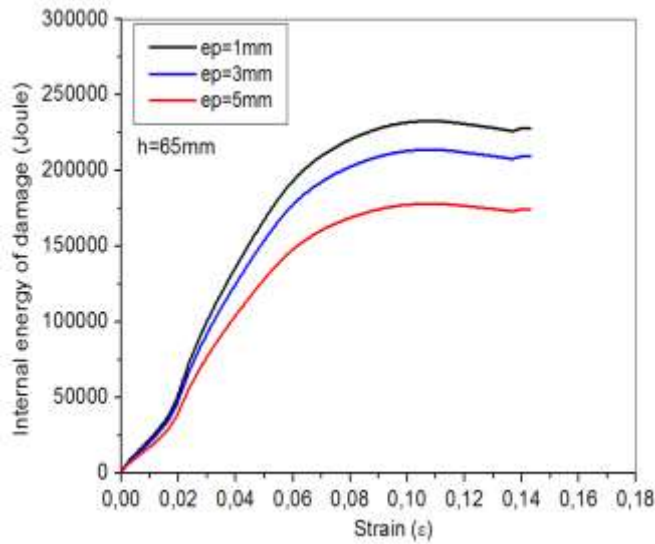


Fig. 2 Stress-strain curve for aluminium 2024-T3.

### III. BOUNDARY CONDITIONS

Boundary conditions for fixation, which are dependent on the symmetry conditions of the geometry, were introduced in the initial phase. These conditions are represented as follows in 3D:  $U_y = U_x = U_z = U_{Ry} = U_{Rx} = U_{Rz} = 0$ ; following Y (left part) and  $U_x = U_z = U_{Ry} = U_{Rx} = U_{Rz} = 0, U_y \neq 0$  following Y (right part of the figure).

### IV. FINITE ELEMENT ANALYSIS

The finite element method was used to study the ductile damage of the structure; it is described explicitly and is an integral part of the mesh boundaries. The structure is considered and modeled by 20 node quadratic elements. The mesh of the specimen used for the three-dimensional numerical analysis is shown in Figure 3. Therefore, a refined mesh is made around the crack. Number of nodes equal to 44350 and number of nodes equal to 8466.

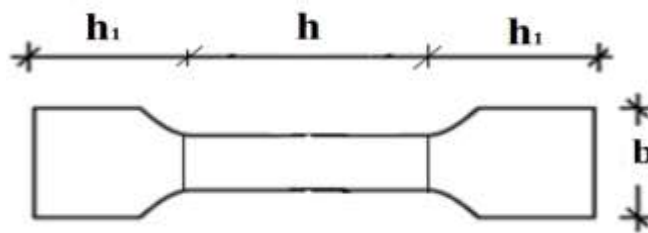


Fig. 3 Finite element model

### V. ANALYSIS AND RESULTS

#### A. Thickness Effect

Fig.4 shows the Stress-strain curve of the damage ductile for different values of the thickness. we note that the increase of the thickness reduces the value of the damage in structure .

Fig.5 Variation the internal energy of the damage for different values of the thickness, showed the importance of the effect of the thickness of structure in damaged structures showed that, under pure mechanical loading, the increase of the thickness decreases the internal energy of damage at 30% noted for the thickness ,  $ep=1\text{mm}$  compared with 5mm.

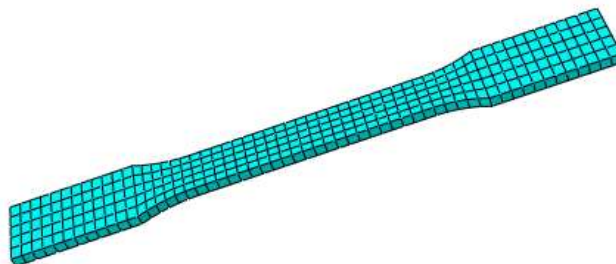


Fig. 4 Stress-strain curve of the damage ductile for different values of the thickness ( $ep$ ).

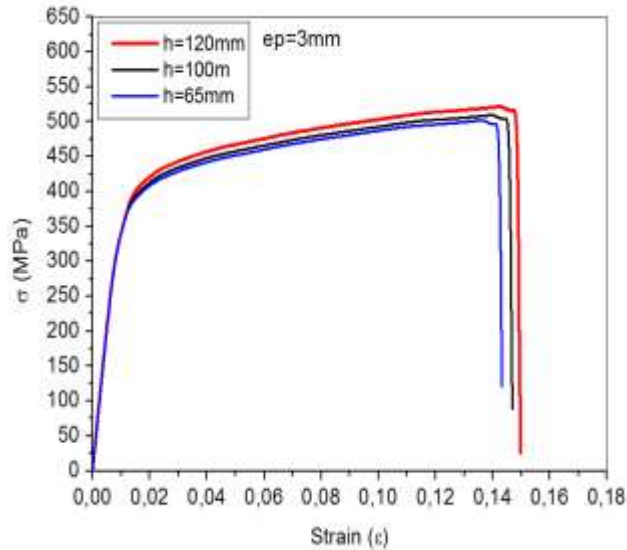


Fig. 5 Variation of the internal energy of the damage for different values of the thickness.

*B. Effect of length (h):*

Fig. 6 shows the Stress-strain curve of the damage ductile for different values of the length we note that the increase of the length (h) increase the value of the damage in structure showed the importance of the effect of the length (h) of structure in damaged of structures. The increase of the length increases the internal energy of damage noted for the length  $h=65\text{mm}$  compared with value of length  $h=120\text{mm}$ .

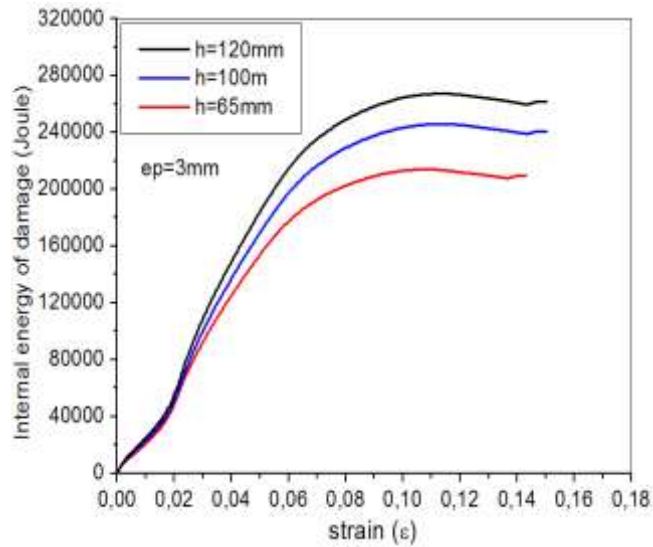


Fig. 6 Stress-strain curve of the damage ductile for different values of the length (h).

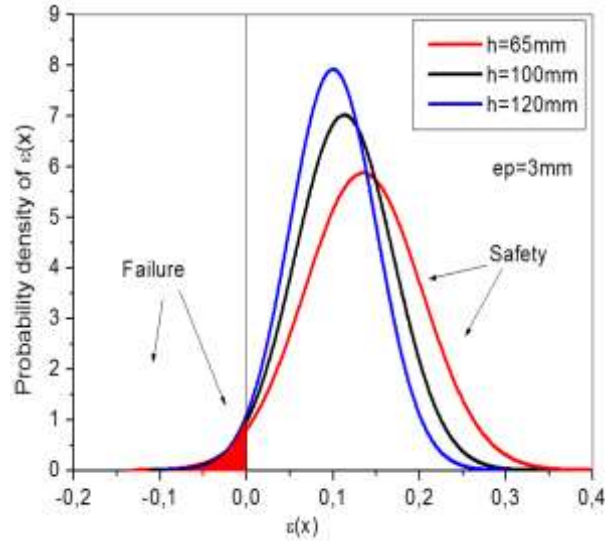


Fig. 7 Variation of the internal energy of the damage for different values of the length ( $h$ ).

## VI. PROBABILISTIC ANALYSIS

The uncertainties are related to load estimation, geometrical fluctuations and scatter of material properties; these parameters are modeled by random variables, described by distribution type and parameters. Eight random variables are considered to model the plate uncertainties related to geometry (Thickness ( $ep$ ), height ( $h$ ), applied stress ( $\sigma$ ), material properties (Young Modulus ( $E$ )).

The probability density function (pdf) is obtained by fitting the histogram with theoretical models. Three distribution laws are investigated: Lorentz, Gauss (Normal law) and Polynomial (9th order); from Fig. 9, it can be clearly observed that the three distributions give more or less good approximation of the ( $\epsilon$ ). The polynomial distribution gives a lower mean value than for Gaussian and Lorentz distributions. By comparing these three distributions, we can conclude that the Gaussian law offers an acceptable approximation of the ( $\epsilon$ ) probability density function, with good estimation of the average (see Fig. 8).

Fig. 9 presents the probability density of ( $\epsilon$ ) for different values of the length ( $h$ ). We noted that when the stress is large the value of the probability density of ( $\epsilon$ ) is small. It can be seen that the margin increases significantly with the uncertainties related to the length, leading to larger failure probability, finally, the failure probabilities depend on the length of structure.

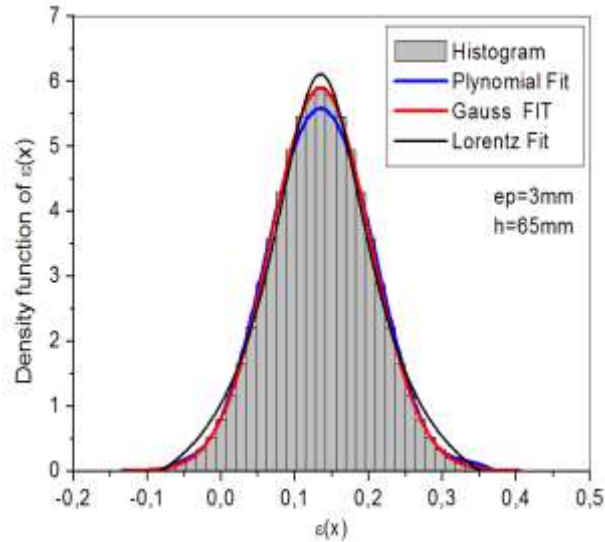


Fig. 8 histogram the probability density of ( $\epsilon$ )

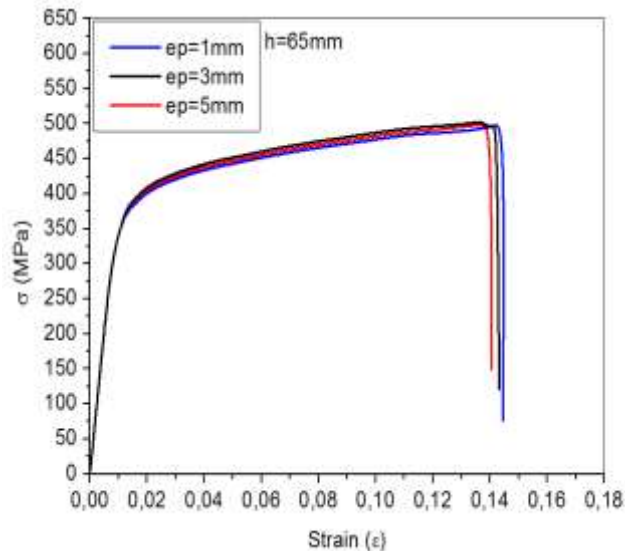


Fig. 9 probability density of ( $\epsilon$ ) for different values of the length ( $h$ ).

## VI. CONCLUSION

The uncertainty in structural design is a major task in engineering. It is usually derived by estimating the reliability of the structure. The prediction of the ductile damage of structure of mechanical components requires the knowledge of physical quantities that are in the plastic field. In this study a numerical prediction of the damage ductile of the structure it's used by the three-dimensional finite element method analysis subjected to tensile loading. The effect of the thickness ( $ep$ ) and length ( $h$ ) of structure is presented for analysis the probabilistic fracture mechanic of the damage ductile. The Monte Carlo method is used to predict the distribution function of the damage ductile. The failure probability of the structure was calculated by taking into account both the statistical uncertainty on the basic variables and the model uncertainty as previously discussed. The probability density function (pdf) is obtained by fitting the histogram with theoretical models. Three distribution laws are investigated Lorentz, Gauss (Normal law) and Polynomial (9th order). The Gaussian law offers an acceptable approximation of the ( $\epsilon$ ) probability density function, with good estimation of the average. The uncertainty in the geometry parameter, have a significant effect on increasing the probability of failure and reduced of the durability of the structure.



## REFERENCES

- [1] D.E.Green, K.W. Neale, S.R. MacEwen, A. Makinde, and R. Perrin, “Experimental investigation of the biaxial behaviour of an aluminum sheet”. *International Journal of Plasticity*, 2004, 20(8-9): p. 1677-1706.
- [2] G.W. Greenwood, R.H. Johnson, “The deformation of metals under small stresses during phase transformation”. *Proceedings of the Royal Society of London Series a-Mathematical and Physical Sciences*, 1965, 283(1394): p. 403.
- [3] A.L. Gurson, “Continuum theory of ductile rupture by void nucleation and growth: part I yield criteria and flow rules for porous ductile media”. *Journal of Engineering Materials and Technology-Transactions of the Asme*, 1977, 99(1): p. 2-15.
- [4] M.E. Gurtin, and L. Anand , “A theory of strain-gradient plasticity for isotropic, plastically irrotational materials. Part II: Finite deformations”. *International Journal of Plasticity*, 2005, 21(12): p. 2297-2318.
- [5] Y. Bao, (2003). "Prediction of Ductile Crack Formation in Uncracked Bodies".Ph.D. Thesis, Ocean Engineering, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, USA.
- [6] J.W. Hancock, and D.K. Brown, “On the role of strain and stress state in ductile failure”. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 1983, 31(1): p. 1-24.
- [7] Y. Bao, and T. Wierzbicki “A Comparative Study on Various Ductile Crack Formation Criteria”, *Journal of Engineering Materials and Technology*, 2004, 126(3): p. 314-324.
- [8] J.W. Hancock, and A.C. Mackenzie “On the mechanisms of ductile failure in high-strength steels subjected to multi-axial stress states”, *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 1976, 24(2-3): p. 147-160.
- [9] S.S.Haltom, S. Kyriakides, and K. Ravi-Chandar , "Ductile Failure Under Combined Shear and Tension". *International Journal of Solids and Structures* (To appear), 2013, 50(10), p. 1507-1522.
- [10] M.E. Gurtin, and L. Anand "A theory of strain-gradient plasticity for isotropic, plastically irrotational materials. Part II: Finite deformations", *International Journal of Plasticity*, 2005, 21(12): p. 2297-2318.



## PROGRAM EVALUATION OF THE ENTERPRISE EXPLOITATION SERVICE PROCESS

*Umirov Ilkhomjon*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Jizzakh Polytechnic Institute, Faculty of Service, Department of "Vehicle Engineering", Jizzakh, Uzbekistan*

<sup>1</sup>*ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2329-2256>*

*Umirova Gulmira*<sup>2</sup>

<sup>2</sup>*Jizzakh Polytechnic Institute, Faculty of Transport, Department of "Economics and Management" department, Jizzakh, Uzbekistan*

<sup>2</sup>*ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8865-0774>*

### ABSTRACT

The article describes the most important areas for improving the maintenance of cars, the effectiveness of the development of production and technical bases, the maintenance and repair of passenger cars, and a brief description of the technical characteristics of the car maintenance company.

In turn, cars are systematically serviced, including cleaning and washing, refueling, oil changes, and other operational materials, their technical condition, and a series of preventive and repair work aimed at preventing possible breakdowns. Go prevents malfunctions. In many countries of the world, there are modern car service enterprises that are well established in the service of cars and trade spare parts and materials for them, as well as their maintenance. Construction, expansion, reconstruction, and technical re-equipment of existing motor transport enterprises must meet the modern requirements of scientific and technical development and the conditions of the transition of the economy to new market relations.

Secondly, the industrial infrastructure-first of all, the developed system of roads and railways-is an important condition and factor in reducing the total production costs. This, in turn, enhances the competitiveness of the products and the economy as a whole. In order to ensure the accelerated development of modern production and social infrastructure and to create favorable conditions for consistent and sustainable economic growth, a special program "On Additional Measures for Further Development of Production and Social Infrastructure in 2019" was adopted, and its implementation was under strict control. It is desirable to determine the annual production program for the enterprise using the coefficients of avtomobile in conjunction with the accounting of technical preparation coefficients. Inadequate points of equipment for the lack of conditions for the complete performance of technological processes in the regions and workshops at the enterprise. Should improve the exploitation service at the enterprise. This paper provides methodical recommendations and uses their results to improve traffic safety in transport..

**Key words:** car, traffic safety, traffic, traffic signs, dangerous site.

### INTRODUCTION

Deep transformations, gradual reform and liberalization of all aspects of political and socio-economic life, democratic renewal, and modernization of our society are being rapidly developed in our country.

The next priority is the further development of production and social infrastructure as an important factor in modernizing the country and increasing employment.

Special attention should be given to this priority, which is of utmost importance. There are several reasons.



First, the development of infrastructure will create the necessary conditions for the establishment of new enterprises and the development of the economy as a whole, as well as opportunities for the development of the country's rich mineral resources.

Secondly, the industrial infrastructure, first of all, the developed system of roads [6] and railways, whose effective functioning is an important condition and factor in reducing the total production costs, This, in turn, enhances the competitiveness of the products and the economy as a whole [3].

Thirdly, the development of social infrastructure, the provision of the population with clean drinking water and energy, the construction of social facilities, and, ultimately, the improvement of living standards

Fourth, infrastructure development is a labor-intensive industry. This will create new jobs, provide employment to the population, especially young people, and increase their incomes and welfare.

The rapid development of passenger cars worldwide in Uzbekistan, coupled with the need to increase the technical rigidity and culture of driving cars, necessitates the creation of a comprehensive network of technical service zones [4]. Many organizations and enterprises in the country are involved in projects in technical service zones.

However, no technical literature has been developed to cover all aspects of TSS yet. This disadvantage, in turn, has a significant impact on the quality and performance of the work due to the variety of equipment, despite its generalities. Many car service stations have been designed and used in the global automotive industry [5].

This article covers the development of new projects for automotive maintenance stations, summarizing their economic and manufacturing processes and taking into account the experience gained in the field of the automotive industry.

**METHOD**

The main purpose of the article is to summarize the design process for the maintenance areas and make recommendations for their efficient use. It provides a feasibility study of the technologies and their technical performance.

In order to ensure the accelerated development of modern production and social infrastructure and to create favorable conditions for consistent and sustainable economic growth, a special program "On Additional Measures for Further Development of Production and Social Infrastructure in 2019" was adopted, and its implementation was under strict control.

The effective operation of the motor transport enterprise is a combination of the efficient operation of working posts in the production regions and workshops. To this end, technological development needs to be assessed in order to further develop the social infrastructure of motor transport enterprises.

The ATC assesses the annual production program using a variety of methods, depending on the impact level. That is, using cycles, rapid computation, and computational methods.

**RESULT AND DISCUSSION**

At the same time, the calculator is calculated based on the aggregate data for calculating the daily production volume of the rolling stock at the enterprise (volume of transportation, total annual transportation):

It is desirable to determine the annual production program for the enterprise  $\alpha_\phi$  using the coefficients of avtomobile, in this  $\alpha_T$  with the accounting of technical preparation coefficients.

$$\alpha_i = \frac{D_T \cdot \alpha_T}{D_c} \tag{1}$$

In this regard, it is necessary to take into account the annual production volume of the rolling stock in ATC.

Carrying out an assessment of the composition of the vehicles involved in the transport of vehicles by the coefficient of use of cars in scientific terms is as follows:





$$Q_{year} = Q_{day} 361 \cdot \alpha_f = \frac{T_N \cdot \vartheta_T \cdot \beta \cdot q \cdot \gamma_e}{L_{day} + E_{ot} \cdot \vartheta_T \cdot \beta} \cdot 361 \quad (2)$$

Here is;  $Q_{year}$  – daily traffic amount

$T_N$  – time in work

$\vartheta_T$  – technical speed

$\beta$  – using distance coefficient.

$q$  – normal load capacity.

$\gamma_e$  – use of cargo handling capacity.

$L_{day}$  – daily walking distance.

$E_{ot}$  – overloading time.

According to this assessment, annual transportation  $\alpha_f$  is related to the use of in-house car ratios.

In order to calculate  $\alpha_f$  the ratio of use of in-house vehicles, it is necessary to  $\alpha_T$ - First evaluate the technical readiness ratio according to operating conditions:

$$\alpha_T = \frac{1}{1 + L_d \left( \frac{d}{1000} + \frac{D_e}{L_{cr}} \right)} \quad (3)$$

The evaluation process should be based on the total cost of car maintenance and the total annual maintenance;

You should first take into account the annual distance for your product.

$$\mathcal{E}L = A_i \cdot L_d \cdot 365 \cdot \alpha_i \quad (4)$$

Here is:  $A_i$  – number of automobiles

Expression studies were performed on the example of auto-assembling No. 11 at Marjanbulak gold-ore deposit in Gallaaral district.

Particularly in it: the automobiles [1, 7] in enterprises  $A_i = 75$

Identified the normal amount of walking distance to full repair  $L_{cr} = 520000 \text{ km}$  the amount of heavy conditions  $L_{cr} = 385000 \text{ km}$ .

1- TS distance  $L_1 = 3000 \text{ km}$

2- TS distance  $L_2 = 10000 \text{ km}$

Daily walking distance  $L_D = 210 \text{ km}$

Comparison dates of automobiles 2-TS and  $CRd = 0.315 \text{ days}$   $DR = 24 \text{ day}$  enterprises working day 305.

These information were taken for the exploitation condition from the experimental research center MAHSERVIS in Jizzakh city, Sharof Rashidov street. The calculation for the whole enterprise is made as follows.

$$N_{c1} = \frac{L_{cr}}{L_{c1}} = \frac{385000}{385000} = 1 \quad (5)$$

$$N_2 = \frac{L_{cr}}{L_2} - N_{cr} = \frac{386000}{10000} - 1 = 38.5 - 37 \quad (6)$$

$$N_1 = \frac{L_{c1}}{L_1} = N_{yer} - N_2 = \frac{386000}{3000} - 1 - 37 = 90 \quad (7)$$

$$N_{dc} = \frac{L_{cr}}{L_{dr}} = \frac{386000}{25000} = 1540 \quad (8)$$

$$D_{7K} = \frac{L_{cr}}{L_{dr}} = \frac{386000}{250} = 1540 \quad (9)$$



During the cycle standing days in 2-TS, CR and DR

$$D_T = \frac{L \cdot l_{UKT}}{1000} D_{cr.te} \cdot N_{XE} = \frac{0.315 \cdot 38600}{1000} + 24 \cdot 1 = 145 \text{ day} \quad (10)$$

$$\alpha_T = \frac{D_E}{D_E + D_T} = \frac{1540}{1540 + 141} = 0.91$$

According to the calculation the automobiles in enterprises  $\alpha_T$ -Technical preparation coefficient of vehicles in the company is calculated for the exploitation condition for the company as follows:

$$\alpha_T = \frac{1}{1 + L_{dr} \left( \frac{d_2 \cdot K_2 + d_{dr} \cdot K_{CR} + D_{CR}(\eta_{II} - 1)}{10000} + \frac{D_{CR}(\eta_{II} - 1)}{L_{CR} \cdot \eta_i} \right)} \quad (11)$$

Here is:  $d_{2n} d_{pr} \cdot 2 - TS$  ba CR Comparing days

$$d_2 = \frac{D_2 \cdot 1000}{L_2} \text{ day/1000 km} \quad (12)$$

$$d_{cr} = d - d_2 \text{ day /1000 km} \quad (13)$$

d-2-TS and in CR normative general comparing days

$$d = d^h \cdot k_y \quad (14)$$

for quarry  $d^H = 0.1 \text{ day/1000km}$  coefficient of correction  $K_i = 1.26$   $d = 0.5 \cdot 1.26 = 0.63 \text{ k/1000 km}$

$$d_2 = \frac{1 \cdot 1000}{10000} = 0.1 \text{ k/1000 km}$$

$$d_{cr} = 0.63 - 0.1 = 0.53 \text{ k/1000 km}$$

$K_2$  The coefficient that takes into account the type of movement is equal  $K_2 = 2.011$  for the Gallaaral quarry.

$K_{CR}$  – Current repairing works volume that takes into account coefficient  $K_{CR} = 0.5$

According to above mentioned information  $\alpha_T$ -technical preparation coefficient is determined.

$$\alpha_i = \frac{1}{1 + 250 \left( \frac{0.1 \cdot 2.05 + 0.53 \cdot 0.5 + 24(2-1)}{1000} + \frac{24(2-1)}{386000} \right)} = 0.88$$

As it is seen from the calculation,  $\alpha_i = 0.88$ , it is necessary to revise the normative parameters for the enterprise in order to improve the expropriation service at the enterprise. Depending on the ratio of  $\alpha_i$ -technical readiness to use in cars, the ratio of coefficients is determined as follows.

$$\alpha_i = \frac{D_y}{D_{cy}} \cdot \alpha_T \cdot K_i \quad (14)$$

Here is:  $K_i$ - is the coefficient for the reduction due to technical problems with the use of vehicles under the conditions of expropriation.

$$K_i = \frac{D_{EY}}{D_Y \cdot \alpha_T} \quad (15)$$

Here is:  $D_{EY}$ - annual exploitation days.

ATC for specific excretion conditions is calculated as follows:

$$K_i = \frac{D_{EO}}{D_i \cdot \alpha_T} = \frac{301}{301 \cdot 0.88} = 1.13$$

$$K_i = \frac{301}{301 \cdot 0.91} = 1.10$$

For the real condition of enterprise

$$\alpha_i = \frac{301}{301} \cdot 0.88 \cdot 1.13 = 0.830$$

During cycle for the condition of enterprise



$$\alpha_i = \frac{301}{301} \cdot 0.91 \cdot 1.1 = 0.836$$

In terms of operating environment at the enterprise

$$\alpha_i = \frac{D_Y}{D_K} \cdot \alpha_T = \frac{301}{301} \cdot 0.88 = 0.73$$

## CONCLUSION

In conclusion, it should be noted that for the enterprise, the same type of cars  $\alpha_i = 0.73, \alpha_i = 0.830, \alpha_i = 0.836$ , can be interpreted as:

- 1) Due to non-conformity of operation requirements of ATC
- 2)  $A_i = 75$  per day the technical parameters of  $A_i = 62$  correspond to technical parameters, while,  $A_i = 13$ , exactly 17% of the vehicle is not technically ready for work;
- 1) Inadequate points of equipment for the lack of conditions for the complete performance of technological processes in the regions and workshops at the enterprise.
- 2) Should improve the exploitation service at the enterprise

## REFERENCES

1. Sidiknazarova K.M. 2008. Technical exploitation of automobiles, course-book. -Tashkent: «VORIS-NASHRIYOT», 560.
2. Adilov O.K, Mamayeva L.M, Xoshimova Sh, Adilov J Improving the work of HK in Service station. Samarkand Institute of Architecture and Construction Architectural and Construction Problems. Scientific and technical journal. Issue 3, 2017, pages 104-106.
3. Adilov O.K, Alikulov S.R. (2016) Ensuring ecological safety of vehicles, Наука техника и образования Россия.
4. O.K.Adilov, G.I.Mamaev, L.M.Mamaeva, J.A.Adilov (2018). Pollution of atmosphere motor transport ,San Francisco, USA. 30 March pages 118-123.
5. Adilov OK (2017). Technology of obtaining electricity with the participation of vehicles on the streets of the city . Materials of the international scientific-practical conference. (June 9-10) Volume 5,p 34-37.
6. Адиллов, О. К., Сувонкулов, Ш. А., Кулмурадов, Д. И., Умиров, И. И., & Бойжигитова, И. А. (2019). Причины изменения технического состояния автомобиля. Актуальные научные исследования в современном мире, (1-2), 116-118.
7. Адиллов, О. К., Умиров, И. И., & Уразов, Б. А. (2020). Методика определения деталей, критических по надежности автомобилей. Academic research in educational sciences.



## KHANNA'S UNIQUE DIVISION METHOD FOR CALCULATING THE CUBE ROOT OF ANY REAL NUMBER

*Anupam Khanna*

*Department of Mathematics, DAV College-Sadhaura, Yamunanagar, Haryana (INDIA)*

### ABSTRACT

In this work, a new approach to find the cube root of real numbers is discussed. This technique is based on the classic long division method as we usually use to find the square root of real numbers. Author applied this method to 'perfect cubes as well as non-perfect cubes (even to decimal numbers)' and got the accuracy in the answers. This approach is unique due to its working procedure which is explained in this paper. Method is discussed step-by-step for few examples with the help of figures. No comparable work is available in the existing literature.

**Keywords:** cube root, square root, perfect cubes, long division method

### Introduction

When we multiply a number 'x' by itself three times i.e.  $x \times x \times x$ , it is called the cube of x i.e.  $x^3$ . As same for every positive real number 'a', there must exist one positive real number 'b' such that  $b^3 = a$ . This 'b' is called the cube root of 'a'. There are two more cube roots of 'a' which forms a complex conjugate pair. Generally factorization method is used to find the cube root of a 'perfect cube' but this method seems inappropriate (due to a lot of steps) for finding the cube roots of 'perfect cubes' having four or more digits numbers. Moreover this method is not valid for finding cube roots of 'non-perfect cubes' as well as 'decimal real numbers'.

Very little work is available in existing literature related to cube root extraction manually. Yumnam Kirani Singh [1] proposed a new algorithm for calculating cube roots positive large integers only by using long division method. Goran Johansson [2] analyzed Cube root extraction in medieval mathematics with respect to algebraic structure and use of external memory (dust board, table, and paper). Shudhanshu Shaw [3] presented modified algorithm of division method to find cube root of up to n-digit number.

Here author developed a new algorithm which is based on division method for finding square root of real numbers but with a unique and different approach, which can be used to calculate the cube roots of any real number up to any places of decimal. Author explained the method and its applicability in the next section with the help of finding cube roots of few perfect cubes, non-perfect cubes and decimal numbers (real numbers).

### Preliminaries

- i. Author assumed that the readers are aware the cubes of first ten numbers i.e.

$$\begin{array}{cccccc}
 0^3 = 0 & 1^3 = 1 & 2^3 = 8 & 3^3 = 27 & 4^3 = 64 & \\
 5^3 = 125 & 6^3 = 216 & 7^3 = 343 & 8^3 = 512 & 9^3 = 729 & 
 \end{array}$$

- ii. Author assumed that the readers are familiar with the working of division method for finding the square root of a real number along with the terms used i.e. dividend, divisor, and remainder.
- iii. Author assumed that readers would not hesitate to do the calculation part of this method manually.
- iv. We know that 'Cube root of every four to six digits number is a two digit number'.
- v. We know that 'Cube root of every seven to nine digits number is a three digit number'.



vi. We know that ‘Cube root of every ten to twelve digits number is a four digit number’ and so on.

### 1. Materials and Method

Author used a classic formula for finding the cube root of the number i.e.

$$(a+b)^3 = a^3 + 3 a^2 b + 3 a b^2 + b^3 \quad (1)$$

Above formula for a two digit number (10a+b) may be written as:

$$(10a+b)^3 = 1000a^3 + 300 a^2 b + 30 a b^2 + b^3 \quad (2)$$

where ‘a’ and ‘b’ are tens and unit digit respectively. As same the above formula can be written for numbers of three or higher digits.

Author used the above formula for calculating the cube root of real numbers as it is but with a different and unique approach, which is not discussed earlier. This approach is explained in step 4 of the next section.

### 2. Algorithm

Let us understand the working of the present method with the help of few examples of finding the cube roots of real numbers. These examples are well explained with the help of necessary and required figures which describe the calculation part of the algorithm very clearly.

#### Ex.1. Find the cube root of 32768.

*We know that cube root of up to 6 digit number is a two digit number.*

**Step 1:** Initially we have to mark triads from right most to left of dividend. After that, we find one digit number or two digit number or a triad in the left most. This will give us a start. Mark a circle on that. For example, we take 32768. It has only one triad (768) from right to left and two digit numbers (32) is found in the left most. Mark a circle on 32 as shown in figure 1.1.

**Step 2:** Choose a number (maximum) between 1 to 9 whose cube must be less than or equal to circled number.

In this case, that number would be ‘3’, since cube of 3 is 27 which is less than 32 but cube of 4 is 64, which is greater than 32. Denote this number ‘3’ as P (‘a’ of Eqn. 1) and write it at the place of divisor.

Again write P on the top as shown in figure 1.2. Now write its cube i.e. 27 (‘1000a<sup>3</sup>’ of Eqn. 2) just below the circled number and subtract. Write the remainder below i.e. 5. Let us denote this remainder with X.

**Step 3:** Now we have to make new divisor for further calculation. New divisor will be three times of P i.e. 3P. Write it down in the left side of X as shown in figure 1.3. Here we denote it as Q (=3P).

In order to make new dividend, write down the first triad from left in right side of X. Let us denote this new dividend with Y (‘300 a<sup>2</sup> b + 30 a b<sup>2</sup> + b<sup>3</sup>’ of Eqn. 2).

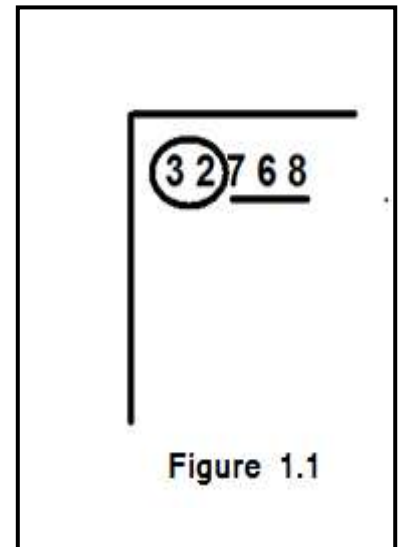


Figure 1.1

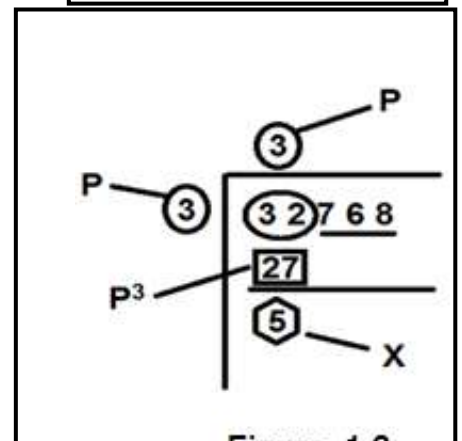


Figure 1.2

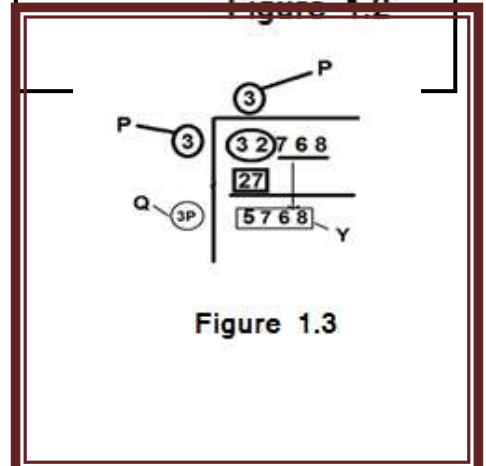


Figure 1.3



**Step 4:** This step is the main step of this technique which makes this unique with others methods. Try to understand the working in this step very carefully.

**Step 4.1:** Now we have to choose a number (say R) from 1 to 9 and place it at right of Q as well as right of P which is place at the Top. Here R = 2 ('b' of Eqn.1) as shown in figure 1.4.

Here author applied a unique and new way of getting '300 a<sup>2</sup> b + 30 a b<sup>2</sup> + b<sup>3</sup>' of Eqn. 2. Readers are advised to go through the method very carefully.

**Step 4.2:** Multiply P with Q and denote this as α. Here α = 3 x 9 = 27

**Step 4.3:** Multiply QR (say S) with R and denote this as β. Here β = 92 x 2 = 184

**Step 4.4:** Add α and β in such a way that Unit digit of α must be coincide with Hundred digit of β (This steps is Unique). Denote this addition as λ. (Shown in figure 1.5)

**Step 4.5:** Again multiply R with λ and denote the result as ξ.

$$\xi = 2 \times 2884 = 5768 \text{ which is equal to } Y.$$

Provided that  $\xi \leq Y$ . Now value of  $\xi$  fully dependent of R. Choose the value of R in such a way that  $\xi \leq Y$  for R but

$\xi > Y$  for R+1.

(Note: This  $\xi$  is equal to '300 a<sup>2</sup> b + 30 a b<sup>2</sup> + b<sup>3</sup>' of Eqn.2 in case of a perfect cube or less than '300 a<sup>2</sup> b + 30 a b<sup>2</sup> + b<sup>3</sup>' of Eqn.2 in case of a non- perfect cube

**Step 5:** Write ξ below Y and subtract. If remainder is zero then we get the cube root on the Top i.e. PR otherwise we have to move on step 6.

In this example, value of remainder i.e. Y - ξ is zero which implies that cube root of 32768 is PR i.e. 32 as shown in figure 1.6.

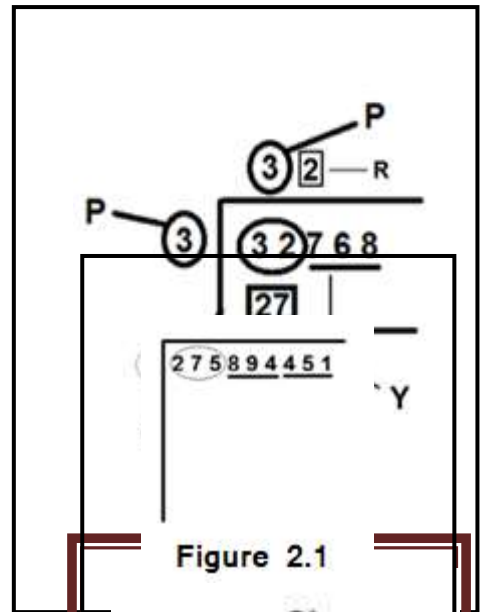


Figure 2.1

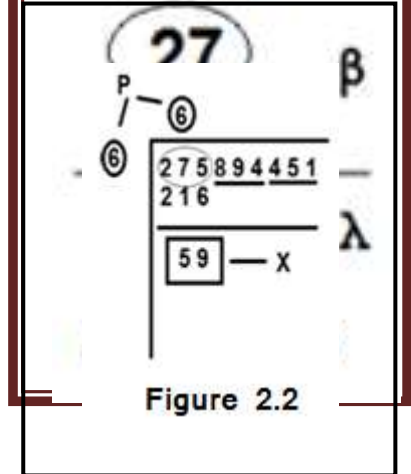


Figure 2.2

Let us take an another example which requires more steps than example 1.

Ex.2. Find the cube root of 2 7 5 8 9 4 4 5 1.

Note: Since the above number is a 9 digit number so its cube root is of three digits.

**Step 1:** Making triads from left to right. We get three triads. Mark circle on Left most triad i.e.275 as shown in figure 2.1.

**Step 2:** Now we have to choose a maximum integer between 1 to 9, whose cube is lesser than circled triad i.e. 275. In this example, that number will be 6 because cube of 6 is 216 which is less than 275 and cube of 7 is 343 which is greater than 275. Let us denote 6 as P. Now write P as a divisor on the left side of circled triad and also write P on the top.

Write down the cube of P (216) below circled triad (275) and subtract. Here we get remainder X (59) as shown in figure 2.2.

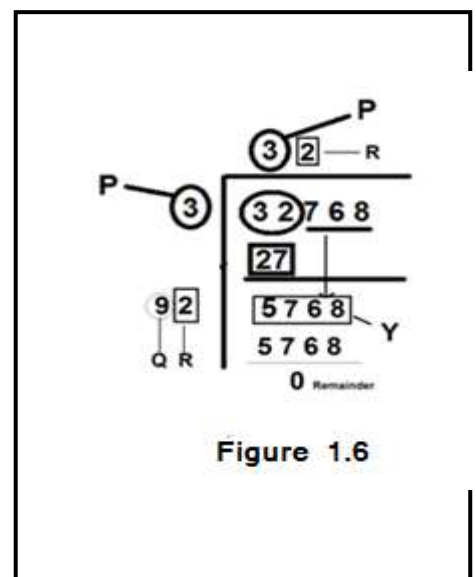


Figure 1.6



**Step 3:** Now write a new divisor '3P' in the left of X i.e.  $3 \times 6 = 18$ . Denote this 3P as Q. Also write down the first triad after circled one i.e. 894 in the right side of X.

In this example, we get 59894. Let us denote this as Y as shown in figure 2.3.

**Step 4:** Now we came at very important step. Here we have to choose R from 1 to 9 and write at right place of Q and P (at Top) in such a way that  $\xi$ , which will obtain in step 4.5 must be less or equal to Y. It is very sensitive decision and should be taken carefully.

Let us start with  $R=6$ .

Here  $\alpha = 18 \times 6 = 108$  and  $\beta = 186 \times 6 = 1116$

Now add  $\alpha$  and  $\beta$  in such a way that unit digit of  $\alpha$  must coincide with hundred digit of  $\beta$  i.e. 11916 (figure 2.4).

Now multiply  $\lambda$  with R to get  $\xi$ , we get:  $11916 \times 6 = 71496$  ( $\xi$ ) which is greater than Y (59894). That's why R can't be considered 6.

Now we take  $R=5$  then  $\alpha = 108$  and  $\beta = 925$ .

Again add  $\alpha$  and  $\beta$  in such a way that unit digit of  $\alpha$  must coincide with hundred digit of  $\beta$ , we get (figure 2.5):

Now multiply  $\lambda$  with R to get  $\xi$ , we get:  $11725 \times 6 = 58625$  ( $\xi$ ) which is lesser than Y (59894). That's why R must be considered as 5.

**Step 5:** Write  $\xi$  below the Y and subtract. Now the remainder will be denoted by Z i.e. 1269 as shown in figure 2.6.

**Step 6:** This step was not considered in previous example. Please read the working of this very carefully.

Here we have to make a new divisor by adding double of R i.e.  $2R$  in QR (= S) and denote this new divisor as T. Write T in the left of Z. In this example,  $S + 2R = 185 + 10 = 195$  as T.

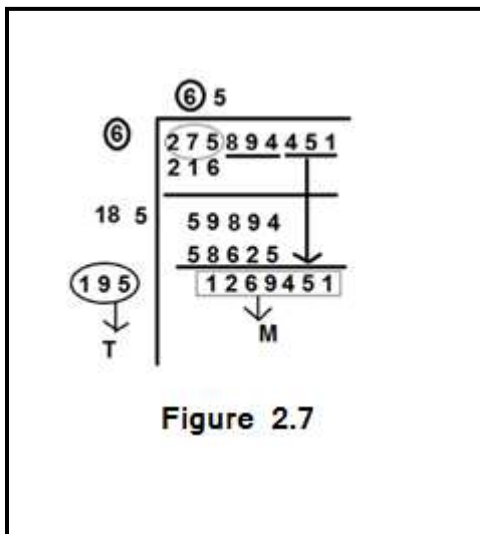


Figure 2.7

Also write down next triad in the right of Z and name it M as shown in figure 5. Here M is 1269451 as shown in figure 2.7.

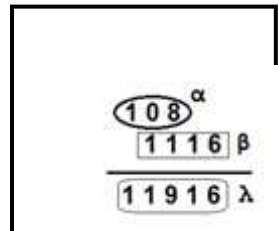


Figure 2.4

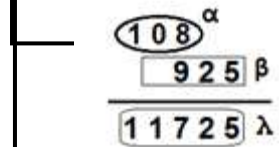


Figure 2.5

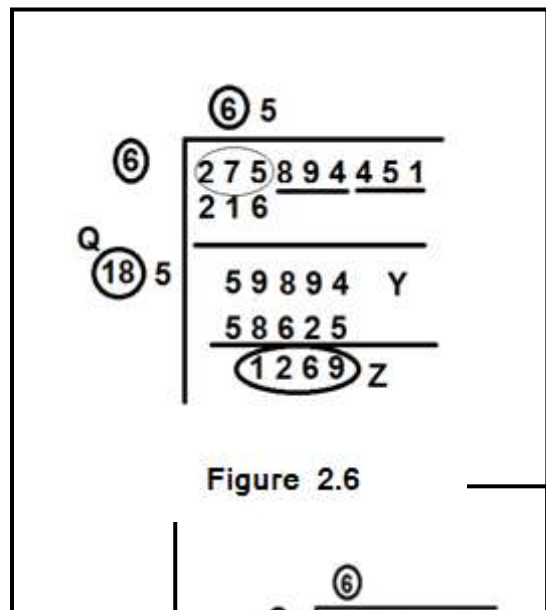


Figure 2.6

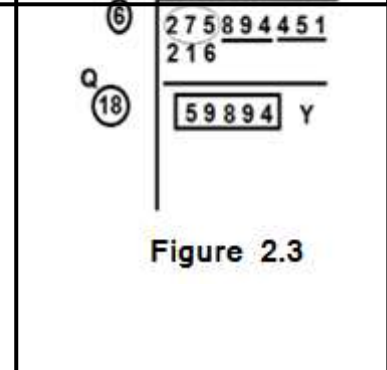


Figure 2.3



**Step 7**

**Step 7.1:** Now repeat all the steps of step 4 for further calculation. Again we have to choose greatest integer from 1 to 9 (say  $R_1$ ) and place it at the right of divisor 'T' ( $TR_1$ ) and at the top with PR i.e.  $PRR_1$  as shown in figure 2.8. In this example, we take  $R_1 = 1$ .

**Step 7.2:** Calculate  $\alpha_1$  by multiplying T (195) with PR (65) i.e.

$$\alpha_1 = 195 \times 65 = 12675$$

**Step 7.3:** Calculate  $\beta_1$  by multiplying  $TR_1$  (1951) with  $R_1$  (1) i.e.  $\beta_1 = 1951 \times 1 = 1951$

**Step 7.4:** Add  $\alpha_1$  and  $\beta_1$  in such a way that unit digit of  $\alpha_1$  must coincide with hundred digit of  $\beta_1$ . Denote the addition as  $\lambda_1$ . (See figure 2.9)

**Step 7.5:** Multiply  $\lambda_1$  by  $R_1$  and name it  $\xi_1$ . This  $\xi_1$  must be less than or equal to M. If  $R_1$  is found greater than M, repeat the step with smaller value of  $R_1$ .

*Provided that  $\xi_1 \leq M$ . Now value of  $\xi_1$  is fully dependent of  $R_1$ . Choose the value of  $R_1$  in such a way that  $\xi_1 \leq M$  for  $R_1$  but  $\xi_1 > M$  for  $R_1+1$ .  $\xi_1 = 1269451 \times 1 = 1269451$  which is equal to M. Place  $\xi_1$  below M and subtract. If remainder is zero then we get the required cube root on the Top i.e.  $PRR_1$ , it implies 651. (As shown in figure 2.10)*

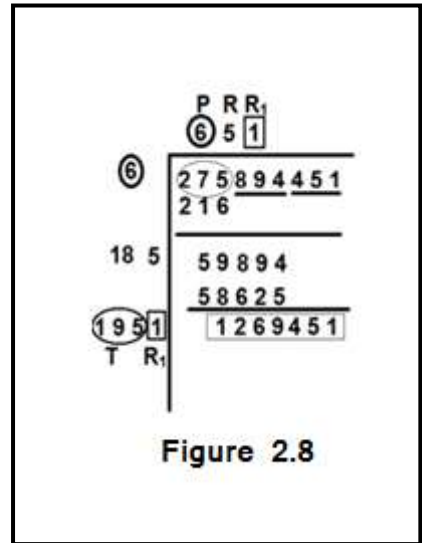
**Example3. Find the cube root a single digit number i.e. 3.**

Since 3 is a not a perfect cube and has no triads, we can insert triads just after putting a decimal to the right of 3. If we want to find the cube root of 3 up to 'n' places of decimal, we should insert 'n+1' triads. Here we will calculate cube root of 3 up to three places of decimal. We insert four triads in right side of 3 and mark them as shown in figure 3.1. Here left most number is one digit number i.e. 3. Mark 3 in circle.

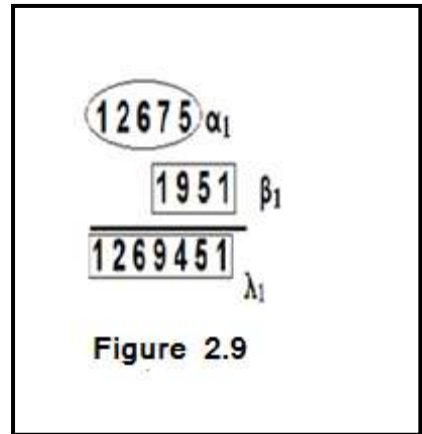
Let us do calculation fast. Choose an integer (maximum) 'P' from 1 to 9 whose cube should be less than 3 i.e. 1. Write down P at divisor place and at the top as we did in previous examples.

Write the cube of P i.e. 1 just below the circled 3 and subtract. We get the remainder 2. Denote this remainder as X as shown in figure 3.2.

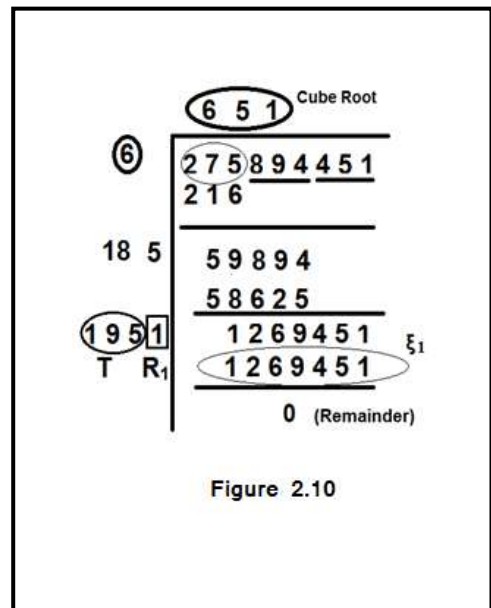
Now write three times of P i.e.  $3P (= Q)$  as new divisor in the left side of X. Since new triad is after decimal, we have to put a decimal just right of the P on top and write first triad from left in the right side of X as shown in figure 3.3. Now the new dividend is 2000. Denote this by Y.



**Figure 2.8**



**Figure 2.9**



**Figure 2.10**



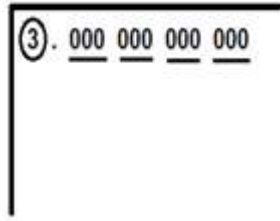


Figure 3.1

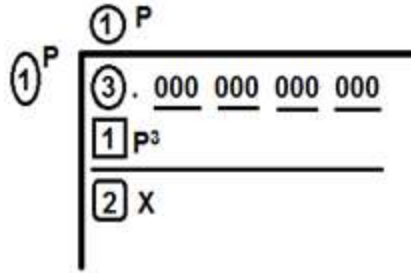


Figure 3.2

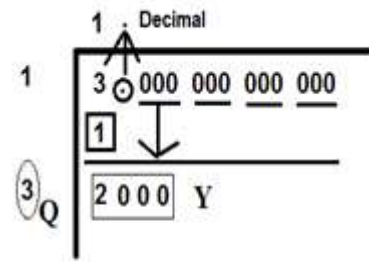


Figure 3.3

Now we have to choose maximum R (1 to 9) and put in the right of Q and P (on Top). Denote QR as S. Calculate  $\alpha$  and  $\beta$  by multiplying Q with P and S with R respectively. Add  $\alpha$  and  $\beta$  uniquely as explained in previous examples.

Here let us choose  $R = 4$

$$\alpha = 3 \times 1 = 3 \quad \text{and} \quad \beta = 34 \times 4 = 136$$

On adding  $\alpha$  and  $\beta$ , we get  $\lambda = 436$  as shown in figure 3.4.

Calculate  $\xi$  by multiplying  $\lambda$  with R i.e.

$$\xi = 436 \times 4 = 1744$$

Write  $\xi$  below Y and subtract. New remainder is 256. Name it Z. See figure 3.5.

*Provided that  $\xi \leq Y$  for R but  $\xi > Y$  for R+1.*

Now add double of R i.e. 8 in S to make new divisor T. Note second triad in right to Z and denote this with M as we assumed in previous example as shown in figure 3.6.

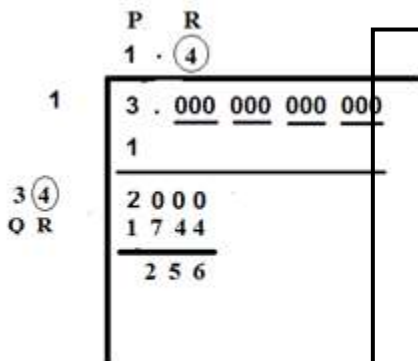
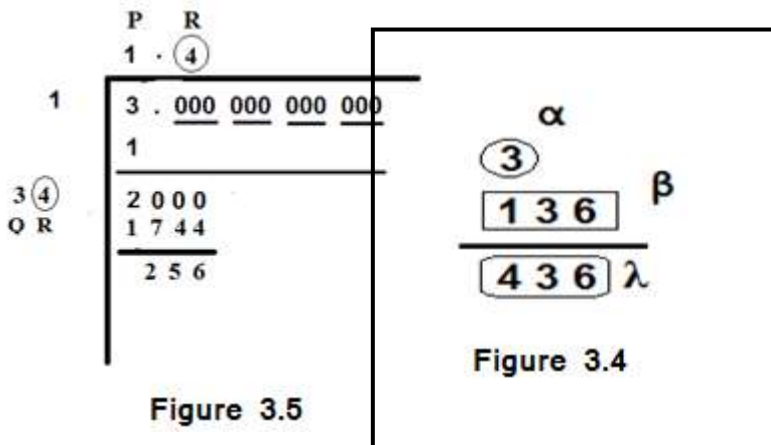
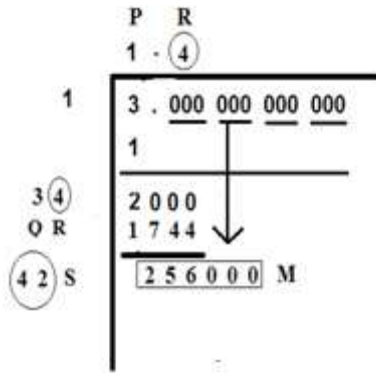
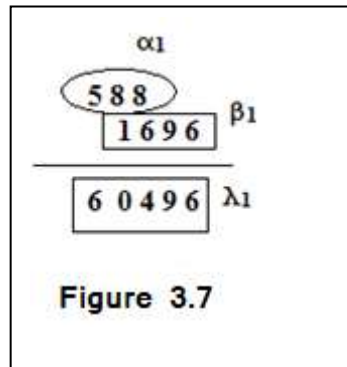
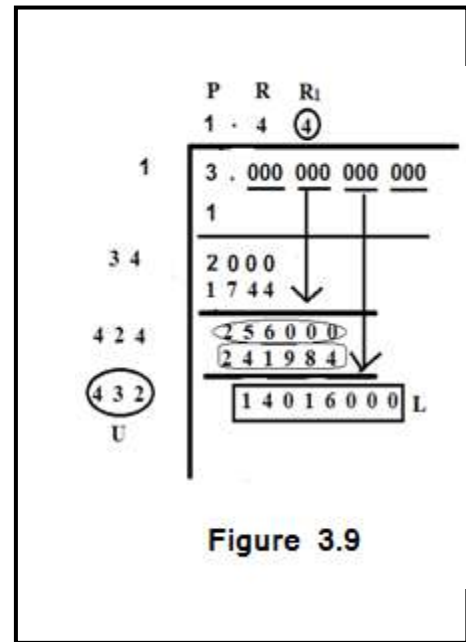


Figure 3.5


**Figure 3.6**

**Figure 3.7**

**Figure 3.9**

Again repeat the previous step to choose maximum  $R_1$  from 1 to 9 and put in right of S and right of PR (at Top).

Now we have to find  $\alpha_1$  and  $\beta_1$  by multiplying S with PR and  $SR_1 (=T)$  with  $R_1$  respectively. Add  $\alpha_1$  and  $\beta_1$  uniquely as done earlier. Name the sum as  $\lambda_1$ .

Let us choose  $R_1 = 4$

$$\alpha_1 = 42 \times 14 = 588 \quad \beta_1 = 424 \times 4 = 1696$$

On adding  $\alpha_1$  and  $\beta_1$  uniquely, we get 60496 i.e.  $\lambda_1$  (see figure 3.7).

$$\text{Also } \xi_1 = 60496 \times 4 = 241984 < 256000 (M)$$

**Provided that  $\xi_1 \leq M$  for  $R_1$  but  $\xi_1 > M$  for  $R_1+1$ .**

Write  $\xi_1$  just below the M and subtract. We get new remainder i.e. N (14016) as shown in figure 3.8.

Since remainder is not zero, it indicates that we have to move on next step.

Again add twice of  $R_1$  in T ( $S R_1$ ) to make new divisor U (432).

Write 432 in left of N as new divisor and note third triad in right of N to make new dividend i.e. 14016000 and name it L as shown in figure 3.9.

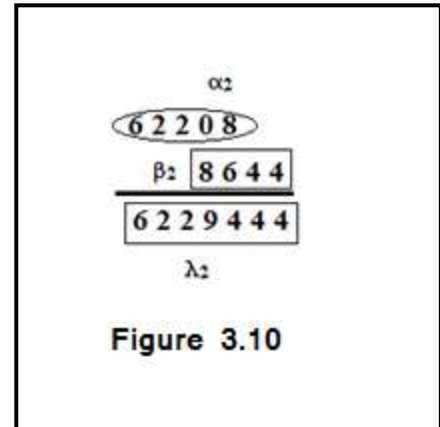
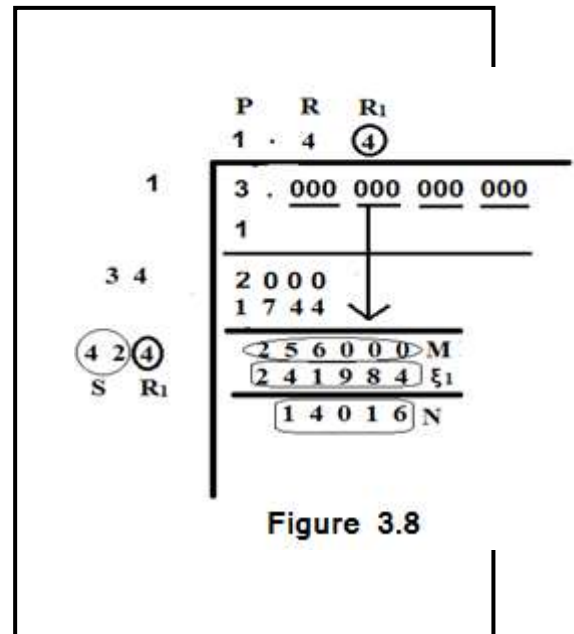
This step would be last step due to last triad. Again choose maximum  $R_2$  from 1 to 9 and write it at right of U and also right of  $PRR_1$  (at the Top). For  $R_2$ , again find  $\alpha_2$  and  $\beta_2$  by multiplying U with  $PRR_1$  and  $UR_2 (=V)$  with  $R_2$  respectively. On unique addition of  $\alpha_2$  and  $\beta_2$ , we get  $\lambda_2$ . Now multiply this  $\lambda_2$  with  $R_2$ , we find  $\xi_2$ .

**Provided that  $\xi_2 \leq L$  for  $R_2$  but  $\xi_2 > L$  for  $R_2+1$ .**

Here we have  $R_2 = 2$ .

$$\alpha_2 = 432 \times 144 = 62208 \quad \beta_2 = 4322 \times 2 = 8644$$

On adding  $\alpha_2$  and  $\beta_2$ , we have  $\lambda_2 = 6229444$  as shown in figure 3.10.


**Figure 3.10**

**Figure 3.8**



Again  $\xi_2 = 6229444 \times 2 = 12458888$  which is less than i.e. 14016000. Write  $\xi_2$  below L and subtract. Denote new remainder as K (1557112) as shown in figure 3.11.

We still have one triad, which indicates that one more step is required.

Again write down the triad in right of K to make new dividend and denoted this with J.

Add double of  $R_2$  in V and make a new divisor (W) for J as shown in figure 3.12.

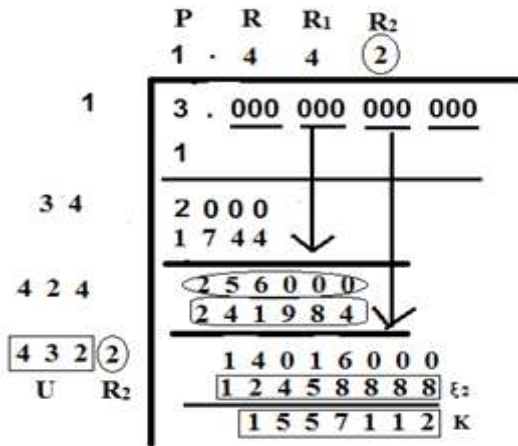


Figure 3.11

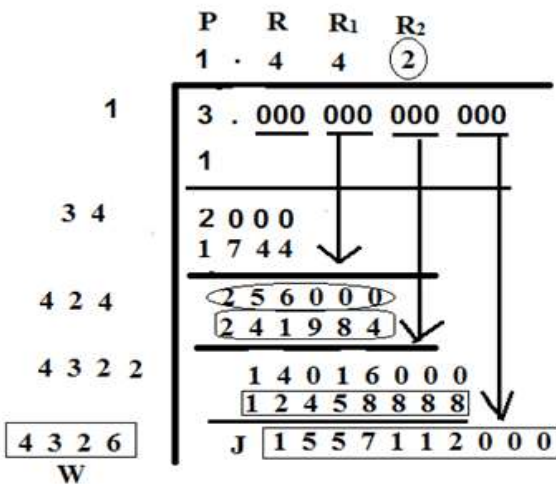
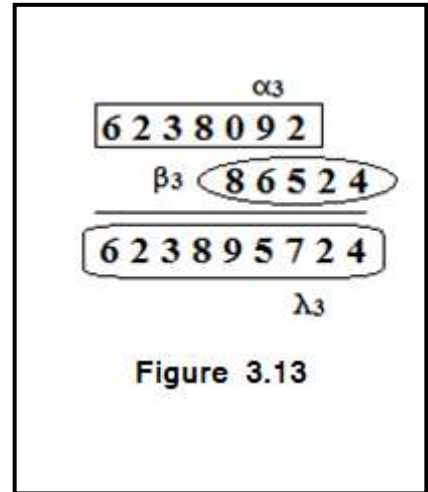


Figure 3.12



Now we have to choose maximum  $R_3$  from 1 to 9 and put it in right of W i.e. W  $R_3$  (H) and  $PRR_1R_2$  (1442). Let us take  $R_3$  be 2. Obtain  $\alpha_3$  and  $\beta_3$  by multiplying W with  $PRR_1R_2$  (1442) and H with  $R_3$  respectively. After adding  $\alpha_3$  and  $\beta_3$  uniquely, we obtain  $\lambda_3$  as shown in figure 3.13.

Here  $\alpha_3 = 4326 \times 1442 = 6238092$

$\beta_3 = 43262 \times 2 = 86524$  and  $\lambda_3 = 623895724$

Calculate  $\xi_3$  by multiplying  $\lambda_3$  with  $R_3$  i.e.



$\xi_3 = 623895724 \times 2 = 1247791448$  which is less than  $J$ .

**Provided that  $\xi_3 \leq J$  for  $R_3$  but  $\xi_3 > J$  for  $R_3+1$ .**

Write  $\xi_3$  below the  $J$  and subtract. We get 309320552 (remainder) which opens the gate for further calculation for extracting cube root for more decimal places. Since considered triads are exhausted, process would be stopped at this step. On the top, we get required cube root of 3 i.e. 1.4422 (approx.) up to three places of decimal as shown in figure 3.14.

### Conclusions

The above discussed long division formula for calculating cube root of any given real number up to any places of decimal works uniquely and with a great accuracy even without using calculator or computer program. With a handful practice of this method may provide the cube root of a real number in a couple of minutes. Author named this method by his name i.e. Khanna's Unique Division Method which will be definitely helpful for the students. The only **drawback** of this method is 'manual calculation' but that is necessary for the students for their brain's exercise and development.

### References

1. Yumnam K. Singh (2016) "Computing cube root of a positive number" Conference Proceedings Emerging Global Trends in Engineering and Technology, Donbosco University, Azara, Guwahati.
2. Goran Johansson (2011) "Cube root extraction in medieval mathematics", *Historia Mathematica*, 38 (3), pp. 338-367.
3. Shudhanshu Shaw (2018) "Cube root of a positive integer using LDM", *International Journal of Innovative Research & Growth*, 6 (5), pp. 114-118.

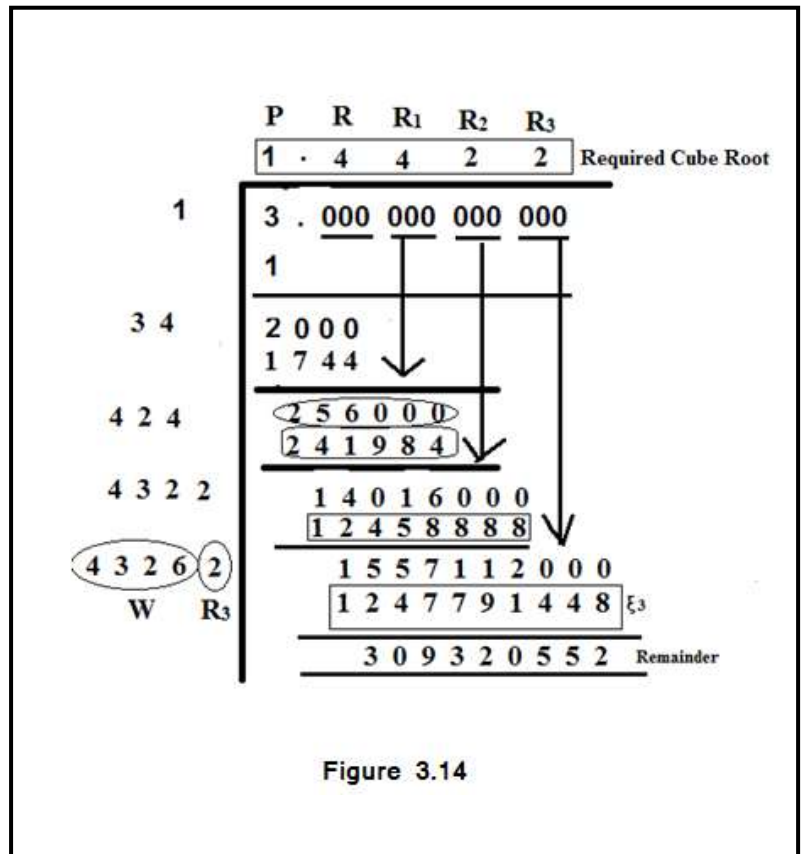


Figure 3.14



## INVESTIGATION ON SOLAR PV DEFECTS BY USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND DEEP LEARNING

*Alhassan Issah Fofana*

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0009-6293-3512>

*Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Istanbul Aydin University, Istanbul, Turkiye.*

*Assist. Prof. Dr. Vedat Öztürk*

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4699-2581>

*Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Istanbul Aydin University, Istanbul, Turkiye.*

### ABSTRACT

One of the main sources of renewable energy in the globe is solar electricity. Electricity may be produced anywhere the sun shines with solar devices. These systems should be evaluated on a regular basis to prevent efficiency losses in photovoltaic systems. This paper discusses the use of thermal pictures captured by solar panels to identify cell, module, and panel problems in PV systems. During the investigation, an Infrared Thermal Camera would be used to capture the thermal photographs of photovoltaic systems at Istanbul Aydin University. Using the obtained thermal pictures, a thermal data group would be formed with damages from the PV systems. These generated dataset would be used to train the convolutional neural network (CNN) powered by Visual Geometry Group 16 (VGG16) deep learning model. The embedded AI (Artificial Intelligence) computing system VGG16 would be used for this training. It would be determined during the VGG16 network's training that the defects listed in the training was adequately identified.

**Keywords:** Deep learning, thermal camera, Convolution Neural Network, Architecture, Visual geometry group.

### 1. INTRODUCTION

Solar panels are becoming increasingly popular as a source of renewable energy. However, defects on solar panels can affect their efficiency and reduce energy production. Detecting these defects can be a time-consuming and expensive process. In recent years, artificial intelligence (AI) has been proposed as a solution to this problem. AI algorithms can be used to detect defects on solar panels quickly and accurately, improving the efficiency of solar panels. In this article, we review the literature on using AI for solar panel defect detection and present the results of a study we conducted on this topic. [1]

Thermal photographs of solar panels may be analyzed with a thermal camera to determine their condition. Thermal pictures must be analyzed by professionals in order for these findings to be reached. Computer-based software must be created to reduce the time it takes to form these judgements. The software that is presently being developed can detect and diagnose faults in thermal pictures. [2]

Leveraging artificial intelligence for detecting and diagnosing PV faults enhances the probability of success. Deep learning algorithms have been deployed in various domains, such as speech recognition and image classification, showcasing excellent self-learning, error resilience, and flexibility. Using deep learning-based systems, aerial photos of PV modules can be analyzed to identify and classify flaws. Thermal cameras provide rapid and error-free outputs. This study involves the capture of thermal images of solar panels and identification and diagnosis of solar panel defects. [3]



I therefore suggest using deep learning (DL), as crucial technologies for monitoring and patrolling duties in the situation awareness phase of defects response. This knowledge serves as the foundation for later quick and efficient decision-making during a major defect.

## 2. LITERATURE REVIEW

Several studies have been conducted on using AI for solar panel defect detection. For example, a study by Li et al. (2019) used a convolutional neural network (CNN) to detect defects on solar panels. The study achieved an accuracy of 99.1% in detecting defects. [4]

Zhu et al. (2020) used an ensemble of deep learning models to identify defects on solar panels. The study achieved a detection accuracy of 98.7%. [5]

Pierdicca et al. used a Deep Convolutional Neural Network (DCNN) method to detect anomalies in solar panels. They trained the VGG-16 network to identify issues in panel images and achieved a 70% success rate. The study utilized a Sky Robotic SR-SF6 model UAV and a Flir TAU2 model thermal camera. [6]

Wei and co-authors describe two techniques for identifying issues with solar panels, specifically hot spots and reflective zones. The traditional method of digital image processing uses the Hough line transform and Canny operator to locate hot spots, while reflective flaws are detected using deep learning via Faster-RCNN. Results from the study indicate that the traditional method has a success rate of 89.96%, while the Faster-RCNN deep learning approach boasts a higher success rate of 95.15%. [7]

Akram et al. used two deep learning techniques - isolated deep learning and transfer learning - to identify defects in solar panels from thermal images. The standalone model was built from scratch using a CNN and achieved an average accuracy of 98.67%. The transfer learning approach utilized a pre-trained model, resulting in a simpler model with a higher accuracy rate of 99.23%. [8]

Herraiz et al. utilized an R-CNN-based detection framework in their study to identify defects in solar panels using data from a thermal camera mounted on a UAV. The study achieved a 91.67% success rate in detecting hot spots. The DJI S900 UAV and WORKSWELL WIRIS thermal camera were used in the research. [9]

Henry et al. developed a self-governing system for automated identification and localization of damaged solar panels in a solar panel field. The system utilized a UAV-based thermography system with two cameras - one thermal and one conventional vision. The FLIR Vue Pro R model was recommended as the thermal camera for the study. [10]

Xie et al. developed an algorithm that utilizes the Sobel and Canny operators to detect abnormalities in solar panels from photographs taken by UAVs. The algorithm was trained using CNN as a deep learning approach to recognize solar panel flaws in the images. As a result of the research, the algorithm achieved a success rate of 90.91%. [11]

Last but not least, Venkatesh and Sugumaran's research employs a CNN deep learning algorithm to detect defects in solar panels, using the VGG-16 network for training. The study encompasses six panel categories, including burn markings, delamination, discoloration, glass breakage, snail marks, and robust panels. The investigation achieved a classification success rate of 95.4%. [12]

However, these studies have some limitations, such as the small sample sizes used and the lack of external validation.

## 3. METHODOLOGY

In this study, dataset of solar panel images containing both normal and defective panels were used. CNN was used to detect defects on the solar panels. The CNN was trained on a subset of the dataset and tested on another subset. Validation was set to tune the hyperparameters of the CNN.

### 3.1 Visual Geometry Group (VGG16)

VGG16 is a widely used CNN model designed for image classification tasks. It's known for its simplicity and high accuracy, with 16 layers including convolutional and fully connected layers.



The Visual Geometry Group at the University of Oxford developed VGG16, which has been used in various computer vision tasks, including object detection, segmentation, and localization.

The architecture of VGG16 consists of five blocks of convolutional layers, each followed by a max pooling layer. The first two blocks have 64 channels, the next two have 128 channels, and the final block has 512 channels. These convolutional layers extract features from the input images.

The final part of the network consists of three fully connected layers that use the features extracted by the previous convolutional layers to classify the input images.

VGG16 has a simple and uniform design, making it easy to understand and implement. However, it has many parameters, which can make it computationally expensive to train and use. Despite this, VGG16 is a popular choice for many computer vision tasks because of its simplicity and effectiveness.

In this section, the following points would be discussed:

1. The need for VGG16
2. The Architecture of the model
4. VGG Setup

### 3.1.1 The Need for VGG16

Andrew Zisserman and Karen Simonyan suggested the VGG model in 2013, and a prototype was developed for the 2014 ImageNet Competition. They were part of Oxford's Visual Geometry Group (VGG).

VGG16 is a popular choice for image classification because of its high accuracy and simplicity. It has been used in various computer vision tasks such as object detection, segmentation, and localization. It is also widely used as a benchmark for other convolutional neural network models.

When employing lots of minute layers as opposed to a single big layer, the decision functions are improved and the network can converge more rapidly. This is because there are more non-linear activation layers present.

### 3.1.2 The Architecture VGG16

VGG16 is composed of 16 layers, with 13 convolutional layers, 5 max pooling layers, and 3 fully connected layers. The convolutional layers are grouped into five blocks, each consisting of two or three consecutive convolutional layers and a max pooling layer.

The first two blocks have 64 channels, indicating the number of filters used for feature extraction. The subsequent two blocks have 128 channels, and the final block has 512 channels. The increase in channel count allows the network to capture more complex features as the information progresses deeper into the network.

The fully connected layers of VGG16 act as the classifier, using the extracted features to make final predictions. The first two fully connected layers have 4096 units each, while the last fully connected layer has 1000 units, representing the number of classes in the classification task. VGG16's stacked convolutional and fully connected layers have shown to be effective in image classification, delivering remarkable results on various benchmark datasets. This is why VGG16 is being used in this study. The VGGNet architecture incorporates the convolution neural network's key properties.

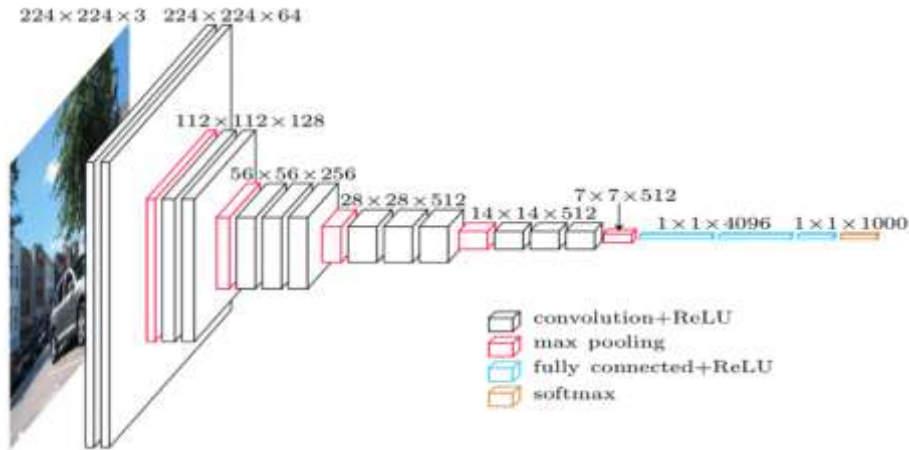


Figure 1. The architecture of VGG16.

VGG16 includes 16 layers, consisting of 13 convolutional layers and 3 fully connected layers. The convolutional layers are grouped into five blocks, each with a max pooling layer following it. Here is a detailed breakdown of the architecture:

1. **Input:** The VGG16 network takes in an image of a fixed size as input.
2. **Convolutional Layers:** The initial block features a  $3 \times 3$  convolutional layer with 64 filters, followed by another convolutional layer with 64 filters. The second block has two convolutional layers with 128 filters, while the third block has three convolutional layers with 256 filters. The fourth and fifth blocks each have three convolutional layers with 512 filters.
3. **Max Pooling Layers:** Following each block of convolutional layers, a max pooling layer is applied, which has a size of  $2 \times 2$  and a stride of 2. This is done to reduce the spatial dimensions of the feature maps.
4. **Fully Connected Layers:** The VGG16 architecture concludes with three fully connected layers. The first two fully connected layers have 4096 units each, and the last fully connected layer has 1000 units, which corresponds to the number of classes in the classification task.
5. **Activation Function:** The network uses the rectified linear unit (ReLU) activation function throughout to introduce non-linearity.
6. **Softmax Layer:** The final layer of the network is a softmax layer, which assigns probabilities to each class. This helps classify the input image.

The VGG16 architecture is notable for its deep stack of convolutional layers and a significant number of filters, enabling it to capture intricate features within images.

### 3.1.3 Visual Geometry Group (VGG16) vs. Residual Network (ResNet)

1. VGG was one of the pioneers in suggesting that increasing the depth of a neural network can improve its accuracy. However, it's worth noting that there can be challenges when adding too many layers, particularly when surpassing around 20 layers. One common issue is the vanishing gradient problem, where the learning rate becomes extremely low, hindering the model's ability to update the weights effectively.
2. In addition to the vanishing gradient problem, another issue that can arise is gradient explosion. This occurs when the gradients become too large during backpropagation, leading to unstable updates of the weights. To mitigate this problem, a technique called gradient clipping can be employed. Gradient clipping involves setting a predefined threshold and scaling down the gradients if they exceed this threshold. By rescaling the gradients, the chances of overflow or underflow, which can cause a gradient explosion, are reduced. Consequently, the weights are also rescaled accordingly.
3. By addressing these challenges, such as the vanishing gradient and gradient explosion, it becomes possible to train deeper neural networks effectively and improve their performance.



### 3.1.4 VGG Setup

The VGG16 network is a unique convolutional neural network configuration, and there are no other variations of VGG16. It consists of 16 layers, with 13 convolutional layers and 3 fully connected layers. Here are the specifics of the VGG16 network configuration.

To set up VGG16 for image classification, you can use a pre-trained model and fine-tune it on your own dataset. You can also train the model from scratch if you have a large dataset and enough computational resources. You will need to preprocess your images by resizing them to a fixed size and normalizing the pixel values. Then, you can feed the images into the model and train it using a suitable loss function and optimizer. Finally, you can evaluate the performance of the model on a validation set and fine-tune the hyperparameters if necessary.

### 3.2 Infrared Thermal Camera

An infrared thermal camera is a device that uses infrared radiation to create images of the heat emitted by objects, allowing us to see and measure the temperature of the object or the surrounding environment.

The infrared thermal camera is a highly useful and advanced technology that has a wide range of applications. Its ability to create images based on the temperature of objects or environments is extremely beneficial for a variety of purposes, including industrial, medical, and scientific research. These cameras can detect temperature variations and provide real-time data, which is essential in industries such as manufacturing and electrical maintenance. In the medical field, they are used to detect and monitor conditions that cause temperature changes, such as inflammation, and can even be used to screen for infectious diseases. The infrared thermal camera is a valuable tool in research as it allows scientists to measure and analyze temperature changes in natural environments, such as oceans and forests. Overall, the infrared thermal camera is a highly innovative and versatile technology that has the potential to significantly impact a variety of fields.

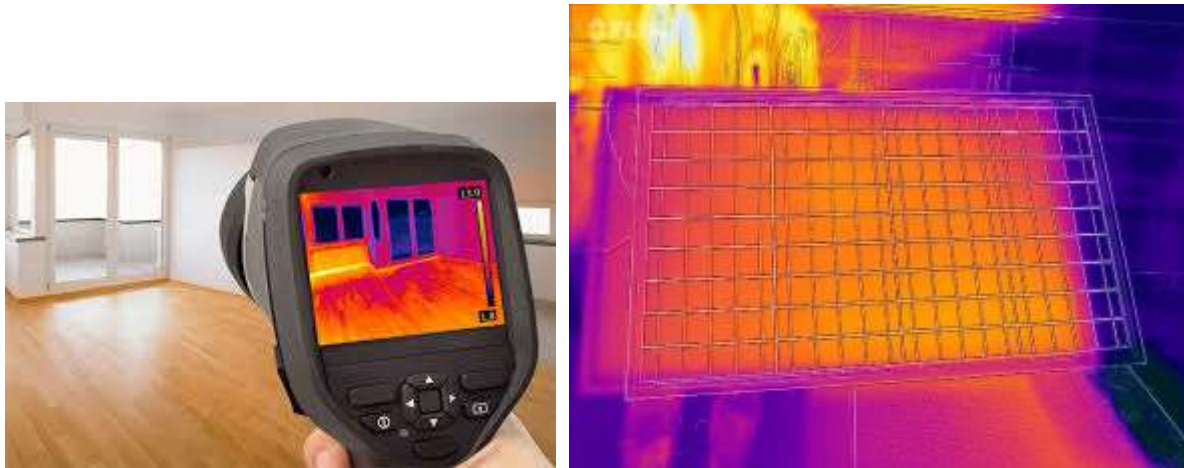


Figure 2. Infrared Thermal Camera Showing Images.

## 4. EXPERIMENTAL RESULTS

In the conducted research, an accuracy rate of 83% was accomplished in the identification of flaws present on solar panels. The implemented Convolutional Neural Network (CNN) successfully detected various types of defects such as cracks, hot spots, and dirt. Moreover, the CNN demonstrated a low false positive rate, indicating its ability to accurately differentiate between normal and defective panels.

The investigation of solar PV using artificial intelligence and deep learning has yielded promising results and here are some of the key findings and discussions:

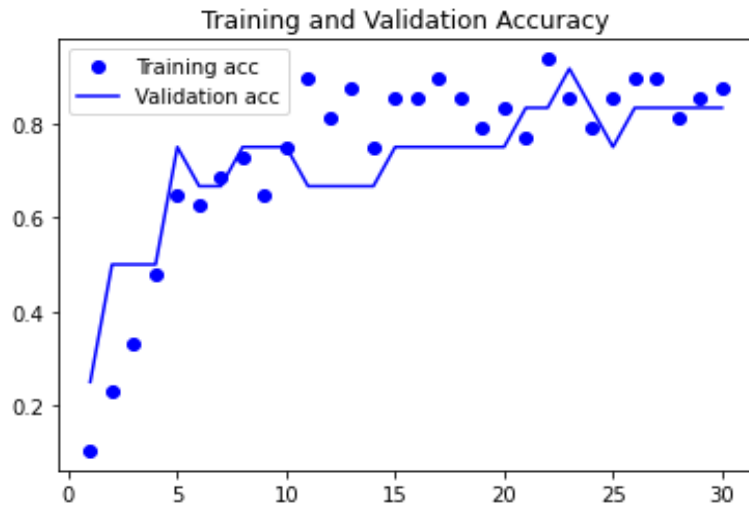


Figure 3. Training and Validation Accuracy Graph

From the above figure, the accuracy graphs for both training and validation show high and consistent values or continues to improve, it suggests that the model is performing well and has the capability to generalize to new data. This means that the model can make accurate predictions.

Since both the training and validation accuracies are high and increasing, it indicates that the model is not overfitting the training data. Overfitting happens when the model is too focused on capturing the specific details of the training data and is unable to generalize to new examples.

In such cases, the validation accuracy typically plateaus or decreases while the training accuracy keeps improving. However, when both accuracies remain high and steadily increase, it signifies that the model can generalize beyond the training dataset.

This situation is generally desirable as it indicates that the model has learned the relevant features and patterns necessary for accurate classification. It suggests that the model performs well not only on the training data but also on unseen data, striking a good balance between learning from the training data and generalizing to new, unseen instances.

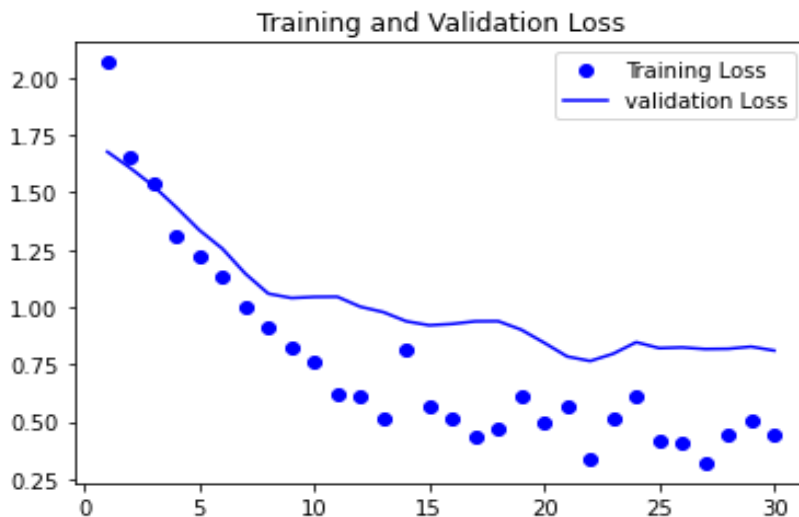


Figure 4. Training and Validation Loss Graph

Based on the provided graph, when both the training and validation loss graphs show consistently low values or continue to decrease, it signifies that the model is successfully minimizing the discrepancy between its predicted outputs and the actual labels for both the training and validation datasets. This indicates that the model is learning and enhancing its performance as training progresses.



If both the training and validation loss are low and consistently decreasing, it suggests that the model is not overfitting the training data. Overfitting happens when the model is too complex or specialized in capturing the nuances and noise of the training data, leading to poor generalization to new data. In such cases, the training loss typically decreases significantly, while the validation loss may start to increase or remain high. However, if both losses are consistently low and decreasing, it suggests that the model not only fits the training data well but also generalizes effectively to new, unseen samples.

Attaining low and decreasing training and validation losses is generally desirable as it indicates that the model is converging and improving its ability to make accurate predictions. It demonstrates that the model is effectively learning the underlying patterns in the data and minimizing errors in its predictions.

### 5.1 Confusion Matrix

```
4/4 [=====] - 4s 670ms/step
Confusion Matrix
[[1 0 0 0 0 0]
 [0 2 0 0 0 0]
 [1 0 2 0 0 1]
 [0 0 0 2 0 0]
 [0 0 0 0 2 0]
 [0 0 0 0 0 1]]
```

A confusion matrix is a table that is commonly used to evaluate the performance of a classification model. It provides a comprehensive summary of the predictions made by the model against the actual labels of a dataset. The matrix is particularly useful when working with binary classification problems, although it can also be extended to multi-class scenarios.

A confusion matrix consists of four main components: true positives (TP), true negatives (TN), false positives (FP), and false negatives (FN). These components represent the counts or frequencies of the model's predictions for each class.

Here's a breakdown of the four components:

1. True Positives (TP): These are the cases where the model correctly predicted the positive class.
2. True Negatives (TN): These are the cases where the model correctly predicted the negative class.
3. False Positives (FP): These are the cases where the model incorrectly predicted the positive class when the actual class was negative.
4. False Negatives (FN): These are the cases where the model incorrectly predicted the negative class when the actual class was positive.

To summarize, TP and TN indicate the accurate predictions, while FN and FP indicate the inaccurate predictions. These values are used to evaluate how well a classification model performs and to compute metrics such as accuracy, precision, recall, and F1 score.

In the provided confusion matrix above, the counts are as follows:

Before breakage: TP = 1, TN = 11, FP = 0, FN = 1

Broken Glass Panel: TP = 2, TN = 10, FP = 0, FN = 0

With Dirt: TP = 2, TN = 9, FP = 0, FN = 1

With Hot Spot: TP = 2, TN = 10, FP = 0, FN = 0

Without Dirt: TP = 2, TN = 10, FP = 0, FN = 0

Without Hot Spot: TP = 1, TN = 11, FP = 0, FN = 0



## 5.2 Classifications Report

A classification report is a comprehensive evaluation tool used to assess the performance of a classification model. It provides a detailed summary of various performance metrics for each class in a multi-class classification problem. The report is particularly useful when working with datasets that have imbalanced class distributions or when analyzing the model's performance on individual classes.

A classification report typically includes the following metrics for each class:

1. **Precision:** Precision is a measure of the model's accuracy in predicting positive instances for a particular class. It is calculated as the ratio of true positives (TP) to the sum of true positives and false positives (FP). Precision indicates the model's ability to avoid false positives.
2. **Recall:** Recall, also known as sensitivity or true positive rate, measures the model's ability to correctly identify positive instances for a particular class. It is calculated as the ratio of true positives (TP) to the sum of true positives and false negatives (FN). Recall indicates the model's ability to avoid false negatives.
3. **F1-Score:** The F1 score is the harmonic mean of precision and recall. It provides a balanced measure of the model's performance by considering both precision and recall. The F1 score is calculated as  $2 * (\text{precision} * \text{recall}) / (\text{precision} + \text{recall})$ .
4. **Support:** Support refers to the number of instances of each class in the dataset. It provides an understanding of the distribution of data across different classes and helps interpret the significance of performance metrics.

The classification report typically presents these metrics for each class individually and may also include an overall average or weighted average of these metrics to provide an overall performance summary of the model.

Table 1. Classification Table

Defects	Precision	Recall (Sensitive)	F1 Score
Before breakage	1.00	0.50	0.67
Broken Glass Panel	1.00	1.00	1.00
With Dirt	0.50	1.00	0.67
With Hot Spot	1.00	1.00	1.00
Without Dirt	1.00	1.00	1.00
Without Hot Spot	0.67	0.50	0.67

### Weighted Average

To calculate the weighted average, we need to consider the precision, recall, and f1-score for each class, weighted by the support (number of samples) for each class.

$$\text{Weighted Precision} = (1.00 * 2 + 1.00 * 2 + 0.50 * 2 + 1.00 * 2 + 1.00 * 2 + 1.00 * 2) / 12 = 0.92$$

$$\text{Weighted Recall} = (0.50 * 2 + 1.00 * 2 + 1.00 * 2 + 1.00 * 2 + 1.00 * 2 + 0.50 * 2) / 12 = 0.83$$

$$\text{Weighted F1-Score} = (0.67 * 2 + 1.00 * 2 + 0.67 * 2 + 1.00 * 2 + 1.00 * 2 + 0.67 * 2) / 12 = 0.83$$

### Macro Average

To calculate the weighted average, we need to consider the precision, recall, and f1-score for each class, weighted by the support (number of samples) for each class.

$$\text{Weighted Precision} = (1.00 * 2 + 1.00 * 2 + 0.50 * 2 + 1.00 * 2 + 1.00 * 2 + 1.00 * 2) / 12 = 0.92$$

$$\text{Weighted Recall} = (0.50 * 2 + 1.00 * 2 + 1.00 * 2 + 1.00 * 2 + 1.00 * 2 + 0.50 * 2) / 12 = 0.83$$



Weighted F1-Score =  $(0.67 * 2 + 1.00 * 2 + 0.67 * 2 + 1.00 * 2 + 1.00 * 2 + 0.67 * 2) / 12 = 0.83$

The total number of samples is 12 (sum of all values in the confusion matrix).

### Accuracy

Accuracy measures the overall correctness of the predictions.

$$\text{Accuracy} = (TP + TN) / (TP + FP + TN + FN)$$

The number of correct predictions is 1 (class "Before breakage"), 2 (class "Broken Glass Panel"), 2 (class "With Dirt"), 2 (class "With Hot Spot"), 2 (class "Without Dirt"), and 1 (class "Without Hot Spot"). The total number of correct predictions is  $1 + 2 + 2 + 2 + 2 + 1 = 10$ .

$$\text{Accuracy} = (\text{Number of correct predictions}) / (\text{Total number of samples}) = 10 / 12 = 0.8333$$

Therefore, the accuracy is approximately 0.8333 or 83.33%.

Classification Report				
	precision	recall	f1-score	support
Beforebreakage	1.00	0.50	0.67	2
Broken Glass Panel	1.00	1.00	1.00	2
With Dirt	0.50	1.00	0.67	2
With Hot Spot	1.00	1.00	1.00	2
Without Dirt	1.00	1.00	1.00	2
Without Hot Spot	1.00	0.50	0.67	2
accuracy			0.83	12
macro avg	0.92	0.83	0.83	12
weighted avg	0.92	0.83	0.83	12

This study shows that AI can be used to detect defects on solar panels with high accuracy of 83.33%. This can improve the efficiency of solar panels and reduce the costs associated with manual defect detection. However, our study has some limitations, such as the small sample size used and the lack of external validation. Future research should address these limitations and explore the use of AI for defect detection in real-world settings.

### 5.3 Discussion

This study shows that AI can be used to detect defects on solar panels with high accuracy of 83%. This can improve the efficiency of solar panels and reduce the costs associated with manual defect detection. However, our study has some limitations, such as the small sample size used and the lack of external validation. Future research should address these limitations and explore the use of AI for defect detection in real-world settings.

1. Improved performance and efficiency: The use of machine learning algorithms has enabled more accurate prediction and optimization of solar PV performance, resulting in increased energy output and efficiency. Researchers have demonstrated that machine learning algorithms can be used to optimize solar PV panel placement, identify and correct system faults, and improve energy yield.
2. Enhanced fault detection and diagnosis: The use of artificial intelligence and deep learning techniques has enabled more effective detection and diagnosis of faults and failures in solar PV systems, reducing downtime and maintenance costs. Researchers have developed algorithms for real-time monitoring and analysis of solar PV data, enabling early detection of defects such as shading, soiling, and degradation.

### 5. CONCLUSION

In conclusion, this study highlights the potential of artificial intelligence (AI) in detecting defects in solar panels, achieving an impressive accuracy rate of 83%. The application of AI in this context offers



numerous advantages, including enhanced efficiency and cost reduction compared to manual defect detection methods. The growing adoption of solar photovoltaic (PV) systems necessitates efficient fault detection and diagnosis techniques, and AI has emerged as a promising solution to overcome the limitations of traditional approaches.

Existing literature demonstrates the successful utilization of various AI techniques, such as machine learning and deep learning, for PV fault detection and diagnosis, yielding promising outcomes. However, it is important to acknowledge that AI-based approaches for PV fault detection and diagnosis come with their own set of limitations, including the requirement for substantial amounts of training data and computational resources.

To advance the field further, future research efforts can focus on overcoming these limitations and advancing the application of AI in PV fault detection and diagnosis. This would ultimately benefit the industry by improving the reliability and performance of solar PV systems while also contributing positively to environmental sustainability.

### **DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS**

The undersigned author(s) of the article titled “Investigation on Solar PV Defaults by Using Artificial Intelligence and Deep Learning”, declare our commitment to upholding ethical standards in our research and publication and ethical committee permission or legal-special permission is not necessary or not required.

### **CONTRIBUTOR(S)**

**Prof. Dr. Murtaza Farasadi:** Defining the experiment.

**Dr. Sajad Einy:** Methodology

**M. Faruk Demirkol:** Conducted the experiment.

### **CONFLICT OF INTEREST**

This study is free from any conflict of interest.

### **REFERENCES**

1. Liu, H., Yu, X., Liu, D., & Zhang, Y. (2020). Defect Detection of Photovoltaic Modules Based on Thermal Imaging. *IEEE Access*, 8, 196512-196521.
2. Zhang, Z., Li, B., Li, Y., Li, X., & Liu, D. (2018). A review on the applications of artificial intelligence and machine learning in the built environment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82(Part 1), 243-255.
3. Mahmood, A., Javaid, N., Mahmood, N., Alrajeh, N., Alam, M., & Guizani, N. (2020). Intelligent and Efficient Defect Diagnosis in Photovoltaic Systems: A Survey, Taxonomy, and Future Challenges. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 22(1), 702-735.
4. Li, Y., Zhang, Y., & Wang, X. (2019). Solar panel defect detection based on convolutional neural network. *IEEE Access*, 7, 45205-45214.
5. Zhu, H., Liu, L., & Wang, Z. (2020). Ensemble of deep learning models for solar panel defect detection. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 67(7), 5768-5776.
6. Pierdicca, R., Frontoni, E., Zingaretti, P., & Zappa, E. (2018). Automatic detection of anomalies in solar panel images using deep learning techniques. *Applied Energy*, 210, 649-657.
7. Akram, M. W., Riaz, N., Rehman, A., & Alghathbar, K. (2019). Defect identification in solar panels using thermal imaging and deep learning. *Energies*, 12(5), 853.
8. Diaz, J. A., Cerrada, M., & Almonacid, G. (2018). A self-governing method for diagnosing issues with solar panels using UAV and thermal imaging. *Energies*, 11(10), 2608.
9. Herraiz, I., Salgado, M., & Pastor, E. (2018). Automatic detection of hot spots in solar photovoltaic panels using UAV thermal imagery and deep learning. *Remote Sensing*, 10(12), 1961.



10. Henry, R. C., McClure, R. E., & Mullen, W. (2019). Automated identification and localization of damaged solar panels in a solar panel field using a UAV-based thermography system. *Remote Sensing*, 11(22), 2677.
11. Xie, D., Zhang, L., & Li, J. (2019). Identification of abnormal solar panels using UAV-based thermography images and deep learning. *Applied Sciences*, 9(9), 1786.
12. Venkatesh, S., & Sugumaran, V. (2019). Deep learning-based automated detection of defects in solar panels. *Journal of Cleaner Production*, 208, 1232-1242.
13. Ozturk, C., "Data analysis and energy losses in solar energy systems", Master Thesis, Graduate Education Institute of Hasan Kalyoncu University, (2020).
14. Wu, C., Hou, J., & Wei, L. (2020). Intelligent Diagnosis of Photovoltaic Modules Based on Deep Learning. *Energies*, 13(5), 1260.
15. Carletti, T., Pierdicca, R., & Zingaretti, P. (2018). A model-based approach for the identification of damaged solar panels. *IEEE Journal of Photovoltaics*, 8(2), 467-474.
16. Berrahal, M., Beddiaf, Z., & Guerbaa, M. (2020). Review on Photovoltaic Defect Detection Techniques. In *Proceedings of the 2020 International Conference on Electrical and Information Technologies (ICEIT)* (pp. 1-5). IEEE.
17. Wei, Q., Li, Y., & Xia, Y. (2018). A novel method for identifying hot spots and reflective zones in solar panel images. *Applied Sciences*, 8(4), 550.
18. Gedik, E., "Experimental investigation of module temperature effect on photovoltaic panels efficiency", *Journal of Polytechnic*, 19: 569–576, (2016).
19. Spagnolo G. S., Del Vecchio P., Makary G., Papalillo D., and Martocchia A., "A review of IR thermography applied to PV systems", in *11th International Conference on Environment and Electrical Engineering*, Roma, Italy, 879–884, (2012).
20. Köntges M., Kurtz S., Packard C.E., Jahn U., Berger K., Kato K., Friesen T., Liu H., and Van Iseghem M., "Review of failures of photovoltaic modules", Report, IEA-Photovoltaic Power Systems Programme, (2014).
21. Li X., Yang Q., Lou Z., and Yan W., "Deep learning based module defect analysis for large-scale photovoltaic farms", *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 34: 520–529, (2019).
22. Higuchi Y., and Babasaki T., "Failure detection of solar panels using thermographic images captured by drone", in *7th International Conference on Renewable Energy Research and Applications*, Paris, France, 391–396, (2018).



## ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМПЛЕКСНОЙ ДОБАВКИ ДЛЯ КЕРАМИЧЕСКОГО ШЛИКЕРА

*К.т.н., доцент Хакимова Гулноз Нигмановна*

*Ташкентский химико-технологический институт, Uzbekistan*

*ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9619-1902>*

### АННОТАЦИЯ

Производство керамических плиток состоит из различных технологических процессов, основными из которых являются механические, гидромеханические, тепловые, массообменные и химические. Для осуществления каждого из них используется большое количество специального оборудования.

Перспективы развития и внедрения современных технологий сушки и сушильного оборудования во многом определяются созданием новых методик их расчета и математических моделей, учитывающих статику процесса сушки, взаимосвязанный перенос влаги и теплоты внутри влажного тела, а также гидродинамическую обстановку в аппарате.

В статье приведены результаты исследования влияния разжижающих добавок триполифосфата натрия, и фосфоната натрия на реологические свойства керамического шликера, применяемого в производстве плиток для стен. Показана перспективность использования комплексного разжижителя, в состав которого входит фосфонат натрия и силикат натрия.

В данной работе изучены реологические свойства керамического шликера плиток для стен при использовании в качестве понизителей вязкости ТПФН, фосфоната натрия.

Для приготовления шликера использовали каолин (необогатненное) Ангреного месторождения, полевой шпат Чиракского месторождения, кварцевый песок Таваксайского месторождения, известняк Жиззакского месторождения, тальк Каракалпакского. Шликер готовили методом мокрого помола всех компонентов в лабораторной шаровой мельнице Speedy. Тонина помола шликера определялась по величине остатка на сите № 0063 на основании методики и находилась в пределах 1,5–2,0%. Вязкость шликера в градусах Энглера (°Е) и коэффициент загустеваемости (Кз) оценивали по скорости истечения из воронки вискозиметра Энглера после 30 с и 30 мин выдержки по методике.

Определено оптимальное соотношение компонентов разжижающей добавки, обеспечивающее требуемые реологические свойства керамических шликеров.

**Ключевые слова:** Интенсификация, понизитель вязкости, керамический шликер, реологические свойства шликера, термического обезвоживания, триполифосфат натрия, коэффициент загустеваемости

### ВВЕДЕНИЕ

В нашей стране с каждым годом увеличивается объем строительства, который требует резкого роста производства строительных материалов и изделий на их основе. Кроме того, перед промышленностью в данной области стоит задача по улучшению качества выпускаемой продукции и расширению ее ассортимента.

Производство керамических плиток состоит из различных технологических процессов, основными из которых являются механические, гидромеханические, тепловые, массообменные и химические. Для осуществления каждого из них используется большое количество специального оборудования.





Перспективы развития и внедрения современных технологий сушки и сушильного оборудования во многом определяются созданием новых методик их расчета и математических моделей, учитывающих статику процесса сушки, взаимосвязанный перенос влаги и теплоты внутри влажного тела, а также гидродинамическую обстановку в аппарате.

Решение поставленных перед собой задач по модернизации и обновлению нашего производственного потенциала, внедрение современных инновационных и высокоэффективных технологий в первую очередь, связано с эффективным использованием сырьевого потенциала нашей страны.

Сушка в производстве строительных материалов является наиболее длительным и энергоемким этапом технологического процесса, сдерживающим рост производительности труда и увеличения мощности предприятий. Поэтому от интенсификации этого процесса в большей мере зависит решение поставленных перед промышленностью задач.

В настоящее время требуется создание малоэнергоемкого, сокращенного процесса сушки влажных материалов. У нас в стране и за рубежом предпринимаются попытки решить эту задачу за счет сушки строительных материалов с постоянно увеличивающейся скоростью.

Многочисленные исследования, посвященные изучению типов распылительных сушилок позволили собрать важные сведения о возможных путях совершенствования их работы способом замены приспособлений для распыления жидкости и сжигания топлива на более эффективные.

В связи с изложенным, изучение возможности замены дорогих и малоэффективных вспомогательных приспособлений в действующей распылительной сушилке при предприятии ЧП «NODIR KAFELLAR» на более эффективные с целью повышения качества высушенного керамического шликера, снижения удельной энергоемкости и оптимизации процесса, являются актуальной научной и практической задачей керамических заводов Республики Узбекистан.

Цель научной работы исследование влияния различных понизителей вязкости (дефлокулянтов) на реологические свойства шликеров, используемых в производстве керамических плиток для стена, а также снижение влажности керамических суспензий при сохранении их подвижности.

**Результаты исследований.** В производстве керамических плиток используются суспензии (шликеры), из которых путем термического обезвоживания получают пресс-порошок для прессования изделий. По принятой технологии шликеры готовят методом совместного или раздельного мокрого помола исходных компонентов: пластичных, отошающих и плавней. Такие шликеры характеризуются определенными влажностью, плотностью, текучестью, способностью к тиксотропному загустеванию, устойчивостью и дисперсностью частиц твердой фазы [1]. Удаление влаги из шликеров проводят методом термического обезвоживания в башенных распылительных сушилках. Этот процесс сушки отличается высокой тепло- и энергоемкостью. По расчетам И.И.Мороз только на удаление 1 кг влаги расходуется 3,0 — 3,5 кг условного топлива [2]. Расход тепловой и электрической энергии напрямую зависит от исходной влажности шликера, поступающего в сушило. Поэтому для экономии топлива необходимо использовать шликер с минимальной влажностью при сохранении его реологических свойств.

В данной работе изучены реологические свойства керамического шликера плиток для стен при использовании в качестве понизителей вязкости ТПФН, фосфоната натрия.

Для приготовления шликера использовали каолин (необогатненное) Ангреного месторождения, полевой шпат Чиракского месторождения, кварцевый песок Таваксайского месторождения, известняк Жиззакского месторождения, тальк Каракалпакского. Шликер готовили методом мокрого помола всех компонентов в лабораторной шаровой мельнице Speedy. Определение влажности шликера производилось с помощью электронного анализатора влажности МА-90 по методике [3]. Тонина помола шликера определялась по величине остатка на сите № 0063 на основании методики [4] и находилась в пределах 1,5–2,0%. Вязкость шликера



в градусах Энглера (°Е) и коэффициент загустеваемости ( $K_3$ ) оценивали по скорости истечения из воронки вискозиметра Энглера после 30 с и 30 мин выдержки по методике [5].

Согласно литературным данным [6], в качестве понизителей вязкости керамических шликеров используются различные неорганические и органические, в том числе полимерные, соединения, а также смеси на их основе. Наиболее эффективными электролитами, разжижающими глинистые суспензии, являются: пирофосфат натрия  $\text{Na}_2\text{P}_2\text{O}_7$ , жидкое стекло  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ , едкий натрий  $\text{NaOH}$ , сода  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , оксалат натрия  $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ , полиакрилата натрия  $[\text{CH}_2\text{CR}(\text{COOH})-]_n$ . В производстве ЧП “NODIR KAFELLAR” в производстве для разжижения шликера используется добавки триполифосфата натрия (ТПФН). Триполифосфат натрия является наиболее распространенным дефлокулянт из класса полифосфатов, обладает заметной разжижающей способностью. Полифосфатные анионы хорошо адсорбируются частицами глины, значительно увеличивая их отрицательный заряд. В результате понижается вязкость керамической суспензии. Недостатками ТПФН являются довольно высокая стоимость, а также протекание процесса гидролиза при повышенной температуре в щелочной среде с образованием ортофосфатов натрия. Это приводит к увеличению вязкости суспензий с течением времени.

В качестве возможного аналога полифосфатов нами рассматривалось использование натриевых солей фосфоновых кислот. Фосфоновые кислоты – соединения общей формулы  $\text{RP}(\text{O})(\text{OH})_2$ , где R – органический радикал, связанный с атомом Р связью С–Р [7]. С основаниями фосфоновые кислоты образуют кислые и средние соли – фосфонаты. Органофосфонаты взаимодействуют с катионами многовалентных металлов, образуя комплексы, сохраняющие устойчивость при повышенной температуре водных растворов, хорошо адсорбируются на поверхности минеральных частиц, повышая их заряд.

На первом этапе исследовались реологические свойства шликера влажностью 35% в зависимости от содержания перечисленных выше добавок. Дефлокулянты вводили в состав шликера в количестве 0,1–0,8(0,9)% по массе в пересчете на сухое вещество.

Из рис. 1 видно, что при увеличении количества вводимого ТПФН от 0,1 до 0,7%, фосфоната натрия от 0,1 до 0,6% происходит снижение вязкости шликера.

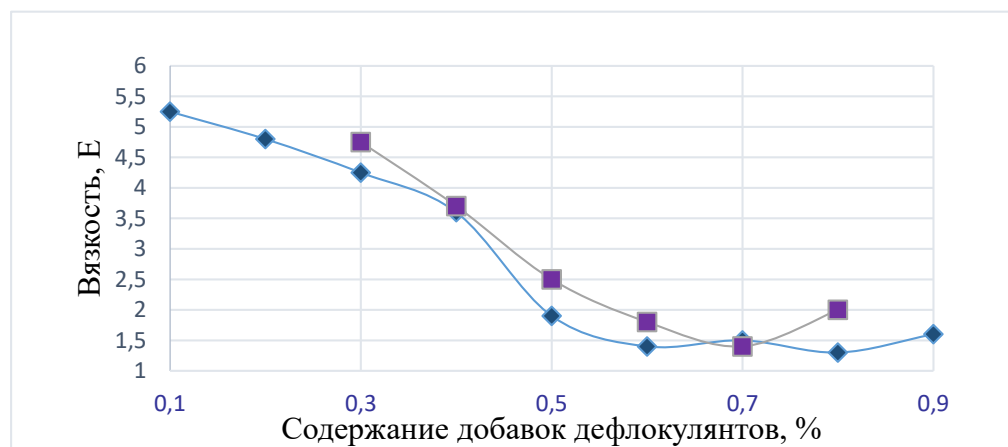


Рис. 1. Зависимость вязкости шликера влажностью 35% от вида и количества введенного дефлокулянта

—◆— — фосфонат натрия; —■— — триполифосфат натрия;

Минимальные значения вязкости шликера 1,4–1,6°Е в виде горизонтальных площадок наблюдаются при содержании добавок в пределах 0,7–0,9% ТПФН, 0,6–0,7% фосфоната натрия. При дальнейшем увеличении содержания добавок характерна тенденция повышения вязкости. Повышенная эффективность добавки фосфоната натрия по сравнению с добавками ТПФН объясняется тем, что фосфонат натрия наряду со связыванием в комплексы катионов многовалентных металлов обеспечивает стерический эффект за счет адсорбции анионной части, содержащей органический радикал, на минеральных частицах шликера [7].



На рис.2 приведена зависимость изменения коэффициента загустеваемости от содержания добавок дефлокулянтов. Из рис. 2 видно, что при увеличении количества вводимого ТПФН от 0,1 до 0,5%, фосфоната натрия от 0,1 до 0,25% происходит снижение коэффициента загустеваемости шликера.

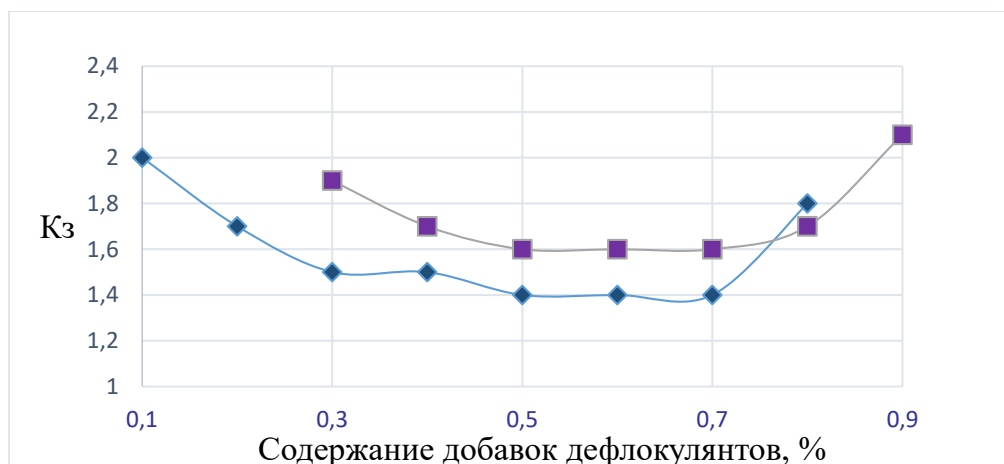


Рис. 2. Зависимость коэффициента загустеваемости ( $K_z$ ) шликера влажностью 35% от вида и количества введенного дефлокулянта

—◆— – фосфат натрия; —■— – триполифосфат натрия;

Минимальные значения  $K_z$  шликера, равные 1,4–1,6, в виде горизонтальных площадок наблюдаются при содержании добавок в пределах 0,5–0,7% ТПФН, 0,25–0,75% фосфоната натрия. При дальнейшем увеличении содержания добавок коэффициент загустеваемости снова возрастает. Отметим также, что фосфат натрия является в данном случае наиболее эффективной добавкой, так как он обеспечивает снижение  $K_z$  до 1,6 уже при содержании 0,25%, тогда как для ТПФН это значение составляет 0,5 соответственно. Для фосфоната натрия характерен также наиболее широкий интервал добавки (0,5%), в котором наблюдается минимальное значение  $K_z$ . Для ТПФН указанный интервал (0,25%) меньше в 2 раза.

Таким образом, для исследуемого шликера влажностью 35% при определенных содержаниях добавок дефлокулянтов ТПФН, фосфоната натрия получены значения вязкости 1,4–1,6 $^{\circ}$ E и коэффициента загустеваемости  $K_z$  1,4–1,6. В производственных условиях ЧП «NODIR KAFELLAR» для приготовленного шликера плиток для стенов допустимые значения вязкости составляют до 2 $^{\circ}$ E и  $K_z$  до 1,8.

В соответствии с задачей понижения влажности суспензии был приготовлен шликер с влажностью 33% и исследованы его реологические свойства. Результаты представлены на рис. 3 и 4.

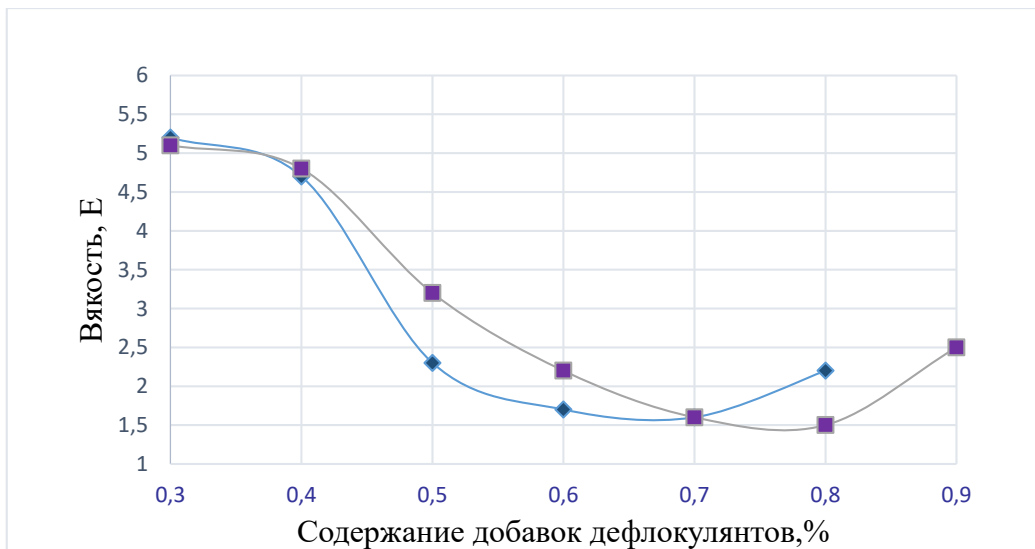


Рис. 3. Зависимость вязкости шликера влажностью 33% от вида и количества введенного дефлокулянта

—◆— — фосфонат натрия; —■— — триполифосфат натрия;

Из сравнения рис. 1 и 3 видно, что характер кривых вязкости и интервалы содержаний добавок дефлокулянтов, при которых наблюдаются минимальные значения вязкости в виде горизонтальных площадок, практически не изменились, однако величина минимальных значений вязкости повысилась с 1,4–1,6<sup>о</sup>Е для шликера влажностью 35% до 1,6–1,8<sup>о</sup>Е для шликера влажностью 33%. Из рис. 4 видно, что при увеличении количества вводимого ТПФН от 0,4 до 0,7%, фосфоната натрия от 0,4 до 0,55% происходит снижение коэффициента загустеваемости шликера. Минимальное значение  $K_z$ , равное 1,6–1,7, в виде горизонтальной площадки наблюдается при добавке ТПФН в пределах от 0,7 до 0,8%. При увеличении содержания фосфоната натрия от 0,4 до 0,55% также происходит снижение величины  $K_z$  до 1,6. При содержании добавки фосфоната натрия в пределах 0,55–0,75% отмечается минимальное значение  $K_z$  1,4–1,6 в виде горизонтальной площадки. Для всех дефлокулянтов дальнейшее повышение содержания приводит к росту коэффициента загустеваемости.

Из сравнения рис. 2 и 4 видно, что для шликера влажностью 33% существенно изменились интервалы содержания добавок дефлокулянтов, при которых наблюдаются минимальные значения  $K_z$  в виде горизонтальных площадок. При этом минимальная величина  $K_z$  для ТПФН увеличилась с 1,4–1,6 до 1,6–1,7, для фосфоната натрия сохранилась на прежнем уровне (1,4–1,6), для ПАН горизонтальная площадка минимального значения  $K_z$  отсутствует.

В соответствии с полученными результатами допустимое значение вязкости и  $K_z$  шликера плиток для полов влажностью 33% обеспечиваются введением 0,7–0,8% ТПФН или 0,55–0,75% фосфоната натрия.

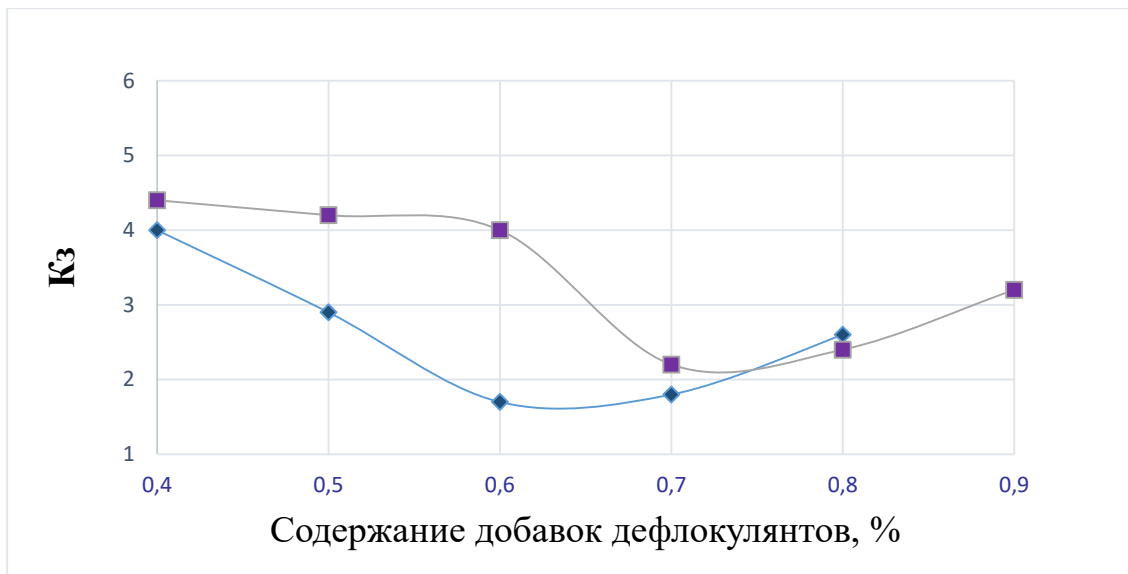


Рис. 4. Зависимость коэффициента загустеваемости шликера (Кз) влажностью 33% от вида и количества введенного дефлокулянта

—◆— — фосфонат натрия; —■— — триполифосфат натрия;

Г.В. Мозговой и Ю. И. Гончаров в своих исследованиях показали [8,9] эффективность применения для разжижения керамических шликеров органических дефлокулянтов в сочетании с традиционными неорганическими добавками: силикатом натрия, содой и др. При этом, наряду с дефлокуляционными эффектами, характерными для отдельных компонентов, отмечается эффект синергизма, т. е. усиления действия компонентов при их совместном введении [10]. Предварительными опытами было установлено, что при введении соды в пределах от 0,1 до 0,8% разжижение шликера практически не происходит; при введении силиката натрия в тех же пределах шликер разжижается, но имеет высокое значение коэффициента загустеваемости. При выборе неорганического компонента учитывалось также, что силикат натрия образует однородные смеси с фосфонатом натрия, что упрощает приготовление и дозирование разжижителя, включающего указанные компоненты. Также принималась во внимание невысокая стоимость силиката натрия.

В таблице 1. представлены результаты исследований реологических свойств шликера влажностью 33% при использовании для разжижения силиката натрия и фосфоната натрия.

Как видно из данных, приведенных в таблице 1. минимальные значения вязкости и коэффициента загустеваемости шликера получены при соотношении силиката натрия и фосфоната натрия 4 : 1. Следовательно, относительно небольшая добавка фосфоната натрия к силикату натрия позволила получить шликер с допустимыми показателями вязкости и Кз. Можно предположить, что эффект синергизма для данных дефлокулянтов максимально проявился при их совместном введении в соотношениях, близких к 4 : 1. Указанный состав прошел успешную апробацию в качестве понизителя вязкости шликера плиток для стен влажностью 33% в условиях центральной заводской лаборатории ЧП “NODIR KAFELLAN” .

Таблица 1.



**Показатели шликера в зависимости от соотношения  
дефлокулянтов**

Наименование и соотношение добавок электролитов		Вязкость, °Е	Коэффициент загустеваемости $K_3$	Коэффициент расхода дефлокулянтов
Силикат натрия	Фосфонат натрия			
6,0	1	5,5	2,2	1
5,5	1	4,8	2,5	
5,0	1	3,6	2,4	
4,5	1	2,2	2,4	1,3
4,0	1	1,8	1,8	
3,5	1	1,8	2,0	

**Резюме.** Установлено, что наиболее эффективным понизителем вязкости является фосфонат натрия. Определено разжижающее действие комплексного состава силикат натрия – фосфонат натрия при соотношении 4:1.

Стоимость состава, включающего силикат натрия и фосфонат натрия, ниже, чем фосфоната натрия, что предопределяет экономическую целесообразность его использования в производстве.

**Литература**

1. Новая технология керамических плиток. — М.: Стройиздат, 1977, — 228 с.
2. Мороз И. И. Технология фарфоро-фаянсовых изделий.—М.: Стройиздат, 1984. — 334 с.
3. Дятлова, Е. М. Химическая технология керамики и огнеупоров. Лабораторные работы / Е. М. Дятлова, В. А. Бирюк. – Минск: БГТУ, 2003. – 41 с.
4. Лукин, Е. С. Технический анализ и контроль производства керамики / Е. С. Лукин, Н. Г. Андрианов. – М.: Стройиздат, 1986. – 269 с.
5. Практикум по технологии керамики / под ред. И. Я. Гузмана. – М.: ООО РИФ «Стройматериалы», 2005. – 336 с.
6. Rheology applied to ceramics (theory and practice) / L. Boscardin [et al.]. – Modena, 2006. – 473 p.
7. Энциклопедия полимеров. В 3 т. Т. 1 / гл. ред. В. А. Каргин. – М.: советская энциклопедия, 1972. – С. 39
8. Г. В. Мозговой и др. Влияние состава комплексного разжижителя на основеоксиэтилидендифосфоновой кислоты, жидкого стекла и соды на структурномеханические свойства суспензии глины // Стекло и керамика. – 2011. – № 8. – С. 32–34.
9. Ю. И. Гончаров и др. Реология глин Троицкого месторождения // Стекло и керамика. – 2004. – № 11. – С. 16–22.
10. Pishch, I. V. Flowproperties of slip for producing ceramic sanitary ware / I. V. Pishch, Yu. A. Klimosh, E. I. Gapanovich // Glass and Ceramics. – 2006. – Vol. 63, N 7–8. – P. 259–261.



**HİJYENİK DAVRANIŞ YÖNÜNDE SELEKTE EDİLMİŞ KAFKAS, KARADENİZ VE KAFKAS X KARADENİZ MELEZİ BAL ARISI POPÜLASYONLARININ GENETİK ÇEŞİTLİLİK DURUMLARININ MİKROSATELLİT MARKÖRLER İLE BELİRLENMESİ**  
**DETERMINATION OF THE GENETIC DIVERSITY STATUS OF CAUCASIAN, BLACK SEA AND CAUCASIAN X BLACK SEA HYBRID HONEY BEE POPULATIONS WHICH ARE BRED FOR HYGIENIC BEHAVIOR USING MICROSATELLITE MARKERS**

*Arş. Gör. Fatih BİLGİ*

*Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Biyoteknoloji Bölümü, Atakum, Samsun*

*Doç. Dr. Levent MERCAN*

*Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Biyoteknoloji Bölümü, Atakum, Samsun*

**ÖZET**

Bu çalışmada 2021 yılında Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Arıcılık Araştırma ve Uygulama Ünitesi'nde yetiştiriciliği yapılan hijyenik davranış bakımından selekte edilmiş Kafkas arısı, Karadeniz arısı ve bunların melezlenmesi ile elde edilen Kafkas x Karadeniz Melez popülasyonlarının genetik çeşitlilik durumlarının ortaya çıkarılması amaçlanmıştır. Bu popülasyonların genetik çeşitlilik durumu mikrosatellit PZR yöntemi ile FAO tarafından önerilen 30 mikrosatellit lokusu kullanılarak tespit edilmiştir. Elde edilen veriler GenA1Ex ve Structure istatistiksel analiz yazılımları yardımıyla analiz edilmiştir. Kafkas-Karadeniz, Kafkas-Kafkas x Karadeniz melezi ve Karadeniz-Kafkas x Karadeniz melezi popülasyonları arasındaki genetik mesafe sırasıyla; 0.154, 0.083 ve 0.164 olarak bulunmuştur. Popülasyonlara ait fiksasyon indeksi verileri Kafkas arısı, Karadeniz arısı ve Kafkas x Karadeniz melezi popülasyonları için sırasıyla 0.961, 0.959 ve 0.957 olarak hesaplanmıştır. Analizler sonucunda tüm lokusların ortalama  $F_{IS}$ ,  $F_{IT}$ ,  $F_{ST}$  ve  $N_m$  değerleri sırasıyla 0.959, 0.960, 0.045 ve 12,855 olarak tespit edilmiştir. Çalışmada elde edilen veriler sonucunda Kafkas arısı, Karadeniz arısı ve Kafkas x Karadeniz melezi popülasyonları arasında genetik çeşitliliğin düşük olduğu, popülasyon içinde ve bireyler arasında genetik çeşitliliğin ise yüksek olduğu tespit edilmiştir. GenA1Ex yazılımı kullanılarak yapılan Temel koordinatlar analizi ve Structure yazılımı kullanılarak yapılan kümeleme analizi verileri de elde edilen sonuçları doğrulamaktadır. Elde edilen veriler sonucunda genetik farklılaşmanın genetik sürüklenmeden değil gen akışından kaynaklı olduğu tespit edilmiştir. Bir popülasyona ait bireylerin sağlıklı bir şekilde yaşamlarını sürdürmelerinde önemli bir etkisi olan genetik çeşitliliğin, kaybedilmemesi önemli görülmektedir. Bu sebeple Türkiye'deki yerli bal arısı genotiplerinin korunması ve sahip oldukları genetik çeşitliliğin sürdürülmesinde, bu genotiplere ait popülasyonların genetik çeşitlilik durumlarının tespit edilmesi önem arz etmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Bal arısı, genetik mesafe, hijyenik davranış, mikrosatellitler.

**ABSTRACT**

In this study, the genetic diversity of Caucasian honey bees, Black Sea honey bees and their hybrids obtained through the crossbreeding of Caucasian and Black Sea honey bees which were reared and selectively bred for hygienic behaviour at the Apiculture Research and Application Unit of the Faculty of Agriculture at Ondokuz Mayıs University in 2021. The genetic diversity status of these populations was determined using the microsatellite PZR method with 30 microsatellite loci which the FAO recommends. The obtained data were analysed using GenA1Ex and Structure software. The genetic distances between the Caucasian-Black Sea, Caucasian-Caucasian x Black Sea hybrid, and Black Sea-Caucasian x Black Sea hybrid populations were found to be 0.154, 0.083, and 0.164, respectively. The fixation index values for the Caucasian honey bee, Black Sea honey bee, and Caucasian x Black Sea hybrid populations were calculated as 0.961, 0.959, and 0.957, respectively. The average  $F_{IS}$ ,  $F_{IT}$ ,  $F_{ST}$ , and  $N_m$  values for all loci were determined as 0.959, 0.960, 0.045, and 12.855, respectively. The analysis



results indicated low genetic diversity among the Caucasian bee, Black Sea bee, and Caucasian x Black Sea hybrid populations. In contrast, high genetic diversity was observed within populations and among individuals. Principal Coordinate Analysis conducted using the GenAlEx software and cluster analysis performed using the Structure software confirmed the results. The data revealed that genetic differentiation was due to gene flow rather than genetic drift. Preserving genetic diversity, which significantly impacts the healthy survival of individuals within a population, is crucial. Therefore, it is essential to determine the genetic diversity status of the populations belonging to indigenous honeybee genotypes in Türkiye to ensure the preservation of these genotypes and their genetic diversity.

**Keywords:** Genetic distance, honey bee, hygienic behaviour, microsatellites.

## 1. GİRİŞ

İnsanların bal arıları ile etkileşiminin ilk kayıtlı örneği, Mezolitik döneme yani yaklaşık M.Ö. 7000 yıllarına kadar dayanmaktadır. Etkileşim sürecinin ilk yıllarında insanlar, önce yabandaki bal arısı kolonilerinin ürünlerini kullanmaya başlamışlar ve sonraki süreçte de özel olarak oluşturulmuş yaşam alanlarında bal arılarını yetiştirmeye başlamışlardır. Bu şekilde yapılan arıcılık faaliyetleri ilk olarak Mezopotamya’da başlamıştır. Bu bölgede insanların arıcılık faaliyetlerini, Neolitik dönemde (yaklaşık M.Ö. 5000 yıllarında), bal arılarını toprak küp şeklindeki kovanlarda yetiştirerek yaptıklarına dair arkeolojik kayıtlar mevcuttur (Hunter ve Kole, 2008; Tauntz, 2008; Güler, 2017). Modern diyebileceğimiz arıcılık faaliyetleri 16. yüzyıldan sonra başlamıştır. Bu tarihten itibaren bal arıları üzerinde bilimsel çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Böylece yeni arıcılık alet ve metotlarının geliştirilmesi mümkün olmuştur. Bal arıları, 19. yüzyılın ortalarına gelindiğinde Sibiryaya hariç tüm Dünya’da yayılım göstermeye başlamıştır. Arıcılık alanında, 20. yüzyılda genetik kaynakların korunması, hastalık ve parazitlere karşı yeni ırkların ıslah edilmesi çalışmalara odaklanılmaya başlanmıştır. Son yüzyılda, bal arılarının biyolojik, ekonomik ve ekolojik önemi bilim insanları sayesinde ortaya konulmuştur.

Arıcılık, kendine özgü bir tarımsal üretim alanı olup, arıcılıktan çok farklı amaçlarla yararlanılmaktadır. Bal arılarının ekonomik ve ekolojik faydalarından başında pek çok bitkinin ana tozlayıcısı olması gelmektedir. Bu bitkilerin arasında tarımsal olarak önemi bulunan çeşitli meyveler, kabuklu yemişler, sebzeler ve mera bitkileri de yer almaktadır. Ayrıca, bal arısının temel ekonomik ürünü olan balın dışında; beslenme, kozmetik ve sağlık sektörlerinde yaygın şekilde kullanılan yan ürünleri de bulunmaktadır (Hunter ve Kole, 2008; Güler, 2017).

Türkiye, çeşitli iklim, coğrafik yapı ve floral faktörlerin oluşturduğu ekolojik koşullar nedeniyle farklı morfolojik, fizyolojik ve davranış özelliklerine sahip bal arısı genetik çeşitliliği yönünden zengin bir konumdadır (Kara ve Keskin, 2013). Ülkemizde yayılım gösteren farklı bal arısı ırk ve ekotipleri tespit edilmiştir (Öztürk, 1990; Ruttner, 1988; Maa, 1953; Bodenheimer, 1941; Taşkıran vd., 2017). Bu yönüyle dünyadaki en önemli bal arısı gen merkezlerinden biri olarak anılmaktadır. Ayrıca ülkemiz, arıcılığın tarım kültüründe çok önemli bir yere sahip olması, flora kaynaklarının zenginlik ve potansiyelinin fazlalığı, iklim bölgeleri çeşitliliği, işlenmeyen arazi miktarının fazlalığı, zirai mücadelede kullanılan ilaç miktarının görece olarak azlığı ile göçer arıcılığa kültürel ve ekolojik uygunluk gibi özellikleri nedeniyle dünyanın en önemli arıcılık merkezlerinden biridir. Türkiye’nin hemen hemen bütün yörelerinde arıcılık yapılmaktadır. Yaygın olarak geleneksel aile işletmeleri şeklinde yapılmaktaysa da son yıllarda arıcılığı profesyonel olarak yapan işletmelerin sayısı da artmaktadır (Güler, 2017).

Genetik çeşitlilik; bir türün bir ırkı veya bir popülasyonu içinde, bireylerin arasında bulunan genetik değişkenliğin miktarıdır. Bu durum; kalıtım sürecinde genetik materyalin (DNA) rekombinasyonu, mutasyonlar, gen akışı ve genetik sürüklenme gibi faktörlerin etkisiyle oluşabilmektedir (Brown, 1983). Genetik çeşitlilik; DNA dizisi, epigenetik profiller, protein yapıları veya protein polimorfizmleri ya da fizyolojik ve morfolojik özelliklerdeki farklılıkları ifade etmektedir. Popülasyonların değişen koşullara adapte olabilmesi ya da gelecekte ihtiyaç duyulacak yönde ilerleyebilmelerinde sahip oldukları çeşitlilik durumu temel belirleyicidir. Genetik çeşitlilik, bir popülasyonda bulunan gen ve allellerin frekans ve dağılımlarını belirlenmesiyle karakterize edilebilir. Popülasyonun genel olarak hayatta kalma becerisi; hastalık ve zararlıları da içine alan abiyotik ya da biyotik stres koşullarına karşı direnç sağlayabilecek





farklı gen ya da allellere sahip olan, uyum sağlama yeteneği gösteren bireylerinin varlığı ile mümkün olabilir (Salgotra ve Chauhan, 2023).

Günümüze kadar birçok yerel tür ve ırkın soyu tükenmiş ya da tükenmek üzeredir. Bu durum, genetik çeşitlilikte küresel bir kayba yol açmaktadır. Endüstri devriminden bu yana türler içindeki genetik çeşitliliğin, küresel olarak %6 oranında azalmış olabileceği bildirilmektedir. Bu durum; birçok türün iklim değişikliği, kirlilik ve yeni hastalıklar gibi zorluklarla karşılaştıklarında adapte olma yeteneklerinin düşük olduğu anlamına gelmektedir. Bir türün sahip olduğu genetik çeşitlilik oranında fazla miktarda düşüş meydana gelirse, bu türe ait popülasyonların sağlıklı hale geldiği söylenebilir (Minter vd., 2021). Genetik markör polimorfizmleri, birçok çiftlik hayvanında genetik çeşitliliğin belirlenmesinde kullanılan araçlardır. Genetik çeşitliliğin belirlenmesinde birçok markör tipi kullanılmasına rağmen, mikrosatelit DNA markörlerinin; bilim insanları tarafından kodominant özellikte olmaları, gösterdikleri yüksek polimorfizm oranları ve tüm genomda bulunmaları nedeniyle genetik çeşitlilik çalışmalarında yaygın kullanılması tercih edilmektedir (Mercan, 2015).

Bu çalışmada Ondokuz Mayıs Üniversitesi'nde yetiştiriciliği yapılan ülkemiz yerli bal arısı genetik kaynaklarından olan Kafkas arısı ve Karadeniz arısı popülasyonlarının genetik çeşitlilik durumlarının ortaya çıkarılması amaçlanmıştır.

## MATERYAL VE METOT

Çalışma kapsamında 84 adet bal arısı kolonisi üzerinde genetik çeşitlilik analizi yapılmıştır.

### Bal Arısı Örneklerinin Toplanması

Çalışma için kullanılacak bal arısı örnekleri, Ondokuz Mayıs Üniversite Ziraat Fakültesi Arıcılık Araştırma ve Uygulama Ünitesi'nde yetiştiriciliği yapılan ve hijyenik davranış yönünden selekte edilmiş bal arısı kolonilerinden alınmıştır. Çalışmada kullanılan örnek materyali; 33 adet Kafkas arısı kolonisi, 22 adet Karadeniz arısı kolonisi ve 29 adet bunların melezlerinden oluşan kolonilerinden alınmak üzere 84 adet bal arısı kolonisinden gelen örnekler ile oluşturulmuştur.

### DNA Özütleme İşlemleri

Toplanan bal arısı örneklerinden DNA özütleme işlemi CTAB (Setil trimetil amonyum bromür) temelli genomik DNA izolasyon yönteminin laboratuvarımızda optimize edilmesiyle elde edilen protokole göre yapılmıştır.

### Polimeraz Zincir Reaksiyonu İşlemleri

Çalışmada kullanılan bal arısı örneklerinin genetik çeşitlilik analizleri için çalışılacak olan 30 adet mikrosatelit lokusu PZR ile çoğaltılmış ve üzerinde çalışılan bal arısı örneklerinin genetik yapıları ortaya çıkarılmıştır. Bu lokusların çoğaltımında kullanılan primerler ve nükleotid dizilişleri Tablo 2.1.'de verilmiştir.

Tablo 2.1. Çalışmada kullanılan mikrosatelit markörlere ait primerler (Solignac vd., 2003)

Primer Adı	Primer Dizisi (5'-3')	
	İleri	Tersine
Ap223	TCGTACAACGTCGCGCAA	GCCGCTCGCCTGTATCTG
Ap238	GTCTCGTGCGTGCGAATG	TTCATCATGTTCTCAAATTTCTTTGT
Ap273	GATCTTGTGTTAAACAGCCG	GATCTCTGGCAGACGAAGAG
Ap226	AACGGTGTTCGCGAAACG	AGCCAACCTCGTGCGGTCA
Ap289	AGCTAGGTCTTTCTAAGAGTGTTG	TTCGACCGCAATAACATTC
Ag005a	TGTTCCGGCAAGCTGAAG	GTGCTCCGCAACAACGTG
Ap243	AATGTCCGCGAGCATCTG	TGTTTACGAGAATTCGACGGG
Ap085	GATCAAACACACAAACGAAAGC	ACCGGAAGCCTAATCAAGG
Ac011	CTTACGCCAATCTCTCCACG	CGGTTAATTTCTGTTTCTCGC
Ap218	AGGGATGGAATTCTTTCGATT	TTGTCACAATTCGCTTGA
Ap001	ACACGCGAACAATACAACA	ACTAATCGGCACGATGAAG
A008	CGAAGGTAAGGTAATGGAAC	GGCGGTTAAAGTTCTGG
Ap015	GGGGGTAACGGAGAGAGG	TGTACGAGCACGCAATC



A043	CACCGAAACAAGATGCAAG	CCGCTCATTAAGATATCCG
Ac306	GAATATGCCGCTGCCACC	TTTCGTTGCATCCGAGCG
A113	CTCGAATCGTGGCGTCC	CCTGTATTTTGCAACCTCGC
At003	GATCATTCTTTTCATTCTTCTCTCTC	ATGCTCGACTATTCCGCG
A028	GAAGAGCGTTGGTTGCAGG	GCCGTTTCATGGTTACCACG
Ap249	CGCGCGACGACGAAATGT	CAGTCCTTTGATTTCGCGCTACC
A(B)124	GCAACAGGTCGGGTTAGAG	CAGGATAGGGTAGGTAAGCAG
Ap307	CGTAACGATATTCCACGCGAG	TCCCAGATAACGCCGTTGAC
Ap256	CCAAGTCGCTTCATCATCGT	CCTAAGGTCTACACCCCGT
Ap207	GCTGCGGCAACGCTAAC	GACACGGCTCGCGACCA
Ap274	ATATCCCGGTGGCCACGT	TGTCGCCACGCATAACTCG
Ap068	TGTCTGCCCTCTCTCTGTT	CACATCGAGCGAGAAGGC
Ap033	TTTCTTTTGTGGACAGCG	AAATATGGCGAAACGTGTG
A(B)024	CACAAGTTCCAACAATGC	CACATTGAGGATGAGCG
Ap043	GGCGTGACAGCTTATTCC	CGAAGGTGGTTTCAGGCC
A079	CGAAGGTTGCGGAGTCCTC	GTCGTCGGACCGATGCG
Ap297	GGGTTGAGATGCTAGAAACGA	CGTCTATTGGAAGAAACGCTG

PZR reaksiyonlarının tamamı 96 kuyucuklu PZR pleytlerinde yapılmıştır. Çalışmada yapılan PZR reaksiyonlarının bileşenleri ve miktarları Tablo 2.2’te verilmiştir.

Tablo 2.2. Çalışmada yapılan PZR reaksiyonlarının bileşenleri ve miktarları

Bileşen	Miktar
Kalıp DNA	4 µl
Düz primer	0.5 µl
Ters primer	0.5 µl
taqPolimeraz	0.15 µl
dNTP	0.5 µl
Tampon	2.5 µl
Steril Saf Su	11-5 µl
Toplam	20 µl

Çalışmada kullanılan tüm primerler için gradient PZR işlemi yapılmış ve uygun bağlanma sıcaklıkları belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan tüm primerler ile yapılan PZR işlemlerinde, gradient PZR işlemlerinde belirlenen sıcaklıklar kullanılmıştır. Çalışmada yapılan PZR işlemlerinde kullanılan PZR protokolü Tablo 2.3’te verilmiştir.

Tablo 2.3. Çalışmada yapılan PZR işlemlerinde kullanılan PZR protokolü

İşlem	Sıcaklık (°C)	Süre	Döngü Sayısı
Öncül denatürasyon	95	5 dakika	-
Denatürasyon	95	45 saniye	35
Bağlanma	49.5-61	45 saniye	
Uzama	72	45 saniye	
Son uzama	72	10 dakika	
Reaksiyon sonrası saklama	4	∞	-

PZR işlemlerinin doğrulanması agaroz jel elektroforezi ile yapılmıştır. Tüm PZR ürünleri %0,5’lik agaroz jelde 90 Voltta 30 dakika koşurulmuş ve UV ışık altında gözlenmiştir.

### Jel Elektroforez İşlemleri

Genetik çeşitlilik analizleri ve Varroa’ya karşı hijyenik davranış ile ilişkili SNP’lerin belirlenmesi için yapılan PZR örneklerinin incelenmesi yatay jel elektroforezi ile yapılmıştır. Elektroforez işlemleri %2’lik agaroz jelde yapılmıştır. Örnekler agaroz jel üzerinde 100 V’ta 120 dakika süreyle koşurulmuştur.



Jel elektroforez işlemleri sonucunda elde edilen jel görüntüleri jel dokümantasyon cihazında UV ışık altında görüntülenmiş ve skorlanmak üzere fotoğraflanmıştır. Elde edilen görüntüler jel analiz programına aktararak PZR ve kesim ürünlerinin jelde koşturularak elde edilen batlarının baz çifti cinsinden büyüklükleri elde edilmiştir.

### İstatistik Analizler

Tespit edilen mikrosatellit allel fragmentlerine ait büyüklük skorları GenAEx yazılımına (Peakall ve Smouse, 2006) yüklenmiş; allel frekansları, allel genişlikleri, F istatistikleri, gözlenen ( $H_o$ ) ve beklenen ( $H_e$ ) heterozigotluk, allel sayısı ( $N_a$ ) ve allelik zenginlik gibi değerleri hesaplanmıştır.

Popülasyonların genetik yapısının ve ilişkisinin belirlenmesi için Structure yazılımının (Pritchard vd., 2000) kümeleme yöntemi kullanılmıştır. Bu yazılım, her biri bütün lokuslarda allel frekanslarıyla karakterize edilen K sayıda popülasyonun olduğunu varsayan bir yazılımdır.

En uygun küme sayısı ( $\Delta K$ ), Evanno vd. (2005) tarafından tarif edildiği gibi hesaplanarak belirlenmiştir. Bunun için ilk olarak analizde, en olası küme sayısını tahmin etmek için  $2 \leq K \leq 4$  değerleri için 100 bin tekrarlı bir ısınma aşaması ve 500 bin tekrarlı bir MCMC (Markov Chain Monte Carlo) algoritması uygulanmıştır. Analiz sonuçları Structure Harvester (Earl ve vonHoldt, 2012) programına yüklenmiş en uygun  $\Delta K$  değeri hesaplanmıştır. Hesaplama sonuçlarına göre K değeri olarak 3 seçilmiş ve analizlere bu değer ile devam edilmiştir.

### BULGULAR

Kafkas arısı, Karadeniz arısı ve Kafkas x Karadeniz melezi popülasyonlarına ait genetik çeşitlilik parametreleri GenAEx yazılımı ile hesaplanmıştır. Çalışma sonucu elde edilen genetik çeşitlilik parametrelerine ait değerler Çizelge 3.1, 3.2, ve 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.1. Kafkas arısı (KFKS), Karadeniz arısı (KRDNZ) ve Kafkas x Karadeniz melezi (MLZ) popülasyonlarında her bir mikrosatellit lokusa ait örnek sayısı (N), allel sayısı ( $N_a$ ), etkili allel sayısı ( $N_e$ ), bilgi dizini (I), gözlenen heterozigotluk ( $H_o$ ), beklenen ortalama heterozigotluk ( $H_e$ ), tarafsız beklenen heterozigotluk ( $uH_e$ ) ve fiksasyon indeksi (F) değerleri

Pop	Lokus	N	$N_a$	$N_e$	I	$H_o$	$H_e$	$uH_e$	F
KFKS	Ap223	28	4.000	3.350	1.268	0.000	0.702	0.714	1.000
	Ap238	29	5.000	3.958	1.480	0.034	0.747	0.760	0.954
	Ap273	29	2.000	1.998	0.693	0.000	0.499	0.508	1.000
	Ap226	30	5.000	2.557	1.169	0.000	0.609	0.619	1.000
	Ap289	24	5.000	4.000	1.488	0.000	0.750	0.766	1.000
	Ag005a	29	2.000	1.942	0.678	0.000	0.485	0.494	1.000
	Ap243	30	4.000	3.333	1.280	0.000	0.700	0.712	1.000
	Ap085	24	5.000	3.470	1.372	0.000	0.712	0.727	1.000
	Ac011	20	4.000	1.709	0.826	0.000	0.415	0.426	1.000
	Ap218	33	5.000	3.335	1.334	0.152	0.700	0.711	0.784
	Ap001	31	4.000	3.546	1.321	0.000	0.718	0.730	1.000
	A008	33	3.000	2.799	1.064	0.000	0.643	0.653	1.000
	Ap015	22	4.000	2.180	1.010	0.000	0.541	0.554	1.000
	A043	24	5.000	3.388	1.362	0.000	0.705	0.720	1.000
	Ac306	13	5.000	4.333	1.525	0.000	0.769	0.800	1.000
	A113	21	5.000	4.642	1.571	0.000	0.785	0.804	1.000
	At003	22	4.000	3.063	1.223	0.000	0.674	0.689	1.000
	A028	31	2.000	1.845	0.650	0.000	0.458	0.465	1.000
	Ap249	8	3.000	2.909	1.082	0.000	0.656	0.700	1.000
	A(B)124	26	4.000	3.073	1.220	0.000	0.675	0.688	1.000
Ap307	27	6.000	3.898	1.531	0.000	0.743	0.758	1.000	



Ap256	17	6.000	4.898	1.661	0.000	0.796	0.820	1.000
Ap207	32	5.000	3.241	1.284	0.000	0.691	0.702	1.000
Ap274	30	5.000	3.377	1.317	0.033	0.704	0.716	0.953
Ap068	33	3.000	2.699	1.041	0.030	0.629	0.639	0.952
Ap033	32	4.000	3.850	1.367	0.000	0.740	0.752	1.000
A(B)024	29	4.000	2.993	1.174	0.000	0.666	0.678	1.000
Ap043	33	11.000	7.026	2.130	0.576	0.858	0.871	0.329
A079	32	5.000	3.599	1.385	0.094	0.722	0.734	0.870
Ap297	31	3.000	2.903	1.083	0.000	0.656	0.666	1.000
<b>KRDNZ</b>								
Ap223	18	4.000	2.793	1.162	0.000	0.642	0.660	1.000
Ap238	21	5.000	3.243	1.322	0.095	0.692	0.708	0.862
Ap273	21	2.000	1.893	0.665	0.000	0.472	0.483	1.000
Ap226	21	4.000	3.316	1.274	0.000	0.698	0.715	1.000
Ap289	11	4.000	2.814	1.162	0.000	0.645	0.675	1.000
Ag005a	19	2.000	1.870	0.658	0.000	0.465	0.478	1.000
Ap243	19	3.000	2.635	1.020	0.000	0.620	0.637	1.000
Ap085	15	3.000	2.419	0.970	0.000	0.587	0.607	1.000
Ac011	14	2.000	1.960	0.683	0.000	0.490	0.508	1.000
Ap218	21	4.000	3.354	1.286	0.095	0.702	0.719	0.864
Ap001	19	4.000	2.714	1.163	0.000	0.632	0.649	1.000
A008	21	3.000	2.882	1.079	0.000	0.653	0.669	1.000
Ap015	16	3.000	2.169	0.865	0.000	0.539	0.556	1.000
A043	13	3.000	2.770	1.058	0.000	0.639	0.665	1.000
Ac306	5	2.000	1.923	0.673	0.000	0.480	0.533	1.000
A113	15	4.000	3.000	1.211	0.000	0.667	0.690	1.000
At003	8	4.000	3.556	1.321	0.000	0.719	0.767	1.000
A028	20	2.000	1.835	0.647	0.000	0.455	0.467	1.000
Ap249	5	4.000	2.941	1.221	0.200	0.660	0.733	0.697
A(B)124	18	4.000	2.282	1.040	0.000	0.562	0.578	1.000
Ap307	17	4.000	3.042	1.206	0.000	0.671	0.692	1.000
Ap256	7	3.000	2.333	0.956	0.000	0.571	0.615	1.000
Ap207	21	5.000	3.706	1.417	0.000	0.730	0.748	1.000
Ap274	17	2.000	1.940	0.677	0.000	0.484	0.499	1.000
Ap068	21	2.000	1.800	0.637	0.000	0.444	0.455	1.000
Ap033	21	5.000	3.472	1.381	0.000	0.712	0.729	1.000
A(B)024	17	4.000	3.108	1.236	0.000	0.678	0.699	1.000
Ap043	22	11.000	6.497	2.076	0.545	0.846	0.866	0.355
A079	22	3.000	2.659	1.038	0.000	0.624	0.638	1.000
Ap297	22	3.000	2.262	0.937	0.000	0.558	0.571	1.000
<b>MLZ</b>								
Ap223	20	3.000	2.632	1.030	0.000	0.620	0.636	1.000
Ap238	24	5.000	3.000	1.257	0.083	0.667	0.681	0.875
Ap273	22	3.000	2.142	0.837	0.000	0.533	0.545	1.000
Ap226	26	4.000	3.101	1.247	0.000	0.678	0.691	1.000
Ap289	20	6.000	4.348	1.591	0.000	0.770	0.790	1.000
Ag005a	26	2.000	1.827	0.645	0.000	0.453	0.462	1.000
Ap243	24	6.000	3.512	1.430	0.000	0.715	0.730	1.000



Ap085	15	4.000	3.814	1.362	0.000	0.738	0.763	1.000
Ac011	13	3.000	1.899	0.831	0.000	0.473	0.492	1.000
Ap218	29	5.000	3.602	1.395	0.069	0.722	0.735	0.905
Ap001	29	3.000	2.541	1.007	0.000	0.606	0.617	1.000
A008	29	3.000	2.541	1.007	0.000	0.606	0.617	1.000
Ap015	19	4.000	2.270	0.990	0.000	0.560	0.575	1.000
A043	20	3.000	2.667	1.040	0.000	0.625	0.641	1.000
Ac306	10	4.000	2.381	1.089	0.000	0.580	0.611	1.000
A113	21	4.000	3.128	1.263	0.000	0.680	0.697	1.000
At003	17	4.000	3.853	1.366	0.000	0.740	0.763	1.000
A028	27	2.000	1.715	0.608	0.000	0.417	0.425	1.000
Ap249	7	4.000	2.970	1.197	0.143	0.663	0.714	0.785
A(B)124	20	3.000	2.299	0.927	0.000	0.565	0.579	1.000
Ap307	24	5.000	3.945	1.480	0.000	0.747	0.762	1.000
Ap256	9	5.000	4.263	1.523	0.000	0.765	0.810	1.000
Ap207	29	4.000	3.081	1.225	0.000	0.675	0.687	1.000
Ap274	26	5.000	3.674	1.412	0.000	0.728	0.742	1.000
Ap068	28	3.000	2.888	1.079	0.036	0.654	0.666	0.945
Ap033	29	6.000	4.558	1.596	0.069	0.781	0.794	0.912
A(B)024	19	4.000	3.312	1.281	0.000	0.698	0.717	1.000
Ap043	28	15.000	10.248	2.487	0.643	0.902	0.919	0.288
A079	28	3.000	2.667	1.032	0.000	0.625	0.636	1.000
Ap297	28	3.000	2.513	0.992	0.000	0.602	0.613	1.000

Çizelge 3.2. Kafkas arısı (KFKS), Karadeniz arısı (KRDNZ) ve Kafkas x Karadeniz melezi (MLZ) popülasyonlarında her bir mikrosatellit lokusa ait ortalama örnek sayısı (N), allel sayısı ( $N_a$ ), etkili allel sayısı ( $N_e$ ), bilgi dizini (I), gözlenen heterozigotluk ( $H_o$ ), beklenen ortalama heterozigotluk ( $H_e$ ), tarafsız beklenen heterozigotluk ( $uH_e$ ) ve fiksasyon indeksi (F) değerleri

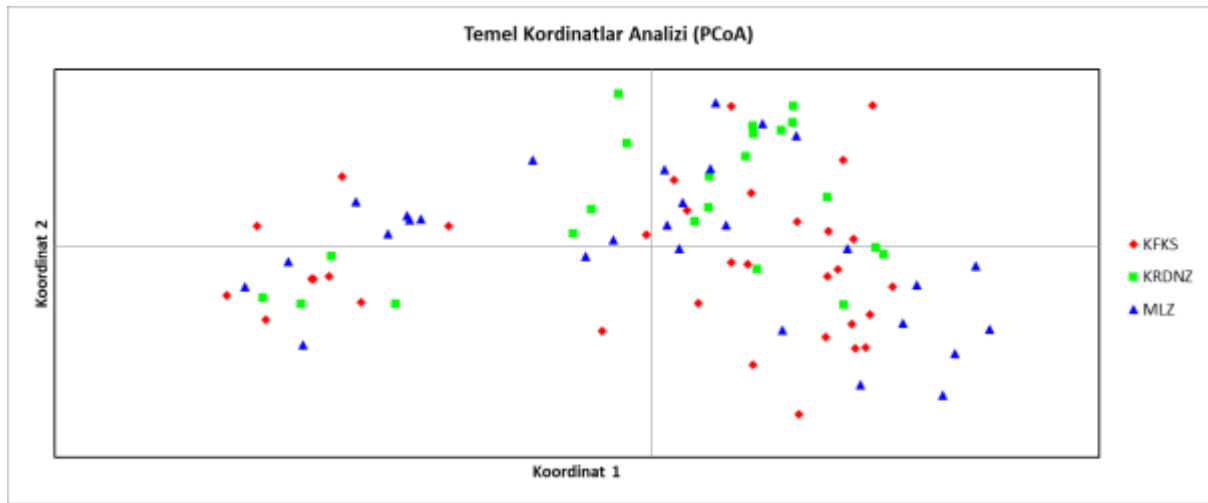
Pop		N	$N_a$	$N_e$	I	$H_o$	$H_e$	$uH_e$	F
KFKS	ORT	26.767	4.400	3.331	1.253	0.031	0.672	0.686	0.961
	SH	1.139	0.302	0.192	0.056	0.020	0.019	0.019	0.023
KRDNZ	ORT	16.900	3.600	2.773	1.068	0.031	0.611	0.634	0.959
	SH	0.938	0.309	0.165	0.057	0.019	0.018	0.019	0.024
MLZ	ORT	22.200	4.267	3.246	1.208	0.035	0.653	0.670	0.957
	SH	1.175	0.421	0.278	0.065	0.022	0.019	0.020	0.025

Tablo 3.3. Wright'ın F istatistikleri

Lokus	$F_{IS}$	$F_{IT}$	$F_{ST}$	$N_m$
Ap223	1.000	1.000	0.041	5.799
Ap238	0.899	0.900	0.011	22.694
Ap273	1.000	1.000	0.024	10.105
Ap226	1.000	1.000	0.048	4.929
Ap289	1.000	1.000	0.069	3.352
Ag005a	1.000	1.000	0.003	73.804
Ap243	1.000	1.000	0.050	4.737
Ap085	1.000	1.000	0.066	3.545
Ac011	1.000	1.000	0.130	1.674

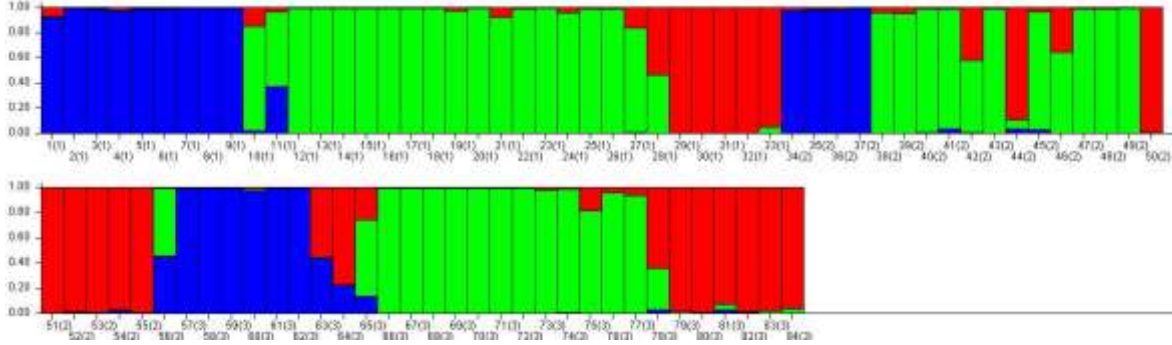
Ap218	0.851	0.853	0.009	28.852
Ap001	1.000	1.000	0.042	5.670
A008	1.000	1.000	0.033	7.424
Ap015	1.000	1.000	0.092	2.463
A043	1.000	1.000	0.026	9.233
Ac306	1.000	1.000	0.104	2.154
A113	1.000	1.000	0.061	3.857
At003	1.000	1.000	0.026	9.286
A028	1.000	1.000	0.003	78.725
Ap249	0.827	0.832	0.028	8.757
A(B)124	1.000	1.000	0.076	3.019
Ap307	1.000	1.000	0.016	15.797
Ap256	1.000	1.000	0.057	4.101
Ap207	1.000	1.000	0.028	8.819
Ap274	0.983	0.983	0.049	4.890
Ap068	0.962	0.966	0.119	1.855
Ap033	0.969	0.969	0.010	23.793
A(B)024	1.000	1.000	0.020	12.447
Ap043	0.323	0.337	0.021	11.758
A079	0.952	0.954	0.040	5.935
Ap297	1.000	1.000	0.039	6.173
<b>Ortalama</b>	<b>0.959</b>	<b>0.960</b>	<b>0.045</b>	<b>12.855</b>
<b>SH</b>	<b>0.023</b>	<b>0.023</b>	<b>0.006</b>	<b>3.376</b>

$F_{ST}$  popülasyonlar arası farklılaşmanın bir ölçüsüdür.  $F_{ST}$ 'nin değeri ne kadar yüksek olursa popülasyonlar arası farklılaşmada o kadar fazla olacaktır (Wright, 1951). Gen akışı ( $N_m$ ) değeri ise popülasyondaki genetik farklılaşmanın kaynağını ortaya koyan bir değerdir (Wright, 1969).  $N_m$ 'nin değerinin; 0,5'in altında olması popülasyondaki genetik farklılaşmada genetik sürüklenmenin, 0,5'in üstünde olması ise genetik farklılaşmada gen akışının rol oynadığını ortaya koymaktadır. Kafkas arısı, Karadeniz arısı ve Kafkas x Karadeniz melezi popülasyonlarında genetik varyasyonu belirlemek amacıyla Temel koordinatlar analizi (PCoA) yapılmış ve popülasyonlar arası ilişki Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Popülasyonlar arası ilişkinin Temel koordinatlar analizi (PCoA) ile gösterimi (Her popülasyon farklı renk ve şekil ile temsil edilmiştir)

Temel koordinatlar analizi sonuçlarına göre Kafkas arısı, Karadeniz arısı ve Kafkas x Karadeniz melezi popülasyonlarının birbirlerinden ayrılmadığı görülmüştür. Her bir popülasyona ait bireyler incelendiğinde, popülasyonlara ait bireylerin genel bir dağılım gösterdiği ve bireylerin iki küme oluşturduğu tespit edilmiş ve her iki kümenin de tüm popülasyonlara ait bireylerden oluştuğu gözlenmiştir.



Şekil 3.2. Structure analiz sonuçlarına göre popülasyonlar arası genetik ilişkinin gösterimi (Her birey, renkli kesimlere ayrılmış tek bir dikey çizgi ile temsil edilmektedir)

Popülasyonların genetik ilişkisi Structure programı ile K3 düzeyinde incelenmiş elde edilen sonuçlar Şekil 3.2’de verilmiştir. Analiz sonucunda popülasyonların birbirinden ayrılmadığı net bir şekilde gözlenmiştir. Structure analiz sonucunda, Temel Koordinatlar analizi ile benzer veriler elde edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre popülasyonlar arasında büyük bir farklılık gözlenmediği ancak popülasyonları oluşturan bireylerin arasında farklılık olduğu tespit edilmiştir.

### SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Arıcılık Araştırma ve Uygulama Ünitesi’nde yetiştiriciliği yapılan Kafkas arısı, Karadeniz arısı ve Kafkas x Karadeniz melezi popülasyonları Ap223, Ap238, Ap273, Ap226, Ap289, Ag005a, Ap243, Ap085, Ac011, Ap218, Ap001, A008, Ap015, A043, Ac306, A113, At003, A028, Ap249, A(B)124, Ap307, Ap256, Ap207, Ap274, Ap068, Ap033, A(B)024, Ap043, A079 ve Ap297 mikrosatelit lokusları bakımından tanımlanmış, lokusların polimorfizm bilgi içeriği (PIC) değerleri sırasıyla; 0.921, 0.928, 0.807, 0.915, 0.974, 0.667, 0.942, 0.963, 0.939, 0.925, 0.886, 0.816, 0.926, 0.952, 0.992, 0.964, 0.965, 0.612, 0.994, 0.918, 0.954, 0.993, 0.926, 0.937, 0.826, 0.937, 0.925, 0.992, 0.904 ve 0.817olarak bulunmuş ve tüm lokusların genetik çeşitliliğin tanımlanmasında kullanılabilir etkin markör lokusları olduğu sonucuna varılmıştır.

Genetik çeşitliliğin başlıca göstergesi olan beklenen heterozigotluk ( $H_e$ ) değerinin Kafkas arısı (0.672), Karadeniz arısı (0.611) ve Kafkas x Karadeniz melezi (0.653) popülasyonlarında birbirlerine oldukça yakın değerler aldığı ve Kafkas arısı popülasyonunun daha yüksek bir genetik çeşitliliğe sahip olduğu gözlenmiştir.

Popülasyon ayrımı yapılmaksızın hesaplanan akrabalı yetiştirme katsayısı ( $F_{IS}$ ) değerine göre tüm lokuslarda pozitif olarak bulunan  $F_{IS}$  değeri popülasyonların Hardy-Weinberg genetik dengesinde olduğunu ve homozigotlaşmanın arttığını göstermektedir. Ortalama  $F_{st}$  değerinin 0,045 bulunması, popülasyonların arasında anlamlı bir farklılaşma olmadığını göstermektedir. Ortalama  $N_m$  değerinin 12.855 bulunması ise genetik farklılaşmanın genetik sürüklenmeden değil gen akışından kaynaklı olduğunu göstermektedir.

Temel koordinatlar ve Structure analizleri sonucunda popülasyonlar arasında anlamlı bir genetik farklılığın olmadığı ve genetik farklılığın popülasyonları oluşturan bireyler arasında olduğu gözlenmiştir. Analizler sonucunda popülasyonları oluşturan bireylerin karışık olarak iki adet küme oluşturduğu tespit edilmiştir.

Çalışma sonucunda morfolojik olarak birbirinden farklı fenotipe sahip olan Kafkas ve Karadeniz arısı kolonileri arasında, genetik açıdan bir farklılık tespit edilmemiştir. Popülasyonları oluşturan bireyler arasında farklılık görülmesi ve karışık şekilde kümelenmeleri, bal arısı ırklarının tanımlanmasında



morfolojik kriterlerin kullanılmasının yanında moleküler markörlerinde kullanılmasının gerekli olduğunu göstermektedir.

Genetik çeşitlilik durumunun doğru bir şekilde belirlenmesi koruma programlarının başarılı olması için önemlidir. Bu yüzden programların planlanması sürecinde dikkate alınması gereken bir faktördür. Dünya çapında bal arısı koloni kayıplarının ana nedenlerinden biri olarak görülen genetik çeşitliliğin azalması sorunu, gen kaynaklarının sürdürülebilir korunmasının önemini açıkça göstermektedir. Afrika, Asya ve Avrupa kıtaları arasında bir geçiş bölgesi olan ülkemiz, genetik kaynakların korunması açısından önemli bir konumdadır. Türkiye özgün genotiplere sahip bal arısı popülasyonlarına sahip olması sebebi ile, bölgemiz ve dünya için bir bal arısı genetik çeşitliliğinin önemli bir merkezidir. Genetik kaynaklardaki kayıpların geri döndürülmesi mümkün değildir. Bu yüzden yerli bal arısı genotiplerinin sürdürülebilir korunması için, kendi yayılım alanlarında genetik bulaşımın engelleneceği biçimde izole koruma bölgelerinin oluşturulması gibi önerilerin (Güler, 2017) yerine getirilmesi başta olmak üzere bu konuda yeni stratejilerin geliştirilmesine ihtiyaç bulunmaktadır.

**Not:** Bu bildiri Ondokuz Mayıs Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tarımsal Biyoteknoloji Anabilim Dalı doktora öğrencisi Arş. Gör. Fatih BİLGİ'nin "Kafkas (*Apis mellifera caucasica*, G.), Karadeniz (*Apis mellifera anatolica*, L.), Kafkas x Karadeniz Bal Arısı Kolonilerinde Genetik Çeşitliliğin ve Hijyenik Davranış ile Bağlantılı Bazı SNP'lerin Tespit Edilmesi" isimli doktora tez çalışmasından derlenmiştir.

#### KAYNAKLAR

Bodenheimer, F.S. 1941. Türkiye'de bal arısı ve arıcılık hakkında etütler (Studies on the honey bee and beekeeping in Turkey). Merkez Zirai Mücadele Enstitüsü Ankara. Numune Matbaası, İstanbul.

Brown, W. L. (1983). Genetic diversity and genetic vulnerability-an appraisal. *Economic Botany*, 37(1), 4–12. <https://doi.org/10.1007/BF02859301>

Earl, D. A., & vonHoldt, B. M. (2012). STRUCTURE HARVESTER: A website and program for visualizing STRUCTURE output and implementing the Evanno method. *Conservation Genetics Resources*, 4(2), 359–361. <https://doi.org/10.1007/s12686-011-9548-7>

Evanno, G., Regnaut, S., & Goudet, J. (2005). Detecting the number of clusters of individuals using the software STRUCTURE: A simulation study. *Molecular Ecology*, 14(8), 2611–2620. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2005.02553.x>

Güler, Ahmet. 2017. Bal Arısı (*Apis mellifera* L.) Yetiştiriciliği, Hastalıkları ve Ürünleri. Azim Matbaacılık.

Hunter, W., & Kole, C. (2008). Genome Mapping and Genomics in Arthropods. *Genome Mapping and Genomics in Arthropods*, 1. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-73833-6>

Kara, M., & Keskin, M. (2013). Türkiyenin Mevcut Bal Arısı Genetik Varlığı , Islahı ve Seleksiyonda Kullanılan Koloni Performans Karakterleri. *Arıcılık Araştırma Dergisi*, 5(9), 30–34. <http://arastirma.tarim.gov.tr/aricilik/Menu/30/Aricilik-Arastirma-Dergisi>

Maa, T., 1953. An inquiry into the systematics of the tribus apidini or honeybee (Hym.). *Treubia*, 21 (3) 525-640.

Mercan, L., & Okumuş, A. (2015). Genetic diversity of village chickens in Central Black Sea Region and commercial chickens in Turkey by using microsatellite markers. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 39(2), 134–140. <https://doi.org/10.3906/vet-1308-44>

Minter, M., Nielsen, E. S., Blyth, C., Bertola, L. D., Kantar, M. B., Morales, H. E., Orland, C., Segelbacher, G., & Leigh, D. M. (2021). What Is Genetic Diversity and Why Does it Matter? *Frontiers for Young Minds*, 9. <https://doi.org/10.3389/frym.2021.656168>

Öztürk, A.I., 1990. Morphometric analysis of some Turkish honeybees (*Apis mellifera* L.). Master of Philosophy. Univ. Of Wales College of Cardiff, UK.

Peakall, R., & Smouse, P. E. (2012). GenALEX 6.5: Genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research-an update. *Bioinformatics*, 28(19), 2537–2539.





<https://doi.org/10.1093/bioinformatics/bts460>

Pritchard, J. K., Stephens, M., & Donnelly, P. (2000). Inference of population structure using multilocus genotype data. *Genetics*, 155(2), 945–959. <https://doi.org/10.1093/genetics/155.2.945>

Ruttner, F. (1988). Biogeography and Taxonomy of Honeybees. In *Biogeography and Taxonomy of Honeybees*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-72649-1>

Salgotra, R. K., & Chauhan, B. S. (2023). Genetic Diversity, Conservation, and Utilization of Plant Genetic Resources. *Genes*, 14(1), 174. <https://doi.org/10.3390/genes14010174>

Solignac, M., Vautrin, D., Loiseau, A., Mougel, F., Baudry, E., Estoup, A., Garnery, L., Haberl, M., & Cornuet, J. M. (2003). Five hundred and fifty microsatellite markers for the study of the honeybee (*Apis mellifera* L.) genome. *Molecular Ecology Notes*, 3(2), 307–311. <https://doi.org/10.1046/j.1471-8286.2003.00436.x>

Taşkıran, N. Ö., Dayıoğlu, M., & Kabakçı, D. (2017). Bal Arılarının (*Apis mellifera* L.) Sınıflandırılması ve Ekolojik Koşulların Morfolojisi Üzerine Etkisi. *Arıcılık Araştırma Dergisi*, 9(2), 68–77. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/aader/issue/33695/381951>

Tautz, Jürgen. 2008. The Buzz about Bees *The Buzz about Bees*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-78729-7>

Wright, S. (1984). *Evolution and the genetics of populations (Variability within and among natural populations)* (Vol. 4). University of Chicago Press. <https://press.uchicago.edu/ucp/books/book/chicago/E/bo3642015.html>

Wright, S. (1951). The genetical structure of populations. *Annals of Eugenics*, 15(4), 323–354. <https://doi.org/10.2307/2407273>



## BAL ARISINDA (*Apis mellifera* L.) HASTALIK VE PARAZİTLERE KARŞI HİJYENİK DAVRANIŞIN MOLEKÜLER KONTROLÜ

### MOLECULAR CONTROL OF HYGIENIC BEHAVIOR AGAINST DISEASES AND PARASITES IN HONEY BEES (*Apis mellifera* L.)

**Arş. Gör. Fatih BİLGİ**

*Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Biyoteknoloji Bölümü, Atakum, Samsun*

**Doç. Dr. Levent MERCAN**

*Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Biyoteknoloji Bölümü, Atakum, Samsun*

#### ÖZET

Dünya genelinde, en yaygın üretimi yapılan yüz on beş bitki türünün yaklaşık %70'i bal arıları tarafından tozlaştırılmaktadır. Bitkilerin doğal tozlaşmasına yardımcı olan polinatör sayısındaki azalmanın besin güvenliği ve dolaylı olarak da ekonomi üzerinde önemli etkisi bulunmaktadır. Bu azalmanı; tarım sektöründe verim, ürün kayıpları ve kalite düşüklüğü gibi ekonomik sorunlara neden olabileceği ve biyolojik çeşitlilik kaybına da yol açarak ekolojik dengeyi bozabileceği ön görülmektedir. Polinasyon sürecinde kritik bir öneme sahip olan bal arısı kolonileri; parazitler, toksinler, kötü beslenme ve soğuk havanın etkisi ile strese girebilmektedir. Bu stres koloniyi geri dönülemez ve koloninin çökmesiyle sonuçlanabilecek bir duruma sokabilmektedir. Dünya genelinde bal arısı kolonilerinde en önemli istilacı parazitlerin başında *Varroa destructor* gelmektedir. *Varroa*, hali hazırda koloni kayıplarındaki en önemli etkenlerden biridir. *Varroa* akarı tarafından istila edilmiş koloniler *Varroa*'dan arındırılmaz iseler, bu durum kolonilerin çökmesine yol açabilmektedir. Daha da önemlisi bu durumda parazitin yaşam döngüsüne mücadele edilmediğinden, parazit dolaylı olarak desteklenerek arılıktaki ve hatta aynı bölgedeki diğer kolonilerin risk altına girmesine neden olmaktadır. Bal arıları; bakteri, fungus ve parazitlerin etkisini "hijyenik davranış" ile baskılamaktadır. Bal arılarının *Varroa* parazitine karşı mücadelesinde etkin bir araç olan hijyenik davranışın kalıtımı ve genetik kontrol mekanizmaları henüz tam olarak ortaya çıkarılamamıştır. Daha önceki çalışmalarda, kolonilerde hijyenik davranışın kimyasal olarak yönlendirildiği ve bal arılarının bağışıklık sistemleri tarafından değiştirilebilen kutikular hidrokarbon profillerinin sağlıklı ve hasta bireylerin ayrılmasında kullanıldığı ortaya çıkarılmıştır. Ayrıca, kapağı kapatılmış ölü veya hasta yavruların tespitinin, göz kapağına nüfuz eden uçucu koku sinyallerine dayandığı bildirilmektedir. Hijyenik davranışın kontrolünde etkili olan önemli biyomoleküllerden biri de "Oktopamin" dir. Oktupamin arılarda koku hafızasının oluşumunda ve gelişiminde rol oynayan, hijyenik davranış gibi karmaşık mekanizmaları dolaylı yoldan etkileyen önemli bir nöromodülatördür. Çeşitli çalışmalarda bal arılarında hijyenik davranıştan sorumlu olan genlerin iki ila yedi farklı lokusta bulunduğu bildirilmektedir. Tam olarak etkili bir kimyasal veya fiziksel mücadele yöntemi geliştirilemeyen *Varroa*'ya karşı yüksek düzeyde hijyenik davranış gösteren genotiplerin üretilebilmesi, genomik seleksiyon çalışmaları için uygun moleküler markör setlerinin geliştirilmesini gerektirmektedir. Bu markör setlerinin geliştirilebilmesi için hijyenik davranışı etkileyen genlerin ve moleküler mekanizmalarının ortaya çıkarılması önem arz etmektedir. Bu bildiride bal arısında hijyenik davranışın moleküler mekanizması irdelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Bal arısı, genomik seleksiyon, oktopamin, polinasyon, *Varroa destructor*.

#### ABSTRACT

Approximately 70% of the 115 most commonly cultivated plant species worldwide are pollinated by honey bees, highlighting the significant impact of decreasing pollinator numbers on food security and indirectly on the economy. This decline is predicted to cause economic problems such as reduced agricultural productivity, crop losses, and decreased quality, leading to biodiversity loss and disrupting ecological balance. Honey bee colonies, which play a critical role in pollination, can experience stress



due to parasites, toxins, poor nutrition, and cold weather. This stress can push the colony into an irreversible state, ultimately collapsing. *Varroa destructor* is the most significant invasive parasite affecting honey bee colonies worldwide. Varroa is already one of the major factors contributing to colony losses. If colonies infested with Varroa mites are not treated, it can lead to the collapse of the colonies. Moreover, in this situation, by not combating the parasite's life cycle, the parasite is indirectly supported, posing a risk to other colonies within the apiary and even in the same region. Honey bees suppress the effects of bacteria, fungi, and parasites through "hygienic behaviour". The inheritance and genetic control mechanisms of hygienic behaviour, an effective tool in honey bees' fight against Varroa parasites, have yet to be fully elucidated. Previous studies have revealed that hygienic behaviour in colonies is chemically directed and that cuticular hydrocarbon profiles, which honey bee immune systems can alter, are used to separate healthy individuals from diseased ones. Furthermore, it has been reported that dead or diseased capped brood detection relies on volatile odour signals to penetrate the brood cell capping. Octopamine is one of the critical biomolecules that effectively control hygienic behaviour. Octopamine is a significant neuromodulator that indirectly affects complex mechanisms such as the formation and development of olfactory memory and hygienic behaviour in bees. Various studies have reported that honey bees' genes responsible for hygienic behaviour are found in two to seven different loci. Developing genotypes that exhibit a high level of hygienic behaviour against Varroa, for which an effective chemical or physical control method has yet to fully develop, requires the development of suitable molecular marker sets for genomic selection studies. It is crucial to elucidate the genes and molecular mechanisms influencing hygienic behaviour to develop these marker sets. This paper examines the molecular mechanism of hygienic behaviour in honey bees.

**Keywords:** Genomic selection, honey bee, octopamine, pollination, *Varroa destructor*.

## GİRİŞ

Gezeganimizde yaşamın gelişimi ve yayılımı, tahminen dört buçuk milyar yıl önce başladığından beri değişmeyen prensiplere göre şekillenmektedir. Bu gelişim ve yayılmanın temelde basit kurallar takip etmesine rağmen, nefes kesici çeşitlilik ve karmaşıklıklarla dolu bir organizma dünyası ortaya çıktığı gözlenmektedir. Yaşamın bu şekilde çoğalmasının dinamiklerini harekete geçiren şeyin, "hayatta kalma isteği" olduğu ve canlıların hayatta kalması, rekabetçilerinden daha hızlı üremeleri ile meydana gelmektedir. Bilinen yaklaşık 1.2 milyon böcek türü arasında Bal arılarının (*Apis mellifera* L.), üzerinde en çok bilimsel araştırma yapılan böcek türü olduğu bilinmektedir. Mellifera (Bal arısı) türü, *Apis* cinsi altında tanımlanan 11 tür arasından ekonomik ve ekolojik olarak en fazla değere sahip olan tür olarak değerlendirilmektedir. Yararlı böcek türleri arasında en önemli grubu oluşturan bal arıları, değerli ürünleri için yetiştiriciliğinin yapılması ile birçok çiftçiye gelir kazandırdığı gibi tozlaşmadaki rolleri sebebiyle tarım sektörüne yaptığı katkılar azımsanamayacak boyuttadır (Tautz, 2008; Güler, 2017). Bal arıları (*Apis mellifera* L.) sosyal organizmalar olup, genellikle çok güçlü fertil bir dişi olan tek bir ana arıyı, steril dişi işçi arıları ve erkek arıları içeren koloniler şeklinde varlıklarını sürdürmektedirler. Bal arıları; kendi ürettikleri ürünler ile beslenmeleri, yaşamak için korunaklı alanlar inşa etmeleri ve bu yaşam alanlarının iklimini kontrol etmeleri ile birçok memeli türü gibi, bu mekanizmalara sahip olmayan türlere karşı üstünlük sağlamaktadır. Bu üstünlük, hammadde ve enerjinin verimli bir biçimde kullanılmasını mümkün kılan karmaşık sosyal ve davranışsal organizasyonların varlığı ile sağlanmaktadır. İnsanların bal arıları ile etkileşiminin ilk kayıtlı örneği, Mezolitik döneme (yaklaşık M.Ö. 7000 yıllarına) kadar dayanmaktadır. İnsanlar, önce doğadaki bal arısı kolonilerinin ürünlerini kullanmaya başlamışlar ve ardından özel olarak oluşturulmuş yaşam alanlarında bal arılarını kendileri yetiştirmeye başlamışlardır (Hunter ve Kole, 2008; Tautz, 2008; Güler, 2017).

Bu derlemede bal arısının popülasyonlarının tarımsal ve ekolojik önemi, dünya genelindeki koloni kayıpları, kayıpların önemli sebeplerinden biri olan *Varroa* akarı, hijyenik davranış ve bu davranışın moleküler kontrolünün incelenmesi amaçlanmıştır.

## Bal Arısının Önemi ve Koloni Kayıpları

Bal arıları, bal üretimi ve polinasyon konusundaki benzersiz rollerinden ötürü ıslahçılar ve bilim insanlarının üzerine odakladıkları çok önemli bir türdür. Polinasyon, doğal bitki türlerinin hayat döngülerinde ve ekimi yapılan bitkilerden verim elde etmede önemli bir rol oynamaktadır. Bal arıları



bu sürecin sağlıklı şekilde ilerlemesi için kritik öneme sahiptir (İvgin Tunca, 2009). Yapılan araştırmalar, dünya çapında yerel ve özgün polinatör sayısında azalma olduğunu ortaya koymaktadır. Ekolojik dengenin bozulmasıyla birlikte polinatörlerin sayısındaki azalmanın, ekonomi ve daha da önemlisi besin güvenliği üzerindeki etkisinin çok kritik bir boyuta geldiği görülmektedir. Polinatörler üzerinde yapılan çalışmaların büyük bir kısmı, Dünya genelinde en yaygın arı türü olan *Apis mellifera* üzerine yoğunlaşmaktadır. Bu azalma tarım sektöründe de önemli bir sorun haline gelmiştir. Yerel ve özgün polinatörlerin azalması, tarımsal bitkilerin verimliliğini ve ürün kalitesini olumsuz etkilemektedir (Zayed, 2009).

Bal arısı kolonisi; parazitler, toksinler, kötü beslenme ve soğuk havanın etkisi ile strese girebilir, bu stres koloniyi geri dönülemez ve koloninin çökmesiyle sonuçlanabilecek bir duruma sokabilir. Bu durumda koloni, yavaşça iş gücünü kaybetmeye başlamakta ve ardından kolonideki sosyal yapı bozulmaktadır. Bunun sonucunda da donma ve kötü beslenme ile koloninin çöküşü hızlanmakta, koloni zararlı etmenlere karşı savunmasız hale gelmekte ve bunların sonucunda da koloni çökmektedir (Ellis, 2007).

### ***Varroa destructor***

Dünyada 1980'li yıllara kadar bal arısı için ekonomik olarak en büyük tehdit olarak yavru hastalıkları görülmüştür. Ancak, seksenli yıllardan itibaren *Varroa destructor*'un ortaya çıkışı ile yavru hastalıklarının gündemdeki yerini *Varroa* paraziti almıştır (Smith ve diğ., 2014). *Varroa destructor*, bir dış parazit akar türüdür ve dünya genelinde bal arısı (*Apis mellifera* L.) kolonilerini yüksek düzeyde istila edebilmesi ile bilinmektedir. *Varroa* akarı, dünyada koloni ölümlerinin önde gelen nedenlerinden biridir. Yüksek düzeyde istila edilmiş koloniler tedavi edilmez iseler, bu istila kolonilerin çökmesine veya ölümüne yol açmaktadır (Guzmán-Novoa vd., 2010; Kulhanek vd., 2017; Brodschneider vd., 2018; Steinhauer vd., 2018).

*V. destructor* ilk olarak *A. cerana* kolonilerinden *A. mellifera* kolonilerine 1952 yılında Rusya'nın doğusunda geçiş yapmıştır (Oldroyd, 1999). *Varroa* akarının dünya genelinde hızlı yayılması *A. mellifera* popülasyonları üzerinde önemli etkiler yaratmıştır. Bu etkiler arasında; yaygın viral hastalık etmenlerinin bulaşması ve dünya genelinde büyük koloni kayıpları gibi olumsuz etkiler yer almaktadır (Reams ve Rangel, 2021).

*V. destructor*, gelişmekte olan ve yetişkin bal arılarının yağ dokularından beslenmektedir. Bunu yaparken bal arısıyla ilişkili birçok virüsün taşınmasını sağlamaktadır (Francis vd., 2013, Mondet vd., 2014; Emsen vd., 2015; Ramsey vd., 2019). Bunlar, Deforme kanat virüsü, Akut arı felci virüsü, İsrail akut felç virüsü, Kaşmir arı virüsü ve Tulumsu yavru çürüklüğü virüsü gibi etmenlerdir (Ball, 1983; Ball ve Allen 1988; Chen vd. 2004; Yue ve Genersch, 2005; Boecking ve Genersch, 2008).

Bal arısı popülasyonları üzerinde *Varroa*'nın neden olduğu olumsuz etki göz önüne alındığında, dünya genelinde *Varroa* kontrolü için çeşitli entegre zararlı mücadele yönetim stratejileri uygulanmaya çalışılmıştır. Ancak bugüne kadar kullanılan mevcut mücadele yönetim stratejilerinin hiçbiri istila edilmiş kolonilerden *Varroa*'yı tamamen ortadan kaldırmayı başaramamış, bunun yerine istilanın sadece zarar seviyelerinin altında sürdürülmesine izin vermiştir (Lee vd., 2015; Kulhanek vd., 2017; Brodschneider vd., 2018; Jack ve Ellis, 2021).

### **HİJYENİK DAVRANIŞ**

Grup halinde yaşam yalnız yaşama göre canlılara bazı avantajlar sağlamaktadır. Kolonideki iş birliği, yavruların bakımında, besin bulmada ve avcılara karşı savunmada etkinliği arttırmaktadır. Bu sebeple birçok yaşam alanında sosyal böcekler baskın türler haline gelmiştir. Bununla birlikte grup halinde yaşamın kendine has bazı sorunları mevcuttur. Bu sorunlardan önemlisi bulaşıcı hastalıklar ve parazitlerin grubu oluşturan bireyler arasında hızla yayılmasıdır. Doğal olarak; arılar, karıncalar ve termitler gibi sosyal böcekler, koloniler içinde patojenlerin ve hastalıkların yayılmasını önlemek için farklı davranışsal uyumlar geliştirmişlerdir (Cremer vd., 2007; Leclercq vd., 2017; Spivak ve Danka, 2020; Jamal vd., 2021). Bu davranışlar genelde hastalıklı bireylerin kovandan uzaklaştırılmasını ya da hastalık kaynağından uzak durulmasını içermekte ve bu mekanizmalara "sosyal bağışıklık" adı verilmektedir. Bal arıları neredeyse 20'den fazla virüse, parazitlere, bir takım bakteri ve fungal patojenlere konakçılık yapmaktadır. Bal arıları; bakteri, fungus ve parazitlerin etkisini hijyenik davranış ile baskılamaktadır. Hijyenik davranış yavru hastalıklarının ve *Varroa* parazitlerinin baskılanmasında



büyük rol oynamaktadır. Hastalıklı arılar hızlanmış davranışsal gelişim gösterip tarlacı olurlar ve bu gelişim hastalıkların ve parazitlerin koloni içerisinde yayılma hızını azaltmaktadır (Richard ve diğ., 2008; Richard ve diğ., 2012; Spivak ve Reuter, 2001).

"Hijyenik davranış" terimi Rothenbuhler (1964) tarafından, işçi arıların hastalıklı ve ölü yavruları yavru gözünün içinde tespit etme, göz kapağını açma ve bu yavruları göz içerisinden çıkarma yeteneklerini tanımlamak için kullanılmıştır. Bu davranışın amacı, enfeksiyonu en aza indirmek için hastalıklı ve ölü yavruları koloniden uzaklaştırmaktır (Peng vd., 1987; Boecking ve Spivak, 1999; Spivak ve Reuter, 2001).

Hijyenik davranış, eğer arılar patojenleri zamanında kovandan uzaklaştırabilir ise hastalık ve zararlılara karşı bir savunma mekanizması haline gelmektedir. Hijyenik davranış, aynı zamanda bal arısının *Varroa destructor* parazitine karşı kullandığı önemli bir savunma mekanizmasıdır. Hijyenik davranış sırasındaki yavrunun gözden çıkarılıp kovandan uzaklaştırılması işlemi, parazitin üreme döngüsünü bozduğundan oluşan parazit sayısını kısıtlamaktadır (Gramacho ve Spivak, 2003). Hijyenik davranış, Amerikan yavru çürüklüğü (Spivak ve Gilliam, 2015; Spivak ve Reuter, 2001; Al-Ghamdi vd., 2018), Kireç hastalığı (Palacio vd., 2010) ve *Varroa* akarı gibi arı hastalık ve zararlılarına karşı başarılı bir savunma mekanizmasıdır (Spivak, 1996; Rinderer vd., 2010; Spivak ve Danka, 2020).

### Hijyenik Davranışın Moleküler Kontrolü

Hijyenik davranış ve tımar davranışı gibi sosyal davranışlar, kimyasal ipuçları ile ayarlanmaktadır. Sağlıklı ve hasta koloni bireylerinin ayrılmasında kullanılan kutiküler hidrokarbon profilleri hijyenik davranışın ayarlanması sürecinde önemli görülmektedir. Kutiküler hidrokarbon profilleri bal arılarının bağışıklık sistemi tarafından değiştirilebilmektedir. *Varroa destructor* paraziti tarafından istila edilen ya da viral bir etmen tarafından enfekte olan ergin arıların hidrokarbon profilleri tamamen değişmektedir. Bu değişim hasta ya da istilaya uğramış bireylerin diğer kovan bireyleri tarafından yüksek derece tımar davranışına maruz kalmalarına sebep olmaktadır (Baracchi ve diğ., 2012; Howard ve Blomquist, 2005).

Ölü ve hastalıklı kapağı kapatılmış yavruların tespitinin, balmumu göz kapağına nüfuz eden uçucu koku sinyallerine dayandığı tespit edilmiştir. Oktopamin, bal arısı beyinde nöromodülatör olarak görev alan, koku öğreniminde ve hafıza formasyonunda önemli rol oynayan bir kimyasaldır. Ayrıca hijyenik davranış gibi karmaşık davranışları da etkilemektedir. Yüksek derecede hijyenik davranış gösteren arılarda oktopamin salgısının, düşük derecede hijyenik davranış gösteren arılara göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca oktopamin baskılayıcısı olan epinastin takviyesi yapılan yüksek derecede hijyenik davranış gösteren arıların anormal yavru kokularına karşı gösterdiği koku alma tepkisinin azaldığı, bunun tam aksine oktopamin takviyesi yapılan düşük derecede hijyenik davranış gösteren bal arılarının anormal yavru kokularına karşı gösterdiği koku alma tepkisinin arttığı gözlenmiştir. Oktopaminin koloni içerisinde aynı yaş grubundaki hijyenik davranış göstermeyen arılara nazaran hijyenik davranış gösteren arıların antenlerinde daha fazla bulundu tespit edilmiştir (Spivak vd., 2003; Scannapieco vd., 2017).

Arılarda, hijyenik davranışın kalıtsal genetik bir özellik olduğu ve iki ila yedi kantitatif özellik lokusu tarafından kontrol edildiği tespit edilmiştir (Rothenbuhler, 1964; Moritz, 1988; Lapidge vd., 2002; Oxley vd., 2010). Bazı arı ırklarının, işçi gözlerindeki *Varroa* akarı üreme başarısını düşürerek, akar enfeksiyon seviyesini en aza indirmeye yeteneğine sahip olduğu gözlenmiştir (Harris vd., 2012; Danka vd., 2013; Leclercq vd., 2017; Spivak ve Danka, 2020). Genellikle hem çevre hem de genotipin, arıların hijyenik davranışı için belirleyici faktörler olduğu vurgulanmaktadır (Khan ve Ghramh, 2021).

Rothenbuhler (1964) yüksek seviyede hijyenik davranış gösteren kolonilerden elde edilen ana arılar ile düşük seviyede hijyenik davranış gösteren kolonilerden elde edilen erkek arıları melezlediği ve ardından bu melezlemeden elde edilen ana arılarından elde ettiği erkek arılar ile melezleme kullandığı yüksek derecede hijyenik davranış gösteren kolonilerden elde ettiği ana arıları tekrar melezleyerek oluşturduğu koloniler üzerinde yaptığı çalışmasında, hijyenik davranışın iki lokus tarafından kontrol edildiği hipotezini ortaya koymuştur. Bu hipoteze göre ölü veya hasta yavru bulunan yavru gözünün kapağının açılması bir genin resesif allelinin homozigotluğuna, yavrunun gözden çıkarılıp koloniden uzaklaştırılmasının ise başka bir genin resesif allelinin homozigotluğuna bağlı olduğunu iddia etmiştir. Moritz (1988), hijyenik davranış sırasında içerisinde hasta ya da ölü yavru bulunan gözün kapağı açma ve hasta ya da ölü yavrunun uzaklaştırılması davranışları arasında genetik bir korelasyon bulunmadığını



iddia etmiştir. Orta derecede hijyenik davranış gösteren arı kolonilerinin iki lokus modeline uymadığını ve hijyenik davranışın kontrolünün iki lokus tarafından kontrol edilmesi modelinin, bu davranış için basit olacağını fikrini ortaya atmıştır. İki lokus modelinin aksine hasta ya da ölü yavruların uzaklaştırılması davranışının 2 lokus tarafından kontrol edildiğini ve bu davranışın performansının bu iki gen arasındaki epistatik etki ile ayarlandığını iddia etmiştir. Moritz, çalışmasının sonuçlarına rağmen hijyenik davranış gibi karmaşık bir sosyal davranışın basit Mendel genetiği prensipleri ile ayarlanamayacağını öne sürmüştür. Her iki araştırmacı da hijyenik davranış performansının çevre faktörlerinden yoğun olarak etkilendiğini gözlemlemiştir.

Lapidge vd. (2002); Rothenbuhler gibi ürettikleri bal arısı kolonileri üzerinde yaptıkları hijyenik davranış testi çalışmasında, hijyenik davranışın yedi kantitatif özellik lokusu tarafından kontrol edildiğini tespit etmişlerdir. Çalışma sonucunda Rothenbuhler ve Moritz'in elde ettiği gibi hijyenik davranışın 2 ya da 3 lokus tarafından kontrol edildiğini bulmayı ummalarına rağmen, bu lokuslara ait herhangi bir veri elde edememişlerdir. Çalışmalarından elde ettikleri veriler ışığında hijyenik davranışın daha çok kantitatif şekilde kalıtıldığını ve Rothenbuhler'in önerdiği gibi hijyenik davranış performansı üzerinde genetik yapının etkinin güçlü olduğunu iddia etmişlerdir. Çalışmalarında kullandıkları kolonilerin üretim şekli Rothenbuhler'in çalışması ile aynı olmasına rağmen test şeklinin farklı olması sebebiyle, her iki çalışmanın verilerinin karşılaştırılmasının uygun olmadığı değerlendirilmiştir. Rothenbuhler çalışmasında hijyenik davranış testi için Amerikan Yavru Çürüklüğü hastalığının etmeni olan *Paenibacillus larvae* bakterisini kullanmış, Lapidge vd. çalışmalarında hijyenik davranış testi için sıvı azot ile dondurarak öldürme yöntemini kullanmıştır.

Oxley vd. (2010); Lapidge vd. ve Rothenbuhler'in çalışmalarında olduğu gibi ürettikleri bal arısı kolonilerini hijyenik davranış testi çalışmasında, hijyenik davranışın altı kantitatif özellik lokusu tarafından kontrol edildiğini tespit etmişlerdir. Çalışmalarında davranış ve koku öğrenim yollarını etkileyen *Hgy1* kantitatif özellik lokusu ile ilişkili 4 adet gen bulmuşlardır. Özellikle *Hgy1* lokusu ile ilişkili genlerinin üç tanesinin koku tanımlanmasında ya da koku ile ayarlanan davranış tepkilerinde etkili olduğunu tespit etmişlerdir. Çalışmada ayrıca, feromon bağlayıcı özelliği bulunan ve sadece antenin koku alma ile ilişkili bölgelerinde ifade edilen *Asp1* geninin de hijyenik davranış performansı üzerinde etkisinin olduğunu ortaya koymuşlardır. Çalışmalarının sonuçları ışığında hijyenik davranışın birçok lokus tarafından ayarlandığı ve hijyenik davranışın her parçasının, Rothenbuhler'in önerdiği gibi farklı lokuslar tarafından kontrol edildiğini bildirmişlerdir.

Boutin vd. (2015) hijyenik davranışın üzerine yaptıkları gen ifadesi çalışmalarında hijyenik davranışın; göz yapımı, kovan koruması ve ölü bireylerin kovandan atılması gibi yaşa bağlı değişen davranışların aksine daha az gen ile sıkı şekilde ayarlandığını tespit etmişlerdir. Bu durumun yaşa ya da cinsiyete bağlı değişen görevlerin çevre şartlarından, hijyenik davranışa göre daha fazla etkilenmesi ile açıklanabileceğini öne sürmüşlerdir. Çalışmada, hijyenik davranışın 96 adet gen tarafından kontrol edildiği sonucuna ulaşmışlardır. Araştırmacılar elde ettikleri sonuçlar ışığında hijyenik davranışın düzenleyen genlerin, hijyenik davranış ve özellikle ölü yavrunun tespiti sırasında ihtiyaç halinde değil; sürekli ifade edildiği, ayrıca bu durumun yaşa bağlı olarak değişmediği hipotezini ortaya atmışlardır. Çalışmada hijyenik davranışın düzenleyen genlerin az sayıda lokus üzerinde bulduklarını fakat bu genlerin ifadesinin ayarlanması ile ilgili parametrelerin tüm genom üzerinde yayılım gösterdiğini tespit etmişlerdir. Çalışmalarında elde ettikleri verilerin önceki çalışmalarda elde edilen veriler ile uyumlu olarak hijyenik davranışın az sayıda gen tarafından ayarlandığı sonucunu ortaya koyduğunu bildirmişlerdir.

Güler ve Toy (2013) yaptıkları çalışmada, bal arısı kolonilerinin hijyenik davranış performansının tehlike kaynaklarının yoğunluğuna göre değişim gösterdiğini tespit etmişlerdir. Tehlike kaynakları nedeniyle koloni strese girdiğinde hijyenik davranışta bir düşüş meydana geldiğini, kolonilerin nektar akımının yoğun olduğu ve yavru üretiminin sınırlandığı dönemlerde en yüksek hijyenik davranış performansını gösterdiklerini bildirmişlerdir. Ancak bu davranışın doğrudan değil dolaylı davranış olarak kabul edilmesi gerektiğini öne sürmüşlerdir. Yoğun ergin işçi arı popülasyonuna sahip ve yüksek oranda bal mumu üreten bal arısı kolonilerinin daha yüksek performansta ölü yavru uzaklaştırma oranına sahip olduklarını gözlemlemiştir.



## SONUÇ ve ÖNERİLER

Bal arılarının hastalık ve parazitlere karşı dayanıklılığının artırılması hem ekonomik hem de ekolojik açıdan önemlidir. Bal arıları hem kendi ürünleri hem de üretimi yapılan birçok meyve ve sebze türünün tozlaştırmasındaki rolleri nedeniyle tarımsal açıdan önemli organizmalardır.

Hijyenik davranışın düzenlenmesinde, koku duyusu sisteminin farklı aşamalarında görev alan belirli genlerin, bu davranış üzerindeki etkisi büyük olmaktadır. Bu genler arıların kimyasal kokulara karşı tepki vermesinde ve hijyenik davranış gibi koku duyusu ile ilişkili davranışlara önemli bir etki göstermektedir. Hijyenik davranış gibi karmaşık davranışlar; arının genetik yapısı, psikolojik durumu, sosyal etkileşimleri ve koloni üzerindeki çevre etkilerinin kompleks etkileşimleri ile ayarlanmaktadır. İşçi arılarının davranış yapısı; yaş, tecrübe, feromonlar ve genotip ile değişmesine rağmen hijyenik davranış performansı bakımından koloni içindeki bireylerin arasında farklılık gözlenmesi genetik varyasyonlar ile açıklanabilir. Hijyenik davranışın düzenlenmesindeki dolaylı genetik etkilerin göz ardı edilmemesi önemli görülmektedir. Çevre şartlarının bal arısı kolonisinin hijyenik davranış performansı üzerine etkisi de önemli olmaktadır. Özellikle koloninin sağlık durumu, koloninin hijyenik davranış performansını doğrudan etkilemektedir. Sağlık durumu kötü durumda olan kolonilerin hijyenik davranış performansı düşmektedir.

Hijyenik davranış, bal arısı yetiştiriciliğinde *Varroa* paraziti gibi önemli ekonomik zararlara yol açan hastalık ve zararlılarına karşı en etkin ayrıca hali hazırda bal arısının sahip olduğu bir davranış şekli olduğu içinde en ucuz mücadele yöntemlerinin başında gelmektedir. Hali hazırda kalıcı bir etkin mücadele yöntemi bulunmayan *Varroa* akarı, önümüzdeki yıllarda da ülkemiz ve dünya arıcılığı için önemli bir sorun olarak kalmaya devam edecek gibi görünmektedir. *Varroa* paraziti ile mücadele etmek için, bu parazite karşı dayanıklı ve yüksek seviyede hijyenik davranış gösteren ırkların genetik ıslah çalışmaları ile başarılı bir şekilde geliştirilebilmeleri mümkündür. Fakat ıslah çalışmalarının başarılı olabilmesini için uygun moleküler markörlerin seçimi ile kontrollü çiftleşmelerin sonucunda elde edilen koloniler üzerinde performans testlerinin yapılmasına gereksinim bulunmaktadır.

Genetik ıslah çalışmalarında kullanılacak moleküler markörlerin geliştirilmesi için; hijyenik davranış süreci üzerinde etkili biyokimyasal olayların ve hijyenik davranışı kontrol eden genlerin tam olarak belirlenmesi ile bu genlerin ifadesini düzenleyen genetik ve epigenetik faktörlerin ortaya çıkarılması önem arz etmektedir. Ülkemiz bal arısı genetik kaynaklarının korunması, bunlardan ıslah amacıyla faydalanılması ve birçok vatandaşımızın ekonomik gelir kaynağını oluşturan arıcılık sektörünün zayıflamaması için hijyenik davranışın kontrolü ile ilgili daha detaylı çalışmalara gereksinim vardır. Bu çalışmaların başarıya ulaşması ve sürdürülebilirliği için ilgili devlet kurumlarının, üniversitelerin, özel sektörün ve yetiştirici birliklerinin iş birliği içerisinde çalışması hayati önem taşımaktadır.

**Not:** Bu bildiri Ondokuz Mayıs Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tarımsal Biyoteknoloji Anabilim Dalı doktora öğrencisi Arş. Gör. Fatih BİLGİ'nin "Kafkas (*Apis mellifera caucasica*, G.), Karadeniz (*Apis mellifera anatolica*, L.), Kafkas x Karadeniz Bal Arısı Kolonilerinde Genetik Çeşitliliğin ve Hijyenik Davranış ile Bağlantılı Bazı SNP'lerin Tespit Edilmesi" isimli doktora tez çalışmasından derlenmiştir.

## KAYNAKLAR

Ball, B. V. (1983). The association of *Varroa jacobsoni* with virus diseases of honey bees. *Experimental & Applied Acarology*, 19, 607–613. <https://doi.org/10.3/JQUERY-UI.JS>

Ball, B. V., & Allen, M. F. (1988). The prevalence of pathogens in honey bee (*Apis mellifera*) colonies infested with the parasitic mite *Varroa jacobsoni*. *Annals of Applied Biology*, 113(2), 237–244. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1988.tb03300.x>

Baracchi, D., Fadda, A., & Turillazzi, S. (2012). Evidence for antiseptic behaviour towards sick adult bees in honey bee colonies. *Journal of Insect Physiology*, 58(12), 1589–1596. <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2012.09.014>

Boecking, O., & Genersch, E. (2008). Varroosis - The ongoing crisis in bee keeping. *Journal Fur Verbraucherschutz Und Lebensmittelsicherheit*, 3(2), 221–228. <https://doi.org/10.1007/s00003-008-0331-y>



- Boutin, S., Alburaki, M., Mercier, P. L., Giovenazzo, P., & Derome, N. (2015). Differential gene expression between hygienic and non-hygienic honeybee (*Apis mellifera* L.) hives. *BMC Genomics*, *16*(1), 1–13. <https://doi.org/10.1186/s12864-015-1714-y>
- Brodschneider, R., Gray, A., Adjlane, N., Ballis, A., Brusbardis, V., Charrière, J. D., Chlebo, R., Coffey, M. F., Dahle, B., de Graaf, D. C., Maja Dražić, M., Evans, G., Fedoriak, M., Forsythe, I., Gregorc, A., Grzęda, U., Hetzroni, A., Kauko, L., Kristiansen, P., ... Danihlík, J. (2018). Multi-country loss rates of honey bee colonies during winter 2016/2017 from the COLOSS survey. *Journal of Apicultural Research*, *57*(3), 452–457. <https://doi.org/10.1080/00218839.2018.1460911>
- Chen, Y., Pettis, J. S., Evans, J. D., Kramer, M., & Feldlaufer, M. F. (2004). Transmission of Kashmir bee virus by the ectoparasitic mite *Varroa destructor*. *Apidologie*, *35*(4), 441–448. <https://doi.org/10.1051/apido:2004031>
- Cremer, S., Armitage, S. A. O., & Schmid-Hempel, P. (2007). Social Immunity. *Current Biology*, *17*(16), R693–R702. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2007.06.008>
- Ellis, J. (2007). Colony Collapse Disorder (CCD) in Honey Bees. *Edis*, *0*. <https://doi.org/10.32473/edis-in720-2010>
- Emsen, B., Hamiduzzaman, M. M., Goodwin, P. H., & Guzman-Novoa, E. (2015). Lower virus infections in *Varroa destructor*-infested and uninfested brood and adult honey bees (*Apis mellifera*) of a low mite population growth colony compared to a high mite population growth colony. *PLoS ONE*, *10*(2). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0118885>
- Francis, R. M., Nielsen, S. L., & Kryger, P. (2013). *Varroa*-Virus Interaction in Collapsing Honey Bee Colonies. *PLoS ONE*, *8*(3), 57540. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0057540>
- Gramacho, K. P., & Spivak, M. (2003). Differences in olfactory sensitivity and behavioral responses among honey bees bred for hygienic behavior. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, *54*(5), 472–479. <https://doi.org/10.1007/s00265-003-0643-y>
- Güler, Ahmet. 2017. Bal Arısı (*Apis mellifera* L.) Yetiştiriciliği, Hastalıkları ve Ürünleri. Azim Matbaacılık.
- Güler, A., & Toy, H. (2013). Relationship between dead pupa removal and season and productivity of honey bee (*Apis Mellifera*, Hymenoptera: Apidae) colonies. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, *37*(4), 462–467. <https://doi.org/10.3906/vet-1205-48>
- Guzmán-Novoa, E., Eccles, L., Calvete, Y., McGowan, J., Kelly, P. G., & Correa-Benítez, A. (2010). *Varroa destructor* is the main culprit for the death and reduced populations of overwintered honey bee (*Apis mellifera*) colonies in Ontario, Canada. *Apidologie*, *41*(4), 443–450. <https://doi.org/10.1051/apido/2009076>
- Howard, R. W., & Blomquist, G. J. (2004). Ecological, behavioral, and biochemical aspects of insect hydrocarbons. *Annual Review of Entomology*, *50*, 371–393. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.50.071803.130359>
- Hunter, W., & Kole, C. (2008). Genome Mapping and Genomics in Arthropods. *Genome Mapping and Genomics in Arthropods*, *1*. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-73833-6>
- İvgin Tunca, R., 2009. Determination and comparison of genetic variation in honeybee (*apis mellifera* l.) populations of turkey by random amplified polymorphic dna and microsatellite analyses, Doktora tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, ANKARA.
- Jack, C. J., & Ellis, J. D. (2021). Integrated Pest Management Control of *Varroa destructor* (Acari: Varroidae), the Most Damaging Pest of (*Apis mellifera* L. (Hymenoptera: Apidae)) Colonies. *Journal of Insect Science*, *21*(5), 6–7. <https://doi.org/10.1093/jisesa/ieab058>
- Jamal, Z. A., Abou-Shaara, H. F., Qamer, S., Alhumaidi Alotaibi, M., Ali Khan, K., Fiaz Khan, M., Amjad Bashir, M., Hannan, A., AL-Kahtani, S. N., Taha, E. K. A., Ishtiaq Anjum, S., Attaullah, M., Raza, G., & Ansari, M. J. (2021). Future expansion of small hive beetles, *Aethina tumida*, towards North Africa and South Europe based on temperature factors using maximum entropy algorithm. *Journal of King Saud University - Science*, *33*(1), 101242. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2020.101242>





- Khan, K. A., & Ghramh, H. A. (2021). An investigation of the efficacy of hygienic behavior of various honey bee (*Apis mellifera*) races toward *Varroa destructor* (Acari: Varroidae) mite infestation. *Journal of King Saud University - Science*, 33(3), 101393. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2021.101393>
- Kulhanek, K., Steinhauer, N., Rennich, K., Caron, D. M., Sagili, R. R., Pettis, J. S., Ellis, J. D., Wilson, M. E., Wilkes, J. T., Tarpy, D. R., Rose, R., Lee, K., Rangel, J., & vanEngelsdorp, D. (2017). Encuesta nacional 2015–2016 sobre pérdidas anuales de colonias de la abeja de la miel manejada en los EE.UU. *Journal of Apicultural Research*, 56(4), 328–340. <https://doi.org/10.1080/00218839.2017.1344496>
- Lapidge, K. L., Oldroyd, B. P., & Spivak, M. (2002). Seven suggestive quantitative trait loci influence hygienic behavior of honey bees. *Naturwissenschaften*, 89(12), 565–568. <https://doi.org/10.1007/s00114-002-0371-6>
- Leclercq, G., Pannebakker, B., Gengler, N., Nguyen, B. K., & Francis, F. (2017). Inconvenientes y beneficios del comportamiento higiénico de la abeja de la miel (*Apis mellifera* L.): una revisión. *Journal of Apicultural Research*, 56(4), 366–375. <https://doi.org/10.1080/00218839.2017.1327938>
- Lee, K. V., Steinhauer, N., Rennich, K., Wilson, M. E., Tarpy, D. R., Caron, D. M., Rose, R., Delaplane, K. S., Baylis, K., Lengerich, E. J., Pettis, J., Skinner, J. A., Wilkes, J. T., Sagili, R., & vanEngelsdorp, D. (2015). A national survey of managed honey bee 2013–2014 annual colony losses in the USA. *Apidologie*, 46(3), 292–305. <https://doi.org/10.1007/s13592-015-0356-z>
- Mondet, F., de Miranda, J. R., Kretzschmar, A., Le Conte, Y., & Mercer, A. R. (2014). On the Front Line: Quantitative Virus Dynamics in Honeybee (*Apis mellifera* L.) Colonies along a New Expansion Front of the Parasite *Varroa destructor*. *PLoS Pathogens*, 10(8). <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1004323>
- Moritz, R. F. A. (1988). A reevaluation of the two-locus model for hygienic behavior in Honeybees (*Apis mellifera* L.). *Journal of Heredity*, 79(4), 257–262. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.jhered.a110506>
- Oldroyd, B. P. (1999). Coevolution while you wait: *Varroa jacobsoni*, a new parasite of western honeybees. *Trends in Ecology and Evolution*, 14(8), 312–315. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(99\)01613-4](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(99)01613-4)
- Oxley, P. R., Spivak, M., & Oldroyd, B. P. (2010). Six quantitative trait loci influence task thresholds for hygienic behaviour in honeybees (*Apis mellifera*). *Molecular Ecology*, 19(7), 1452–1461. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2010.04569.x>
- Peng, Y. S., Fang, Y., Xu, S., & Ge, L. (1987). The resistance mechanism of the Asian honey bee, *Apis cerana* Fabr., to an ectoparasitic mite, *Varroa jacobsoni* Oudemans. *Journal of Invertebrate Pathology*, 49(1), 54–60. [https://doi.org/10.1016/0022-2011\(87\)90125-X](https://doi.org/10.1016/0022-2011(87)90125-X)
- Ramsey, S. D., Ochoa, R., Bauchan, G., Gulbranson, C., Mowery, J. D., Cohen, A., Lim, D., Joklik, J., Cicero, J. M., Ellis, J. D., Hawthorne, D., & Van Engelsdorp, D. (2019). *Varroa destructor* feeds primarily on honey bee fat body tissue and not hemolymph. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 116(5), 1792–1801. <https://doi.org/10.1073/pnas.1818371116>
- Reams, T., & Rangel, J. (2022). Understanding the Enemy: A Review of the Genetics, Behavior and Chemical Ecology of *Varroa destructor*, the Parasitic Mite of *Apis mellifera*. *Journal of Insect Science*, 22(1). <https://doi.org/10.1093/jisesa/icab101>
- Richard, F. J., Aubert, A., & Grozinger, C. M. (2008). Modulation of social interactions by immune stimulation in honey bee, *Apis mellifera*, workers. *BMC Biology*, 6. <https://doi.org/10.1186/1741-7007-6-50>
- Richard, F. J., Holt, H. L., & Grozinger, C. M. (2012). Effects of immunostimulation on social behavior, chemical communication and genome-wide gene expression in honey bee workers (*Apis mellifera*). *BMC Genomics*, 13(1). <https://doi.org/10.1186/1471-2164-13-558>
- Rothenbuhler, W. C. (1964). Behavior genetics of nest gleaning in Honey bees. IV. responses of F1 and backcross generations to disease-killed brood. *Integrative and Comparative Biology*, 4(2), 111–123.



<https://doi.org/10.1093/icb/4.2.111>

Scannapieco, A. C., Mannino, M. C., Soto, G., Palacio, M. A., Cladera, J. L., & Lanzavecchia, S. B. (2017). Expression analysis of genes putatively associated with hygienic behavior in selected stocks of *Apis mellifera* L. from Argentina. *Insectes Sociaux*, 64(4), 485–494. <https://doi.org/10.1007/s00040-017-0567-6>

Smith, K. M., Loh, E. H., Rostal, M. K., Zambrana-Torrel, C. M., Mendiola, L., & Daszak, P. (2013). Pathogens, pests, and economics: Drivers of honey bee colony declines and losses. *EcoHealth*, 10(4), 434–445. <https://doi.org/10.1007/s10393-013-0870-2>

Spivak, M., & Danka, R. G. (2020). Perspectives on hygienic behavior in *Apis mellifera* and other social insects. *Apidologie*, 52(1), 1–16. <https://doi.org/10.1007/s13592-020-00784-z>

Spivak, M., & Gilliam, M. (1998). Hygienic behaviour of honey bees and its application for control of brood diseases and varroa: Part II. Studies on hygienic behaviour since the Rothenbuhler era. *Bee World*, 79(4), 169–186. <https://doi.org/10.1080/0005772X.1998.11099408>

Spivak, M., Masterman, R., Ross, R., & Mesce, K. A. (2003). Hygienic behavior in the honey bee (*Apis mellifera* L.) and the modulatory role of octopamine. *Journal of Neurobiology*, 55(3), 341–354. <https://doi.org/10.1002/neu.10219>

Spivak, M., & Reuter, G. S. (2001). Resistance to American foulbrood disease by honey bee colonies *Apis mellifera* bred for hygienic behavior. *Apidologie*, 32(6), 555–565. <https://doi.org/10.1051/apido:2001103>

Steinhauer, N., Kulhanek, K., Antúnez, K., Human, H., Chantawannakul, P., Chauzat, M. P., & vanEngelsdorp, D. (2018). Drivers of colony losses. *Current Opinion in Insect Science*, 26, 142–148. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2018.02.004>

Tautz, J. (2008). The Buzz about Bees. In *The Buzz about Bees*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-78729-7>

Yue, C., & Genersch, E. (2005). RT-PCR analysis of Deformed wing virus in honeybees (*Apis mellifera*) and mites (*Varroa destructor*). *Journal of General Virology*, 86(12), 3419–3424. <https://doi.org/10.1099/vir.0.81401-0>

Zayed, A. (2009). Bee genetics and conservation. *Apidologie*, 40(3), 237–262. <https://doi.org/10.1051/apido/2009026>



## A RANDOM NUMBER GENERATION APPROACH FOR INTUITIONISTIC FUZZY REGRESSION ANALYSIS

### SEZGİSEL BULANIK REGRESYON ANALİZİ İÇİN BİR RASGELE SAYI TÜRETME YAKLAŞIMI

**Tolga BOZDAĞ<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Yüksek Lisans Öğrencisi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstatistik Anabilim Dalı, İzmir, Türkiye.*

<sup>1</sup>*ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4592-4269>*

**Ali MERT<sup>2</sup>**

<sup>2</sup>*Ph.D., Ege Üniversitesi, Fen Fakültesi, İstatistik Bölümü, İzmir, Türkiye.*

<sup>2</sup>*ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6806-935X>*

#### ÖZET

Regresyon Analizi konusu İstatistiksel Modelleme sahasının en önemli ve en çok uygulama alanı olan konularından biridir. Günümüzde veri kaynaklarının çok ve çeşitli olması sebebiyle erişilebilen veri tipleri de farklılaşmıştır. Bunun sonucu olarak; Regresyon Analizi' nin ihtiyaç duyduğu nümerik verinin yanında nümerik olmayan tipte veriler de toplanmaya devam etmektedir. Elde bulunan nümerik olmayan verilerin kullanıldığı modeller geliştirmek ve bu verilere matematiksel şablonlar oluşturmak için birçok farklı yaklaşım son yıllarda önerilmiştir. Bulanık Mantık ve ardından geliştirilen Sezgisel Bulanık Mantık bu yaklaşımlar arasındadır. Sezgisel Bulanık Mantık ile matematiksel kalıba dökülen veri daha ileri analizlerde kullanılabilir hale gelir. Bu analizlerden bir tanesi de Sezgisel Bulanık Regresyon Analizi' dir. Birçok farklı bilim insanı bu sahada farklı teknikler geliştirmiştir. Bu teorik tekniklerin performanslarını simülasyon aracılığı ile karşılaştırmak için çokça veri setlerine ihtiyaç vardır. Ancak bu miktarda veri bulmak veya bunları üretmek zahmetli bir süreçtir. Literatürde ele alınan bilimsel çalışmalarda kullanılacak sentetik verilerin türetilmesi için bir yaklaşım bu çalışmada önerilmiştir. Ardından bu yaklaşım Python programlama dilinde kodlanmıştır. Bu kod ile farklı dağılım parametre değerleri için türetilmiş verilerin grafikleri çalışmada sunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Rasgele Sayı Türetme, Regresyon Analizi, Sezgisel Bulanık Sayı.

#### 1. GİRİŞ

Veri bilimi son yıllarda; istatistiksel analiz, makine öğrenimi teknikleri ve uygulanan alanın uzmanlığını birleştirerek çok miktarda veriden iç görüler elde eden ve bilgiye dayalı kararlar veren dönüştürücü bir alan olarak ortaya çıkmıştır. Bu saha çok büyük miktarda veriden iç görü ve bilgi çıkarmayı amaçlayan çok çeşitli teknikleri ve metodolojileri kapsar. Verilerin giderek daha bol olduğu bir çağda, veri bilimi kalıpları ortaya çıkarmak; bilgiye dayalı kararlar almak ve sektörler genelinde inovasyonu desteklemek için güçlü araçlar ve yaklaşımlar sağlar. Veri biliminin kalbinde, değişkenler arasındaki ilişkileri modellemek ve anlamak için kullanılan güçlü bir istatistiksel yöntem olan Regresyon Analizi bulunmaktadır. Son yıllarda, bu alandaki ilerlemeler; bilgi üretimi için Bulanık Regresyon ve yenilikçi tekniklerin geliştirilmesine yol açarak, veri bilimcilerin bilgi keşfi ve tahmine dayalı modelleme arayışlarındaki yeteneklerini daha da geliştirdi.

Regresyon Analizi, veri biliminde değişkenler arasındaki ilişkileri modellemek ve anlamak için kullanılan temel bir istatistiksel yöntemdir. Dahası Regresyon Analizi, bu sahada temel bir araç olarak hizmet eder. Bu tekniği kullanan araştırmacılar, bağımlı bir değişkenin bir veya daha fazla bağımsız değişkene fonksiyonel bağımlılığını yakalamayı amaçlamaktadırlar. Analistler, bir veri kümesine dayalı olarak bir Regresyon Modeli kurarak, bu ilişkilerin gücünü ve yönünü ölçebilir ve altta yatan mekanizmalara ilişkin değerli iç görüler elde edebilir. Regresyon Analizi metodolojisi, tahminlerde



bulunulmasına, değişkenlerin etkilerinin tahmin edilmesine, önemli faktörlerin belirlenmesine ve ilişkilerin istatistiksel önemini değerlendirilmesine olanak tanır. Geleneksel Regresyon Modelleri, belirli varsayımlar ışığında kesin olarak ölçümlenmiş (crisp) değişkenler arasında olduğu varsayılan ilişkilere odaklanır. Ne var ki; gerçek dünya senaryoları kimi zaman Bulanık Regresyon kullanımını gerektiren, düzensiz elde edilmiş ve rasgelelik ile ifade edilemeyen belirsizlikler içerebilmektedir.

Bulanık Regresyon Analizi, geleneksel Regresyon Analizi çerçevesini Bulanık Mantık ve akıl yürütmeyi içerecek şekilde genişletmektedir. İlk kez Zadeh tarafından ifade edilen Bulanık Mantık [1], farklı kategorilere üyelik dereceleri atayarak belirsizliğin temsiline ve yönetilmesine izin verir. Bulanık Regresyon Modelleri, elde edilen veri kümelerinde bulunan belirsizliği yakalayarak; analistlerin, kesin olmayan ölçümleri, belirsiz değişkenleri ve belirsiz ilişkileri ele almasını sağlar. Uygulayıcılar, bulanık kümeleri ve bulanık çıkarım sistemlerini Regresyon Analizi'ne dahil ederek, geleneksel yaklaşımlara meydan okuyan karmaşık sorunların üstesinden gelebilir. Ancak bazı hallerde Bulanık Mantık gerçek durumu modellemekte yetersiz kalabilmektedir. Bu gibi haller için Atanassov, Sezgisel Bulanık Teoriyi [2] yapılandırmıştır. Elde edilen verilerin bu teoriye uygun olması halinde de yine yukarıda ifade edildiği gibi Regresyon Modeli geliştirmek mümkündür. Bu saha Sezgisel Bulanık Regresyon Analizi olarak bilinmektedir ve birçok farklı bilim insanı bu sahaya katkı vermiştir. Parvathi ve ark.[3], kesin (crisp) açıklayıcı değişkenler ve Sezgisel Bulanık yanıt değişkenini kullanarak bir Sezgisel Bulanık Doğrusal Regresyon Modelini formüle etmek için bir matematiksel programlama yaklaşımı önermişlerdir. Sezgisel Bulanık Sayılar olarak ifade edilen model katsayılarını elde etmek için toplam bulanıklığı en küçükleyecek bir matematiksel programlama modeli ifade edilmiştir. Bir diğer sezgisel bulanık sayı çalışması Arefi ve Taheri [4] tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada en küçük kareler yöntemine dayalı olarak, kesin olmayan yani bulanık niceliklerin Regresyon modellemesi problemiyle ilişkin yeni bir yaklaşım önerilmiştir. Bu yaklaşımda hem açıklayıcı değişken(ler)in hem de yanıt değişkeninin ve modelin tüm parametrelerinin Sezgisel Bulanık Sayılar olduğu varsayılmış ve En Küçük Kareler tahmini kullanılmıştır. Ayrıca çalışmada önerilen iki ölçüt ile tahmin modelinin performansı değerlendirilmiştir. Arefi ve Taheri önerdikleri yaklaşımı gerçek bir veri setine uygulamışlardır. Kızılaslan ve arkadaşları [5] Sezgisel Bulanık Küme ve Sırt (Ridge) Regresyon ile bazı modelleme sorunlarını ortadan kaldırmayı hedeflemişlerdir. Önerdikleri yöntem, tip-1 bulanık fonksiyon tabanlı Sezgisel Bulanık Sırt Regresyon fonksiyonlarıdır ve üye olma ve üye olmama değerlerini Chaira'nın Sezgisel Bulanık C-ortalama (IFCM) kümeleme algoritması ile elde etmişler ve çoklu doğrusal bağlantı sorununu ortadan kaldırmayı amaçlamışlardır. Ahmadini [6], parametrelerin tahmin değerlerinin Tanaka'nın Bulanık Doğrusal Regresyon modelinin revize edilmiş haline dayalı olarak elde edildiği, düzeltilmiş Tanaka yöntemine dayanan Sezgisel Bulanık Lojistik Regresyon modelini önermiştir. Ahmadini, önerilen modelin parametrelerini, modelin toplam belirsizliğinin en aza indirildiği doğrusal olmayan optimizasyon problemini çözerek elde etmiştir. Son olarak Ahmadini, önerilen yöntemin etkinliğini değerlendirmek için modelin yeni doğan bebeklerin doğum ağırlığı veri setine uygulamıştır. Eğrioğlu ve Baş [7], veri setindeki aykırı değerlerden etkilenmeyen dayanıklı bir Sezgisel Bulanık Regresyon fonksiyonu yaklaşımı önermiştir. Yaklaşım sadece ARMA tipi zaman serisi modeli için uygulanabilir. Eğrioğlu ve Baş, modelin parametrelerini tahmin etmek için sıradan En Küçük Kareler yöntemi yerine, dayanıklı Regresyon tabanlı Welsch, Bisquare, Talwar, Huber, Logistic ve Cauchy fonksiyonlarını kullanmışlardır. Eğrioğlu ve Baş, farklı yıllardaki Bitcoin ve altın zaman serileri veri setlerini kullanarak modelin performansını değerlendirmiştir. Shemila ve Mohammed [8] ise Sezgisel Bulanık Yarı Parametrik Lojistik Regresyon Modelinin parametrelerini tahmin etmek için bir yaklaşım önermişlerdir. Ele aldıkları modelde parametreler ve bağımlı değişken üçgen sezgisel bulanık sayılar kullanılarak gösterilirken; bağımsız değişkenler kesin sayılar olarak belirtilmiştir. Kendi önerdikleri yöntemin performansını Wang ve arkadaşlarının yönteminin performansı ile Coronavirus verilerini modelleyerek karşılaştırmışlardır. Kendi yöntemlerinde, Wang ve arkadaşlarının yönteminin Kernel düzeltme fonksiyonunun değiştirilmiş bir halini kullanmışlardır. Akula ve Basha [9], tercih ilişkilerinin sezgisel bulanık sayılar olarak ifade edildiği karar verme problemlerini çözebilmek için Laplace enerji ve Regresyon katsayısı ölçümlerini kullanmışlardır. Klasik Regresyon Analizi yaklaşımını; karar verme probleminde alternatiflerin önemini ve karar vericilerin ağırlıklarını sezgisel bulanık sayılara entegre ettikten sonra alternatiflerin en iyisini belirlemek için düzenlemişlerdir. Sezgisel Bulanık Regresyon katsayısını elde etmek için korelasyon katsayısı ile Regresyon katsayısı arasındaki istatistiksel ilişkiyi kullanmışlardır. Akula ve Basha çalışmalarında, Xu ve arkadaşları



tarafından önerilen korelasyon katsayısı hesaplama yaklaşımını kullanmışlardır. Pant ve Kumar [10], parçacık sürüsü optimizasyonu ve sezgisel bulanık küme kullanan yeni bir karma Bulanık Zaman Serisi tahmin yöntemi önermişlerdir. Başlangıçta bulanık olmayan verilerinin olduğunu varsayımlar ve bulanık olmayan verileri bulanık hale getirmişlerdir. Dönüşümü gerçekleştirirken ortaya çıktığını varsaydıkları belirsizliği modellemek için sezgisel bulanık küme kullanmışlardır. Önerdikleri tahmin yönteminin uygulanabilirliğini ve uygunluğunu göstermek için, bu yöntemi Alabama Üniversitesi verisine, Hindistan Devlet Bankasının (SBI) Bombay Menkul Kıymetler Borsası (BSE)' ndaki hisse fiyatı verisine ve Quebec' te satılan otomobil sayıları verisine uygulamışlardır. Arslan ve Yolcu [11]; girdiler ve çıktılar arasındaki doğrusal olmayan ilişkileri belirlemek için yeni bir melez sigma-pi sinir ağı kullanan, Sezgisel Bulanık Zaman Serisi tahmin modeli önermişlerdir. Önerilen tahmin modelinin yapısı üç bölümden oluşmaktadır. İki farklı sinir ağı, üye olma ve üye olmama değerlerinin farklı katkı düzeylerini dikkate alarak tahminler üretmektedirler. Üçüncü bölümde ise bu tahminler birleştirilmiştir. Arslan ve Yolcu; değiştirilmiş parçacık sürüsü optimizasyonu tekniğini, hem tahminleri birleştirmekte kullanılan ağırlıkların hem de sinir ağlarının ağırlıklarının optimal değerini elde etmekte kullanmışlardır. Önerdikleri modelin performansını 48 farklı zaman serisi veri seti üzerinde uygulayarak değerlendirmişlerdir.

Veri bilimi alanında ve özellikle Sezgisel Bulanık Regresyon alanında, gerçek verilerin kullanılabilirliği ve kalitesi bazen sınırlı, elde edilmesi pahalı veya mahremiyet endişeleri nedeniyle kısıtlanmış olabilir. Veri oluşturma teknikleri, gerçek dünya verilerinde gözlemlenen istatistiksel özellikleri ve kalıpları taklit eden sentetik veri kümeleri oluşturarak bu zorlukları ele alır. Bu süreç, istatistiksel modellere dayalı veri noktaları oluşturmayı veya hesaplama algoritmaları kullanarak verileri simüle etmeyi içerir. Veri üretimi; model oluşturma ve değerlendirme, hipotezleri test etme ve senaryoları simüle etme gibi çeşitli uygulamalarda çok önemli bir rol oynar. Ne var ki; literatürde var olan kısıtlı sayıdaki Sezgisel Bulanık Regresyon Analizi ile ilintili çalışma irdelendiğinde tekniklerin performansını görmek için hazırda bulunan veri seti sayısının azlığı öne çıkmaktadır. Bu çalışmada hedeflenen bu eksikliği giderebilmektedir. Bu sebeple özellikle yeni geliştirilecek Sezgisel Bulanık Regresyon tekniklerinin performansını anlamada işe yarayacağı öngörülen bir yaklaşım ifade edilecektir. Ardından bu yaklaşım kullanılarak veri üretmek için geliştirilen Python kodu ile oluşturulan sentetik verilere dair bulgular tartışılacaktır. Çalışmanın geriye kalan kısmı şöyle düzenlenmiştir. 2. kısımda sentetik veri üretiminde kullanılacak yöntemin temelleri ifade edilecektir. 3. kısımda geliştirilen Python kodu ile üretilen veri setlerine dair grafikler ve bulgular sunulacaktır. 4. kısımda önerilen yöntemin performansı ve çalışmanın sonuçları değerlendirilecektir.

## 2. YÖNTEM

Sezgisel bulanık kümeler, karar verme ve modelleme süreçlerinde belirsizliği ve tereddüdü ele almak için daha esnek bir çerçeve sağlayan klasik bulanık kümelerin bir uzantısıdır. 1983 yılında Krassimir Atanassov tarafından önerilen sezgisel bulanık kümeler, yalnızca üye olma derecelerini değil aynı zamanda üye olmama dereceleri ve tereddüt derecelerini de dikkate alarak belirsiz ve kesin olmayan bilgilerin gelişmiş bir temsilini sunar. Bu tanımlama günümüz teknolojisinin de gelişmesi ile bilgisayarların daha insan aklına yakın kararlar vermesine imkan sağlamaktadır.

Sezgisel bulanık bir küme; kümede ki her bir öğeyle ilişkili üye olma derecesini, üye olmama derecesini ve bir tereddüt derecesini elde etmeye imkan sağlayan bir üye olma fonksiyonu ve üye olmama fonksiyonu ile karakterize edilir. Sezgisel bulanık kümeleri, bulanık kümelerden ayıran kısım üye olma dışında bir de üye olmama derecesine sahip olmasıdır.

**Tanım 1:** Bir sezgisel bulanık küme olan A aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır:

$$A = \{(x, \mu_A(x), \nu_A(x), \rho_A(x)) | x \in X\}$$

Burada;

$$\mu_A: X \rightarrow [0,1], \nu_A: X \rightarrow [0,1], \rho_A: X \rightarrow [0,1], 0 \leq \mu_A + \nu_A + \rho_A \leq 1$$

şeklinde tanımlanmaktadır.

Küme kavramının ardından ele alınması gerekli olan bir diğer kavram sayı kavramıdır. Bir sayı esasta bir küme ile ifade edilir ve bu Sezgisel Bulanık Teori için de bu şekildedir. Açık ki; her sezgisel

bulanık sayı aslında bir sezgisel bulanık kümedir. Ne var ki; yalnızca normallik ve dış büyüklük gibi bazı özellikleri de sağlayan sezgisel bulanık kümeler bir sezgisel bulanık sayıdır. Bulanık ve sezgisel bulanık teoride sayı kavramı onu tanımlamakta kullanılan üye olma ve üye olmama fonksiyonlarının şekli ile beraber ifade edilir. Bu çalışmada ele alınacak sezgisel bulanık sayı türü aşağıda grafik gösterimi ve matematiksel tanımı verilen üçgen sezgisel bulanık sayıdır.

**Tanım 2:**  $\tilde{A}$  reel sayılarda tanımlı bir Üçgen Sezgisel Bulanık Sayı olduğunda; üye olma fonksiyonu ve üye olmama fonksiyonu;

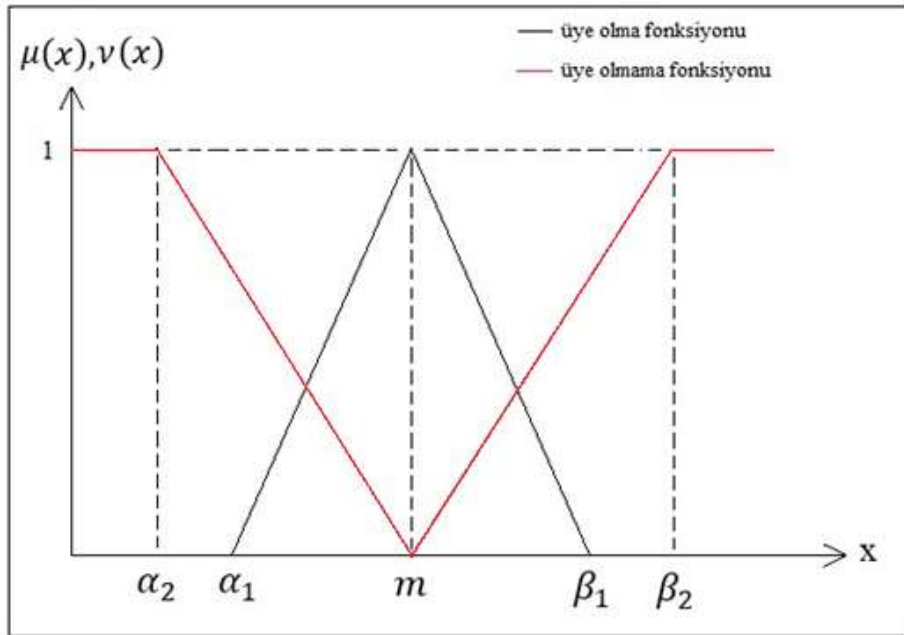
$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} \frac{x-\alpha_1}{m-\alpha_1} & \alpha_1 \leq x \leq m \\ \frac{\beta_1-x}{\beta_1-m} & m \leq x \leq \beta_1 \\ 0 & \text{diğerleri} \end{cases}$$

$$v_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} \frac{m-x}{m-\alpha_2} & \alpha_2 \leq x \leq m \\ \frac{x-m}{\beta_2-m} & m \leq x \leq \beta_2 \\ 1 & \text{diğerleri} \end{cases}$$

olarak ifade edilir. Dahası;  $\alpha_1 \leq \alpha_2 \leq m \leq \beta_1 \leq \beta_2$  olmak üzere üçgen sezgisel bulanık sayı

$$\tilde{A} = (\alpha_1, \alpha_2, m, \beta_1, \beta_2)$$

şeklinde yazılır.



**Şekil 1.** Üçgen Sezgisel Bulanık Sayı Grafiği

Bu çalışma özelinde Sezgisel Bulanık Regresyon modellerinde kullanılmak üzere türetilen veri setlerindeki tüm sayılar üçgen sezgisel bulanık sayılar olacaktır. Dahası yöntem özelinde bir bağımlı bir de bağımsız değişken veri seti türetilecektir. Verilecek yöntemde yapılacak küçük düzeltmeler ile daha genel bir yöntemle erişmek mümkün olacaktır. Yöntem kısaca aşağıdaki gibi ifade edilmektedir:

**Adım 0:** Yöntemi kullanmadan önce; Sezgisel Bulanık Regresyon Modelinin ( $\tilde{Y} = \tilde{\beta}_0 + \tilde{\beta}_1 \tilde{X} + \tilde{\varepsilon}$ ) katsayıları olan  $\tilde{\beta}_0 = (\alpha_{1\beta_0}, \alpha_{2\beta_0}, m_{\beta_0}, \beta_{1\beta_0}, \beta_{2\beta_0})$  ve  $\tilde{\beta}_1 = (\alpha_{1\beta_1}, \alpha_{2\beta_1}, m_{\beta_1}, \beta_{1\beta_1}, \beta_{2\beta_1})$  üçgen sezgisel



bulanık sayıları,  $m_X$  değerinin türetileceği istatistiksel dağılım ve parametreleri,  $m_\varepsilon$  değerinin türetileceği istatistiksel dağılım ve parametreleri,  $\theta$  değeri, a ve b değerleri ve gözlem sayısı n seçilir.

**Adım 1:** Modelde bağımsız değişken olarak kullanılacak sezgisel bulanık sayının  $(\tilde{X} = (\alpha_{1X}, \alpha_{2X}, m_X, \beta_{1X}, \beta_{2X}))$  merkez değeri ( $m_X$ ) istenilen istatistiksel dağılımdan türetilir. Ardından  $l_{1X}$  ( $\alpha_{1X} = m_X - l_{1X}$ ) ve  $u_{1X}$  ( $\beta_{1X} = m_X + u_{1X}$ ) rasgele sayıları Uniform (a,b) dağılımından ayrı ayrı,  $l_{2X}$  ( $\alpha_{2X} = m_X - l_{2X}$ ) ve  $u_{2X}$  ( $\beta_{2X} = m_X + u_{2X}$ ) rasgele sayıları Uniform (b+ $\theta$ ,c) dağılımından ayrı ayrı türetilir. Türetilen sayılar kullanılarak  $\alpha_{1X}$ ,  $\alpha_{2X}$ ,  $\beta_{1X}$  ve  $\beta_{2X}$  değerleri hesap edilir. Bu işlem n defa tekrar edilir. Elde edilen  $\tilde{X}$  değerleri kaydedilir.

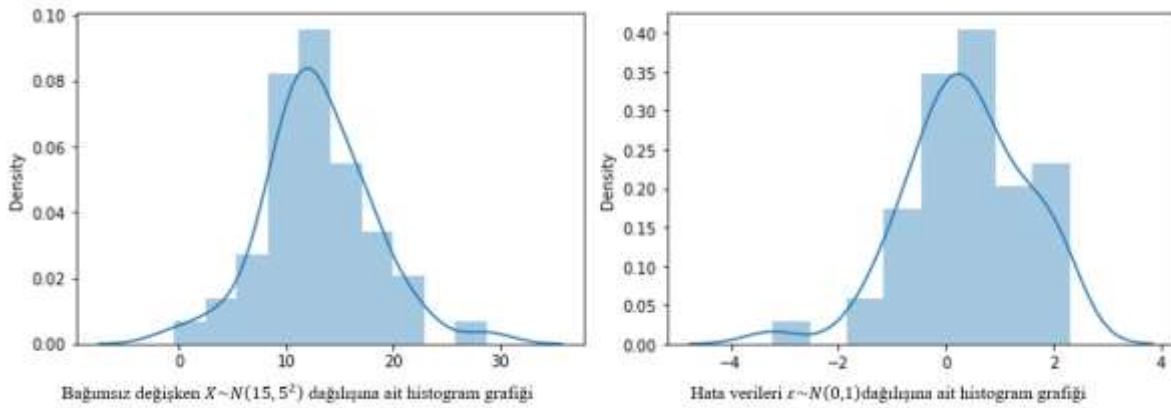
**Adım 2:** Modelde hata terimi olarak kullanılacak sezgisel bulanık sayının  $(\tilde{\varepsilon} = (\alpha_{1\varepsilon}, \alpha_{2\varepsilon}, m_\varepsilon, \beta_{1\varepsilon}, \beta_{2\varepsilon}))$  merkez değeri ( $m_\varepsilon$ ) istenilen istatistiksel dağılımdan türetilir. Ardından  $l_{1\varepsilon}$  ( $\alpha_{1\varepsilon} = m_\varepsilon - l_{1\varepsilon}$ ) ve  $u_{1\varepsilon}$  ( $\beta_{1\varepsilon} = m_\varepsilon + u_{1\varepsilon}$ ) rasgele sayıları Uniform (a,b) dağılımından ayrı ayrı,  $l_{2\varepsilon}$  ( $\alpha_{2\varepsilon} = m_\varepsilon - l_{2\varepsilon}$ ) ve  $u_{2\varepsilon}$  ( $\beta_{2\varepsilon} = m_\varepsilon + u_{2\varepsilon}$ ) rasgele sayıları Uniform (b+ $\theta$ ,c) dağılımından ayrı ayrı türetilir. Türetilen sayılar kullanılarak  $\alpha_{1\varepsilon}$ ,  $\alpha_{2\varepsilon}$ ,  $\beta_{1\varepsilon}$  ve  $\beta_{2\varepsilon}$  değerleri hesap edilir. Bu işlem n defa tekrar edilir. Elde edilen  $\tilde{\varepsilon}$  değerleri kaydedilir.

**Adım 3:** Rasgele olarak türetilen ve kaydedilen  $\tilde{X}$  ve  $\tilde{\varepsilon}$  değerleri ve önceden belirlenen  $\tilde{\beta}_0$  ve  $\tilde{\beta}_1$  değerleri kullanılarak  $\tilde{Y} = \tilde{\beta}_0 + \tilde{\beta}_1 \tilde{X} + \tilde{\varepsilon}$  matematiksel ifadesi yardımıyla  $\tilde{Y}$  değeri hesaplanır. Bu işlem n defa tekrar edilir. Elde edilen  $\tilde{Y}$  değerleri kaydedilir.

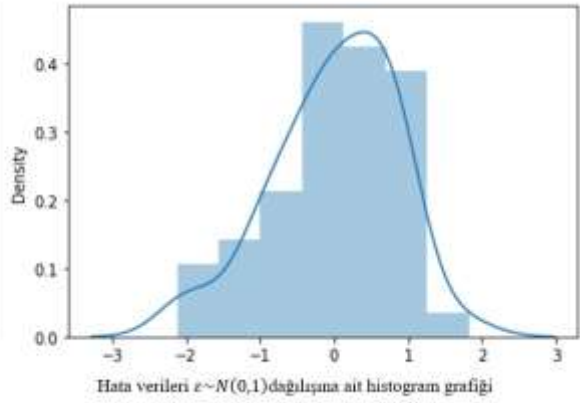
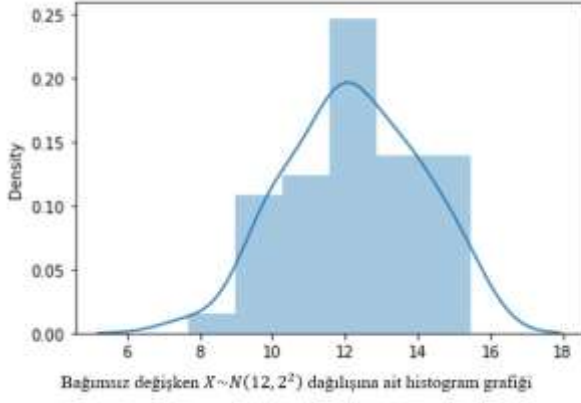
Yukarıda algoritmik olarak verilen yöntem Python dilinde kodlanmıştır. Bahsi geçen kod yardımıyla gerçekleştirilen simülasyon çalışması bir sonraki bölümde özetlenmiştir.

### 3. SİMÜLASYON

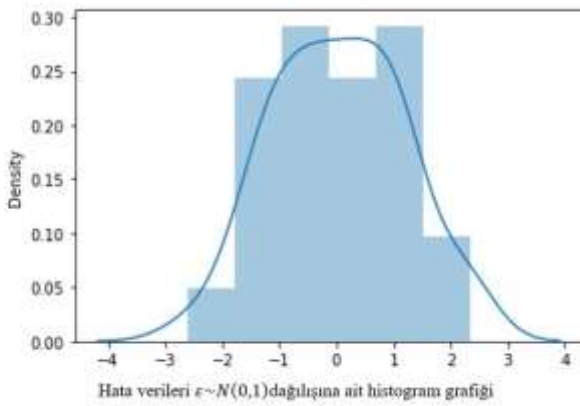
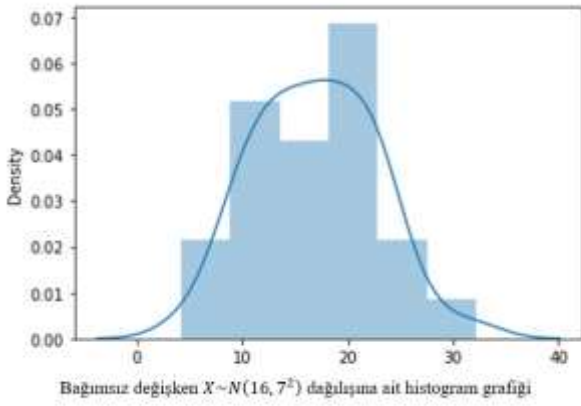
Bu bölümde yöntemin performansını inceleyebilmek için farklı istatistiksel dağılımların farklı parametre değerlerine göre simülasyon gerçekleştirilmiştir.  $\tilde{X}$  bağımsız değişkeninin merkez değeri  $m_X$  Normal, Üstel ve Weibull dağılımlarının farklı parametre değerlerine göre türetilmiş iken genelliği kaybetmeden,  $\tilde{\varepsilon}$  hata teriminin merkez değeri  $m_\varepsilon$  tüm durumlarda Standart Normal dağılımdan türetilmiştir. Örnek veri setlerinde gözlem sayısı  $n=50$  olarak sabit tutulmuştur. Yöntemde kullanılan Sezgisel Bulanık Regresyon modelinin katsayıları ise  $\tilde{\beta}_0 = (3.4393, 3.4611, 3.4882, 3.523, 3.5586)$  ve  $\tilde{\beta}_1 = (0.4005, 0.4951, 0.5223, 0.5548, 0.5901)$  olarak seçilmiştir. Ayrıca  $a=0$ ,  $b=1$ ,  $\theta=1$  ve  $c=3$  olarak seçilmiştir.



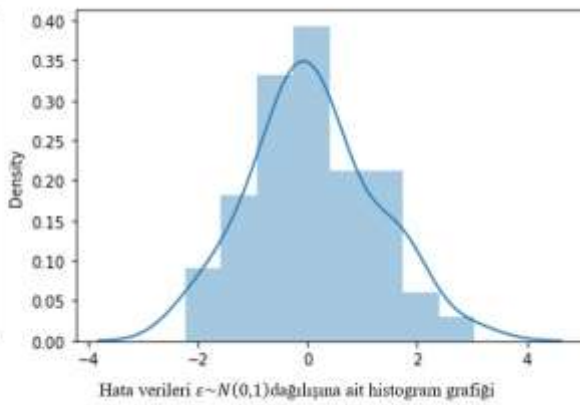
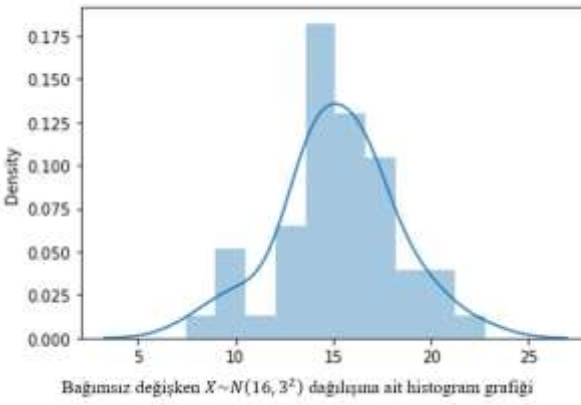
**Şekil 2.** Normal  $(15, 5^2)$  dağılımından türetilen  $m_X$  değerlerinin ve  $m_\varepsilon$  değerlerinin grafiği



Şekil 3. Normal  $(12, 2^2)$  dağılımından türetilen  $m_X$  değerlerinin ve  $m_\epsilon$  değerlerinin grafiği

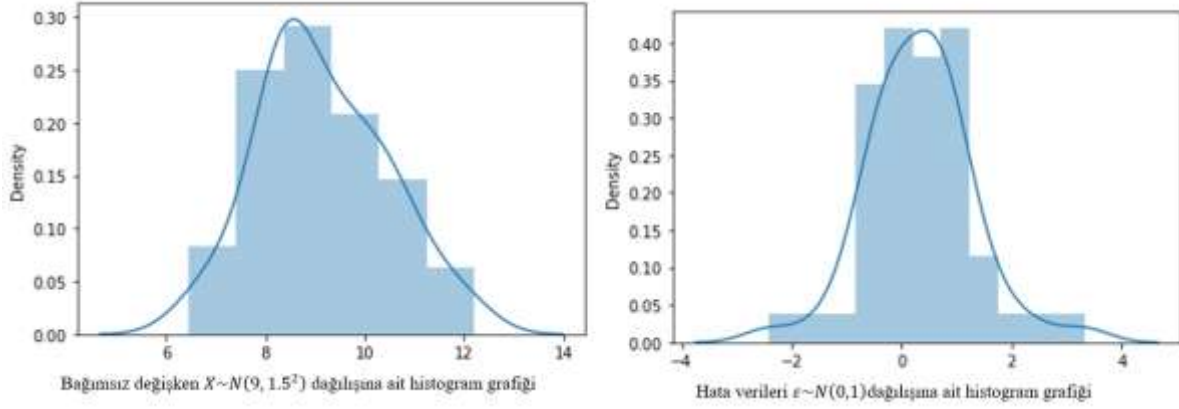


Şekil 4. Normal  $(16, 7^2)$  dağılımından türetilen  $m_X$  değerlerinin ve  $m_\epsilon$  değerlerinin grafiği



Şekil 5. Normal  $(16, 3^2)$  dağılımından türetilen  $m_X$  değerlerinin ve  $m_\epsilon$  değerlerinin grafiği



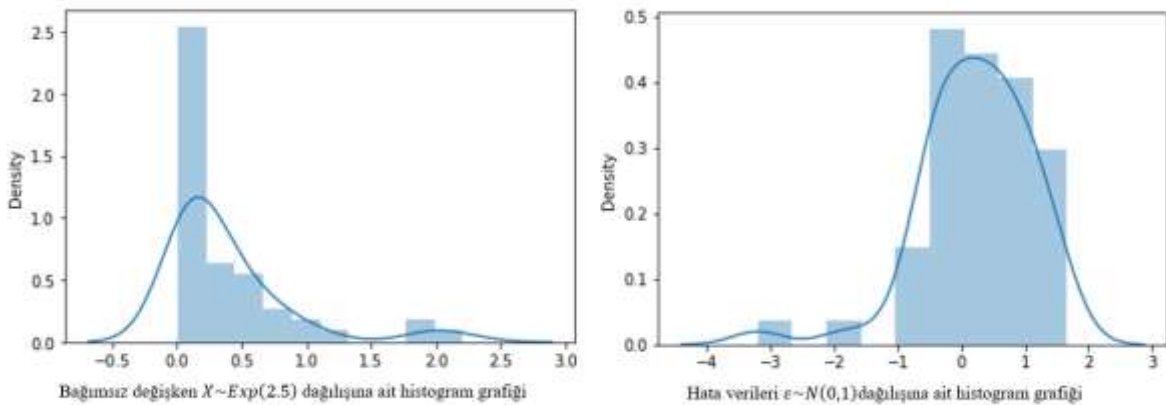


**Şekil 6.** Normal  $(9, 1.5^2)$  dağılımından türetilen  $m_X$  değerlerinin ve  $m_\epsilon$  değerlerinin grafiği

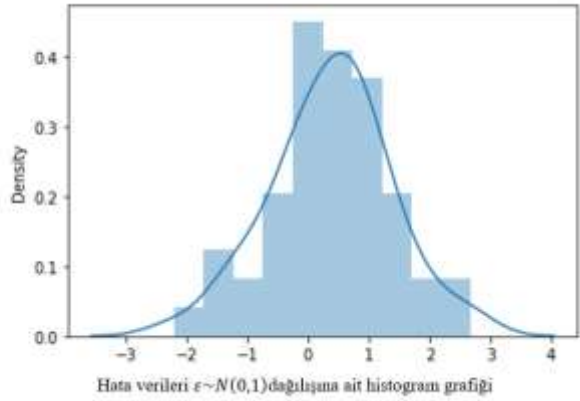
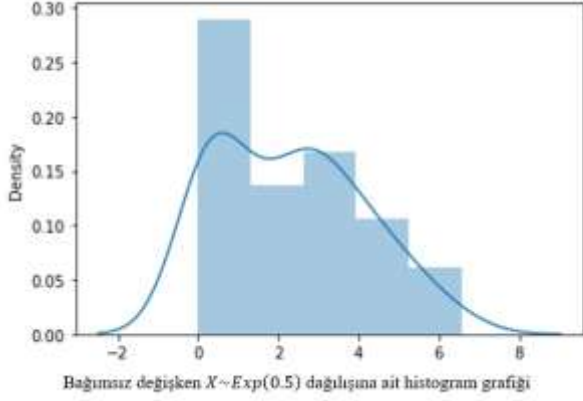
Yukarıdaki şekillerden de görülebileceği her defasında aynı dağılım ve parametreler ile  $m_\epsilon$  değerleri türetilmesine rağmen farklı veri setlerine erişildiği görülmektedir. Bu durum veri setlerinin rasgele oluşmasına yardımcı olmaktadır. Türetilen veriler için seçilen teorik dağılımın simetrik bir dağılım olması sebebiyle; Tablo 1 de görülen bağımlı değişken ortalaması ( $\bar{Y}$ ) ile bu ortalamanın tahmini arasında ( $\tilde{\beta}_0 + \tilde{\beta}_1 \bar{X}$ ) çok fark olmadığı 5 farklı istatistiksel parametre seti için de gözlenmiştir.

**Tablo 1.** Normal Dağılım temelli üretilen bağımlı değişken için sezgisel bulanık ortalamalar

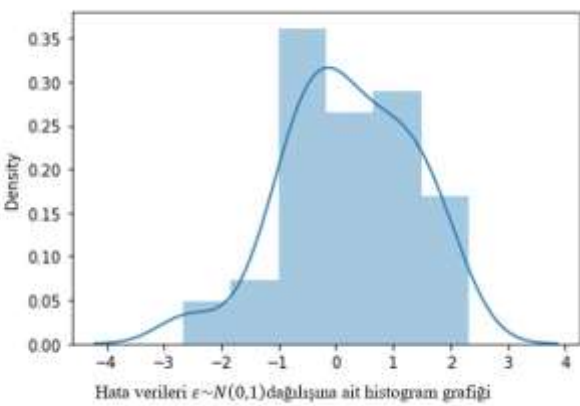
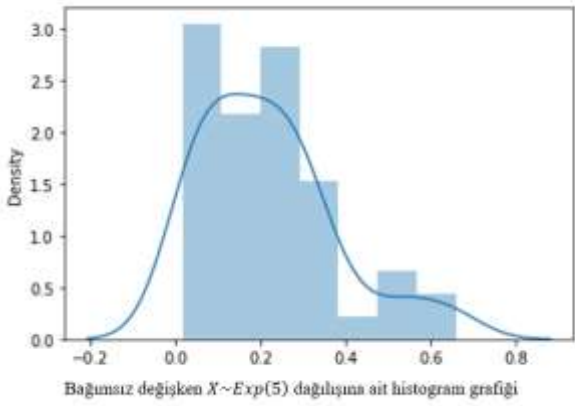
	Modele ait bağımlı değişkenin Ortalaması ( $\tilde{\beta}_0 + \tilde{\beta}_1 \bar{X}$ )	Başlangıçta türetilen bağımlı değişkenin ortalaması ( $\bar{Y}$ )
$X \sim N(15, 5^2)$	(10.003338, 10.255689, 11.336159, 11.90232, 12.78523)	(10.16982, 10.81925, 11.68102, 11.77526, 12.02036)
$X \sim N(12, 2^2)$	(9.150262, 9.84223, 10.66853, 11.01003, 11.12520)	(9.7520366, 9.81026, 10.060352, 10.98563, 11.10982)
$X \sim N(16, 7^2)$	(11.62698, 11.85115, 12.23862, 12.68115, 12.99974)	(11.89230, 12.09235, 12.875201, 12.91243, 13.17832)
$X \sim N(16, 3^2)$	(10.90035, 10.98203, 11.36223, 11.556115, 12.026851)	(10.112413, 10.65348, 11.00945, 11.892031, 12.85151)
$X \sim N(9, 1.5^2)$	(7.6703611, 8.41259, 8.59852, 8.86701, 9.003539)	(7.10691, 7.97528, 8.012358, 8.1756823, 8.98547)



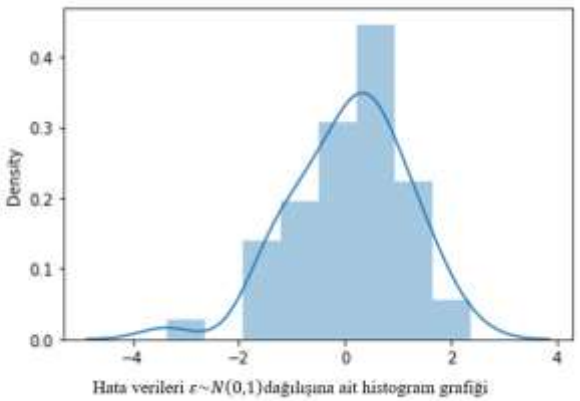
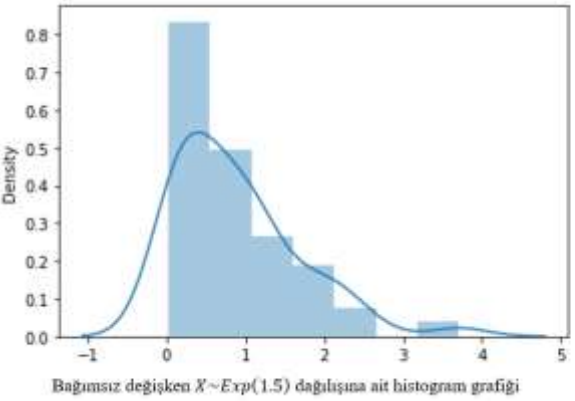
**Şekil 7.** Üstel (2.5) dağılımından türetilen  $m_X$  değerlerinin ve  $m_\epsilon$  değerlerinin grafiği



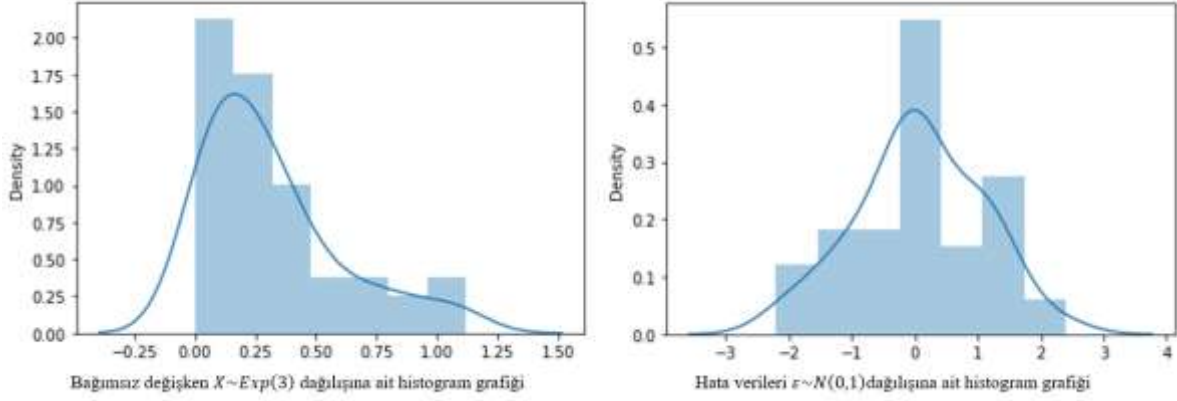
Şekil 8. Üstel (0.5) dağılımından türetilen  $m_X$  değerlerinin ve  $m_\epsilon$  değerlerinin grafiği



Şekil 9. Üstel (5) dağılımından türetilen  $m_X$  değerlerinin ve  $m_\epsilon$  değerlerinin grafiği



Şekil 10. Üstel (1.5) dağılımından türetilen  $m_X$  değerlerinin ve  $m_\epsilon$  değerlerinin grafiği



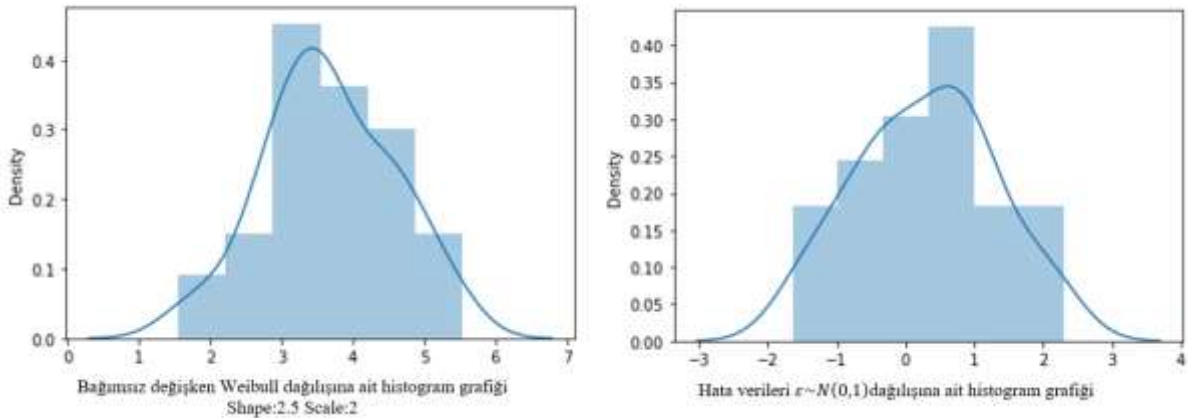
**Şekil 11.** Üstel (3) dağılımından türetilen  $m_X$  değerlerinin ve  $m_\varepsilon$  değerlerinin grafiği

Bu aşamada elde edilen  $m_X$  veri setleri Üstel dağılımın tipik özelliklerini yansıtmaktadır. Ayrıca düzensiz görünümlü  $m_\varepsilon$  değerleri elde edilecek bağımlı değişkenin daha fazla değişkenliğe sahip olması sonucunu doğuracaktır.

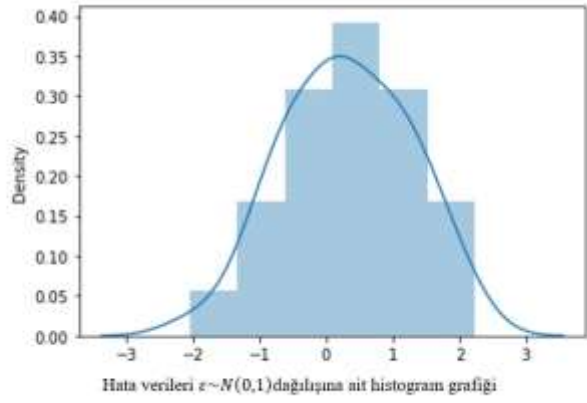
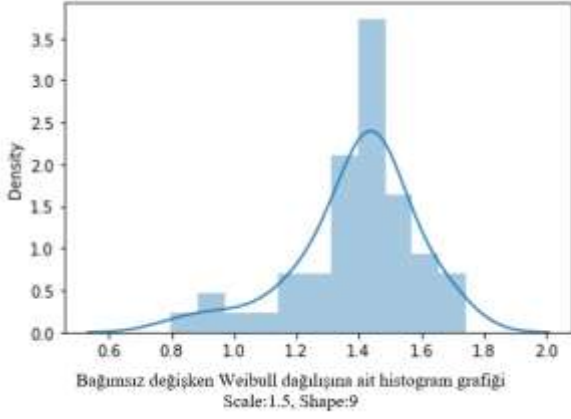
**Tablo 2.** Üstel Dağılım temelli üretilen bağımlı değişken için sezgisel bulanık ortalamalar

	Modele ait bağımlı değişkenin Ortalaması ( $\tilde{\beta}_0 + \tilde{\beta}_1 \tilde{X}$ )	Başlangıçta türetilen bağımlı değişkenin ortalaması ( $\tilde{Y}$ )
$X \sim \text{Exp}(2.5)$	(3.003338, 3.256863, 3.923369, 4.611232, 4.785203)	(3.081594, 3.256863, 3.239915, 4.542025, 4.579123)
$X \sim \text{Exp}(0.5)$	(3.256352, 4.006842, 4.910235, 4.982365, 5.78203)	(3.995136, 4.411252, 4.669633, 5.020365, 5.997236)
$X \sim \text{Exp}(5)$	(4.215862, 5.100385, 5.775266, 5.785685, 6.352556)	(4.338528, 5.06842, 5.823369, 5.997658, 6.612375)
$X \sim \text{Exp}(1.5)$	(6.9998522, 7.652032, 7.715915, 7.8852556, 8.26985)	(5.223021, 6.128630, 6.990087, 7.315260, 7.5503698)
$X \sim \text{Exp}(3)$	(3.775687, 4.005061, 4.20365, 4.89567, 5.225620)	(3.199523, 4.355682, 4.322352, 4.8002351, 4.96886)

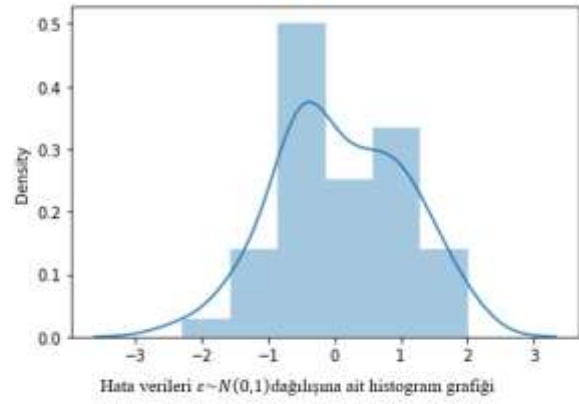
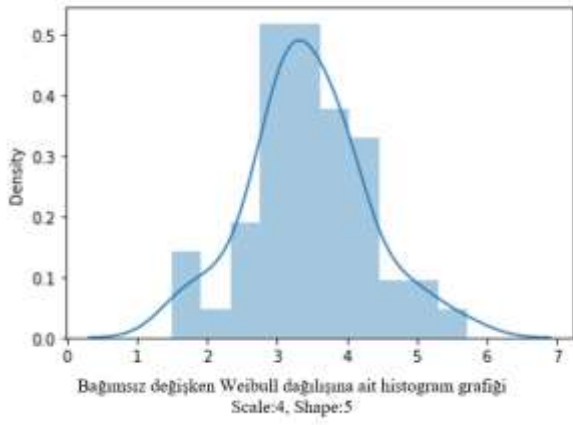
Türetilen veriler için seçilen teorik dağılımın sağa çarpık yani asimetric bir dağılım olması sebebiyle; Tablo 2' de görülen bağımlı değişken ortalaması ( $\tilde{Y}$ ) ile bu ortalamanın tahmini ( $\tilde{\beta}_0 + \tilde{\beta}_1 \tilde{X}$ ) arasındaki farkın özellikle üye olmama fonksiyonu ile ilintili parametrelerde simetrik dağılımlara göre daha büyük olduğu gözlenmiştir.



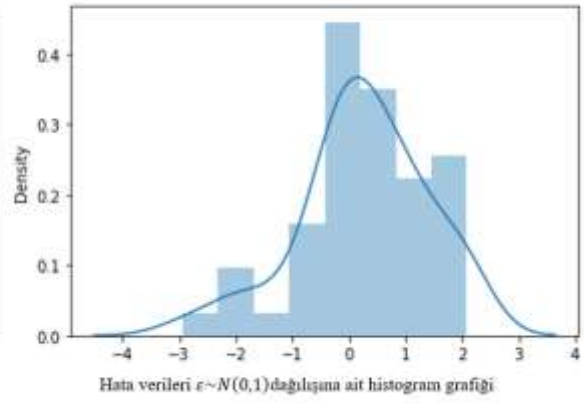
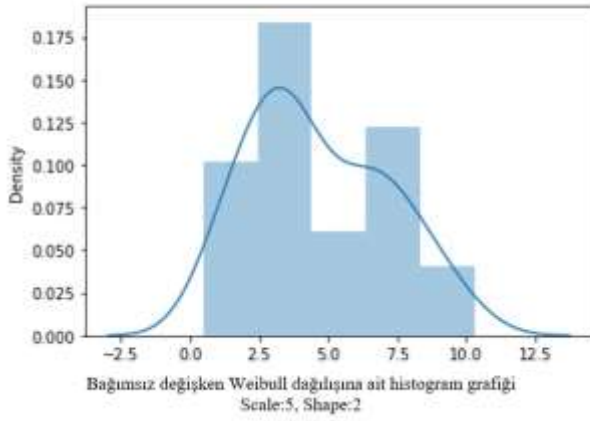
**Grafik 12:** Weibull(2.5, 2) dağılımından türetilen  $m_X$  değerlerinin ve  $m_\varepsilon$  değerlerinin grafiği



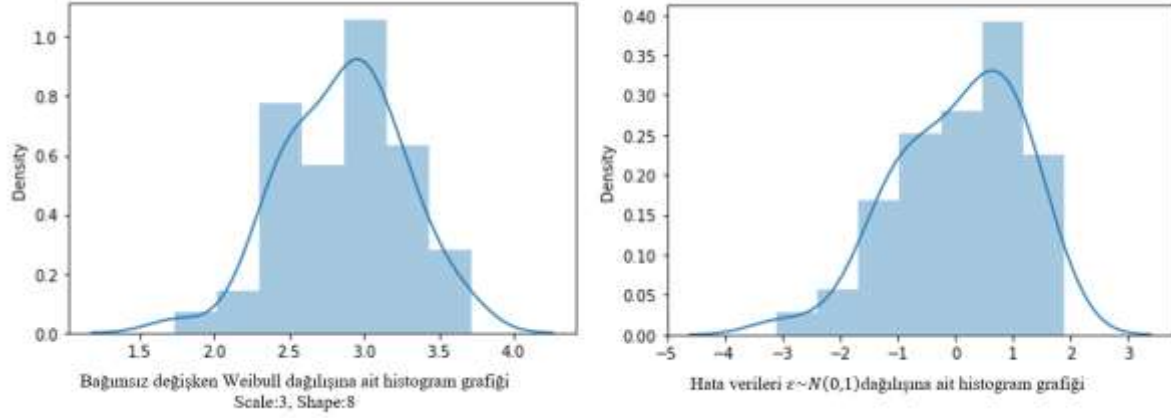
**Grafik 13:** Weibull(9, 1.5) dağılımından türetilen  $m_x$  değerlerinin ve  $m_\epsilon$  değerlerinin grafiği



**Grafik 14:** Weibull(5, 4) dağılımından türetilen  $m_x$  değerlerinin ve  $m_\epsilon$  değerlerinin grafiği



**Grafik 15:** Weibull(2, 5) dağılımından türetilen  $m_x$  değerlerinin ve  $m_\epsilon$  değerlerinin grafiği



**Grafik 16:** Weibull(8, 3) dağılımından türetilen  $m_x$  değerlerinin ve  $m_\varepsilon$  değerlerinin grafiği

Bu aşamada elde edilen  $m_x$  veri setleri Weibull dağılımın tipik özelliklerini yansıtmaktadır. Her bir grafikte farklı parametrelere dayalı sayı türetilerek dağılımın karakteristiği değiştirilmeye çalışılmıştır.

Ayrıca düzensiz görümlü  $m_\varepsilon$  değerleri elde edilecek bağımlı değişkenin daha fazla değişkenliğe sahip olması sonucunu doğuracaktır.

**Tablo 3.** Weibull Dağılım temelli üretilen bağımlı değişken için sezgisel bulanık ortalamalar

	Modele ait bağımlı değişkenin Ortalaması ( $\tilde{\beta}_0 + \tilde{\beta}_1 \tilde{X}$ )	Başlangıçta türetilen bağımlı değişkenin ortalaması ( $\tilde{Y}$ )
$X \sim \text{Wei}(2, 5, 2)$	(3.895684, 4.225682, 4.529861, 4.558962, 4.912003)	(4.19386, 4.525633, 4.921132, 5.155532, 5.222681)
$X \sim \text{Wei}(9, 1, 5)$	(3.94586, 4.1125692, 4.522557, 4.6385001, 4.88203)	(3.80124, 4.002364, 4.326821, 4.468230, 4.997236)
$X \sim \text{Wei}(5, 4)$	(4.71003, 5.002685, 5.355255, 5.415003, 5.982030)	(4.5863101, 5.268636, 5.382653, 5.710039, 6.003501)
$X \sim \text{Wei}(2, 5)$	(5.180638, 5.90243, 6.176725, 6.420232, 6.83697)	(5.223021, 6.128630, 6.990087, 7.315260, 7.5503698)
$X \sim \text{Wei}(8, 3)$	(3.9986301, 4.336012, 5.043707, 5.052352, 5.85203)	(3.156328, 4.315952, 4.397520, 4.889632, 5.650098)

Türetilen veriler için seçilen teorik dağılımın asimetric bir dağılım olması sebebiyle; Tablo 3' de görülen bağımlı değişken ortalaması ( $\tilde{Y}$ ) ile bu ortalamanın tahmini ( $\tilde{\beta}_0 + \tilde{\beta}_1 \tilde{X}$ ) arasındaki farkın özellikle üye olmama fonksiyonu ile ilintili parametrelerde simetric dağılımlara göre daha büyük olduğu gözlenmiştir.

#### 4. SONUÇ

Makine öğrenmesi teknikleri arasında da sayılan Regresyon Analizi veri bilimciler tarafından çokça kullanılan bir tekniktir. Özellikle veri setinin Regresyon Analizinin teorik varsayımlarını sağlanmadığı hallerde ve/veya insan kaynaklı belirsizlik içermesi halinde ve/veya dilsel değişkenler olarak ifade edilmesi halinde klasik Regresyon Analizinden başka alternatifler bulmak gereği doğar. Bu aşamada ilk olarak Bulanık Regresyon Analizi daha sonra ihtiyaçlar doğrultusunda Sezgisel Bulanık Regresyon Analizi teknikleri ön plana çıkmıştır. Birçok bilim insanı kendi ihtiyaçları doğrultusunda farklı Sezgisel Bulanık Regresyon Analizi yöntemleri ele almışlardır. Bu yöntemlerin performanslarının ölçülmesi esnasında sıkça sentetik veriye ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu çalışmada Sezgisel Bulanık Regresyon analizinde kullanılabilecek türde sentetik verilerin türetilmesinde kullanılacak bir yaklaşım önerilmiştir. Bu yaklaşım sayesinde başlangıçta belirlenen Regresyon katsayılarına uyarlı veriler üretmek mümkün olacaktır. Bu çalışmada türetilen verilerin teorik olarak uyması beklenen veri setinin parametrelerine göre olarak yakın olduğu görülmektedir. Bu ise yöntemin tutarlı sonuçlar verdiğini göstermektedir. Bu yöntem kullanılarak türetilen veriler



daha sonra eldeki Regresyon Analizi tekniğinin ne denli tutarlı çalıştığını anlamakta rahatça kullanılabilir. Yöntem istenilen istatistiksel dağılım merkeze konularak simetrik olan ve olmayan üçgen sezgisel bulanık veri setleri üretmeye imkân vermektedir. Sonraki çalışmalarda yöntemin, sistematik olarak sapan gözlemleri de veri setine ekleyen bir hale getirilmesi hedeflenmektedir.

## 5. BİLGİLENDİRME

Bu çalışma Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğünün FYL-2021-22661 nolu projesi kapsamında desteklenmiştir.

## 6. REFERANSLAR

- [1] Zadeh L.A., Fuzzy sets, Information and Control, 8 (1965), 338-353.
- [2] Atanassov K.T., Intuitionistic fuzzy sets, Fuzzy Sets and Systems, 20 (1986), 87-96.
- [3] Parvathi, R. and Malathi, C. and Akram, M. and Atanassov K. T., 2012, Intuitionistic Fuzzy Linear Regression Analysis, Springer Science+Business Media New York 2012.
- [4] Arefi, M. and Taheri, S.M., 2015, Least-Squares Regression Based on Atanassov's Intuitionistic Fuzzy Inputs–Outputs and Atanassov's Intuitionistic Fuzzy Parameters, IEEE TRANSACTIONS ON FUZZY SYSTEMS, VOL. 23, NO. 4, AUGUST 2015.
- [5] Kızılaslan, B. ve Eğrioğlu, E. ve Evren, A. A., 2019, Intuitionistic Fuzzy Ridge Regression Functions, Communications in Statistics - Simulation and Computation.
- [6] Ahmadini A.A.H., A novel technique for parameter estimation in intuitionistic fuzzy logistic regression model, Ain Shams Engineering Journal 13 (2002), 101518.
- [7] Eğrioğlu E. and Bas E., Robust intuitionistic fuzzy regression functions approaches, Information Sciences 638 (2023), 118992.
- [8] Shemaila A.H. and Mohammed M.J., Comparison between some estimation methods for an intuitionistic fuzzy semi-parametric logistic regression model with practical application about covid-19, Int. J. Nonlinear Anal. Appl. 13 (2022) 1, 3723-3732.
- [9] Akula N.K. and Basha S. S., Regression coefficient measure of intuitionistic fuzzy graphs with application to soil selection for the best paddy crop, AIMS Mathematics, 8 (2023), 17631–17649.
- [10] Pant M. and Kumar S., Particle swarm optimization and intuitionistic fuzzy set-based novel method for fuzzy time series forecasting, Granular Computing 7 (2022), 285–303.
- [11] Arslan S.N. and Yolcu O.C., A hybrid sigma-pi neural network for combined intuitionistic fuzzy time series prediction model, Neural Computing and Applications 34 (2022), 12895–12917.



## CONTENT ANALYSIS OF E-MENTORING APPLICATIONS IN HIGHER EDUCATION YÜKSEKÖĞRETİMDE E-MENTORLUK UYGULAMALARININ İÇERİK ANALİZİ

*Res. Assist. Dr. Deniz GÜNAY*

*Ege U., Faculty of Fisheries, Dep. Of Aquaculture, İzmir Turkey*

*ORCID ID: 0000-0003-0069-4703*

*Lect. Dr . Huriye GÖNCÜOĞLU-BODUR*

*Ege U., Faculty of Fisheries, Dep.of Fishing Tech. and Seafood Process.Tech., İzmir, Turkey*

*ORCID ID: 0000-0001-7068-037X*

### ABSTRACT

In the new century, where humanist values and digitalization have gained more importance, one of the biggest goals of e-mentoring is to raise people with higher awareness and more respect for the environment and living things. Through e-mentoring, a technology-based application, it's possible to achieve several goals such as higher number of students, decreased costs, equal social status and less demographical stress and interactions can be recorded. Through use of information and communication technologies, the classical understanding of mentoring has changed and the concept of electronic mentoring (e-mentoring) has emerged. The purpose of this study is to examine the scientific publications in national and international literature on e-monitoring research in higher education, focusing on the applicability of e-mentoring to the education of fisheries engineering. The study employs content analysis which is an in-depth analyses of related academic publications according to certain criteria; through which the data are examined in detail and the publications are summarised to contribute to the literature. In this study, a total of 25 national and international articles in the related databases of Google Academics and Web of Science between 2013 and 2023 were scanned and the methods, publication dates, sample distributions and results thereof were presented. The application of technology based e-mentoring applications in the programs of the fisheries faculties will contribute to the academic and vocational development of students. Furthermore, the findings will support the usability and utility of the e-mentoring intervention based on a conceptual framework that characterized an electronic support process for fisheries faculty students.

**Keywords:** Higher education, e-mentoring, fisheries, technology-based education.

### ÖZET

İnsani değerlerin ve dijitalleşmenin önem kazandığı yeni yüzyılda çevreye ve canlılara saygılı, farkındalıkları yüksek kişilerin yetişmesi e-mentorluğun en büyük amaçlarından bir tanesidir. Teknoloji tabanlı bir uygulama olan e-mentorluk sayesinde daha fazla sayıda öğrenciye erişim, daha düşük maliyet, statü eşitliği, demografik vurgunun azalması sağlanabilmekte ve etkileşimler kayıt altına alınabilmektedir. Mentorluk uygulamalarında bilgi ve iletişim teknolojilerinin kullanımı ile klasik mentorluk anlayışı değişmiş elektronik mentorluk (e-mentorluk) kavramı ortaya çıkmıştır. Bu çalışmanın amacı içerik analizi yöntemiyle yükseköğretimde e-mentorluk araştırmalarına ilişkin yerli ve yabancı literatürdeki bilimsel yayınların incelenmesidir. Bu kapsamda e-mentorluğun su ürünleri mühendisliği eğitim ve öğretiminde uygulanabilirliği araştırılmıştır. Araştırmada içerik analizi yöntemi kullanılmıştır. İçerik analizi, ilgili konuda yayımlanan akademik araştırmaların belirli sınırlar dâhilinde derinlemesine incelenmesi metodu ile gerçekleştirilen nitel bir araştırma yöntemidir. Bu analiz metodu sayesinde veriler sistematik, dikkatli ve detaylı olarak incelenmekte, akademik yayınlar özetlenmekte ve konu ile ilgili literatüre katkı sağlanmaktadır. Bu çalışmada, 2013-2023 yılları arasında "Google Akademik" ve "Web of Science" veri tabanları taranmış, ulusal ve uluslararası literatürlerde yayınlanmış 25 makale bu amaç çerçevesinde incelenmiştir. İncelenen çalışmaların yöntemleri,



yayınlanma tarih aralığı, örneklem dağılımı ve sonuçları sunulmuştur. Su ürünleri fakültelerinin eğitim ve öğretim programlarında teknoloji tabanlı e-mentorluk uygulamalarının yer alması öğrencilerin akademik ve mesleki gelişimlerine katkı sağlayacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Yüksek Öğrenim, e-mentorluk, su ürünleri, teknoloji tabanlı eğitim

## INTRODUCTION

Mentoring involves helping a more knowledgeable and experienced person assist a less experienced person to achieve an important life goal. The mentoring process is based on trust and a genuine desire to learn (Goff & Torrance, 1999). This process can range from a carefully planned and conducted formal meeting to the chance meeting of people with common interests (Nash, 2001). In other words, the interaction between a more experienced person (mentor) and a less experienced person (mentee) is the process of attaining wisdom by sharing experiences (Kuzu et al., 2012).

Developing the career of individuals and supporting them psycho-socially are the two main functions of mentoring (Kram, 1983). Palankök (2004) reported that productivity and competitiveness would increase if the functions of mentoring were fulfilled. In order for the mentorship to function fully, the mentor and the mentee must have certain characteristics. Aydın (2016) emphasized that besides the necessity of having knowledgeable, experienced and correct work habits, a mentor should be respectful, patient, sensitive and have the maturity to know that education and development is a time-consuming activity. Kocabaş & Yirci (2011) reported that a mentee should be ready for a mentoring relationship, but should also be sincere, optimistic, planned and sharing.

It is stated that in face-to-face mentoring practices, various problems are encountered such as inappropriate matching, inability to schedule meetings properly, geographical barriers, neglect of the mentee by the mentor and not meeting expectations, and the presence of a small number of mentors and mentee (Watson, 2006).

As a result of the integration of new technologies, electronic mentoring (e-mentoring) emerges as an alternative to traditional face-to-face mentoring (Single & Single, 2005; Shrestha et al., 2009). E-mentoring has become highly preferred as it removes the time and space limitations with communication tools such as e-mail, social media, etc. Thanks to e-mentoring, it will be possible to reach more people with less cost; religion, race, gender, status, cultural differences will be eliminated and interviews will be recorded.

The aim of this study is to evaluate the effects of e-mentoring on undergraduate, graduate, doctoral students and academicians in higher education through content analysis and to raise awareness of its applicability to fisheries faculties.

## METHOD

In this study, the data were analyzed in detail by using content analysis (Koçak & Özgür, 2006), which is an in-depth analysis of the relevant academic publications according to certain criteria, and the publications were summarized and contributed to the literature. For this purpose, publications published between 2013-2023 were searched using keywords (E-mentoring, higher education, university) through Google Academics and Web of Science databases. A total of 25 national and international articles on the subject were found and their methods, publication dates, sample distributions and results are presented.

## RESULTS

When the distribution of the literature by years is examined, it is seen that the most publications were published in 2019 (Byrnes et al., 2019; Can et al., 2019); Ceylan, 2019; Kumar & Johnson, 2019, Öngöz, 2019; Paçalı, 2019; Tisdell & Shekhawat, 2019) (Fig.1).



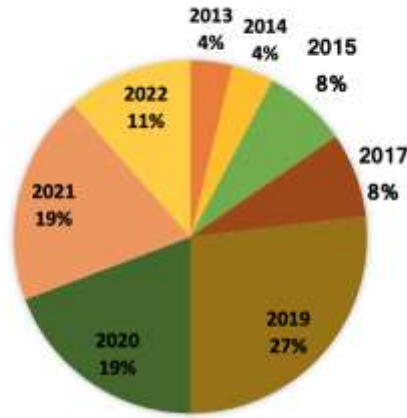


Figure 1. Distribution of e-mentoring publications by years between 2013-2023

It has been determined that 64% of the studies were research articles (Can et al., 2019; Çobanoğlu et al., 2017; Healey and France, 2021; Heneghan et al., 2021; Kılınç & Alparıslan, 2014; Krishna et al., 2020; Kumar & Johnson, 2019; Ligadu & Anthony, 2015; Mahayosnand et al., 2021; Narmanlıoğlu & Yeşilfidan, 2021; Öngöz, 2019; Rouahi et al., 2022; Sanyal & Rigby, 2017; Tisdell & Shekhaswat, 2019; Tinoco-Giraldo et al., 2022; Williams et al., 2013), 20% were thesis (Alemdağ, 2015; Ceylan, 2019; Kelleci, 2022; Paçalı, 2019; Sepet, 2020) and 16% were reviews (Byrnes, et al., 2019; Iqbal, 2020; Tinoco-Giraldo; 2020; Sayın et al., 2021) (Fig.2).

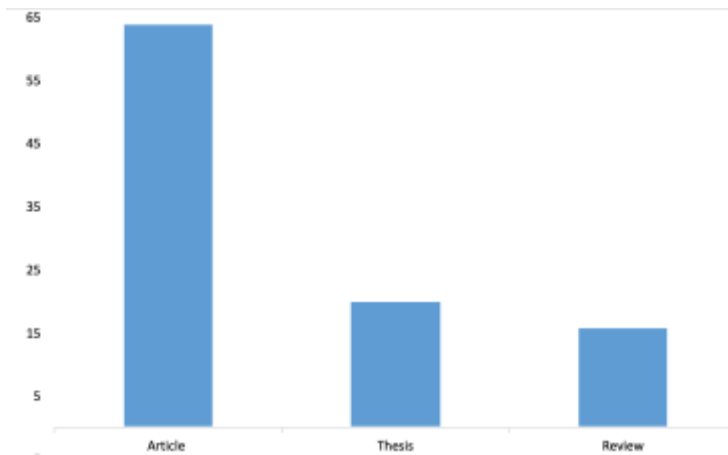


Figure 2. Proportional distribution of publication types between 2013-2023

The rate of researching and publishing the contribution of e-mentoring practices by higher education institutions in Turkey in the last 10 years is 44% worldwide. (Alemdağ, 2015; Can et al., 2019; Ceylan, 2019; Çobanoğlu et al., 2017; Kelleci, 2022; Kılınç & Alparıslan, 2014; Narmanlıoğlu & Yeşilfidan, 2021; Öngöz, 2019; Paçalı, 2019; Sayın et al., 2021; Sepet, 2020) (Fig.3)

■ Research done in Turkey ■ Research done abroad

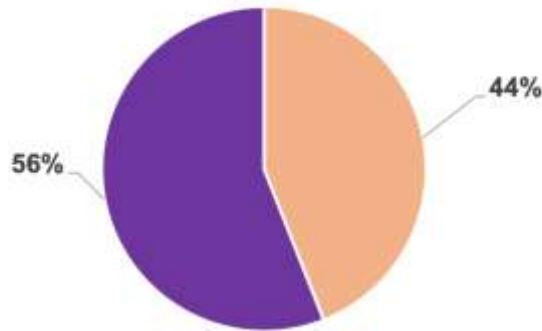


Figure 3. Proportional distribution of publication source between 2013-2023

In 56% of the reviewed literature, the effect of the e-mentor program on undergraduate students was investigated. Academicians and postgraduate students were involved in 24% and 20% of the studies, respectively (Fig. 4).

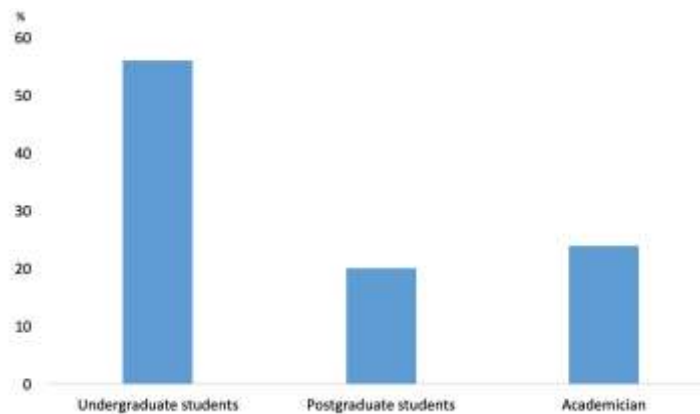


Figure 4. Sample distribution of publications between 2013-2023.

In addition to using quantitative (43%) and qualitative (43%) research methods, Bibliographic-review studies (14%) were also carried out (Fig 5).

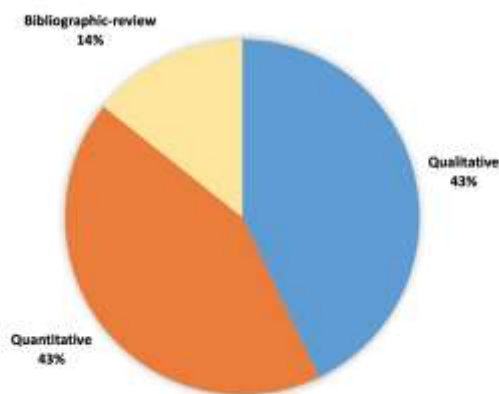


Figure 5. Proportional distribution of research methods used in publication between 2013-2023

The positive contributions of the e-mentoring program were mentioned in all of the studies (Alemdağ, 2015; Byrnes, et al.,2019; Can et al., 2019; Ceylan, 2019; Çobanoğlu et al., 2017; Healey & France, 2021; Heneghan et al., 2021; Iqbal, 2020; Kılınç & Alparşlan, 2014; Kelleci, 2022; Krishna et al., 2020; Kumar & Johnson, 2019; Paçalı, 2019; Ligadu & Anthony, 2015; Mahayosnand et al., 2021; Narmanlıoğlu & Yeşilfidan, 2021; Öngöz, 2019; Rouahi et al., 2022; Sanyal & Rigby, 2017; Sayın et



al., 2021; Sepet, 2020; Tinoco-Giraldo; 2020; Tinoco-Giraldo et al., 2022; Tisdell & Shekhaswat, 2019; Williams et al., 2013). The following findings emerged from the results of all studies.

1. Professional and academic development of the participants increased.
2. Participants learned to use hardware and software technologies.
3. Participants gained the ability to work collaboratively with the group.
4. Participants experienced a sense of belonging.
5. Participants consciously prepared for graduate education.
6. Technical and professional skills of participants increased.

## CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS

As in the rest of the world, it has been observed that the pandemic in Turkey and the economic crises experienced after it caused the students to break communication amongst themselves, causing them to despair and decrease their academic success. It is a fact that students need motivation-enhancing activities due to the pains suffered during the last earthquake. There are fisheries engineering programs in 15 universities in Turkey. Most of the courses in Fisheries Faculties are practice-oriented, and one of the main objectives is to train engineers who are aware of the environment and living things, as well as being knowledgeable about aquatic life. 127 students graduated in 2022, the number of registered students is 1584. The fact that students and graduates can benefit from peer mentoring or e-mentoring programs will lead to very positive results for both mentors and mentees.

The outputs to be obtained by the mentors who will participate in the program thanks to the Fisheries Engineers' benefit from the E-Mentoring programs are:

- Supervision of professional knowledge, recognizing the deficiencies
- Increasing self-confidence
- Increasing interest and motivation in the profession
- Increasing communication skills
- Development of guidance and leadership skills
- Adapting to electronic environments more easily, catching up with the era
- Professional pleasure, satisfaction and happiness of being able to help someone

The positive contributions to be obtained by the mentees are as follows.

- Opportunity to get to know their professions and the industry better
- Increasing self-confidence
- Recognizing the necessary equipment for employment
- Increasing personal development
- Increase in academic achievement
- Increased motivation
- Identifying Role-Models and realizing goals
- Increasing communication skills and collaborative working skills

## REFERENCES

- Alemdağ, E. (2015). Design And Effects Of An E-Mentoring Application For Ict Teachers. Hacettepe University Regulation on Graduate Education and Examination Department of Computer Education and Instructional Technologies, master thesis, 161p.
- Aydın, İ. (2016). Öğretimde denetim. Ankara: Pegem Akademi, 240s.



Byrnes, D., Uribe-Florez, L.J., Trespalacios, J., & Chilson, J. (2019). Doctoral e-mentoring: Current practices and effective strategies. *Online Learning*, 23(1), 236-248.

Can, G., oşkun, A., Yıldız, U. Z. U. N., Nalça, C., & Böğürcü, C. (2019). Lisansüstü öğrenciler arasında yapılan çevrimiçi ekran mentorluğun sürdürülebilirliğini etkileyen unsurlar. *Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 16(1), 910-942.

Ceylan, F. 2019. Mentorluk kavramı ve mentorluğun bireysel kariyer üstündeki etkisi. Namık Kemal Üniversitesi, MS thesis, 63 s.

Çobanoğlu, A. A., Yücel, Z. E., Uzunboylar, O. & Ceylan, B. (2017). A Blended Mentoring Practice For Designing E-Material For English As A Foreign Language Learning. *Turkish Online Journal of Qualitative Inquiry*, 8(1), 141-160.

Goff, K. & Torrance E. P. (1999). Discovering and developing giftedness through mentoring. *Gifted Child Today*, 22, 14–15.

Kocabaş, İ. & Yirci, R. (2011). Öğretmen Ve Yönetici Yetiştirmede Mentorluk: Mentorluğun Eğitimde Kullanılması. Ankara: Anı Yayıncılık.

Koçak, A., & Özgür, A. (2006). İçerik analizi çalışmalarında örneklem sorunu. *Selçuk İletişim*, 4(3), 21-28.

Healey, R. L. & France, D. (2022). ‘Every Partnership [... İs] An Emotional Experience’: Towards A Model Of Partnership Support For Addressing Theemotional Challenges Of Student–Staff Partnerships. *Teaching in Higher Education*, Ahead-Of-Print, 1-19.

Heneghan, N. R., Jagodzinska, J., Tyros, I., Johnson, W., Nazareth, M., Yeung, E.Sadi, J., Gillis, H. & Rushton, A. (2021). Telehealth e-mentoring in postgraduate musculoskeletal physiotherapy education: A mixed methods case study. *Musculoskeletal Science and Practice*, 56, 102448.

Iqbal, H. (2020). E-mentoring: an effective platform for distance learning. *E-Mentor*, 2(84),54–61.

Kelleci, A. (2022). Evaluation of the Effectiveness of an E-Mentoring Program for Prospective Teachers. *Trabzon University Graduate Education Institute Computer And Instructional Technologies Education Department*, 147p.

Kılınç, U. & Alparslan, A.M. (2014). Mentorship in higher education: A practice to determine the perspectives of mentors and mentees. *Journal of Higher Education*, 4(2),91-101.

Kram, K. E. (1983). Phases of the Mentor Relationship. *Academy of Management Journal*, 26 (4), 608-625

Krishna, L., Tay, K.T., Yap, H.W., Koh, Z.Y.K, Ng, Y.X., Ong, Y.T., Shivananda, S., Compton, S., Mason, S., Kanesvaran, R. & Toh, Y.P. (2020). Combined Novice, Near-Peer, E-Mentoring Palliative Medicine Program: A Mixed Method Study In Singapore. *PLoS ONE*, 15,(6): e0234322.

Kumar. S. & Johnson, M. (2019). Online Mentoring Of Dissertations: The Role Of Structure And Support. *Studies In Higher Education*, 44(1), 59–71.

Kuzu, A., Kahraman, M. & Odabaşı H. F. (2012). Mentörlükte yeni bir yaklaşım: E-mentörlük. *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 12(4),173-183.

Ligadu, C., & Anthony, P. (2015). E-mentoring ‘MentorTokou’: Support For Mentors And Mentees During The Practicum. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 186, 410-415.

Mahayosnand, P.P., Zanders, L., Sabra, M.Z., Essa, S., Ahmed, S., Bermejo, D.M., Funmilayo, M., Sabra, D. M. & Ablay, S. 2021. E-Mentoring Female Underrepresented Public Health Student Researchers: Supporting a More Diverse Postpandemic Workforce. *Health Security*, 19(1).

Narmanlıoğlu, H. & Yeşilfidan, S., 2021. Uzaktan Eğitimde E-Mentorluk: Uygulama Geliştirilmesi. In: *Pandemi Sonrası Dönemde Açık Öğrenme Ve Uzaktan Eğitim* (Eds. Arslan, M.; Ömeroğlu, G.; Ata, A., Albayrak, M.) Atatürk Üniversitesi Yayınları.



Nash D., (2001). Enter the mentor. Parenting for High Potential, Routledge, 174-183 p.

Öngöz, S. (2019). Bilgisayar Ve Öğretim Teknolojileri Eğitimi Alanında Bir Elektronik Mentorluk Programının Planlanması, Uygulanması Ve Değerlendirilmesi. İnönü Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 20(2), 334-351.

Paçalı, 2019. Mentoring in Turkish Higher Education: A Proposal for a Bachelor's Degree. Çanakkale Onsekiz Mart University Institute of Education Sciences, Educational Administration and Supervision Department Educational Administration and Supervision, Master Thesis, 226p.

Palankök, N.Y. (2004). 'Kariyer Yönetimi Araçları Olarak Mentorluk ve Koçluk', Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İnsan Kaynakları Yönetimi ve Kariyer Danışmanlığı Anabilim Dalı Dönem Projesi.

Rouahi, N., Boucetta, N. & Boussaa, S. (2022). Exploratory study of an e-mentoring Professional Coaching model of novice midwives in Morocco. Pan African Medical Journal. 41(253).

Sanyal, C. & Rigby C. (2017). E-Mentoring As A HRD İntervention: An Exploratory Action Research Study Within An International Professional Mentoring Scheme. Human Resource Development International, 20:1, 18-36.

Sayın, V., Uluçınar Sağır, Ş. & Ermiş, M. (2021). Türkiye’de 2015-2020 Yılları Arasında Pedagojik Alan Bilgisi İle İlgili Lisansüstü Tezlerin İncelenmesi. Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi, 41(1), 379-413.

Sepet, T. (2020). Bilişim Teknolojileri Öğretmeni Adayları İçin Bir E-Mentorluk Uygulamasının Tasarlanması. Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Master's thesis, 124 s.

Shrestha, C.H., May, S., Edirisingha, P., Burke, L., & Linsey, T. (2009). From face-to-face to e-mentoring: does the “e” add any value for mentors? International Journal of Teaching and Learning in Higher Education, 20 (2), 116-124.

Single, P.B., & Single, R.M. (2005). E-mentoring for social equity: Review of research to inform program development. Mentoring and Tutoring, 13(2), 303-322.

Tinoco-Giraldo, H., Sánchez, E. & García-Peñalvo, F. (2022). E-Mentoring Pilot Program in Academic Internships: Effectiveness in Improving Participants’ Competencies Sustainability, 14, 4025.

Tisdell, C. C. & Shekhawat, G.S. (2019). An Applied e-Mentoring Model For Academic Development, Reflection And Growth. International Journal for the Scholarship of Teaching and Learning, 13,(2).

Watson, S. (2006). Virtual Mentoring in Higher Education: Teacher Education and Cyber- Connections. International Journal of Teaching and Learning in Higher, 18(3), 168-179.

Williams, S., Sunderman, J. & Kim, J. (2012). E-mentoring in an Online Course: Benefits and Challenges to E-mentors. International Journal of Evidence Based Coaching and Mentoring, 10(1), 109 p.



## DÜŞÜK PLASTİSİTELİ İNCE DANELİ ZEMİNLERİN OTURMA DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ – ZONGULDAK ÖRNEĞİ

### INVESTIGATION OF SETTLEMENT BEHAVIORS OF LOW PLASTICITY FINE GRAINED SOİLS – ZONGULDAK EXAMPLE

*Arş. Gör. Dilek Cansu BOZACIOĞLU*

*Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Merkez, Zonguldak.*

*Arş. Gör. Dr. Emrah DAĞLI*

*Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Merkez, Zonguldak.*

#### ÖZET

Bir yapının inşasından önce, yapı temelini stabilitesini kontrol ederken yapı temelinden zemine aktarılan taban basıncının zeminin taşıma gücü değerini aşmamasına ve yapıya büyük ölçüde zarar verecek boyutta oturmaya neden olmamasına dikkat edilir. Bu nedenle yapı temellerinin taşıma gücü hesapları yapılırken izin verilebilir oturma değerleri ile sınırlandırılmaları gerekmektedir. Yapılan araştırmalar, temel zemininde oluşan oturmaların üç ayrı grupta toplandığını belirtmektedir. Bunlar; ani oturma, birincil konsolidasyon oturması ve ikincil konsolidasyon oturmasıdır. Kaba daneli zeminlerde genellikle ani oturmalar meydana gelirken, ince daneli zeminlerde çoğunlukla konsolidasyon oturmaları meydana gelmektedir. Konsolidasyon oturması; suya doygun ince daneli zeminlerin boşluklarındaki suyun yavaşça dışarı çıkmasıyla gerçekleştiği için bu oturma zamana bağlı olarak gerçekleşmektedir. Konsolidasyon oturmasının miktarının ve süresinin hesaplanabilmesi için gerekli olan parametreler araziden alınan örselenmemiş numuneler üzerinde gerçekleştirilen 1 boyutlu ödometre deneyi ile elde edilir. Bununla beraber bu parametreler zemin indeks özelliklerini belirlemek için yapılan tanımlama deneyleri ile de elde edilebilir. Bu çalışmada; düşük plastisiteli killi zeminlerin laboratuvarında 1 boyutlu ödometre deneyi yapılmadan indeks özellikleri ile konsolidasyon parametreleri belirlenmiştir. Her bir zemin grubu dikdörtgen kesitli aynı yapı temeli altında meydana gelen oturma miktarları ve oturma zaman ilişkileri incelenmiştir. Konsolidasyon analizleri yapılırken yapının inşaat süresi 1 yıl olarak tanımlanmıştır. Bu zeminlerin indeks özellikleri, farklı zemin etüt firmalarınınca yapılan Zonguldak ili Merkez ve Çaycuma ilçelerinde bulunan farklı bölgelere ait zemin etüt raporlarından temin edilmiştir. Oturma analizlerinin sonucunda, en düşük oturma değeri 59,12 cm ve en yüksek oturma değeri 125,46 cm olarak elde edilmiştir. Ayrıca yapı inşası tamamlandıktan sonra %99 konsolidasyonun tamamlanması için geçen en az süre 2 yıl 9 ay iken en fazla süre ise 53 yıl olarak tespit edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** İnce Daneli Zemin, Oturma, Konsolidasyon, Oturma Süresi

#### ABSTRACT

Before the construction of a building, while controlling the stability of the foundation of the building, care should be taken into account that the base pressure transferred from the foundation of the building to the soil should not exceed the bearing capacity of the soil and should not cause settlement that would damage the structure. For this reason, when calculating the bearing capacity of the building foundations, they should be limited to the allowable settlement values. Studies show that the settlements occurred on the foundation soil are collected in three different groups. These are the immediate settlement, the primary consolidation settlement and the secondary consolidation settlement. While immediate settlements usually occur in coarse-grained soils, consolidation settlements mostly occur in fine-grained soils. Consolidation settlement takes place depending on time, as the water in the water-saturated fine-grained soils slowly comes out of the voids. The parameters required to calculate the amount and duration of consolidation settlement are obtained by a 1-dimensional oedometer test performed on



undisturbed samples taken from the field. However, these parameters can also be obtained by identification experiments to determine soil index properties. In this study; index properties and consolidation parameters of low plasticity clayey soils were determined without performing a 1-dimensional oedometer test in the laboratory. The amount of settlement and settlement time relations under the same rectangular cross-sectional building foundation for each soil group were examined. During the consolidation analysis, the construction period of the building was defined as 1 year. The index properties of these soils were obtained from the soil survey reports of different regions in the Central and Çaycuma districts of Zonguldak province, which were made by different soil survey companies. As a result of the settlement analysis, the lowest settlement value was 59.12 cm and the highest settlement value was 125.46 cm. In addition, the minimum time requirement for the completion of the 99% consolidation after the construction was determined as 2 years and 9 months while the maximum time requirement was 53 years.

**Keywords:** Fine Grained Soil, Settlement, Consolidation, Settlement Time

## GİRİŞ

Zemin üzerine bir yapı inşa edildikten sonra ortaya çıkabilecek en önemli problemlerden biri oturma miktarıdır. Yapının inşa aşamasında veya inşası tamamlandıktan sonra meydana gelebilecek zemin oturmaları büyük hasarlara neden olabilmektedir. Bu nedenle bir yapının inşaat faaliyetleri başlamadan önce oturma kontrolü yapılması gerekmektedir. Zeminlerin oturması ise 3 farklı şekilde gerçekleşmektedir. Bunlar ani oturma, birincil konsolidasyon oturması ve ikincil konsolidasyon oturmasıdır. Ani oturma yapının inşası tamamlanıncaya kadar gerçekleşmektedir. Ancak konsolidasyon oturması zamana bağlıdır ve yapının inşaatı tamamlandıktan sonra da devam etmektedir. İnşa edilen yapıların altındaki zemin ince daneli zemin grubunda ise zemin etüt çalışmaları sırasında konsolidasyon oturmasının miktarı ve oturmanın gerçekleştiği süre detaylı bir şekilde incelenmelidir.

Konsolidasyon oturmalarının hesaplanması için araziden alınan örselenmemiş numunelere laboratuvar ortamında gerçekleştirilen 1 boyutlu ödometre deneyi yapılması gerekmektedir. Bu deney sonucunda elde edilen gerilme-boşluk oranı ilişkisinden ön konsolidasyon basıncı, sıkışma indisi ve yeniden sıkışma indisi parametrelerine ulaşılmaktadır. Ayrıca geliştirilen çeşitli grafiksel yöntemlerle elde edilen deformasyon-zaman ilişkisiyle de oturma sürelerinin hesabı için gerekli olan konsolidasyon katsayısı elde edilir. Konsolidasyon oturmasının hesaplanması için uygun denkleme karar vermek için üzerindeki gerilme koşullarının da belirlenmesi gerekmektedir. Eğer zemin üzerindeki efektif gerilme ön konsolidasyon basıncına eşit ise oturma denklem 1 ile hesaplanır. Efektif gerilme ve yapıdan kaynaklanan yükler toplamı ön konsolidasyon basıncından küçük veya eşit ise oturma hesabı denklem 2 ile, efektif gerilme ön konsolidasyon basıncından küçük, ön konsolidasyon basıncı da efektif gerilme ve yapı yükünün toplamından küçük ise denklem 3 ile hesaplanır (Turhan, 2017).

$$S_c = \frac{H_t}{1+e_0} C_c \log \left( \frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma}{\sigma'_0} \right) \quad (1)$$

$$S_c = \frac{H_t}{1+e_0} C_r \log \left( \frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma}{\sigma'_0} \right) \quad (\sigma'_0 + \Delta\sigma \leq \sigma'_c \text{ için}) \quad (2)$$

$$S_c = \frac{H_t}{1+e_0} C_r \log \frac{\sigma'_c}{\sigma'_0} + \frac{H_t}{1+e_0} C_c \log \left( \frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma}{\sigma'_c} \right) \quad (\sigma'_0 < \sigma'_c < \sigma'_0 + \Delta\sigma \text{ için}) \quad (3)$$

Bu eşitliklerde  $e_0$  başlangıç boşluk oranı,  $H_t$  zemin tabakasının kalınlığı,  $C_c$  sıkışma indisi,  $C_r$  yeniden sıkışma indisi,  $\sigma'_0$  başlangıçtaki efektif gerilme,  $\sigma'_c$  ön konsolidasyon basıncı,  $\Delta\sigma$  yapıdan kaynaklanan gerilme artışıdır.

Ön konsolidasyon basıncı zemin tabakasının servis ömrü boyunca aldığı en yüksek gerilmedir. Ön konsolidasyon basıncının tespiti için laboratuvarda yapılan deneyler sonrasında boşluk oranı efektif gerilme ilişkisi üzerinde geliştirilen bir çok grafiksel yöntem mevcuttur. İlk olarak Casagrande (1936) tarafından geliştirilen yaklaşım en yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Bu yöntemin sonrasında kronolojik olarak Schmertman Yöntemi (1955), Butterfield Yöntemi (1979), Tavenas Yöntemi (1979), Janbu Yöntemi (1981) ve Şenol yöntemi (1997) geliştirilmiştir.



Sıkışma indisi laboratuvarında gerçekleştirilen 1 boyutlu ödometre deneyi ile elde edilen Casagrande (1936)'nın geliştirdiği yarı logaritmik ekseninde çizilen boşluk oranı efektif gerilme grafiklerinde bakır sıkışma indisinin eğimine eşittir. Bununla beraber yeniden sıkışma indisi de yeniden şişme eğrisinin eğimine eşittir. Ayrıca bu parametreler indeks özellikler ile de elde edilebilir. Literatürden elde edilmiş indeks özellikler ile sıkışma katsayısı ilişkilerinin bazıları Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Sıkışma İndisi Denklemleri

Denklem	Uygulanabilirlik	Referans
$C_c = 0.007(w_L - 10)$	Yeniden Oluşturulmuş Zeminler	Skempton, 1944
$C_c = 0.0046(w_L - 9)$	Brezilya Killeri	Cozzolino, 1961
$C_c = 0.009(w_L - 10)$	Normal Konsolide Killer	Terzaghi & Peck, 1967
$C_c = 0.006(w_L - 9)$	$w_L < 100$ olan tüm killer	Azzouz et. al., 1976
$C_c = 0.01(w_n - 5)$	Tüm killer	Azzouz et al., 1976
$C_c = 0.01(w_n)$	Tüm killer	Koppula, 1981
$C_c = 0.01(w_n - 7.549)$	Tüm killer	Herrero, 1983
$C_c = (0.575e_0 - 0.241)$	Fransız Killeri	Vidalie, 1977
$C_c = 0.20 + 0.000w_n$	Yumuşak Bangkok Kili	Adikari, 1977
$C_c = (0.0147w_L - 0.213)$	Fransız Killeri	Vidalie, 1977
$C_c = 0.0115(w_n)$	Organik silt ve killer	Bowles, 1989
$C_c = 1.15(e - e_0)$	Tüm killer	Nishida, 1956
$C_c = 0.29(e_0 - 0.27)$	İnorganik zeminler	Hough, 1957
$C_c = 0.75(e_0 - 0.50)$	Düşük plastisiteli killer	Sowers, 1970
$C_c = 0.156e_0 + 0.0107$	Tüm Zeminler	Bowles, 1989
$C_c = 0.5I_p G_s$	Tüm yeniden oluşturulmuş normal konsolide killer	Wroth and Wood, 1978
$C_c = 0.2237e_L$	Tüm yeniden oluşturulmuş normal konsolide killer	Nagaraj & Srinivasa Murthy, 1983
$C_c = 0.2343e_L$	Tüm yeniden oluşturulmuş normal konsolide killer	Nagaraj & Srinivasa Murthy, 1986
$C_c = 0.274e_L$	Kil - Kum karışımları	Nagaraj et. al., 1995

**Not:**  $C_c$  sıkıştırma indeksi,  $e$  belirli bir basınçta boşluk oranı,  $e_0$  başlangıç veya yerinde boşluk oranı,  $e_L$  likit limitte boşluk oranı,  $G_s$  özgül ağırlık,  $I_p$  plastisite indeksi,  $w_L$  likit limit,  $w_n$  doğal su içeriği

Sıkışma indisi oturma analizlerinde (Denklemler 1,2 ve 3) direkt olarak kullanılabilir. Ayrıca çeşitli çalışmalardan elde edilen veriler ışığında sıkışabilirlik hakkında bilgi verebilmektedir. Literatür araştırmalarından elde edilen bir örneği Tablo 2'de verilmiştir (Sovers,1979).





**Tablo 2.** Sıkışabilirlik Derecesi ve Sıkışabilirlik Katsayısı İlişkisi (Sowers,1979)

Tanım	Sıkışma İndisi ( $C_c$ )	Likit Limit (%)
Düşük Sıkışabilirlik	0.00 – 0.19	0-30
Orta Sıkışabilirlik	0.20 – 0.39	31-51
Yüksek Sıkışabilirlik	>0.40	>51

Literatür çalışmalarında 1 boyutlu ödometre deneyi gerçekleştirildikten sonra konsolidasyon katsayısı  $C_v$ 'nin hesaplanmasına ilişkin grafiksel ve hesaplamalı yöntemler mevcuttur. Bu grafiksel yöntemler farklı yaklaşımlar kullanmaktadır ve bu da konsolidasyon katsayısı değerlerinde sapmalara neden olmaktadır. Bu nedenle konsolidasyon katsayısı  $C_v$  için indeks özellikler ile geliştirilmiş bağıntılar mevcuttur. Bu denklemler Tablo 3'te sunulmuştur.

**Tablo 3.** Konsolidasyon Katsayısı  $C_v$  Denklemleri

Denklem	Uygulanabilirlik	Referans
$C_v = \frac{[9.09 \times 10^{-7} (1.192 + ACT^{-1})^{6.693} (4.135 LI + 1)^{4.29}]}{[PI (2.03 LI + 1.192 + ACT^{-1})^{7.993}]}$	Tüm Zeminler	Carrier III, 1985
$C_v = \left[ 1 + \left( e_L \left( 1.23 - 0.276 \log \frac{\sigma'}{e_L} \right) \right) x \left[ \left( \frac{1}{\sigma'^{0.353}} x 10^{-3} \right) \right] \right]$	Yeniden Oluşturulmuş killer	Raju vd., 1995
$C_v = \frac{1 + e_L (1.229 - 0.102 \ln \sigma_c) x \frac{(3.964 x 10^{-3}) x (\sigma')^{0.827}}{(\sigma_c)^{1.04}}}{e_L}$	Yeniden Oluşturulmuş killer	Raju vd., 1997
$C_v = \frac{3}{100(I_s)^{3.54}}$	Yeniden Oluşturulmuş killer	Siridharan & Nagaraj, 2004
$C_v = 10^8 w_L^{-6.759}$	Örselenmemiş numuneler	Solanki & Desai, 2008
$C_v = 4258 w_L^{-1.75}$	Örselenmemiş numuneler	Al-Tae vd, 2011
$C_v = 7.7525 I_p^{-3.1025}$	Örselenmemiş numuneler	Solanki, 2011
$C_v = 0.241 e^{-0.08 w_L}$	Örselenmemiş numuneler	Shaikh vd., 2014
$C_v = -4x10^{-9} w_L + 4x10^{-7}$	Örselenmemiş numuneler	Devi vd., 2015
$C_v = \frac{5.4 w_p}{3.54 SI} + 0.002$	Yeniden Oluşturulmuş killer	Jadhav, 2016
$C_v = 26.917 w_L - 2.57$	Yeniden Oluşturulmuş killer	Kassou vd., 2017
$C_v = 0.6155 - 0.08131 I_p$	Yeniden Oluşturulmuş killer	Kok Shien vd., 2018
$C_v = 0.451 + 0.011 w_L - 0.0367 I_p$		
$C_v = 1x10^{-9} I_p^{-0.35}$	Örselenmiş Doğal zeminler	Bello vd., 2019
$C_v = \frac{1.5x10^{-10}}{w_L^{1.053} (m_p^{1.247})}$	Yeniden Oluşturulmuş killer	Asadi vd., 2021

**Not:** ACT: Aktivite,  $w_L$ : Likit Limit, LI: Likidite İndisi,  $e_L$ : likit limitteki boşluk oranı,  $\sigma$ : efektif konsolidasyon basıncı,  $I_s$ : büzülme indisi,  $I_p$ : plastisite indisi,  $w_p$ : plastik limittir.

Konsolidasyon katsayısı  $C_v$  hesaplandıktan sonra %99 konsolidasyonu hesaplamak için Denklem 4 kullanılmaktadır. Bu denklemde yer alan drenaj yüksekliği; eğer drenaj çift yönlü ise tabaka kalınlığının yarısına eşit, drenaj tek yönlü ise tabaka kalınlığına eşittir.



$$t_{99} = \frac{1.781H_{dr}^2}{C_v} \quad (4)$$

Burada;  $t_{99}$  %99 konsolidasyonun tamamlanması için geçen süre,  $H_{dr}$  drenaj yüksekliği,  $C_v$  konsolidasyon katsayısıdır.

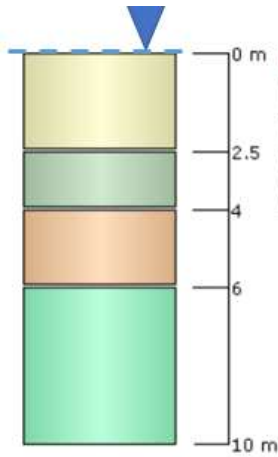
## YÖNTEM

Bu çalışmada, araştırma zemini olarak daha önceden zemin etüt çalışmaları yapılmış Zonguldak ili Çaycuma ilçesinin 6 farklı bölgesinden ve Merkez ilçenin 1 bölgesinden zemin örnekleri seçilmiştir. Zeminlere ait indeks özellikler zemin etüt çalışmaları içerisinde belirlenmiş olup oturma analizleri için de bu veriler kullanılmıştır. Oturma analizlerini gerçekleştirmek için gerekli olan konsolidasyon karakteristikleri indeks özellikler ile uygun denklemler kullanılarak hesaplanmış 1 boyutlu ödometre deneyleri yapılmamıştır. Tüm zeminlere ait indeks özellikler ve konsolidasyon karakteristikleri Tablo 4'te verilmiştir. Bu zeminler buldukları mahalle isimleri ile isimlendirilmiştir. Sıkışma katsayısı  $C_c$ 'yi hesaplamak için Tablo 1'de verilen Terzaghi & Peck (1967)'in denklemi kullanılmıştır. Çünkü oturma analizi hesaplarında tüm bu zeminler normal konsolide olarak kabul edilmiştir. Bununla beraber oturma sürelerini hesaplamak için gerekli olan konsolidasyon katsayısı ise, Tablo 3'te verilen Solanki & Desai (2008)'nin geliştirdiği denklem ile hesaplanmıştır.

**Tablo 4. Zemin Özellikleri**

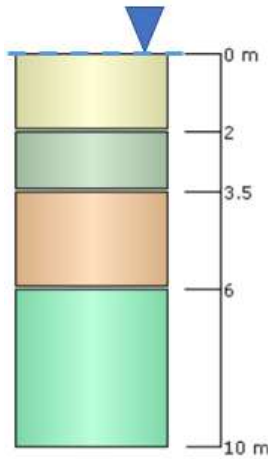
Numune Yeri	İsim	B.H.A. kN/m <sup>3</sup>	e <sub>0</sub>	w <sub>n</sub>	D.B.H.A kN/m <sup>3</sup>	C <sub>c</sub>	w <sub>L</sub>	w <sub>P</sub>	C <sub>v</sub> (cm <sup>2</sup> /sn)
Pehlivanlar Çaycuma	CL1	19.502	0.564	0.151	20.475	0.270	40	21	0.00148
	CL2	19.502	0.552	0.143	20.555	0.288	42	21	0.00107
	CL3	19.100	0.575	0.136	20.399	0.342	48	25	0.00043
	CL4	19.100	0.699	0.225	19.626	0.315	45	25	0.00067
	CL5	19.100	0.789	0.290	19.131	0.207	33	21	0.00545
Karamusa Çaycuma	CL1	18.904	0.606	0.146	20.195	0.279	41	24	0.00126
	CL2	18.904	0.625	0.160	20.072	0.297	43	23	0.00091
	CL3	18.600	0.653	0.161	19.900	0.306	44	25	0.00078
Çay Mah. Çaycuma	CL1	18.698	0.646	0.162	19.941	0.342	48	24	0.00043
	CL2	18.698	0.604	0.133	20.205	0.306	44	24	0.00078
	CL3	18.904	0.600	0.142	20.234	0.252	38	19	0.00210
	CL4	18.904	0.558	0.112	20.514	0.270	40	22	0.00148
	CL5	18.904	0.572	0.122	20.422	0.279	41	21	0.00126
	CL6	18.904	0.558	0.112	20.516	0.270	40	21	0.00148
Öteyüz Çaycuma	CL1	18.404	0.643	0.142	19.961	0.216	34	16	0.00445
	CL2	19.198	0.540	0.116	20.637	0.198	32	17	0.00671
	CL3	18.698	0.586	0.119	20.328	0.225	35	17	0.00366
Perşembe Çaycuma	CL1	16.726	0.872	0.182	18.720	0.339	48	22	0.00045
	CL2	17.413	0.813	0.192	19.008	0.302	44	20	0.00084
	CL3	17.795	0.823	0.225	18.959	0.282	41	18	0.00120
	CL4	16.854	0.871	0.191	18.723	0.345	48	24	0.00042
	CL5	16.726	0.872	0.182	18.720	0.336	47	21	0.00048
	CL6	17.530	0.794	0.187	19.106	0.349	49	23	0.00039
	CL7	17.413	0.813	0.192	19.008	0.351	49	23	0.00038
Yenimahalle Çaycuma	CL1	19.002	0.648	0.182	19.931	0.279	41	23	0.00126
	CL2	19.002	0.678	0.204	19.746	0.270	40	23	0.00148
	CL3	19.198	0.562	0.132	20.486	0.315	45	25	0.00067
Merkez	CL1	16.579	0.837	0.150	18.887	0.225	35	20	0.00366
	CL2	16.579	1.103	0.317	17.738	0.342	48	23	0.00043
	CL3	16.775	1.043	0.294	17.974	0.324	46	24	0.00058
	CL4	16.775	0.845	0.169	18.849	0.234	36	18	0.00303
	CL5	16.775	1.055	0.302	17.924	0.333	47	25	0.00050
	CL6	16.775	1.129	0.348	17.644	0.351	49	25	0.00038

Oturma hesaplarında kullanılan zemin tabakalarının kalınlığı ve yer altı suyunun seviyesi her bir zemin için ayrı ayrı olarak Şekil 1'de verilmiştir. Tüm zeminlerin yeraltı su seviyesi yüzeyde olacak şekilde kabul edilmiştir. Ayrıca tüm zemin profillerinde kil zeminlerin altında geçirimsizliği yüksek kumlu veya çakıllı zemin grupları mevcuttur. Ancak kaba daneli bu zemin gruplarında meydana gelecek ani oturmalar ihmal edilmiş sadece kil tabakalarındaki konsolidasyon oturmaları hesaplanmıştır.



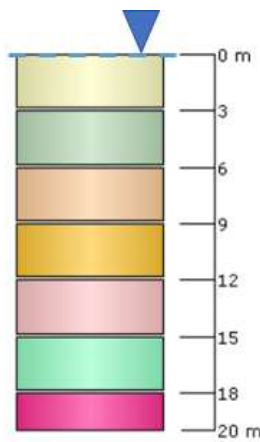
Name	Thickness
CL1	2.5
CL2	1.5
CL3	2
GW	4

Karamusa



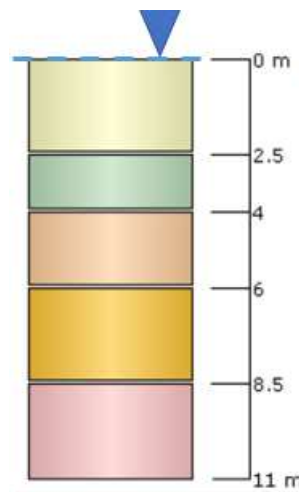
Name	Thickness
CL1	2
CL2	1.5
CL3	2.5
GW	4

Öteyüz



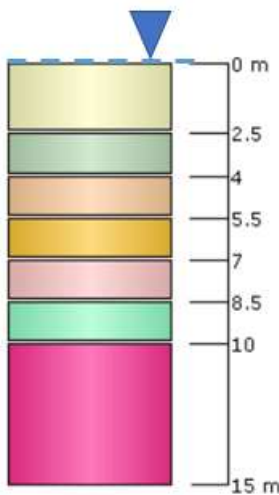
Name	Thickness
CL1	3
CL2	3
CL3	3
CL4	3
CL5	3
CL6	3
CL7	2

Perşembe



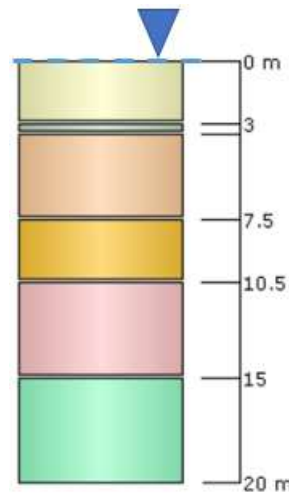
Name	Thickness
CL1	2.5
CL2	1.5
CL3	2
SM	2.5
GM	2.5

Yenimahalle



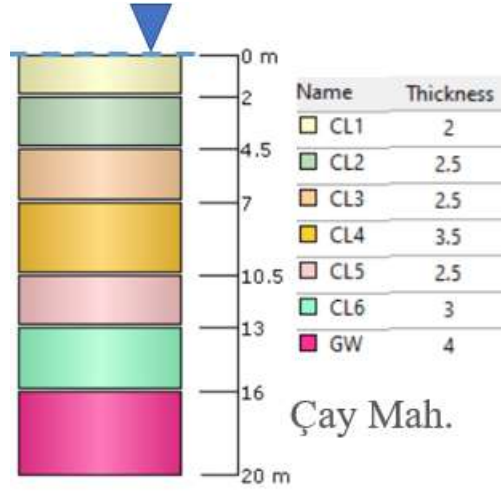
Name	Thickness
CL1	2.5
CL2	1.5
CL3	1.5
CL4	1.5
CL5	1.5
CL6	1.5
GW	5

Merkez



Name	Thickness
CL1	3
CL2	0.5
CL3	4
CL4	3
CL5	4.5
GW	5

Pehlivanlar



**Şekil 1.** Oturma Analizlerinde Kullanılan Zemin Profilleri

Oturma analizlerini gerçekleştirmek için Settle 3D v3.014 kullanılmıştır. Settle 3D düşey yükler altındaki konsolidasyon oturmasını hesaplar. Oturma, gerilme ve boşluk suyu basınç değerleri 3 boyutlu hacimde hesaplanabilir ve sonuçlar yatay veya düşey bir düzlemde ya da herhangi bir hat üzerinde gösterilebilir. Oturmada kaynaklanan deformasyon 3 boyutlu sunulabilir. Oturma analizleri için gerekli zemin parametreleri istenildiği gibi girilebilir veya programın kendi içerisinde yer alan örnek zeminlerin malzeme parametreleri de seçilebilir (Turhan,2017).

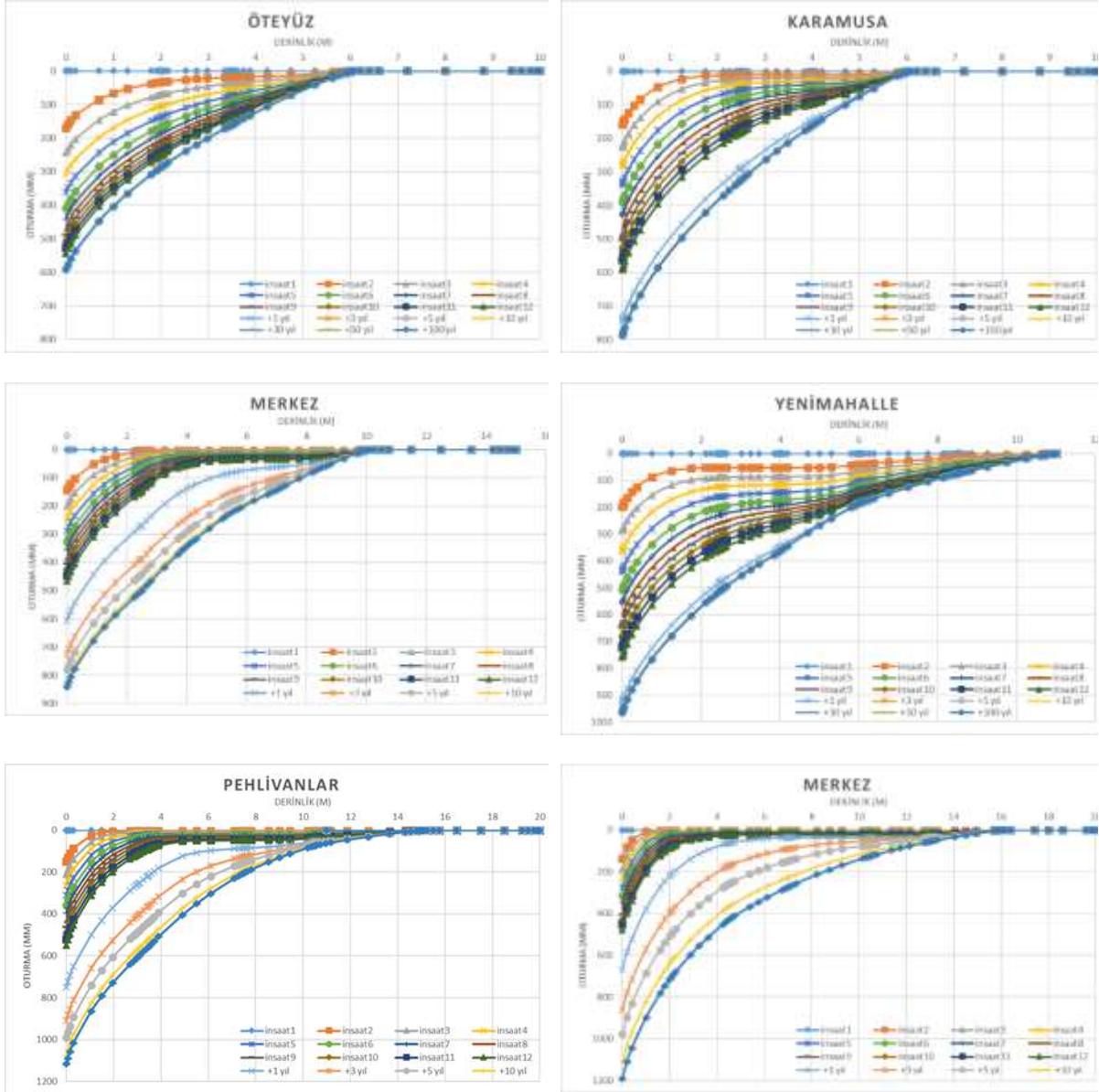
Zeminler normal konsolide olarak kabul edildiği için oturma analizlerinde yeniden sıkışma indisi hesaplanmamıştır. Oturma analizlerinde; Tablo 4'te bilgileri verilen zeminler üzerine taban basıncı 100kPa olan 20m x 15m'lik dikdörtgen kesitli yapı temeli kullanılmıştır. Yapı inşaa süresi 1 yıl olarak ön görülmüş ve zemin üst kotundaki taban basıncının zamana bağlı değişimi Tablo 5'te verilmiştir. Her bir zemin için aynı yapı temeli kullanılmıştır. Bu temelden kaynaklanan oturma miktarı ve %99 oturmanın gerçekleştiği sürenin değişimi elde edilmiştir.

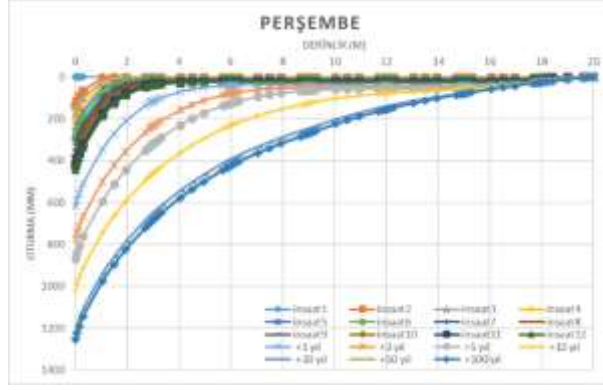
**Tablo 5.** Taban Basıncının İnşaat Süresiyle Değişimi

Zaman (ay)	Taban Basıncı (kPa)
1	20
2	30
3	40
4	50
5	60
6	65
7	70
8	75
9	80
10	85
11	90
12	100

## BULGULAR

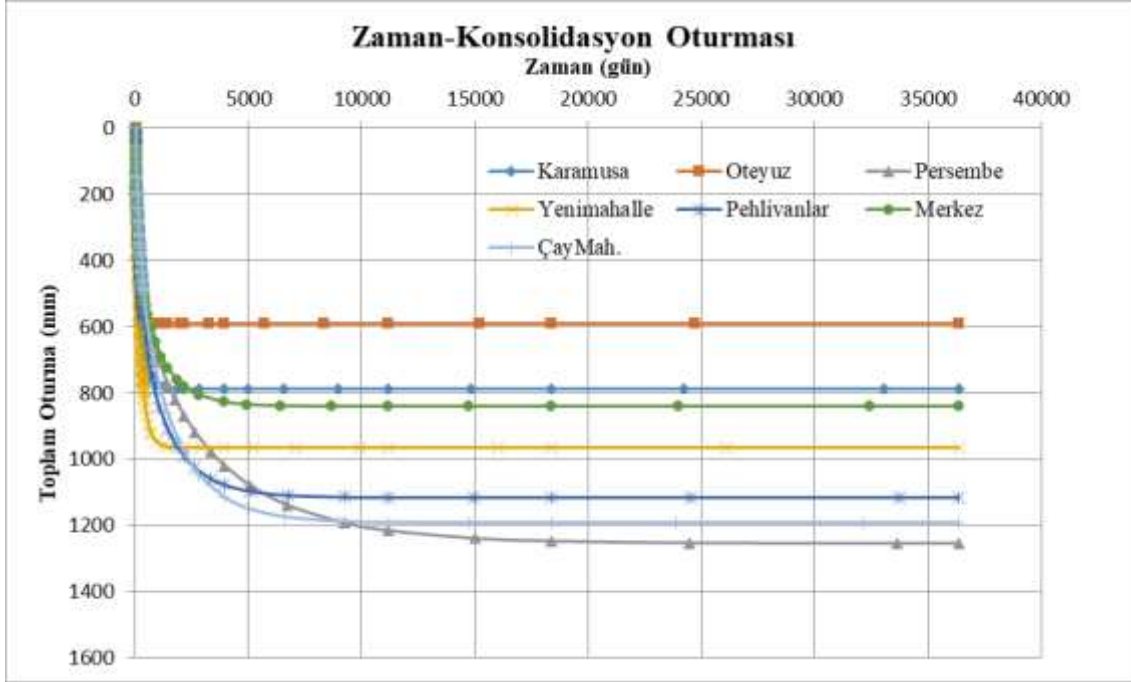
7 farklı zemin grubu üzerinde bulunan aynı yapı yükü altında gerçekleştirilen oturma hesapları sonucunda en düşük oturma miktarı 59.12 cm ile Öteyüz mahallesinde meydana gelmiştir. En yüksek oturma miktarı ise 125.46 cm ile Perşembe Mahallesinde meydana gelmiştir. Şekil 2’de tüm zeminlerin derinlik-oturma ve zaman ilişkileri verilmiştir. Ayrıca yapı inşası tamamlandıktan sonra %99 konsolidasyonun tamamlanması için geçen en az süre 2 yıl 9 ay iken en fazla süre ise 53 yıl olarak tespit edilmiştir.





Şekil 2. Derinlik ve Zamanla Oturmanın Değişimi

Tüm zemin gruplarının oturma-zaman ilişkisi Şekil 3'te verilmiştir. Bu grafikten anlaşıldığı üzere; tamamı düşük plastisiteli zemin grubunda olan bu zeminlerin aynı temel geometrisinde ve aynı taban basıncına sahip yükleme koşullarında hem oturma miktarları hem de oturma süreleri farklılık göstermiştir. Hatta oturmanın zaman ile olan değişim miktarları da her bir zemin grubu için farklı şekillerde gerçekleşmiştir.



Şekil 3. Zamanla Oturmanın Değişimi

### TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmanın amacı ince daneli zeminler üzerine yapılacak olan bir yapının inşaatının başlamasından önce gerekli tüm kontrollerin sağlanmasına ışık tutmaktır. Çünkü yapılacak projenin zemin etüt aşamalarında oturma analizleri 1 boyutlu ödometre deneyinin uzun zaman alması veya yapılan kabullerin gerçek arazi koşullarıyla tam olarak bağdaşmaması sebebiyle ön görülemeyen sonuçlar meydana getirebilmektedir.

Bu çalışmada kullanılan düşük plastisiteli doğal zeminlerin, teorik olarak seçilmiş 100 kPa taban basıncına sahip 20mx15m boyutlarında dikdörtgen temel altında konsolidasyon oturmaları gözlemlenmiştir. Yapılan gözlemler sonucunda tüm zeminler Tablo2'de yer alan sıkışabilirlik derecesi olarak orta sıkışabilirlikte olmalarına rağmen; aynı temel altında meydana gelen oturma miktarlarında 70 cm'ye yakın fark bulunmaktadır. Bununla beraber oturmanın çoğunun tamamlanması için geçen süre için ise yaklaşık olarak 50 yıl bir zaman farkı bulunmaktadır. Bu da günümüzdeki kabullere göre



betonarme bir yapının servis ömrü boyunca oturmasının tammalanmamış olabileceği anlamına gelmektedir. Bu da ilk başlarda oturma ile ilgili yapıda büyük sorunlar meydana getirmemiş görünse de ilerleyen zamanlarda problemlerin artabileceğini gösterir.

Oturma miktarlarındaki farklılıkların temel sebebi Denklem 1'den de anlaşıldığı gibi oturmayı etkileyen tek parametrenin sıkışma katsayısı olmamasıdır. Sıkışabilir zeminin tabaka kalınlığı, yer altı su seviyesinin derinliği ve üzerindeki gerilme durumu da oturma miktarını direkt olarak etkilemektedir.

Bu nedenle bir yapının tasarım aşamasında altındaki zeminin indeks özellikleri belirlendikten sonra; zeminin cinsine göre mevcut yapının inşaatından kaynaklanabilecek oturmaların daha detaylı analiz edilmesi gerekmektedir. Bu analizler yapılırken; gerekli parametreleri bulmak için gerçeğe en yakın bağıntıları kullanmak gerekmektedir. Böylece bir yapının servis ömrü boyunca gerekli stabilitesi sağlanmış olacaktır.

## KAYNAKLAR

Adikari, G.S.N., 1977. Statistical evaluation of strength and deformation characteristics of Bangkok clays, M.Sc. Thesis, Asian Institute of Technology, Bangkok.

Asadi R, Kayabali K, Balcı M C. (2021). Investigation of the coefficient of consolidation of fine-grained soils using combined apparatus. Bulletin of the Mineral Research and Exploration, 166:71-83

Asma Y. Al-Tae'e and Abbas F. Al- Ameri (2011). Estimation of Relation between Coefficient of Consolidation and Liquid Limit of Middle and South Iraqi Soils. Journal of Engineering. 17 (2):433-440.

Azzouz, A.S., Krizek, R.J., and Corotis, R.B. (1976). Regression analysis of soil compressibility. Soils and Foundations, 16(2):19–29.

Bello A A, Owoseni J O, Fatoyinbo I O. (2019). Evaluation of plasticity and consolidation characteristics of migmatite–gneiss-derived laterite soils. SN Applied Sciences,1:934.

Bowles, J.E. (1989). Physical and geotechnical properties of soils. New York: McGraw-Hill Book Company Inc..

Carrier III W. D., (1985). Consolidation Parameters Derived From Index Tests. Geotechnique 35(2): 211-213,

Cozzolino, V.M. (1961). Statistical forecasting of compression index. In Proceedings of the 5th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Paris, Vol. 1, pp. 51–53.

Devi, S. P., Devi, K. R., Prasad, D. S. V., & Raju, G. V. R. (2015). Study on consolidation and correlation with index properties of different soils in Manipur valley. International Journal of Engineering Research and Development. 11(5):57-63.

Herrero, O.R. (1983). Universal compression index equation; closure. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 109(5): 755–761.

Hough, B.K. (1957). Basic soils engineering. 1st ed. New York: The Ronald Press Company.

Jadhav P. G. (2016). Establishing Relationship Between Coefficient of Consolidation and Index Properties/Indices of Remolded Soil Samples, Int. J. Adv. Research in Sci. Eng. 5(12), 299-309

Kassou F, Benbouziyaneb J, Ghafiri A, Sabihi A. (2017). Settlements and Consolidation Rates under Embankments in a Soft Soil with Vertical Drains. International Journal of Engineering, 30(7): 972-980

Kok Shien N, Yee Ming C and Nur Izzati A L. (2018). Prediction of consolidation characteristics from index properties. E3S Web of Conferences. 65:1-5.

Koppula, S.D. (1981). Statistical estimation of compression index. Geotechnical Testing Journal, 4(2): 68–73.

Nagaraj, T.S., and Srinivasa Murthy, B.R. (1983). Rationalization of Skempton's compressibility equation. Géotechnique, 33(40):433–443.



- Nagaraj, T.S., and Srinivasa Murthy, B.R. (1986). A critical reappraisal of compression index equations. *Géotechnique*, 36(1):27–32.
- Nagaraj, T.S., Pandian, N.S., Narasimha Raju, P.S.R., and Vishnu Bhushan, T. (1995). Stress-state – time – permeability relationships for saturated soils. In *Proceedings of the International Symposium on Compression and Consolidation of Clayey Soils*, 10–12 May 1995, IS–Hiroshima, Japan, pp. 537–542.
- Nishida, Y. (1956). A brief note on compression index of soil. *Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE*, 82(3): 1–14.
- Raju, P S R N & Pandian, N S & Nagaraj, T S. (1995). Analysis and Estimation of the Coefficient of Consolidation. *Geotechnical Testing Journal*, 18: 252-258.
- Raju, P S R N & Pandian, N S & Nagaraj, T S. (1997). Determination of the coefficient of consolidation from independent measurements of permeability. *Proc. Instn Civ. Engrs Geotech. Engng*, 125: 224-229.
- Shaikh M, Ahsan MD. K and Molla MD. K A. (2014). Development of Strength and Compressibility Correlations of Cohesive Soils of Some Regions in Khulna City. *International Journal of Advanced Structures and Geotechnical Engineering*, 3(3):242-245
- Sridharan A & Nagaraj H B. (2004). Coefficient of Consolidation and its Correlation with Index Properties of Remolded Soils. *Geotechnical Testing Journal*. 27: 469-474.
- Skempton, A.W. (1944). Notes on compressibility of clays. *Quarterly Journal of the Geological Society, London*, 100(2): 119–135.
- Solanki C. H., (2011). Quick Settlement Computation of Shallow Foundation Using Soil Index and Plasticity Characteristics.” *Geotechnical conference*. 1-5.
- Solanki C H & Desai M D, (2008). Role Of Atterberg Limits On Time Rate Settlement Of Alluvial Deposits. *Journal Of Engineering and Technicali Sardar Patel University*. 21:12-15
- Sowers, G.B. (1970). *Introductory soil mechanics and foundations*. 3rd ed. London: MacMillan Company, Collier-MacMillan Limited.
- Sowers, G.F. (1979) . *Introductory Soil Mechanics and Foundations: Geotechnical Engineering*, 4th ed.,New York:New Age International Ltd. Publishers
- Terzaghi, K., and Peck, R.B. (1967). *Soil mechanics in engineering practice*. 2nd ed. New York.John Wiley and Sons, Inc.,
- Vidalie, J.F., (1977). Relations entre les proprietes physico-chimiques et les caracteristiques mecaniques des sols compressibles, Lab. Ponts Chauss, Rapport de Recherche, RR-65. France.
- Wroth, C.P., and Wood, D.M. (1978). The correlation of index properties with some basic engineering properties of soils. *Canadian Geotechnical Journal*, 15: 137–145.





# $g^{**}\beta$ -COMPACT AND $g^{**}\beta$ -LINDELOF TOPOLOGICAL SPACES

RAJA MOHAMMAD LATIF

Department of Mathematics and Natural Sciences

Prince Mohammad Bin Fahd University

Al Khobar, Kingdom of Saudi Arabia

ORCID NO: 0000-0003-3140-9581

## ABSTRACT

Most references on topological spaces seem to define a compact space in terms of open coverings of a space having finite sub coverings. Formally, we say that a collection of open sets  $\{U_i : i \in I\}$ , indexed by some set  $I$ , is an open covering of a topological space  $K$  if  $K \subseteq \bigcup_{i \in I} U_i$ . We define  $K$  to be compact if there exist finitely many open sets  $U_{i_1}, U_{i_2}, \dots, U_{i_n}$  in the open covering such that  $K \subseteq \bigcup_{j=1}^n U_{i_j}$ . There exists a number of equivalent definitions of a compact space, which we briefly mention here. A topological space  $K$  is compact if and only if  $K$  has the finite intersection property: if  $\{E_i : i \in I\}$  is a collection of a closed sets indexed by a set  $I$  such that, for any finite subset  $I_0 \subseteq I$ ,  $\bigcap_{i \in I_0} E_i \neq \emptyset$ , then  $\bigcap_{i \in I} E_i \neq \emptyset$ . Another equivalent definition is in terms of nets. A topological space  $K$  is compact if and only if every net  $(x_\alpha : \alpha \in \Lambda)$  in  $K$  has a convergent subnet. In 2014, Dr. T. Delcia and M. S. Thillai introduced a new kind of a closed set which is called a  $g^{**}\beta$ -closed set. Also, they studied and discussed some of its basic properties and compared  $g^{**}\beta$ -closed set with some other classes of sets. We will extend the concept of compactness via  $g^{**}\beta$ -open sets by introducing  $g^{**}\beta$ -compact spaces in topological spaces and will investigate its characterizations by making use of generalized mappings including  $g^{**}\beta$ -continuous functions and  $g^{**}\beta$ -irresolute functions. The objective of this paper is to introduce the new concepts called  $g^{**}\beta$ -compact space and  $g^{**}\beta$ -Lindelof space, countably  $g^{**}\beta$ -compact space, almost  $g^{**}\beta$ -compact space, and mildly  $g^{**}\beta$ -compact space in topological spaces and investigate fundamental properties and characterizations of these new notions of spaces in topological spaces.

**2020 AMS Subject Classification. Primary:** 54B05, 54D20, 54D30.

**Key Words and Phrases:** Topological space,  $g^{**}\beta$ -open set,  $g^{**}\beta$ -closed set,  $g^{**}\beta$ -compact space,  $g^{**}\beta$ -Lindelof space, countably  $g^{**}\beta$ -compact space, almost  $g^{**}\beta$ -compact space, mildly  $g^{**}\beta$ -compact space.

## 1. INTRODUCTION

The concept of supra topology was introduced by A. S. Mashhour et al [20] in the year 1983. They studied  $s$ -continuous functions and  $s^*$ -continuous functions. In 2008, R. Devi et al [9] introduced the concept of supra  $\alpha$ -open sets and supra  $\alpha$ -continuous mappings. Jamal M. Mustafa [24] studied supra  $b$ -compact and supra  $b$ -Lindelof spaces. Vidyarani et al [38] introduced the concept of supra  $N$ -compact, countably supra  $N$ -compact, supra  $N$ -Lindelof and investigated their relationships using the concept of continuity. In 2014, Dr. T. Delcia and M. S. Thillai [8] introduced a new kind of a



closed set which is called a  $g^{**}\beta$ -closed set. Also, they studied and discussed some of its properties and compared this new notion with some other classes of sets. We will extend the concept of compactness via  $g^{**}\beta$ -open sets by introducing  $g^{**}\beta$ -compact spaces in topological spaces and will investigate its characterizations by making use of generalized mappings including  $g^{**}\beta$ -continuous functions and  $g^{**}\beta$ -irresolute functions. The objective of this paper is to introduce the new concepts called  $g^{**}\beta$ -compact space and  $g^{**}\beta$ -Lindelof space, countably  $g^{**}\beta$ -compact space, almost  $g^{**}\beta$ -compact space, and mildly  $g^{**}\beta$ -compact space in topological spaces and investigate fundamental properties and characterizations of these new notions of spaces in topological spaces.

## 2. BASIC PROPERTIES AND APPLICATIONS OF $g^{**}\beta$ -OPEN SETS

In this section, we shall define the concept of  $g^{**}\beta$ -open set and determine its connection to the classical open set and characterize the concepts of  $g^{**}\beta$ -open sets.

**Definition 2.1.** A subset  $A$  of a topological space  $(X, \tau)$  is named *semi-open* set if  $A \subseteq Cl[Int(A)]$ . The complement of *semi-open* set is called *semi-closed* set.

The semi-closure of a subset  $A$  of  $X$  denoted by  $sCl(A)$  is defined to be the intersection of all semi-closed sets containing  $A$ . The semi-interior of  $A$  denoted by  $sInt(A)$  is defined to be the union of all semi-open sets contained in  $A$ .

**Definition 2.2.** A subset  $A$  of a topological space  $(X, \tau)$  is called a semi-generalized closed set (*briefly sg-closed set*) if  $sCl(A) \subseteq U$  whenever  $A \subseteq U$  and  $U$  is semi-open in  $X$ . The complement of *sg-closed* set is called *sg-open* set.

**Definition 2.3.** A subset  $A$  of a topological space  $(X, \tau)$  is called a generalized closed set (*briefly g-closed set*) if  $Cl(A) \subseteq U$  whenever  $A \subseteq U$  and  $U$  is open in  $X$ . The collection of all *g-closed* subsets of  $(X, \tau)$  is denoted by  $g-C(X, \tau)$ .

**Definition 2.4.** A subset  $A$  of a topological space  $(X, \tau)$  is called a generalized\* closed set (*briefly  $g^*$ -closed set*) if  $Cl(A) \subseteq U$  whenever  $A \subseteq U$  and  $U$  is  $g^*$ -open in  $X$ .

**Definition 2.5.** A subset  $A$  of a topological space  $(X, \tau)$  is called a  $g^*\beta$ -closed set if  $\beta Cl(A) \subseteq U$  whenever  $A \subseteq U$  and  $U$  is  $g^*$ -open in  $X$ .

**Definition 2.6.** A subset  $A$  of a topological space  $(X, \tau)$  is called a  $g^{**}\beta$ -closed set if  $gCl(A) \subseteq U$  whenever  $A \subseteq U$  and  $U$  is  $g^*\beta$ -open in  $X$ . The complement of a  $g^{**}\beta$ -closed set is called a  $g^{**}\beta$ -open set. The collection of all  $g^{**}\beta$ -closed ( $g^{**}\beta$ -open) subsets of  $(X, \tau)$  is denoted by  $g^{**}\beta-C(X, \tau)$  ( $g^{**}\beta-O(X, \tau)$ )



**Proposition 2.7.** Every closed set is  $g^{**\beta}$ -closed set.

**Proposition 2.8.** If  $A$  and  $B$  are  $g^{**\beta}$ -closed sets in  $X$ , then  $A \cup B$  is  $g^{**\beta}$ -closed in  $X$ .

**Proposition 2.9.** If  $A$  and  $B$  are  $g^{**\beta}$ -copen sets in  $X$ , then  $A \cap B$  is  $g^{**\beta}$ -copen set in  $X$ .

**Proposition 2.10.** If  $A$  and  $B$  are  $g^{**\beta}$ -closed sets in  $X$ , then  $A \cap B$  is  $g^{**\beta}$ -closed in  $X$ .

**Proposition 2.11.** If  $A$  and  $B$  are  $g^{**\beta}$ -copen sets in  $X$ , then  $A \cup B$  is  $g^{**\beta}$ -copen set in  $X$ .

**Definition 2.12.** Let  $(X, \tau)$  be a topological space and  $B \subseteq X$ . We define the  $g^{**\beta}$ -cclosure of  $B$  (briefly  $g^{**\beta}$ -Cl( $B$ )) to be the intersection of all  $g^{**\beta}$ -closed sets containing  $B$  which is denoted by  $g^{**\beta}$ -Cl( $B$ ) =  $\bigcap \{A : B \subseteq A \text{ and } A \in g^{**\beta}\text{-}C(X, \tau)\}$ . We note that  $g^{**\beta}$ -Cl( $B$ ) is the smallest  $g^{**\beta}$ -closed set containing  $B$ .

**Definition 2.13.** Let  $(X, \tau)$  be any topological space and  $B$  be a subset of  $X$ . A point  $p$  of  $X$  is called a  $g^{**\beta}$ -interior point of  $B$ , if there exists a  $g^{**\beta}$ -copen set  $G$  such that  $p \in G \subseteq B$ . The set of all  $g^{**\beta}$ -interior points of  $B$  is said to be  $g^{**\beta}$ -interior of  $B$  (briefly  $g^{**\beta}$ -Int( $B$ )) and it is defined by  $g^{**\beta}$ -Int( $B$ ) =  $\bigcup \{A : A \subseteq B \text{ and } A \in g^{**\beta}\text{-}O(X, \tau)\}$ .

**Definition 2.14.** Let  $\mathfrak{N}$  be a subset of a topological space  $(X, \tau)$  and let  $x \in X$ . We say that  $\mathfrak{N}$  is  $g^{**\beta}$ -neighborhood of  $x$ , if there is a  $g^{**\beta}$ -copen set  $U$  such that  $x \in U \subseteq \mathfrak{N}$ .

**Proposition 2.15.** If  $U$  and  $V$  are sets in a topological space  $(X, \tau)$ , then

- (1)  $g^{**\beta}$ -Int( $\phi$ ) =  $\phi$ .
- (2)  $g^{**\beta}$ -Int( $X$ ) =  $X$ .
- (3)  $g^{**\beta}$ -Int( $U$ )  $\subseteq$   $U$ .
- (4)  $U \subseteq V \Rightarrow g^{**\beta}$ -Int( $U$ )  $\subseteq$   $g^{**\beta}$ -Int( $V$ ).

**Proposition 2.16.** Let  $G$  be any subset of a topological space  $(X, \tau)$ . Then  $x \in g^{**\beta}$ -Cl( $A$ ) if and only if for every  $g^{**\beta}$ -open set  $U$  containing  $x$ ,  $U \cap G \neq \phi$ .

**Proposition 2.17.** For any subset  $U$  of topological space  $(X, \tau)$ ,  $g^{**\beta}$ -Int( $U$ )  $\subseteq$   $U \subseteq$   $g^{**\beta}$ -Cl( $U$ ).

**Definition 2.18.** Let  $A$  be a subset of a topological space  $(X, \tau)$ . A point  $x \in A$  is said to be a  $g^{**\beta}$ -limit point of  $A$  if for each  $g^{**\beta}$ -open set  $U$  containing  $x$ ,  $U \cap (A - \{x\}) \neq \phi$ . The set of all  $g^{**\beta}$ -limit points of  $A$  is called the  $g^{**\beta}$ -derived set of  $A$  and is denoted by  $g^{**\beta}$ -D( $A$ ).

**Theorem 2.19.** For any subset  $A$  of a topological space  $X$ ,  $g^{**\beta}$ -Cl( $A$ ) =  $A \cup [g^{**\beta}$ -D( $A$ )].



**Proof.** Since  $g^{**\beta} - D(A) \subseteq g^{**\beta} - Cl(A)$ .  $A \cup [g^{**\beta} - D(A)] \subseteq g^{**\beta} - Cl(A)$ . On the other hand, let  $x \in g^{**\beta} - Cl(A)$ . If  $x \in A$ , then the proof is complete. If  $x \notin A$ , each  $g^{**\beta}$ -open set  $U$  containing  $x$  intersects  $A$  at a point distinct from  $x$ , so  $x \in g^{**\beta} - D(A)$ . Thus,  $g^{**\beta} - Cl(A) \subseteq [A \cup (g^{**\beta} - D(A))]$ , which completes the proof.

**Corollary 2.20.** A subset  $A$  of a space  $X$  is  $g^{**\beta}$ -closed if and only if it contains the set of all of its  $g^{**\beta}$ -limit points.

**Theorem 2.21.** For subsets  $A, B$  of a space  $X$ , the following statements are true:

- (1)  $g^{**\beta} - Int(A)$  is the largest  $g^{**\beta}$ -open set contained in  $A$ ;
- (2)  $A$  is  $g^{**\beta}$ -open if and only if  $A = g^{**\beta} - Int(A)$ .
- (3)  $g^{**\beta} - Int[g^{**\beta} - Int(A)] = g^{**\beta} - Int(A)$ ;
- (4)  $g^{**\beta} - Int(A) = [A - (g^{**\beta} - D(X - A))]$ ;
- (5)  $[X - (g^{**\beta} - Cl(A))] = g^{**\beta} - Int(X - A)$ ;
- (6)  $[X - (g^{**\beta} - Int(A))] = g^{**\beta} - Cl(X - A)$ ;
- (7)  $[g^{**\beta} - Int(A)] \cup [g^{**\beta} - Int(B)] \subseteq g^{**\beta} - Int(A \cup B)$ ;
- (8)  $g^{**\beta} - Int(A \cap B) = [g^{**\beta} - Int(A)] \cap [g^{**\beta} - Int(B)]$ ;

**Proof.** (4) If  $x \in [A - (g^{**\beta} - D(X - A))]$ , then  $x \notin g^{**\beta} - D(X - A)$  and so there exists a  $g^{**\beta}$ -open set  $U$  containing  $x$  such that  $U \cap (X - A) = \emptyset$ . Then,  $x \in U \subseteq A$  and hence  $x \in g^{**\beta} - Int(A)$ , that is,  $[A - (g^{**\beta} - D(X - A))] \subseteq g^{**\beta} - Int(A)$ . On the other hand, if  $x \in g^{**\beta} - Int(A)$ , then  $x \notin g^{**\beta} - D(X - A)$  since  $g^{**\beta} - Int(A)$  is  $g^{**\beta}$ -open and  $[(g^{**\beta} - Int(A)) \cap (X - A)] = \emptyset$ . Hence,  $g^{**\beta} - Int(A) = [A - (g^{**\beta} - D(X - A))]$ .

(6)  $X - [g^{**\beta} - Int(A)] = X - [A - (g^{**\beta} - D(X - A))] = (X - A) \cup [g^{**\beta} - D(X - A)] = g^{**\beta} - Cl(X - A)$ .

**Theorem 2.22.** Let  $(X, \tau)$  be a topological space and  $A, B \subseteq X$ . Then the following statements are true:

- (1)  $x \in g^{**\beta} - Cl(A)$  if and only if for every  $g^{**\beta}$ -open subset  $U$  containing  $x$ ,  $U \cap A \neq \emptyset$ .
- (2)  $A \subseteq B$  implies that  $g^{**\beta} - Cl(A) \subseteq g^{**\beta} - Cl(B)$ .
- (3)  $A$  is  $g^{**\beta}$ -closed if and only if  $g^{**\beta} - Cl(A) = A$ .



- (4)  $g^{**\beta} - Cl[g^{**\beta} - Cl(A)] = g^{**\beta} - Cl(A)$ .
- (5)  $[g^{**\beta} - Cl(A)] \cup [g^{**\beta} - Cl(B)] = g^{**\beta} - Cl(A \cup B)$ .
- (6)  $g^{**\beta} - Int(X - A) = X - [g^{**\beta} - Cl(A)]$ .
- (7)  $g^{**\beta} - Cl(X - A) = X - [g^{**\beta} - Int(A)]$ .

**Definition 2.23.**  $g^{**\beta} - Bd(A) = A - [g^{**\beta} - Int(A)]$  is said to be the  $g^{**\beta}$ -border of  $A$ .

**Theorem 2.24.** For a subset  $A$  of a space  $X$ , the following statements hold:

- (1)  $Bd(A) \subseteq g^{**\beta} - Bd(A)$  where  $Bd(A)$  denotes the border of  $A$ ;
- (2)  $A = g^{**\beta} - Int(A) \cup g^{**\beta} - Bd(A)$ ;
- (3)  $[g^{**\beta} - Int(A)] \cap [g^{**\beta} - Bd(A)] = \phi$ ;
- (4)  $A$  is a  $g^{**\beta}$ -open set if and only if  $g^{**\beta} - Bd(A) = \phi$ ;
- (5)  $g^{**\beta} - Bd[g^{**\beta} - Int(A)] = \phi$ ;
- (6)  $g^{**\beta} - Int[g^{**\beta} - Bd(A)] = \phi$ ;
- (7)  $g^{**\beta} - Bd[g^{**\beta} - Bd(A)] = g^{**\beta} - Bd(A)$ ;
- (8)  $g^{**\beta} - Bd(A) = A \cap [g^{**\beta} - Cl(X - A)]$ ;
- (9)  $g^{**\beta} - Bd(A) = g^{**\beta} - D(X - A)$ .

**Proof.** (6) If  $x \in g^{**\beta} - Int[g^{**\beta} - Bd(A)]$ , then  $x \in g^{**\beta} - Bd(A)$ . On the other hand, since  $g^{**\beta} - Bd(A) \subseteq A$ ,  $x \in g^{**\beta} - Int[g^{**\beta} - Bd(A)] \subseteq g^{**\beta} - Int(A)$ . Therefore, we get  $x \in [g^{**\beta} - Int(A)] \cap [g^{**\beta} - Bd(A)]$ , which contradicts (3). Thus,  $g^{**\beta} - Int[g^{**\beta} - Bd(A)] = \phi$ .

$$(8) \quad g^{**\beta} - Bd(A) = A - [g^{**\beta} - Int(A)] = A - [X - (g^{**\beta} - Cl(X - A))] = A \cap [g^{**\beta} - Cl(X - A)].$$

$$(9) \quad g^{**\beta} - Bd(A) = A - [g^{**\beta} - Int(A)] = A - [A - (g^{**\beta} - D(X - A))] = g^{**\beta} - D(X - A).$$

**Definition 2.25.**  $g^{**\beta} - Fr(A) = [g^{**\beta} - Cl(A)] - [g^{**\beta} - Int(A)]$  is said to be the  $g^{**\beta}$ -frontier of  $A$ .

**Theorem 2.26.** For a subset  $A$  of a space  $X$ , the following statements hold:

- (1)  $Fr(A) \subseteq g^{**\beta} - Fr(A)$  where  $Fr(A)$  denotes the frontier of  $A$ ;
- (2)  $g^{**\beta} - Cl(A) = [g^{**\beta} - Int(A)] \cup [g^{**\beta} - Fr(A)]$ ;



$$(3) [g^{**\beta} - Int(A)]I [g^{**\beta} - Fr(A)] = \phi;$$

$$(4) g^{**\beta} - Bd(A) \subseteq g^{**\beta} - Fr(A);$$

$$(5) g^{**\beta} - Fr(A) = [g^{**\beta} - Bd(A)] \cup [g^{**\beta} - D(A)];$$

$$(6) A \text{ is a } g^{**\beta} - \text{open set if and only if } g^{**\beta} - Fr(A) = g^{**\beta} - D(A);$$

$$(7) g^{**\beta} - Fr(A) = [g^{**\beta} - Cl(A)]I [g^{**\beta} - Cl(X - A)];$$

$$(8) g^{**\beta} - Fr(A) = g^{**\beta} - Fr(X - A);$$

$$(9) g^{**\beta} - Fr(A) \text{ is } g^{**\beta} - \text{closed};$$

$$(10) g^{**\beta} - Fr[g^{**\beta} - Fr(A)] \subseteq g^{**\beta} - Fr(A);$$

$$(11) g^{**\beta} - Fr[g^{**\beta} - Int(A)] \subseteq g^{**\beta} - Fr(A);$$

$$(12) g^{**\beta} - Fr[g^{**\beta} - Cl(A)] \subseteq g^{**\beta} - Fr(A);$$

$$(13) g^{**\beta} - Int(A) = A - [g^{**\beta} - Fr(A)].$$

**Proof.** (2)  $[g^{**\beta} - Int(A)] \cup [g^{**\beta} - Fr(A)] =$   
 $g^{**\beta} - Int(A) \cup [g^{**\beta} - Cl(A) - g^{**\beta} - Int(A)] = g^{**\beta} - Cl(A)$

$$(3) [g^{**\beta} - Int(A)]I [g^{**\beta} - Fr(A)] =$$

$$[g^{**\beta} - Int(A)]I [(g^{**\beta} - Cl(A)) - (g^{**\beta} - Int(A))] = \phi.$$

$$(5) \text{ Since } [g^{**\beta} - Int(A)] \cup [g^{**\beta} - Fr(A)] =$$

$$[g^{**\beta} - Int(A)] \cup [g^{**\beta} - Bd(A)] \cup [g^{**\beta} - D(A)],$$

$$g^{**\beta} - Fr(A) = [g^{**\beta} - Bd(A)] \cup [g^{**\beta} - D(A)].$$

$$(7) g^{**\beta} - Fr(A) = [g^{**\beta} - Cl(A)] - [g^{**\beta} - Int(A)] =$$

$$[g^{**\beta} - Cl(A)]I [g^{**\beta} - Cl(X - A)].$$

$$(9) g^{**\beta} - Cl[g^{**\beta} - Fr(A)] = g^{**\beta} - Cl[(g^{**\beta} - Cl(A))I (g^{**\beta} - Cl(X - A))] \subseteq$$

$$g^{**\beta} - Cl[g^{**\beta} - Cl(A)]I g^{**\beta} - Cl[g^{**\beta} - Cl(X - A)]$$

$$= [g^{**\beta} - Cl(A)]I [g^{**\beta} - Cl(X - A)] = g^{**\beta} - Fr(A). \text{ Hence } g^{**\beta} - Fr(A) \text{ is } g^{**\beta} - \text{closed}.$$

$$(10) g^{**\beta} - Fr[g^{**\beta} - Fr(A)] =$$

$$g^{**\beta} - Cl[g^{**\beta} - Fr(A)]I g^{**\beta} - Cl[X - (g^{**\beta} - Fr(A))] \subseteq$$

$$g^{**\beta} - Cl[g^{**\beta} - Fr(A)] = g^{**\beta} - Fr(A).$$



$$(12) \mathfrak{g}^{**\beta}\text{-Fr}[\mathfrak{g}^{**\beta}\text{-Cl}(A)] = \mathfrak{g}^{**\beta}\text{-Cl}[\mathfrak{g}^{**\beta}\text{-Cl}(A)] - \mathfrak{g}^{**\beta}\text{-Int}[\mathfrak{g}^{**\beta}\text{-Cl}(A)] = \\ [\mathfrak{g}^{**\beta}\text{-Cl}(A)] - [\mathfrak{g}^{**\beta}\text{-Int}(\mathfrak{g}^{**\beta}\text{-Cl}(A))] \subseteq \\ [(\mathfrak{g}^{**\beta}\text{-Cl}(A)) - (\mathfrak{g}^{**\beta}\text{-Int}(A))] = \mathfrak{g}^{**\beta}\text{-Fr}(A).$$

$$(13) A - [\mathfrak{g}^{**\beta}\text{-Fr}(A)] = A - [(\mathfrak{g}^{**\beta}\text{-Cl}(A)) - (\mathfrak{g}^{**\beta}\text{-Int}(A))] = \mathfrak{g}^{**\beta}\text{-Int}(A).$$

**Definition 2.27.** A subset  $A$  of a topological space  $(X, \tau)$  is called a  $\mathfrak{g}^{**\beta}$ -neighbourhood of a point  $x$  in  $X$  if there exists a  $\mathfrak{g}^{**\beta}$ -open set  $U$  in  $X$  such that  $x \in U \subseteq A$ .

The set of all  $\mathfrak{g}^{**\beta}$ -neighbourhoods of an element  $x$  in  $X$  will be denoted by:  $\mathfrak{g}^{**\beta}\text{-}N_x = \mathfrak{g}^{**\beta}\text{-}N_x(X) = \{A \subseteq X : A \text{ is a } \mathfrak{g}^{**\beta}\text{-neighbourhood of } x\}$ .

**Proposition 2.28.** A subset  $A$  of a topological space  $(X, \tau)$  is  $\mathfrak{g}^{**\beta}$ -open if and only if it is a  $\mathfrak{g}^{**\beta}$ -neighbourhood of each of its points.

**Proof.** If  $A$  is  $\mathfrak{g}^{**\beta}$ -open in  $X$ , then  $x \in A \subseteq A$  for each  $x \in A$ . Thus  $A$  is a  $\mathfrak{g}^{**\beta}$ -neighbourhood of each of its points. Conversely, suppose that  $A$  is a  $\mathfrak{g}^{**\beta}$ -neighbourhood of each of its points. Then for each  $x \in A$ , there exists a  $\mathfrak{g}^{**\beta}$ -open set  $U_x$  in  $X$  such that  $x \in U_x \subseteq A$ . Hence  $\bigcup_{x \in A} U_x \subseteq A$ . Since  $A \subseteq \bigcup_{x \in A} U_x$ , therefore  $A = \bigcup_{x \in A} U_x$ . Thus  $A$  is a  $\mathfrak{g}^{**\beta}$ -open set in  $X$ , since it is a union of  $\mathfrak{g}^{**\beta}$ -open sets.

**Definition 2.29.** A mapping  $f : (X, \tau) \rightarrow (Y, \sigma)$  is called  $\mathfrak{g}^{**\beta}$ -irresolute at a point  $x \in X$  if for all  $\mathfrak{g}^{**\beta}$ -open subsets  $V$  in  $Y$  containing  $f(x)$ , there is a  $\mathfrak{g}^{**\beta}$ -open subset  $U$  of  $X$  such that  $x \in U$  and  $f(U)$  is a subset of  $V$ . The function  $f$  will be called  $\mathfrak{g}^{**\beta}$ -irresolute if  $f$  is  $\mathfrak{g}^{**\beta}$ -irresolute at each point  $x \in X$ .

**Theorem 2.30.** Let  $f : (X, \tau) \rightarrow (Y, \sigma)$  be a function. Then the following statements are equivalent.

- (1)  $f$  is  $\mathfrak{g}^{**\beta}$ -irresolute.
- (2) For each  $x \in X$  and each  $\mathfrak{g}^{**\beta}$ -neighbourhood  $V$  of  $f(x)$  in  $Y$ , there is a  $\mathfrak{g}^{**\beta}$ -neighbourhood  $U$  of  $x$  such that  $f(U) \subseteq V$ .
- (3) The inverse image of every  $\mathfrak{g}^{**\beta}$ -closed subset of  $Y$  is a  $\mathfrak{g}^{**\beta}$ -closed subset of  $X$ .
- (4) The inverse image of every  $\mathfrak{g}^{**\beta}$ -open subset of  $Y$  is a  $\mathfrak{g}^{**\beta}$ -open subset of  $X$ .

**Definition 2.31.** A function  $f : (X, \tau) \rightarrow (Y, \sigma)$  is called  $\mathfrak{g}^{**\beta}$ -continuous if  $f^{-1}(V)$  is  $\mathfrak{g}^{**\beta}$ -open set in  $X$  for every open set  $V$  in  $Y$ .

**Proposition 2.32.** A function  $f : (X, \tau) \rightarrow (Y, \sigma)$  is called  $\mathfrak{g}^{**\beta}$ -continuous if and only if  $f^{-1}(V)$  is  $\mathfrak{g}^{**\beta}$ -closed set in  $X$  for every closed set  $V$  in  $Y$ .



**Definition 2.33.** A function  $f : (X, \tau) \rightarrow (Y, \sigma)$  is called *Pre-g\*\* $\beta$ -open* if and only if the image set  $f(U)$  is *g\*\* $\beta$ -open* set in  $Y$  for every *g\*\* $\beta$ -open* set  $U$  in  $X$ .

**Proposition 2.34.** A bijection function  $f : (X, \tau) \rightarrow (Y, \sigma)$  is called *g\*\* $\beta$ -homeomorphism* if  $f$  is *pre-g\*\* $\beta$ -open* and *g\*\* $\beta$ -irreseolute*.

**Definition 2.35.** A function  $f : (X, \tau) \rightarrow (Y, \sigma)$  is called perfectly *g\*\* $\beta$ -continuous* if the inverse image  $f^{-1}(V)$  of every *g\*\* $\beta$ -open* set  $V$  of  $Y$  is both open and closed in  $X$ .

**Definition 2.36.** A function  $f : (X, \tau) \rightarrow (Y, \sigma)$  is called strongly *g\*\* $\beta$ -continuous* if the inverse image  $f^{-1}(V)$  of every *g\*\* $\beta$ -open*  $V$  in  $Y$  is open in  $X$ .

### 3. g\*\* $\beta$ -COMPACT SPACES

**Definition 3.1.** A collection  $\{A_i : i \in I\}$  of *g\*\* $\beta$ -open* sets in a topological space  $(X, \tau)$  is called a *g\*\* $\beta$ -open* cover of a subset  $B$  of  $X$  if  $B \subseteq \bigcup \{A_i : i \in I\}$  holds.

**Definition 3.2.** A topological space  $(X, \tau)$  is called *g\*\* $\beta$ -compact* if every *g\*\* $\beta$ -open* cover of  $X$  has a finite subcover.

**Definition 3.3.** A subset  $B$  of a topological space  $(X, \tau)$  is said to be *g\*\* $\beta$ -compact* relative to  $(X, \tau)$  if, for every collection  $\{A_i : i \in I\}$  of *g\*\* $\beta$ -open* subsets of  $X$  such that  $B \subseteq \bigcup \{A_i : i \in I\}$ , there exists a finite subset  $I_0$  of  $I$  such that  $B \subseteq \bigcup \{A_i : i \in I_0\}$ .

**Definition 3.4.** A subset  $B$  of a topological space  $(X, \tau)$  is said to be *g\*\* $\beta$ -compact* if  $B$  is *g\*\* $\beta$ -compact* as a subspace of  $X$ .

**Definition 3.5.** Every *g\*\* $\beta$ -compact* space is compact.

**Proof.** Let  $\{A_i : i \in I\}$  be an open cover of  $(X, \tau)$ . Since every open set in  $X$  is *g\*\* $\beta$ -open* in  $X$ . So  $\{A_i : i \in I\}$  is a *g\*\* $\beta$ -open* cover of  $(X, \tau)$ . Since  $(X, \tau)$  is *g\*\* $\beta$ -compact*, *g\*\* $\beta$ -open* cover  $\{A_i : i \in I\}$  of  $(X, \tau)$  has a finite sub cover say  $\{A_i : i = 1, 2, 3, \dots, n\}$  for  $X$ . Hence  $(X, \tau)$  is a compact space.

**Definition 3.6.** Every *g\*\* $\beta$ -closed* subset of a *g\*\* $\beta$ -compact* space  $(X, \tau)$  is *g\*\* $\beta$ -compact* relative to  $X$ .

**Proof.** Let  $A$  be a *g\*\* $\beta$ -closed* subset of a topological space  $(X, \tau)$ . Then  $A^c$  is *g\*\* $\beta$ -open* in  $(X, \tau)$ . Let  $\Gamma = \{A_i : i \in I\}$  be a *g\*\* $\beta$ -open* cover of  $A$  by *g\*\* $\beta$ -open* subsets of  $(X, \tau)$ . Then  $\Gamma^* = \Gamma \cup \{A^c\}$  is a *g\*\* $\beta$ -open* cover of  $(X, \tau)$ . That is  $X = \left(\bigcup_{i \in I} A_i\right) \cup A^c$ . By hypothesis,  $(X, \tau)$  is a *g\*\* $\beta$ -compact* space and hence  $\Gamma^*$  is reducible to a finite subcover of  $(X, \tau)$  say  $X = \left(\bigcup_{i \in I_0} A_i\right) \cup A^c$  for some finite subset  $I_0$  of  $I$ . But  $A$  and  $A^c$  are disjoint. Hence





$A \subseteq \bigcup \{A_i : i \in I_0\}$ . Thus  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -open cover  $\Gamma = \{A_i : i \in I\}$  of  $A$  contains a finite subcover. Hence  $A$  is  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact relative to  $(X, \tau)$ .

**Theorem 3.7.** A  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -continuous image of a  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact space is compact.

**Proof.** Let  $f : (X, \tau) \rightarrow (Y, \sigma)$  be a  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -continuous mapping from a  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact topological space  $(X, \tau)$  onto a topological space  $(Y, \sigma)$ . Let  $\Gamma = \{A_i : i \in I\}$  be an open cover of  $Y$ . Therefore  $f^{-1}(\Gamma) = \{f^{-1}(A_i) : i \in I\}$  is a  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -open cover of  $X$ , as  $f$  is  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -continuous. Since  $X$  is  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact, the  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -open cover  $f^{-1}(\Gamma) = \{f^{-1}(A_i) : i \in I\}$  of  $X$ , has a finite subcover say  $\{f^{-1}(A_i) : i = 1, 2, 3, \dots, n\}$ . Therefore  $X = \bigcup_{i=1}^n f^{-1}(A_i)$ , which implies  $Y = f(X) = \bigcup_{i=1}^n A_i$ . That is  $\{A_i : i = 1, 2, 3, \dots, n\}$  is a finite subcover of  $\Gamma = \{A_i : i \in I\}$ . Hence  $(Y, \sigma)$  is compact.

**Theorem 3.8.** Suppose that a function  $f : (X, \tau) \rightarrow (Y, \sigma)$  is  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -irresolute and a subset  $S$  of  $X$  is  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact relative to  $(X, \tau)$ , then the image  $f(S)$  is  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact relative to  $(Y, \sigma)$ .

**Proof.** Let  $\Gamma = \{A_i : i \in I\}$  be a collection of  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -open subsets of  $(Y, \sigma)$ , such that  $f(S) \subseteq \bigcup \{A_i : i \in I\}$ . Since  $f$  is  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -irresolute. So  $S \subseteq \bigcup \{f^{-1}(A_i) : i \in I\}$ , where  $\{f^{-1}(A_i) : i \in I\} \subseteq \mathfrak{g}^{**}\beta$ -O $(X, \tau)$ . Since  $S$  is  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact relative to  $(X, \tau)$ , there exists a finite sub collection  $\{f^{-1}(A_1), f^{-1}(A_2), \dots, f^{-1}(A_n)\}$  such that  $S \subseteq \bigcup \{f^{-1}(A_1), f^{-1}(A_2), \dots, f^{-1}(A_n)\}$ . That is  $f(S) \subseteq \bigcup \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ . Hence  $f(S)$  is  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact relative to  $(Y, \sigma)$ .

**Theorem 3.9.** Suppose that a mapping  $f : (X, \tau) \rightarrow (Y, \sigma)$  is strongly  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -continuous mapping from a compact space  $(X, \tau)$  onto a topological space  $(Y, \sigma)$ . Then  $(Y, \sigma)$  is  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact.

**Proof.** Let  $\{A_i : i \in I\}$  be a  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -open cover of  $(Y, \sigma)$ . Since  $f$  is strongly  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -continuous,  $\{f^{-1}(A_i) : i \in I\}$  is an open cover of  $(X, \tau)$ . Again, since  $(X, \tau)$  is compact, the open cover  $\{f^{-1}(A_i) : i \in I\}$  of  $(X, \tau)$  has a finite sub cover say  $\{f^{-1}(A_i) : i = 1, 2, 3, \dots, n\}$ . Therefore  $X = \bigcup \{f^{-1}(A_i) : i = 1, 2, 3, \dots, n\}$ , which implies  $f(X) = \bigcup \{A_i : i = 1, 2, 3, \dots, n\}$ , so that  $Y = \bigcup \{A_i : i = 1, 2, 3, \dots, n\}$ . Thus  $\{A_1, A_2, \dots, A_n\}$  is a finite subcover of  $\{A_i : i \in I\}$  for  $(Y, \sigma)$ . Hence  $(Y, \sigma)$  is  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact.

**Theorem 3.10.** Suppose that a mapping  $f : (X, \tau) \rightarrow (Y, \sigma)$  is perfectly  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -continuous mapping from a compact space  $(X, \tau)$  onto a topological space  $(Y, \sigma)$ . Then  $(Y, \sigma)$  is  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact.



**Proof.** Let  $\{A_i : i \in I\}$  be a  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -open cover of  $(Y, \sigma)$ . Since  $f$  is perfectly  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -continuous,  $\{f^{-1}(A_i) : i \in I\}$  is an open cover of  $(X, \tau)$ . Again, since  $(X, \tau)$  is compact, the open cover  $\{f^{-1}(A_i) : i \in I\}$  of  $(X, \tau)$  has a finite sub cover say  $\{f^{-1}(A_i) : i = 1, 2, 3, \dots, n\}$ . Therefore  $X = \bigcup \{f^{-1}(A_i) : i = 1, 2, 3, \dots, n\}$ , which implies  $f(X) = \bigcup \{A_i : i = 1, 2, 3, \dots, n\}$ , so that  $Y = \bigcup \{A_i : i = 1, 2, 3, \dots, n\}$ . That is  $\{A_1, A_2, \dots, A_n\}$  is a finite subcover of  $\{A_i : i \in I\}$  for  $(Y, \sigma)$ . Hence  $(Y, \sigma)$  is  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact.

**Theorem 3.11.** Suppose that a function  $f : (X, \tau) \rightarrow (Y, \sigma)$  is a  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -irresolute mapping from a  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact space  $(X, \tau)$  onto a topological space  $(Y, \sigma)$ . Then  $(Y, \sigma)$  is  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact.

**Proof.** Let  $f : (X, \tau) \rightarrow (Y, \sigma)$  be a  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -irresolute mapping from a  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact space  $(X, \tau)$  onto a topological space  $(Y, \sigma)$ . Let  $\{A_i : i \in I\}$  be a  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -open cover of  $(Y, \sigma)$ . Then  $\{f^{-1}(A_i) : i \in I\}$  is a  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -open cover of  $(X, \tau)$ , since  $f$  is  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -irresolute. As  $(X, \tau)$  is  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact, the  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -open cover  $\{f^{-1}(A_i) : i \in I\}$  of  $(X, \tau)$  has a finite sub cover say  $\{f^{-1}(A_i) : i = 1, 2, 3, \dots, n\}$ . Therefore  $X = \bigcup \{f^{-1}(A_i) : i = 1, 2, 3, \dots, n\}$ , which implies  $f(X) = \bigcup \{A_i : i = 1, 2, 3, \dots, n\}$ , so that  $Y = \bigcup \{A_i : i = 1, 2, 3, \dots, n\}$ . That is  $\{A_1, A_2, \dots, A_n\}$  is a finite subcover of  $\{A_i : i \in I\}$  for  $(Y, \sigma)$ . Hence  $(Y, \sigma)$  is  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact.

**Theorem 3.12.** If  $(X, \tau)$  is compact and every  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -closed set in  $X$  is also closed in  $X$ , then  $(X, \tau)$  is  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact.

**Proof.** Let  $\{A_i : i \in I\}$  be a  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -open cover of  $X$ . Since every  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -closed set in  $X$  is also closed in  $X$ . Thus  $\{X - A_i : i \in I\}$  is a closed cover of  $X$  and hence  $\{A_i : i \in I\}$  is an open cover of  $X$ . Since  $(X, \tau)$  is compact. So there exists a finite subcover  $\{A_i : i = 1, 2, 3, \dots, n\}$  of  $\{A_i : i \in I\}$  such that  $X = \bigcup \{A_i : i = 1, 2, 3, \dots, n\}$ . Hence  $(X, \tau)$  is  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact.

**Theorem 3.13.** A topological space  $(X, \tau)$  is  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact if and only if every family of  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -closed sets of  $(X, \tau)$  having finite intersection property has a nonempty intersection.

**Proof.** Suppose  $(X, \tau)$  is  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact. Let  $\{A_i : i \in I\}$  be a family of  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -closed sets with finite intersection property. Suppose  $\bigcap_{i \in I} A_i = \phi$ , then  $X - \bigcap_{i \in I} \{A_i : i \in I\} = X$ . This implies  $\bigcup \{(X - A_i) : i \in I\} = X$ . Thus the cover  $\{(X - A_i) : i \in I\}$  is a  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -open cover of  $(X, \tau)$ . Then as  $(X, \tau)$  is  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact, the  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -open cover  $\{(X - A_i) : i \in I\}$  has a finite sub cover say  $\{(X - A_i) : i = 1, 2, 3, \dots, n\}$ . This implies that  $X = \bigcup \{(X - A_i) : i = 1, 2, 3, \dots, n\}$  which implies  $X = X - \bigcap \{A_i : i = 1, 2, 3, \dots, n\}$ , which implies  $X - X = X - [X - \bigcap \{A_i : i = 1, 2, 3, \dots, n\}]$ , which implies  $\phi = \bigcap \{A_i : i = 1, 2, 3, \dots, n\}$ . This disproves the assumption. Hence  $\bigcap \{A_i : i \in I\} \neq \phi$ .



Conversely, suppose  $(X, \tau)$  is not  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact. Then there exists a  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -open cover of  $(X, \tau)$  say  $\{G_i : i \in I\}$  having no finite subcover. This implies for any finite subfamily  $\{G_i : i = 1, 2, 3, \dots, n\}$  of  $\{G_i : i \in I\}$ , we have  $\bigcup \{G_i : i = 1, 2, 3, \dots, n\} \neq X$ , which implies  $X - (\bigcup \{G_i : i = 1, 2, 3, \dots, n\}) \neq X - X$ , therefore  $\bigcap \{X - G_i : i = 1, 2, 3, \dots, n\} \neq \emptyset$ . Then the family  $\{X - G_i : i \in I\}$  of  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -closed sets has a finite intersection property. Also by assumption  $\bigcap \{X - G_i : i \in I\} \neq \emptyset$  which implies  $X - (\bigcup \{G_i : i \in I\}) \neq \emptyset$ , so that  $\bigcup \{G_i : i \in I\} \neq X$ . This implies  $\{G_i : i \in I\}$  is not a cover of  $(X, \tau)$ . This disproves the fact that  $\{G_i : i \in I\}$  is a cover for  $(X, \tau)$ . Therefore a  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -open cover  $\{G_i : i \in I\}$  of  $(X, \tau)$  has a finite sub cover  $\{G_i : i = 1, 2, 3, \dots, n\}$ . Hence  $(X, \tau)$  is  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact.

**Theorem 3.14.** Let  $A$  be a  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact set relative to a topological space  $X$  and  $B$  be a  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -closed subset of  $X$ . Then  $A \cap B$  is  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact relative to  $X$ .

**Proof.** Let  $A$  be  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact relative to  $X$ . Let  $\{A_i : i \in I\}$  be a cover of  $A \cap B$  by  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -open sets in  $X$ . Then  $\{A_i : i \in I\} \cup \{B^c\}$  is a cover of  $A$  by  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -open sets in  $X$ , but  $A$  is  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact relative to  $X$ , so there exists a finite subset  $I_0 = \{i_1, i_2, i_3, \dots, i_n\} \subseteq I$  such that  $A \subseteq (\bigcup \{A_{i_k} : k = 1, 2, 3, \dots, n\}) \cup B^c$ . Then  $A \cap B \subseteq \bigcup \{A_{i_k} \cap B : k = 1, 2, 3, \dots, n\} \subseteq \bigcup \{A_{i_k} : k = 1, 2, 3, \dots, n\}$ . Hence  $A \cap B$  is  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact.

**Theorem 3.15.** Suppose that a function  $f : (X, \tau) \rightarrow (Y, \sigma)$  is  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -irresolute and a subset  $B$  of  $X$  is  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact relative to  $X$ . Then  $f(B)$  is  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact relative to  $Y$ .

**Proof.** Let  $\{A_i : i \in I\}$  be a cover of  $f(B)$  by  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -open subsets of  $Y$ . Since  $f$  is  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -irresolute. Then  $\{f^{-1}(A_i) : i \in I\}$  is a cover of  $B$  by  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -open subsets of  $X$ . Since  $B$  is  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact relative to  $X$ ,  $\{f^{-1}(A_i) : i \in I\}$  has a finite sub cover say  $\{f^{-1}(A_1), f^{-1}(A_2), \dots, f^{-1}(A_n)\}$  for  $B$ . Then it implies that  $\{A_i : i = 1, 2, 3, \dots, n\}$  is a finite subcover of  $\{A_i : i \in I\}$  for  $f(B)$ . So  $f(B)$  is  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact relative to  $Y$ .

**Definition 3.16.** Let  $(X, \tau)$  be a topological space and let  $E$  be a subset of  $X$ . Let  $\tau_E^{\mathfrak{g}^{**}\beta} = \{A \cap E : A \in \mathfrak{g}^{**}\beta\text{-O}(X, \tau)\}$ . Then  $(E, \tau_E^{\mathfrak{g}^{**}\beta})$  is a topological space.

**Theorem 3.17.** Let  $(X, \tau)$  be a topological space and let  $E$  be a subset of  $X$ . Then  $(E, \tau_E^{\mathfrak{g}^{**}\beta})$  is compact if and only if for any  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -open cover  $\Gamma$  of  $E$  has a finite subcover of  $E$ .

**Proof.** Suppose  $E$  is compact. Let  $\Gamma \subseteq \mathfrak{g}^{**}\beta\text{-O}(X, \tau)$  such that  $E \subseteq \bigcup \Gamma$ . Let  $\Gamma_E = \{A \cap E : A \in \Gamma\}$ . Then  $E = \bigcup \Gamma_E$  and  $\Gamma_E \subseteq \tau_E^{\mathfrak{g}^{**}\beta}$ . By hypothesis, there exists a finite subset  $\Gamma_E^* = \{A_i \cap E : i = 1, 2, 3, \dots, n\} \subseteq \Gamma_E$  such that  $E = \bigcup \Gamma_E^*$ . Then  $\Gamma^* = \{A_i : i = 1, 2, 3, \dots, n\} \subseteq \Gamma$  and  $E \subseteq \bigcup \Gamma^*$ .



Conversely, let  $\Upsilon = \{A_i \mid E : i \in I\} \subseteq \tau_E^{g^{**}\beta}$  such that  $E = \cup \Upsilon$ . Then  $\Upsilon^* = \{A_i : i \in A\}$  is a  $g^{**}\beta$ -open covering of  $E$ . By hypothesis, there exists  $\Upsilon^{**} = \{A_i : i = 1, 2, 3, \dots, n\}$  a finite subset of  $\Upsilon^*$  such that  $E \subseteq \cup \Upsilon^{**}$ . Then  $\Upsilon^\# = \{A_i \mid E : i = 1, 2, 3, \dots, n\}$  is a finite subset of  $\Upsilon$  such that  $E = \cup \Upsilon^\#$ . This proves that  $(E, \tau_E^{g^{**}\beta})$  is compact.

## 4. COUNTABLY $g^{**}\beta$ -COMPACT SPACES

In this section, we present the concept of countably  $g^{**}\beta$ -compactness and its properties.

**Definition 4.1.** A topological space  $(X, \tau)$  is said to be countably  $g^{**}\beta$ -compact if every countable  $g^{**}\beta$ -open cover of  $X$  has a finite sub cover.

**Theorem 4.2.** If  $(X, \tau)$  is a countably  $g^{**}\beta$ -compact space, then  $(X, \tau)$  is countably compact.

**Proof.** Let  $(X, \tau)$  be a countably  $g^{**}\beta$ -compact space. Let  $\{A_i : i \in I\}$  be a countable open cover of  $(X, \tau)$ . Since  $\tau \subseteq g^{**}\beta$ - $O(X, \tau)$ . So  $\{A_i : i \in I\}$  is a countable  $g^{**}\beta$ -open cover of  $(X, \tau)$ . Since  $(X, \tau)$  is countably  $g^{**}\beta$ -compact, therefore countable  $g^{**}\beta$ -open cover  $\{A_i : i \in I\}$  of  $(X, \tau)$  has a finite sub cover say  $\{A_i : i = 1, 2, 3, \dots, n\}$  for  $X$ . Hence  $(X, \tau)$  is a countably compact space.

**Theorem 4.3.** If  $(X, \tau)$  is countably compact and every  $g^{**}\beta$ -closed subset of  $X$  is closed in  $X$ , then  $(X, \tau)$  is countably  $g^{**}\beta$ -compact.

**Proof.** Let  $(X, \tau)$  be a countably compact space. Let  $\{A_i : i \in I\}$  be a countable  $g^{**}\beta$ -open cover of  $(X, \tau)$ . Since every  $g^{**}\beta$ -closed subset of  $X$  is closed in  $X$ . Thus every  $g^{**}\beta$ -open set in  $X$  is open in  $X$ . Therefore  $\{A_i : i \in I\}$  is a countable open cover of  $(X, \tau)$ . Since  $(X, \tau)$  is countably compact, so countable open cover  $\{A_i : i \in I\}$  of  $(X, \tau)$  has a finite sub cover say  $\{A_i : i = 1, 2, 3, \dots, n\}$  for  $X$ . Hence  $(X, \tau)$  is a countably  $g^{**}\beta$ -compact space.

**Theorem 4.4.** Every  $g^{**}\beta$ -compact space is countably  $g^{**}\beta$ -compact.

**Proof.** Let  $(X, \tau)$  be a  $g^{**}\beta$ -compact space. Let  $\{A_i : i \in I\}$  be a countable  $g^{**}\beta$ -open cover of  $(X, \tau)$ . Since  $(X, \tau)$  is  $g^{**}\beta$ -compact, so  $g^{**}\beta$ -open cover  $\{A_i : i \in I\}$  of  $(X, \tau)$  has a finite sub cover say  $\{A_i : i = 1, 2, 3, \dots, n\}$  for  $(X, \tau)$ . Hence  $(X, \tau)$  is countably  $g^{**}\beta$ -compact space.

**Theorem 4.5.** Let  $f : (X, \tau) \rightarrow (Y, \sigma)$  be a  $g^{**}\beta$ -continuous onjective mapping. If  $X$  is countably  $g^{**}\beta$ -compact space, then  $(Y, \sigma)$  is countably compact.

**Proof.** Let  $f : (X, \tau) \rightarrow (Y, \sigma)$  be a  $g^{**}\beta$ -continuous mapping from a countably  $g^{**}\beta$ -compact space  $(X, \tau)$  onto a topological space  $(Y, \sigma)$ . Let  $\{A_i : i \in I\}$  be a countable open cover of  $Y$ . Then  $\{f^{-1}(A_i) : i \in I\}$  is a countable  $g^{**}\beta$ -open cover of  $X$ , as  $f$  is



$\mathfrak{g}^{**}\beta$ -continuous. Since  $X$  is countably  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact, the countable  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -open cover  $\{f^{-1}(A_i) : i \in I\}$  of  $X$  has a finite sub cover say  $\{f^{-1}(A_i) : i = 1, 2, 3, \dots, n\}$ . Therefore  $X = \cup \{f^{-1}(A_i) : i = 1, 2, 3, \dots, n\}$ , which implies  $Y = f(X) = \cup \{A_i : i = 1, 2, 3, \dots, n\}$ . That is  $\{A_i : i = 1, 2, 3, \dots, n\}$  is a finite sub cover of  $\{A_i : i \in I\}$  for  $Y$ . Hence  $Y$  is countably compact.

**Theorem 4.6.** Suppose that a mapping  $f : (X, \tau) \rightarrow (Y, \sigma)$  is perfectly  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -continuous mapping from a countably compact space  $(X, \tau)$  onto a topological space  $(Y, \sigma)$ . Then  $(Y, \sigma)$  is countably  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact.

**Proof.** Let  $\{A_i : i \in I\}$  be a countable  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -open cover of  $(Y, \sigma)$ . Since  $f$  is perfectly  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -continuous,  $\{f^{-1}(A_i) : i \in I\}$  is a countable open cover of  $(X, \tau)$ . Again, since  $(X, \tau)$  is countably  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact, the countable open cover  $\{f^{-1}(A_i) : i \in I\}$  of  $(X, \tau)$  has a finite sub cover say  $\{f^{-1}(A_i) : i = 1, 2, 3, \dots, n\}$ . Therefore  $X = \cup \{f^{-1}(A_i) : i = 1, 2, 3, \dots, n\}$ , which implies  $f(X) = \cup \{A_i : i = 1, 2, 3, \dots, n\}$ , so that  $Y = \cup \{A_i : i = 1, 2, 3, \dots, n\}$ . That is  $\{A_1, A_2, \dots, A_n\}$  is a finite subcover of  $\{A_i : i \in I\}$  for  $(Y, \sigma)$ . Hence  $(Y, \sigma)$  is countably  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact.

**Theorem 4.7.** Suppose that a mapping  $f : (X, \tau) \rightarrow (Y, \sigma)$  is strongly  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -continuous mapping from a countably compact space  $(X, \tau)$  onto a topological space  $(Y, \sigma)$ . Then  $(Y, \sigma)$  is countably  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact.

**Proof.** Let  $\{A_i : i \in I\}$  be a countable  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -open cover of  $(Y, \sigma)$ . Since  $f$  is strongly  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -continuous,  $\{f^{-1}(A_i) : i \in I\}$  is a countable open cover of  $(X, \tau)$ . Again, since  $(X, \tau)$  is countably compact, the countable open cover  $\{f^{-1}(A_i) : i \in I\}$  of  $(X, \tau)$  has a finite sub cover say  $\{f^{-1}(A_i) : i = 1, 2, 3, \dots, n\}$ . Therefore  $X = \cup \{f^{-1}(A_i) : i = 1, 2, 3, \dots, n\}$ , which implies  $f(X) = \cup \{A_i : i = 1, 2, 3, \dots, n\}$ , so that  $Y = \cup \{A_i : i = 1, 2, 3, \dots, n\}$ . That is  $\{A_1, A_2, \dots, A_n\}$  is a finite subcover of  $\{A_i : i \in I\}$  for  $(Y, \sigma)$ . Hence  $(Y, \sigma)$  is countably  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact.

**Theorem 4.8.** The image of a countably  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact space under a  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -irresolute mapping is countably  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact.

**Proof.** Suppose that a mapping  $f : (X, \tau) \rightarrow (Y, \sigma)$  is a  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -irresolute mapping from a countably  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact space  $(X, \tau)$  onto a topological space  $(Y, \sigma)$ . Let  $\{A_i : i \in I\}$  be a countable  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -open cover of  $(Y, \sigma)$ . Then  $\{f^{-1}(A_i) : i \in I\}$  is a countable  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -open cover of  $(X, \tau)$ , since  $f$  is  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -irresolute. As  $(X, \tau)$  is countably  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact, the countable  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -open cover  $\{f^{-1}(A_i) : i \in I\}$  of  $(X, \tau)$  has a finite sub cover say  $\{f^{-1}(A_i) : i = 1, 2, 3, \dots, n\}$ . Then it follows that  $X = \cup \{f^{-1}(A_i) : i = 1, 2, 3, \dots, n\}$ , which implies  $f(X) = \cup \{A_i : i = 1, 2, 3, \dots, n\}$ , so that  $Y = \cup \{A_i : i = 1, 2, 3, \dots, n\}$ . That is  $\{A_1, A_2, \dots, A_n\}$  is a finite subcover of  $\{A_i : i \in I\}$  for  $(Y, \sigma)$ . Hence  $(Y, \sigma)$  is countably  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact.



**Theorem 4.9.** Let  $(X, \tau)$  be a topological space and  $x \in X$ . A point  $x \in X$  is said to be  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -limit point of  $A \subseteq X$  provided that every  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -neighbourhood of  $x$  contains at least one point of  $A$  different from  $x$ .

**Theorem 4.10.** Every infinite subset of a  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact space has a  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -limit point.

**Proof.** Let  $A$  be an infinite subset of a  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact space  $(X, \tau)$ . Suppose that  $A$  has not a  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -limit point. Then for each  $x \in X$ , there exists a  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -open set  $G_x$  containing at most one point of  $A$ . Now, the collection  $\Lambda = \{G_x : x \in X\}$  forms a  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -open cover of  $X$ . As  $X$  is  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact, then there exist  $x_1, x_2, \dots, x_n$  in  $X$  such that  $X = \bigcup_{i=1}^n G_{x_i}$ . Therefore  $X$  has at most  $n$  points of  $A$ . This implies that  $A$  is finite. But this contradicts that  $A$  is infinite. Thus  $A$  has a  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -limit point.

## 5. $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -LINDELOF SPACES

In this section, we concentrate on the concept of  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -Lindelöf space and its properties.

**Definition 5.1.** A topological space  $(X, \tau)$  is said to be  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -Lindelöf space if every  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -open cover of  $X$  has a countable subcover.

**Definition 5.2.** Every  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -Lindelöf space  $(X, \tau)$  is Lindelöf space.

**Proof.** Let  $(X, \tau)$  be a  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -Lindelöf space. Let  $\{A_i : i \in I\}$  be an open cover of  $(X, \tau)$ . Since  $\tau \subseteq \mathfrak{g}^{**}\beta\text{-O}(X, \tau)$ . Therefore  $\{A_i : i \in I\}$  is a  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -open cover of  $(X, \tau)$ . Since  $(X, \tau)$  is  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -Lindelöf space. So there exists a countable subset  $I_0$  of  $I$  such that  $\{A_i : i \in I_0\}$  is a  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -open subcover of  $(X, \tau)$ . Hence  $(X, \tau)$  is a Lindelöf space.

**Theorem 5.3.** Every  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact space is  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -Lindelöf.

**Proof.** Let  $(X, \tau)$  be a  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact space. Let  $\{A_i : i \in I\}$  be a  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -open cover of  $(X, \tau)$ . Since  $(X, \tau)$  is  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact space. Then  $\{A_i : i \in I\}$  has a finite sub cover say  $\{A_i : i = 1, 2, 3, \dots, n\}$ . Since every finite subcover is always countable subcover and therefore  $\{A_i : i = 1, 2, 3, \dots, n\}$  is a countable subcover of  $\{A_i : i \in I\}$ . Hence  $(X, \tau)$  is  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -Lindelöf space.

**Theorem 5.4.** Every  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -closed subset of a  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -Lindelöf space is  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -Lindelöf.

**Proof.** Let  $F$  be a  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -closed subset of  $X$  and  $\{G_i : i \in I\}$  be  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -open cover of  $F$ . Then  $F^c$  is  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -open and  $F \subseteq \bigcup \{G_i : i \in I\}$ . Hence  $X = (\bigcup \{G_i : i \in I\}) \cup F^c$ . Since  $X$  is  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -Lindelöf, then  $X = (\bigcup \{G_i : i \in I_0\}) \cup F^c$  for some countable subset  $I_0$  of  $I$ . Therefore  $F \subseteq \bigcup \{G_i : i \in I_0\}$ . Thus  $F$  is  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -Lindelöf.

**Theorem 5.5.** Let  $A$  be a  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -Lindelöf subset of  $X$  and  $B$  be a  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -closed subset of  $X$ . Then  $A \cap B$  is  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -Lindelöf.



**Proof.** Let  $\{G_i : i \in I\}$  be a  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -open cover of  $A \cap B$ . Then  $A \subseteq \left(\bigcup_{i \in I} G_i\right) \cup B^c$ . Since  $A$  is  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -Lindelöf, then there exists a countable subset  $I_0$  of  $I$  such that  $A \subseteq \left(\bigcup_{i \in I_0} G_i\right) \cup B^c$ . Therefore  $A \cap B \subseteq \bigcup_{i \in I_0} G_i$ . Thus  $A \cap B$  is  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -Lindelöf.

**Theorem 5.6.** A topological space  $(X, \tau)$  is  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -Lindelöf if and only if every collection of  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -closed subsets of  $X$  satisfying the countable intersection property, has, itself, a non-empty intersection.

**Necessity:** Let  $\Lambda = \{F_i : i \in I\}$  be a collection of  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -closed subsets of  $X$  which has the countable intersection property. Assume that  $\bigcap_{i \in I} F_i = \emptyset$ . Then  $X = \bigcup_{i \in I} F_i^c$ . Since  $X$  is  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -Lindelöf, then there exists a countable subset  $I_0$  of  $I$  such that  $X = \bigcup_{i \in I_0} F_i^c$ . Therefore,  $\bigcap_{i \in I_0} F_i = \emptyset$  contradicts that  $\Lambda$  has the countable intersection property. Thus  $\Lambda$  has, itself, a non-empty intersection.

**Sufficiency:** Let  $\{G_i : i \in I\}$  be a  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -open cover of  $X$ . Suppose  $\{G_i : i \in I\}$  has no countable subcover. Then  $X - \bigcup_{i \in J} G_i \neq \emptyset$ , for any countable subset  $J$  of  $I$ . Now,  $\bigcap_{i \in J} G_i^c \neq \emptyset$  implies that  $\{G_i^c : i \in I\}$  is a collection of  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -closed subsets of  $X$  which has the countable intersection property. Therefore  $\bigcap_{i \in I} G_i^c \neq \emptyset$ . Thus  $X \neq \bigcup_{i \in I} G_i$  contradicts that  $\{G_i : i \in I\}$  is a  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -open cover of  $X$ . Hence  $X$  is  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -Lindelöf.

**Theorem 5.7.** A  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -continuous image of a  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -Lindelöf space is a Lindelöf space.

**Proof.** Let  $f : (X, \tau) \rightarrow (Y, \sigma)$  be a  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -continuous mapping from a  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -Lindelöf space  $X$  onto a topological space  $Y$ . Let  $\{A_i : i \in I\}$  be an open cover of  $Y$ . Then  $\{f^{-1}(A_i) : i \in I\}$  is a  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -open cover of  $X$ , as  $f$  is  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -continuous. Since  $X$  is  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -Lindelöf space, the  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -open cover  $\{f^{-1}(A_i) : i \in I\}$  of  $X$  has a countable subcover say  $\{f^{-1}(A_i) : i \in I_0\}$  for some countable set  $I_0 \subseteq I$ . Therefore  $X = \bigcup_{i \in I_0} f^{-1}(A_i)$ , which implies  $f(X) = \bigcup_{i \in I_0} A_i$ , then  $Y = \bigcup_{i \in I_0} A_i$ . That is  $\{A_i : i \in I_0\}$  a countable subcover of  $\{A_i : i \in I\}$  for  $Y$ . Hence  $(Y, \sigma)$  is a Lindelöf space.

**Theorem 5.8.** The image of a  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -Lindelöf space under a  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -irresolue mapping is  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -Lindelöf space.

**Proof.** Suppose that a mapping  $f : (X, \tau) \rightarrow (Y, \sigma)$  is a  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -irresolue mapping from a  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -Lindelöf space  $(X, \tau)$  onto a topological space  $(Y, \sigma)$ . Let  $\{B_i : i \in I\}$  be a  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -open cover of  $(Y, \sigma)$ . Since  $f$  is  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -irresolue. Therefore  $\{f^{-1}(B_i) : i \in I\}$  is a  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -open cover of  $(X, \tau)$ . As  $(X, \tau)$  is  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -Lindelöf space, the  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -open cover  $\{f^{-1}(B_i) : i \in I\}$  of  $(X, \tau)$  has a countable subcover say  $\{f^{-1}(B_i) : i \in I_0\}$  for some countable set  $I_0 \subseteq I$ . Therefore



$X = \bigcup \{f^{-1}(B_i) : i \in I_0\}$ , which implies  $f(X) = \bigcup \{B_i : i \in I_0\}$ , so that  $Y = \bigcup \{B_i : i \in I_0\}$ . That is  $\{B_i : i \in I_0\}$  a countable subcover of  $\{B_i : i \in I\}$  for  $Y$ . Hence  $(Y, \sigma)$  is a  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -Lindelöf space.

**Theorem 5.9.** If  $(X, \tau)$  is  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -Lindelöf space and countably  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact space, then  $(X, \tau)$  is  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact space.

**Proof.** Suppose  $(X, \tau)$  is  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -Lindelöf space and countably  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact space. Let  $\{A_i : i \in I\}$  be a  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -open cover of  $(X, \tau)$ . Since  $(X, \tau)$  is  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -Lindelöf space,  $\{A_i : i \in I\}$  has a countable subcover say  $\{A_i : i \in I_0\}$  for some countable set  $I_0 \subseteq I$ . Therefore  $\{A_i : i \in I_0\}$  is a countable  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -open cover of  $(X, \tau)$ . Again, since  $(X, \tau)$  is countably  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact space,  $\{A_i : i \in I_0\}$  has a finite subcover and say  $\{A_i : i = 1, 2, 3, \dots, n\}$ . Therefore  $\{A_i : i = 1, 2, 3, \dots, n\}$  is a finite subcover of  $\{A_i : i \in I\}$  for  $(X, \tau)$ . Hence  $(X, \tau)$  is a  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact space.

**Theorem 5.10.** If a function  $f : (X, \tau) \rightarrow (Y, \sigma)$  is  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -irresolue and a subset  $A$  of  $X$  is  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -Lindelöf relative to  $X$ , then  $f(A)$  is  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -Lindelöf relative to  $Y$ .

**Proof.** Let  $\{B_i : i \in I\}$  be a cover of  $f(A)$  by  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -open subsets of  $Y$ . By hypothesis,  $f$  is  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -irresolue and so  $\{f^{-1}(B_i) : i \in I\}$  is a cover of  $A$  by  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -open subsets of  $X$ . Since  $A$  is  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -Lindelöf relative to  $X$ ,  $\{f^{-1}(B_i) : i \in I\}$  has a countable subcover say  $\{f^{-1}(B_i) : i \in I_0\}$  for  $A$ , where  $I_0$  is a countable subset of  $I$ . Now  $\{B_i : i \in I_0\}$  is a countable subcover of  $\{B_i : i \in I\}$  for  $f(A)$ . So  $f(A)$  is  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -Lindelöf relative to  $Y$ .

## 6. ALMOST $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -COMPACT SPACES

**Definition 6.1.** A topological space  $(X, \tau)$  is called almost  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact (resp. almost  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -Lindelöf) provided that every  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -open cover of  $X$  has a finite (resp. countable) sub-collection, the  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -closure of whose members cover  $X$ .

The proofs of the following four propositions are straightforward and therefore will be omitted.

**Proposition 6.2.** Every almost  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact space is almost  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -Lindelöf space.

**Proposition 6.3.** Every  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact space (resp.  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -Lindelöf space) is almost  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact (resp. almost  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -Lindelöf).

**Proposition 6.4.** Any finite (resp. countable) topological space  $(X, \tau)$  is almost  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact (resp. almost  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -Lindelöf).

**Proposition 6.5.** A finite (resp. countable) union of almost  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact (resp. almost  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -Lindelöf) subsets of  $(X, \tau)$  is almost  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact (resp. almost  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -Lindelöf).





**Definition 6.6.** A subset  $E$  of  $(X, \tau)$  is called  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -clopen provided that it is  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -open and  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -closed.

**Theorem 6.7.** Let  $F$  be a  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -clopen subset of an almost  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact (resp. almost  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -Lindelöf) space  $(X, \tau)$ . Then  $F$  is almost  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact (resp. almost  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -Lindelöf).

**Proof.** Let  $F$  be a  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -clopen subset of an almost  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact space  $X$  and  $\{G_i : i \in I\}$  be a  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -open cover of  $F$ . Then  $F^c$  is  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -open and  $X \subseteq (\bigcup\{G_i : i \in I\}) \cup F^c$ . Since  $X$  is almost  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact, then there exists a finite subset  $I_0$  of  $I$  such that  $X = (\bigcup\{\mathfrak{g}^{**}\beta\text{-Cl}(G_i) : i \in I_0\}) \cup F^c$ . Thus it follows that  $F \subseteq \bigcup\{\mathfrak{g}^{**}\beta\text{-Cl}(G_i) : i \in I_0\}$ . Hence  $F$  is almost  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact.

The proof is similar in the case of almost  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -Lindelöf.

**Theorem 6.8.** If  $A$  is an almost  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact (resp. almost  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -Lindelöf) subset of  $(X, \tau)$  and  $B$  is a  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -clopen subset of  $X$ , then  $A \cap B$  is almost  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact (resp. almost  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -Lindelöf).

**Proof.** Let  $\Lambda = \{G_i : i \in I\}$  be a  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -open cover of  $A \cap B$ . Then  $A \subseteq (\bigcup\{G_i : i \in I\}) \cup B^c$ . Since  $A$  is almost  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact, then there exists a finite subset  $I_0$  of  $I$  such that  $A \subseteq (\bigcup\{\mathfrak{g}^{**}\beta\text{-Cl}(G_i) : i \in I_0\}) \cup B^c$ . Hence  $A \cap B \subseteq \bigcup\{\mathfrak{g}^{**}\beta\text{-Cl}(G_i) : i \in I_0\}$ . Thus  $A \cap B$  is almost  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact.

The proof is similar in the case of almost  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -Lindelöf.

**Theorem 6.9.** Let a mapping  $f : (X, \tau) \rightarrow (Y, \sigma)$  be  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -irresolute. Suppose that  $A$  is almost  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact (resp. almost  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -Lindelöf) subset of  $X$ . Then  $f(A)$  is almost  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact (resp. almost  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -Lindelöf).

**Proof.** Suppose that  $\{G_i : i \in I\}$  is  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -open cover of  $f(A)$ . Then  $f(A) \subseteq \bigcup\{G_i : i \in I\}$ . Now  $A \subseteq \bigcup\{f^{-1}(G_i) : i \in I\}$ . Since  $f$  is  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -irresolute, then  $\{f^{-1}(G_i) : i \in I\}$  is a  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -open cover of  $A$ . By hypothesis,  $A$  is almost  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact, then there exists a finite subset  $I_0$  of  $I$  such that  $A \subseteq \bigcup\{\mathfrak{g}^{**}\beta\text{-Cl}[f^{-1}(G_i)] : i \in I_0\}$ . Since  $f$  is  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -irresolute, then  $\mathfrak{g}^{**}\beta\text{-Cl}(f^{-1}(G_i)) \subseteq f^{-1}[\mathfrak{g}^{**}\beta\text{-Cl}(G_i)]$ , for all  $i \in I_0$ . Hence it follows that  $f(A) \subseteq \bigcup_{i \in I_0} f[f^{-1}(\mathfrak{g}^{**}\beta\text{-Cl}(G_i))] \subseteq \bigcup_{i \in I_0} \mathfrak{g}^{**}\beta\text{-Cl}(G_i)$ , which implies that  $f(A) \subseteq \bigcup_{i \in I_0} \mathfrak{g}^{**}\beta\text{-Cl}(G_i)$ . Thus  $f(A)$  is almost  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact.

The proof is similar in the case of almost  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -Lindelöf.



**Theorem 6.10.** Let  $f : (X, \tau) \rightarrow (Y, \sigma)$  be a  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -open bijective mapping and  $(Y, \sigma)$  is almost  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact. Then  $(X, \tau)$  is almost compact.

**Proof.** Let  $\{G_i : i \in I\}$  be an open cover of  $X$ . Then  $f(X) = f(\bigcup_{i \in I} G_i)$ . Therefore  $Y = \bigcup_{i \in I} f(G_i)$ . Now,  $Y$  is almost  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact, then there exists a finite subset  $I_0$  of  $I$  such that  $Y = \bigcup_{i \in I_0} \mathfrak{g}^{**}\beta\text{-Cl}[f(G_i)]$ . Since  $f$  is  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -open bijective mapping, then  $f$  is  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -closed mapping. Therefore, we have  $\mathfrak{g}^{**}\beta\text{-Cl}[f(G_i)] \subseteq f[\text{Cl}(G_i)]$ , for all  $i \in I_0$ . Thus  $Y \subseteq \bigcup_{i \in I_0} f[\text{Cl}(G_i)] \subseteq f[\bigcup_{i \in I_0} \text{Cl}(G_i)]$ , which implies that  $X = f^{-1}(Y) \subseteq \bigcup_{i \in I_0} \text{Cl}(G_i)$ . Thus  $X = \bigcup_{i \in I_0} \text{Cl}(G_i)$ . Hence  $X$  is almost compact.

**Theorem 6.11.** If every collection of  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -closed subsets of  $(X, \tau)$ , satisfying the finite (resp. countable) intersection property, has, itself, a non-empty intersection, then  $X$  is almost  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact (resp. almost  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -Lindelöf).

**Proof.** Let  $\{G_i : i \in I\}$  be a  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -open cover of  $X$ . Suppose  $\{G_i : i \in I\}$  has no finite subcollection such that the  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -closure of whose members cover  $X$ . Then  $X - \bigcup_{i=1}^{i=n} \mathfrak{g}^{**}\beta\text{-Cl}(G_i) \neq \emptyset$ , for any  $n \in \mathbb{N}$ . Therefore  $X - \bigcup_{i=1}^{i=n} G_i \neq \emptyset$ . Now,  $\bigcap_{i=1}^n G_i^c \neq \emptyset$  implies  $\{G_i^c : i \in I\}$  is a collection of  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -closed subsets of  $X$  which has the finite intersection property. Thus  $\bigcap_{i \in I} G_i^c \neq \emptyset$  implies  $X \neq \bigcup_{i \in I} G_i$ . But this is a contradiction. Hence  $X$  is almost  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact.

A similar proof is given in the case of almost  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -Lindelöf.

## 7. MILDLY $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -COMPACT SPACES

**Definition 7.1.** A topological space  $(X, \tau)$  is called mildly  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact (resp. mildly  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -Lindelöf) provided that every  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -clopen cover of  $X$  has a finite (resp. countable) subcover.

**Definition 7.2.** Every mildly  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact space is mildly  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -Lindelöf.

**Proof.** It is straightforward.

**Theorem 7.3.** Every almost  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact (resp. almost  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -Lindelöf) space  $(X, \tau)$  is mildly  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact (resp. mildly  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -Lindelöf).

**Proof.** Let  $\Lambda = \{H_i : i \in I\}$  be a  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -clopen cover of  $(X, \tau)$ . Since  $(X, \tau)$  is almost  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact, then there exists a finite subset  $I_0$  of  $I$  such that  $X = \bigcup_{i \in I_0} \mathfrak{g}^{**}\beta\text{-Cl}(H_i)$ . Now,  $\mathfrak{g}^{**}\beta\text{-Cl}(H_i) = H_i$ . Thus  $(X, \tau)$  is mildly  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact.

A similar proof is given when  $(X, \tau)$  is almost  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -Lindelöf.



**Corollary 7.4.** Every  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact (resp.  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -Lindelöf) space is mildly  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact (resp. mildly  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -Lindelöf).

**Theorem 7.5.** If  $F$  is a  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -clopen subset of a mildly  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact (resp. mildly  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -Lindelöf) space  $X$ , then  $F$  is mildly  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact (resp. mildly  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -Lindelöf).

**Proof.** Let  $F$  be a  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -clopen subset of  $X$  and  $\{G_i : i \in I\}$  be a  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -clopen cover of  $F$ . Then  $F^c$  is a  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -clopen set and  $F \subseteq \bigcup_{i \in I} G_i$ . Therefore  $X = (\bigcup_{i \in I} G_i) \cup F^c$ . Since  $X$  is mildly  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact, then there exists a finite subset  $I_0$  of  $I$  such that  $X = (\bigcup_{i \in I_0} G_i) \cup F^c$ . So  $F \subseteq (\bigcup_{i \in I_0} G_i)$ . Hence  $F$  is mildly  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact.

The proof is similar in a case of mildly  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -Lindelöf.

**Theorem 7.6.** If  $A$  is a mildly  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact (resp. mildly  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -Lindelöf) subset of  $X$  and  $B$  is a  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -clopen subset of  $X$ , then  $A \cap B$  is mildly  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact (resp. mildly  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -Lindelöf).

**Proof.** Let  $\Lambda = \{G_i : i \in I\}$  be a  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -clopen cover of  $A \cap B$ . Then  $A \subseteq (\bigcup_{i \in I} G_i) \cup B^c$ . Since  $A$  is mildly  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact, then there exists a finite subset  $I_0$  of  $I$  such that  $A \subseteq (\bigcup_{i \in I_0} G_i) \cup B^c$ . Therefore  $A \cap B \subseteq \bigcup_{i \in I_0} G_i$ . Thus  $A \cap B$  is mildly  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact.

The proof is similar in case of mildly  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -Lindelöf.

**Theorem 7.7.** If  $f : (X, \tau) \rightarrow (Y, \sigma)$  is a  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -open bijective mapping and  $(Y, \sigma)$  is mildly  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact, then  $(X, \tau)$  is mildly compact.

**Proof.** Let  $\{G_i : i \in I\}$  be a clopen cover for  $X$ . Then  $f(X) = f(\bigcup_{i \in I} G_i)$ . Hence  $Y = \bigcup_{i \in I} f(G_i)$ . Since  $f$  is  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -open bijective mapping, then  $f$  is  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -closed. Therefore  $\{f(G_i) : i \in I\}$  is a  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -clopen cover of  $Y$ . Since  $Y$  is mildly  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact, then there exists a finite subset  $I_0$  of  $I$  such that  $Y = \bigcup_{i \in I_0} f(G_i)$ . Therefore  $X = \bigcup_{i \in I_0} G_i$ . Thus  $X$  is mildly compact.

**Proposition 7.8.** A subset  $A$  of  $(X, \tau)$  is mildly compact (resp. mildly Lindelöf) if and only if  $(X, \tau_A)$  is mildly compact (resp. mildly Lindelöf).

## 8 Conclusions

We have used  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -open sets to introduce the new concepts of notions in topological spaces namely  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact space, countably  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact space,  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -Lindelöf space, almost  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact space, and mildly  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -compact space and have investigated several properties and characterization of these new concepts.

**ACKNOWLEDGEMENT**



The author is highly and gratefully indebted to Prince Mohammad Bin Fahd University, Saudi Arabia, for providing research facilities during the preparation of this research paper.

## References

- [1] Ghufran A. Abbas and Taha H. Jasim, On Supra  $\alpha$ -Compactness in Supra Topological Spaces, Tikrit Journal of Pure Science, Vol. 24(2) (2019), 91 – 97.
- [2] Beyda S. Abdullah, and Amir A. Mohammed, On Standard Concepts Using  $\text{ii}$ -Open Sets, Open Access Library Journal, 2019, Volume 6, e5604, 1 – 12. ISSN Online: 2333 – 9721, ISSN Print: 2333 – 9705.
- [3] Baravan A. Asaad and Alias B. Khalaf, On  $P_s$  – Compact Space, International Journal Scientific & Engineering Research, Volume 7, Issue 8, August 2016, 809 – 815.
- [4] S. Balasubramanian, C. Sandhya and P.A.S. Vyjayanthi, On  $\nu$  – Compact spaces, Scientia Magna, 5(1) (2009), 78-82.
- [5] Miguel Caldas, Saeid Jafari, and Raja M. Latif,  $b$  – Open Sets and A New Class of Functions, Pro Mathematica, Peru, Vol. 23, No. 45 – 46, pp. 155 – 174, (2009).
- [6] Sakkraveeranam Chandrasekar, Velusamy Banupriya and M. Suresh,  $\theta_G^* \alpha$ -Closed Sets in Topological Spaces, International Journal of Pure and Applied Mathematics, (In Press).
- [7] Sakkraveeranam Chandrasekar, Velusamy Banupriya and Jeyaraman Suresh Kumar, Properties and Applications of  $\theta_G^* \alpha$ -Closed Sets in Topological Spaces, Journal of New Theory, Number: 18, (2017), Pages: 1 – 11.
- [8] Dr. T. Delecia and M. S. Thillai,  $g^{**} \beta$ -Closed Sets in Topological Spaces, Journal of Engineering Technologies and Innovative Research (JETIR), (2014), pp. 129 – 134
- [9] R. Devi, S. Sampathkumar and M. Caldas, On supra  $\alpha$  – open sets and S-continuous mappings, General Mathematics, 16 (2), (2008), 77 – 84.
- [10] W. Dunham, A New Closure Operator for non T1 topology, Kyuungpook Math. J., 22(1982), pp. 55 -60.
- [11] H. Z. Hdeib,  $\omega$ -closed mappings, Rev. Colomb. Mat., 16 (1-2) (1982), 65–78.
- [12] M. Khan, T. Noiri and M. Hussain, On  $s^*g$ -closed sets and  $s^*$ -normal spaces, CODEN, JNSMAC (April & October 2008) 48, pp. 31 – 41.
- [13] K. Krishnaveni and M. Vigneshwaran, Some Stronger forms of supra  $bT_\mu$  - continuous function, Int. J. Mat. Stat. Inv., 1(2), (2013), 84 – 87.
- [14] K. Krishnaveni, M. Vigneshwaran,  $bT_\mu$ - compactness and  $bT_\mu$  - connectedness in supra topological spaces, European Journal of Pure and Applied Mathematics, Vol. 10, No. 2, 2017, 323 – 334 ISSN 1307-5543 – [www.ejpam.com](http://www.ejpam.com).
- [15] Raja M. Latif, Supra-R-Compactness and Supra-R-Connectedness, International Journal of Recent Trends in Engineering and Research, Volume 04, Issue 01, (2018), Pages 426 – 443.
- [16] Raja M. Latif, Supra-I-Compactness and Supra-I-Connectedness, International Journal of Mathematics Trends and Technology, Volume 53, Number 7 (2018), pages 525 – 537.
- [17] N. Levine, Semi-open sets and semi-continuity in topological spaces, Amer. Math. Monthly, 70(1963), 36 – 41.
- [18] Sabiha I. Mahmood and Jumana S. Tareq, On  $S^*g - \alpha$  – Open Sets in Topological Spaces, Ibn Al-Haitham Journal for Pure and Applied Sciences, Vol. 27 (3), (2014), 542 – 555.
- [19] A. S. Mashhour, M. E. Abd El-Monsefand S. N. El-Deed, On Precontinuous and weak precontinuous Mappings, Proc. Math. Phys. Soc. Egypt, 53 (1982), pp. 47 – 53.



- [20] A. S. Mashhour, A. A. Allam, F. S. Mohamoud and F. H. Khedr, On supra topological spaces, Indian J. Pure and Appl. Math., No.4, 14(1983), 502 – 510.
- [21] Shadya M. Mershkhan and Baravan A. Asaad, Some Properties of  $P_p$ -Compact Spaces, General Letters in Mathematics, Vol. 7, Sep. 2019, pp. 13 – 23.
- [22] S. Pious Missier and P. Anbarasi Rodrigo, Some Notions of Nearly Open Sets in Topological Spaces, Intenational Journal of Mathematical Archive, 4(12) (2013) 12 – 18.
- [23] Amir A. Mohammad and Beyda S. Abdullah, ii-Open Sets in Topological Spaces, International Mathematical Forum, Vol. 14, 2019, no. 1, 41 – 48.
- [24] Jamal M. Mustafa, supra b-compact and supra b – Lindelöf spaces, Journal of Mathematics and Applications, No36, (2013), 79 – 83.
- [25] O. Njastad, Some Classes of Nearly Open sets, Pacific J. Math., 15(3) (1965), pp. 961 – 970.
- [26] T. Noiri and O. R. Sayed, On  $\Omega$  closed sets and  $\Omega_s$  closed sets in topological spaces, Acta Math, 4(2005), 307 – 318.
- [27] Hakeem A. Othman and Md. Hanif Page, On an Infra –  $\alpha$  – Open Sets, Global Journal of Mathematical Analysis, 4(3) (2016) 12 – 16.
- [28] P. G. Patil, w - compactness and w - connectedness in topological spaces, Thai. J. Mat., (12), (2014), 499 - 507.
- [29] A. Robert and S. Pious Missier, On Semi\*-Connected and Semi\*-Compact Spaces, International Journal of Modern Engineering Research, Vol. 2, Issue 4, July – Aug. 2012, pp. 2852 – 2856.
- [30] A. Robert and S. Pious Missier, A New Class of Nearly Open Sets, Intenational Journal of Mathematical Archive, 3(7) (2012) 2575 – 2582.
- [31] A. Robert and S. Pious Missier, Compactness and Compactness via Semi-Star-Alpha-Open Sets, International Journal of Mathematics Trends and Technology, Volume 12, Number 1, Aug. 2014, pp. 1- 7.
- [32] O. R. Sayed, Takashi Noiri, On supra b – open set and supra b – continuity on topological spaces, European Journal of pure and applied Mathematics, 3(2) (2010), 295 –302.
- [33] O. R. Sayed and T. Noiri, Supra b-irresoluteness and supra b-compactness on topological space, Kyungpook Math. J., 53(2013), 341 – 348.
- [34] T. Selvi and A. Punitha Dharani, Some new class of nearly closed and open sets, Asian Journal of Current Engineering and Maths, 1:5 Sep Oct (2012) 305 – 307.
- [35] T. M. Al-Shami, Supra semi-compactness via supra topological spaces, Journal of Taibah University for Science, 2018, VOL. 12, NO. 3, 338–343.
- [36] L. A. Steen and J. A. Seebach Jr, Counterexamples in Topology, Holt, Rinenhart and Winston, New York 1970.
- [37] N. V. Velicko, H-closed topological spaces, Amer. Math. Soc. Transl., 78(2) (1968), 103 – 118.
- [38] L. Vidyarani and M. Vigneshwaran, On Supra N-closed and sN-closed sets in Supra Topological Spaces, International Journal of Mathematical Achieve, Vol-4, Issue-2, (2013), 255 – 259.
- [39] L. Vidyarani and M. Vigneshwaran, Some forms of N-closed maps in Supra Topological spaces, IOSR Journal of Mathematics, Vol-6, Issue-4, (2013), 13 – 17.
- [40] L. Vidyarani and M. Vigneshwaran, Supra N-compact and Supra N-connected in SupraTopological spaces, Global Journal of Pure and Applied Mathematics. Volume 11, Number 4 (2015), pp. 2265-2277.
- [41] Albert Wilansky, Topology for Analysis, Devore Pblications, Inc, Mineola New York. (1980).



- [42] Stephen Willard, General Topology, Reading, Mass.: Addison Wesley Pub. Co. (1970).
- [43] Stephen Willard and Raja M. Latif, Semi-Open Sets and Regularly Closed Sets in Compact



## $g^{**\beta}$ -CONTINUOUS AND $g^{**\beta}$ -IRRESOLUTE MAPPINGS IN TOPOLOGICAL SPACES

RAJA MOHAMMAD LATIF

Department of Mathematics and Natural Sciences

College of Sciences and Human Studies

Prince Mohammad Bin Fahd University

P.O. Box 1664 Al Khobar, Kingdom of Saudi Arabia

ORCID NO: 0000-0003-3140-9581

### ABSTRACT

Analysis is one of the greatest achievements in the history of mathematics. The achievement opens a new era of mathematical progress and plays an important role in the development of physics, astronomy, signal processing and other disciplines. At the end of the 19th century, mathematicians deduced many properties of continuous functions on closed intervals, which undoubtedly promoted the development of analytical theory. Bolzano's Function Theory gives the earliest proofs of the Boundedness theorem and the Extreme value theorem and Weierstrass proved the Extreme value theorem in Berlin lecture. The Intermediate value theorem was first proved in 1817 by Bolzano, and then Cauchy gave a proof in 1821. The definition of uniform continuity is proposed by Heine, and he published a proof of the Uniform continuity theorem. There are some important properties of continuous functions on closed intervals including Weierstrass second theorem: Boundedness theorem, Weierstrass first theorem: Extreme value theorem, Bolzano-Cauchy second theorem: Intermediate value theorem, Cantor theorem: Uniform continuity theorem. Continuous functions have four fundamental properties on closed intervals: Boundedness theorem, Extreme value theorem, Intermediate value theorem, Uniform continuity theorem. These theorems are the basis of mathematical analysis and the direct expression of real number theory in functions. In 2014, Dr. T. Delcia and M. S. Thillai [3] introduced a new kind of a closed set which is called a  $g^{**\beta}$ -closed set. Also, they studied and discussed some of its properties and compared this new notion with some other classes of sets and investigated some of their basic properties in topological spaces. We introduce  $g^{**\beta}$ -continuous function,  $g^{**\beta}$ -irresolute function,  $g^{**\beta}$ -open function,  $g^{**\beta}$ -closed function, pre- $g^{**\beta}$ -open function, pre- $g^{**\beta}$ -closed function and investigate several properties and characterizations of these new types of mappings in topological spaces.

**Mathematics Subject Classification (2020):** 54C05, 54C08, 54C10.

**Keywords and Phrases:** Topological space,  $g^{**\beta}$ -open set,  $g^{**\beta}$ -closed set,  $g^{**\beta}$ -interior set,  $g^{**\beta}$ -closure set,  $g^{**\beta}$ -continuous function,  $g^{**\beta}$ -irresolute function,  $g^{**\beta}$ -open function,  $g^{**\beta}$ -closed function, pre- $g^{**\beta}$ -closed function, pre- $g^{**\beta}$ -open function.

### INTRODUVTION

Introducing new versions of open sets in a topological space which may acquire either weaker or stronger properties is often studied. The first attempt was done by Levine [13], where he introduced the concepts of semi-open set, semi-closed set, and semi-continuity of a function. In 2014, T. Delcia and M. S. Thillai [3] introduced a new kind of an open set which is called a  $g^{**\beta}$ -closed set. Also, they studied and discussed some of its properties and compared this new notion with some other classes of sets and investigated some of their basic properties in topological spaces. We introduce  $g^{**\beta}$ -continuous function,  $g^{**\beta}$ -irresolute function,  $g^{**\beta}$ -open function,  $g^{**\beta}$ -closed function,



pre  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -open function, pre  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -closed function and investigate several properties and characterizations of these new types of mappings in topological spaces.

## 2. BASIC PROPERTIES AND APPLICATIONS OF $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -OPEN SETS

In this section, we shall define the concept of  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -open set and determine its connection to the classical open set and characterize the concepts of  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -open sets.

**Definition 2.1.** A subset  $A$  of a topological space  $(X, \tau)$  is named *semi-open* set if  $A \subseteq Cl[Int(A)]$ . The complement of *semi-open* set is called *semi-closed* set.

The semi-closure of a subset  $A$  of  $X$  denoted by  $sCl(A)$  is defined to be the intersection of all semi-closed sets containing  $A$ . The semi-interior of  $A$  denoted by  $sInt(A)$  is defined to be the union of all semi-open sets contained in  $A$ .

**Definition 2.2.** A subset  $A$  of a topological space  $(X, \tau)$  is called a semi-generalized closed set (*briefly sg-closed set*) if  $sCl(A) \subseteq U$  whenever  $A \subseteq U$  and  $U$  is semi-open in  $X$ . The complement of *sg-closed* set is called *sg-open* set.

**Definition 2.3.** A subset  $A$  of a topological space  $(X, \tau)$  is called a generalized closed set (*briefly  $\mathfrak{g}$ -closed set*) if  $Cl(A) \subseteq U$  whenever  $A \subseteq U$  and  $U$  is open in  $X$ . The collection of all  $\mathfrak{g}$ -closed subsets of  $(X, \tau)$  is denoted by  $\mathfrak{g}-C(X, \tau)$ .

**Definition 2.4.** A subset  $A$  of a topological space  $(X, \tau)$  is called a generalized\* closed set (*briefly  $\mathfrak{g}^*$ -closed set*) if  $Cl(A) \subseteq U$  whenever  $A \subseteq U$  and  $U$  is  $\mathfrak{g}^*$ -open in  $X$ .

**Definition 2.5.** A subset  $A$  of a topological space  $(X, \tau)$  is called a  $\mathfrak{g}^*\beta$ -closed set if  $\beta Cl(A) \subseteq U$  whenever  $A \subseteq U$  and  $U$  is  $\mathfrak{g}^*$ -open in  $X$ . The complement of a  $\mathfrak{g}^*\beta$ -closed set is called a  $\mathfrak{g}^*\beta$ -open set.

**Definition 2.6.** A subset  $A$  of a topological space  $(X, \tau)$  is called a  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -closed set if  $\mathfrak{g}Cl(A) \subseteq U$  whenever  $A \subseteq U$  and  $U$  is  $\mathfrak{g}^*\beta$ -open in  $X$ . The complement of a  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -closed set is called a  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -open set. The collection of all  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -closed ( $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -open) subsets of  $(X, \tau)$  is denoted by  $\mathfrak{g}^{**}\beta-C(X, \tau)$  ( $\mathfrak{g}^{**}\beta-O(X, \tau)$ )

**Proposition 2.7.** Every closed set is  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -closed set.

**Proposition 2.8.** If  $A$  and  $B$  are  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -closed sets in  $X$ , then  $A \cup B$  is  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -closed in  $X$ .

**Proposition 2.9.** If  $A$  and  $B$  are  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -open sets in  $X$ , then  $A \cap B$  is  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -open set in  $X$ .

**Proposition 2.10.** If  $A$  and  $B$  are  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -closed sets in  $X$ , then  $A \cap B$  is  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -closed in  $X$ .





**Proposition 2.11.** If  $A$  and  $B$  are  $g^{**}\beta$ -open sets in  $X$ , then  $A \cup B$  is  $g^{**}\beta$ -open set in  $X$ .

**Definition 2.12.** Let  $(X, \tau)$  be a topological space and  $B \subseteq X$ . We define the  $g^{**}\beta$ -closure of  $B$  (briefly  $g^{**}\beta$ -Cl( $B$ )) to be the intersection of all  $g^{**}\beta$ -closed sets containing  $B$  which is denoted by  $g^{**}\beta$ -Cl( $B$ ) =  $\bigcap \{A : B \subseteq A \text{ and } A \in g^{**}\beta$ -C( $X, \tau$ )\}. We note that  $g^{**}\beta$ -Cl( $B$ ) is the smallest  $g^{**}\beta$ -closed set containing  $B$ .

**Definition 2.13.** Let  $(X, \tau)$  be any topological space and  $B$  be a subset of  $X$ . A point  $p$  of  $X$  is called a  $g^{**}\beta$ -interior point of  $B$ , if there exists a  $g^{**}\beta$ -open set  $G$  such that  $p \in G \subseteq B$ . The set of all  $g^{**}\beta$ -interior points of  $B$  is said to be  $g^{**}\beta$ -interior of  $B$  (briefly  $g^{**}\beta$ -Int( $B$ )) and it is defined by  $g^{**}\beta$ -Int( $B$ ) =  $\bigcup \{A : A \subseteq B \text{ and } A \in g^{**}\beta$ -O( $X, \tau$ )\}.

**Definition 2.14.** Let  $\mathbb{Y}$  be a subset of a topological space  $(X, \tau)$  and let  $x \in X$ . We say that  $\mathbb{Y}$  is  $g^{**}\beta$ -neighborhood of  $x$ , if there is a  $g^{**}\beta$ -open set  $U$  such that  $x \in U \subseteq \mathbb{Y}$ .

**Proposition 2.15.** If  $U$  and  $V$  are sets in a topological space  $(X, \tau)$ , then

- (1)  $g^{**}\beta$ -Int( $\phi$ ) =  $\phi$ .
- (2)  $g^{**}\beta$ -Int( $X$ ) =  $X$ .
- (3)  $g^{**}\beta$ -Int( $U$ )  $\subseteq$   $U$ .
- (4)  $U \subseteq V \Rightarrow g^{**}\beta$ -Int( $U$ )  $\subseteq$   $g^{**}\beta$ -Int( $V$ ).

**Proposition 2.16.** Let  $G$  be any subset of a topological space  $(X, \tau)$ . Then  $x \in g^{**}\beta$ -Cl( $A$ ) if and only if for every  $g^{**}\beta$ -open set  $U$  containing  $x$ ,  $U \cap G \neq \phi$ .

**Proposition 2.17.** For any subset  $U$  of topological space  $(X, \tau)$ ,  $g^{**}\beta$ -Int( $U$ )  $\subseteq$   $U \subseteq g^{**}\beta$ -Cl( $U$ ).

**Definition 2.18.** Let  $A$  be a subset of a topological space  $(X, \tau)$ . A point  $x \in A$  is said to be a  $g^{**}\beta$ -limit point of  $A$  if for each  $g^{**}\beta$ -open set  $U$  containing  $x$ ,  $U \cap (A - \{x\}) \neq \phi$ . The set of all  $g^{**}\beta$ -limit points of  $A$  is called the  $g^{**}\beta$ -derived set of  $A$  and is denoted by  $g^{**}\beta$ -D( $A$ ).

**Theorem 2.19.** For any subset  $A$  of a topological space  $X$ ,  $g^{**}\beta$ -Cl( $A$ ) =  $A \cup [g^{**}\beta$ -D( $A$ )].

**Proof.** Since  $g^{**}\beta$ -D( $A$ )  $\subseteq$   $g^{**}\beta$ -Cl( $A$ ).  $A \cup [g^{**}\beta$ -D( $A$ )]  $\subseteq$   $g^{**}\beta$ -Cl( $A$ ). On the other hand, let  $x \in g^{**}\beta$ -Cl( $A$ ). If  $x \in A$ , then the proof is complete. If  $x \notin A$ , each  $g^{**}\beta$ -open set  $U$  containing  $x$  intersects  $A$  at a point distinct from  $x$ , so  $x \in g^{**}\beta$ -D( $A$ ). Thus,  $g^{**}\beta$ -Cl( $A$ )  $\subseteq$   $[A \cup (g^{**}\beta$ -D( $A$ ))], which completes the proof.



**Corollary 2.20.** A subset  $A$  of a space  $X$  is  $g^{**}\beta$ -closed if and only if it contains the set of all of its  $g^{**}\beta$ -limit points.

**Theorem 2.21.** For subsets  $A, B$  of a space  $X$ , the following statements are true:

- (1)  $g^{**}\beta - Int(A)$  is the largest  $g^{**}\beta$ -open set contained in  $A$ ;
- (2)  $A$  is  $g^{**}\beta$ -open if and only if  $A = g^{**}\beta - Int(A)$ .
- (3)  $g^{**}\beta - Int[g^{**}\beta - Int(A)] = g^{**}\beta - Int(A)$ ;
- (4)  $g^{**}\beta - Int(A) = [A - (g^{**}\beta - D(X - A))]$ ;
- (5)  $[X - (g^{**}\beta - Cl(A))] = g^{**}\beta - Int(X - A)$ ;
- (6)  $[X - (g^{**}\beta - Int(A))] = g^{**}\beta - Cl(X - A)$ ;
- (7)  $[g^{**}\beta - Int(A)] \cup [g^{**}\beta - Int(B)] \subseteq g^{**}\beta - Int(A \cup B)$ ;
- (8)  $g^{**}\beta - Int(A \cap B) = [g^{**}\beta - Int(A)] \cap [g^{**}\beta - Int(B)]$ ;

**Proof.** (4) If  $x \in [A - (g^{**}\beta - D(X - A))]$ , then  $x \notin g^{**}\beta - D(X - A)$  and so there exists a  $g^{**}\beta$ -open set  $U$  containing  $x$  such that  $U \cap (X - A) = \phi$ . Then,  $x \in U \subseteq A$  and hence  $x \in g^{**}\beta - Int(A)$ , that is,  $[A - (g^{**}\beta - D(X - A))] \subseteq g^{**}\beta - Int(A)$ . On the other hand, if  $x \in g^{**}\beta - Int(A)$ , then  $x \notin g^{**}\beta - D(X - A)$  since  $g^{**}\beta - Int(A)$  is  $g^{**}\beta$ -open and  $[(g^{**}\beta - Int(A)) \cap (X - A)] = \phi$ . Hence,  $g^{**}\beta - Int(A) = [A - (g^{**}\beta - D(X - A))]$ .

(6)  $X - [g^{**}\beta - Int(A)] = X - [A - (g^{**}\beta - D(X - A))] = (X - A) \cup [g^{**}\beta - D(X - A)] = g^{**}\beta - Cl(X - A)$ .

**Theorem 2.22.** Let  $(X, \tau)$  be a topological space and  $A, B \subseteq X$ . Then the following statements are true:

- (1)  $x \in g^{**}\beta - Cl(A)$  if and only if for every  $g^{**}\beta$ -open subset  $U$  containing  $x$ ,  $U \cap A \neq \phi$ .
- (2)  $A \subseteq B$  implies that  $g^{**}\beta - Cl(A) \subseteq g^{**}\beta - Cl(B)$ .
- (3)  $A$  is  $g^{**}\beta$ -closed if and only if  $g^{**}\beta - Cl(A) = A$ .
- (4)  $g^{**}\beta - Cl[g^{**}\beta - Cl(A)] = g^{**}\beta - Cl(A)$ .
- (5)  $[g^{**}\beta - Cl(A)] \cup [g^{**}\beta - Cl(B)] = g^{**}\beta - Cl(A \cup B)$ .
- (6)  $g^{**}\beta - Int(X - A) = X - [g^{**}\beta - Cl(A)]$ .
- (7)  $g^{**}\beta - Cl(X - A) = X - [g^{**}\beta - Int(A)]$ .



**Definition 2.23.**  $g^{**}\beta - Bd(A) = A - [g^{**}\beta - Int(A)]$  is said to be the  $g^{**}\beta - border$  of  $A$ .

**Theorem 2.24.** For a subset  $A$  of a space  $X$ , the following statements hold:

- (1)  $Bd(A) \subseteq g^{**}\beta - Bd(A)$  where  $Bd(A)$  denotes the border of  $A$ ;
- (2)  $A = g^{**}\beta - Int(A) \cup g^{**}\beta - Bd(A)$ ;
- (3)  $[g^{**}\beta - Int(A)] \cap [g^{**}\beta - Bd(A)] = \phi$ ;
- (4)  $A$  is a  $g^{**}\beta - open$  set if and only if  $g^{**}\beta - Bd(A) = \phi$ ;
- (5)  $g^{**}\beta - Bd[g^{**}\beta - Int(A)] = \phi$ ;
- (6)  $g^{**}\beta - Int[g^{**}\beta - Bd(A)] = \phi$ ;
- (7)  $g^{**}\beta - Bd[g^{**}\beta - Bd(A)] = g^{**}\beta - Bd(A)$ ;
- (8)  $g^{**}\beta - Bd(A) = A \cap [g^{**}\beta - Cl(X - A)]$ ;
- (9)  $g^{**}\beta - Bd(A) = g^{**}\beta - D(X - A)$ .

**Proof.** (6) If  $x \in g^{**}\beta - Int[g^{**}\beta - Bd(A)]$ , then  $x \in g^{**}\beta - Bd(A)$ . On the other hand, since  $g^{**}\beta - Bd(A) \subseteq A$ ,  $x \in g^{**}\beta - Int[g^{**}\beta - Bd(A)] \subseteq g^{**}\beta - Int(A)$ . Therefore, we get  $x \in [g^{**}\beta - Int(A)] \cap [g^{**}\beta - Bd(A)]$ , which contradicts (3). Thus,  $g^{**}\beta - Int[g^{**}\beta - Bd(A)] = \phi$ .

$$(8) \quad g^{**}\beta - Bd(A) = A - [g^{**}\beta - Int(A)] = A - [X - (g^{**}\beta - Cl(X - A))] = A \cap [g^{**}\beta - Cl(X - A)].$$

$$(9) \quad g^{**}\beta - Bd(A) = A - [g^{**}\beta - Int(A)] = A - [A - (g^{**}\beta - D(X - A))] = g^{**}\beta - D(X - A).$$

**Definition 2.25.**  $g^{**}\beta - Fr(A) = [g^{**}\beta - Cl(A)] - [g^{**}\beta - Int(A)]$  is said to be the  $g^{**}\beta - frontier$  of  $A$ .

**Theorem 2.26.** For a subset  $A$  of a space  $X$ , the following statements hold:

- (1)  $Fr(A) \subseteq g^{**}\beta - Fr(A)$  where  $Fr(A)$  denotes the frontier of  $A$ ;
- (2)  $g^{**}\beta - Cl(A) = [g^{**}\beta - Int(A)] \cup [g^{**}\beta - Fr(A)]$ ;
- (3)  $[g^{**}\beta - Int(A)] \cap [g^{**}\beta - Fr(A)] = \phi$ ;
- (4)  $g^{**}\beta - Bd(A) \subseteq g^{**}\beta - Fr(A)$ ;
- (5)  $g^{**}\beta - Fr(A) = [g^{**}\beta - Bd(A)] \cup [g^{**}\beta - D(A)]$ ;
- (6)  $A$  is a  $g^{**}\beta - open$  set if and only if  $g^{**}\beta - Fr(A) = g^{**}\beta - D(A)$ ;



$$(7) \text{g}^{**\beta}\text{-Fr}(A) = [\text{g}^{**\beta}\text{-Cl}(A)] \text{I} [\text{g}^{**\beta}\text{-Cl}(X - A)];$$

$$(8) \text{g}^{**\beta}\text{-Fr}(A) = \text{g}^{**\beta}\text{-Fr}(X - A);$$

$$(9) \text{g}^{**\beta}\text{-Fr}(A) \text{ is } \text{g}^{**\beta}\text{-closed};$$

$$(10) \text{g}^{**\beta}\text{-Fr}[\text{g}^{**\beta}\text{-Fr}(A)] \subseteq \text{g}^{**\beta}\text{-Fr}(A);$$

$$(11) \text{g}^{**\beta}\text{-Fr}[\text{g}^{**\beta}\text{-Int}(A)] \subseteq \text{g}^{**\beta}\text{-Fr}(A);$$

$$(12) \text{g}^{**\beta}\text{-Fr}[\text{g}^{**\beta}\text{-Cl}(A)] \subseteq \text{g}^{**\beta}\text{-Fr}(A);$$

$$(13) \text{g}^{**\beta}\text{-Int}(A) = A - [\text{g}^{**\beta}\text{-Fr}(A)].$$

**Proof.** (2)  $[\text{g}^{**\beta}\text{-Int}(A)] \cup [\text{g}^{**\beta}\text{-Fr}(A)] =$   
 $\text{g}^{**\beta}\text{-Int}(A) \cup [\text{g}^{**\beta}\text{-Cl}(A) - \text{g}^{**\beta}\text{-Int}(A)] = \text{g}^{**\beta}\text{-Cl}(A)$

$$(3) [\text{g}^{**\beta}\text{-Int}(A)] \text{I} [\text{g}^{**\beta}\text{-Fr}(A)] =$$

$$[\text{g}^{**\beta}\text{-Int}(A)] \text{I} [(\text{g}^{**\beta}\text{-Cl}(A)) - (\text{g}^{**\beta}\text{-Int}(A))] = \phi.$$

$$(5) \text{ Since } [\text{g}^{**\beta}\text{-Int}(A)] \cup [\text{g}^{**\beta}\text{-Fr}(A)] =$$

$$[\text{g}^{**\beta}\text{-Int}(A)] \cup [\text{g}^{**\beta}\text{-Bd}(A)] \cup [\text{g}^{**\beta}\text{-D}(A)],$$

$$\text{g}^{**\beta}\text{-Fr}(A) = [\text{g}^{**\beta}\text{-Bd}(A)] \cup [\text{g}^{**\beta}\text{-D}(A)].$$

$$(7) \text{g}^{**\beta}\text{-Fr}(A) = [\text{g}^{**\beta}\text{-Cl}(A)] - [\text{g}^{**\beta}\text{-Int}(A)] =$$

$$[\text{g}^{**\beta}\text{-Cl}(A)] \text{I} [\text{g}^{**\beta}\text{-Cl}(X - A)].$$

$$(9) \text{g}^{**\beta}\text{-Cl}[\text{g}^{**\beta}\text{-Fr}(A)] = \text{g}^{**\beta}\text{-Cl}[(\text{g}^{**\beta}\text{-Cl}(A)) \text{I} (\text{g}^{**\beta}\text{-Cl}(X - A))] \subseteq$$

$$\text{g}^{**\beta}\text{-Cl}[\text{g}^{**\beta}\text{-Cl}(A)] \text{I} \text{g}^{**\beta}\text{-Cl}[\text{g}^{**\beta}\text{-Cl}(X - A)]$$

$$= [\text{g}^{**\beta}\text{-Cl}(A)] \text{I} [\text{g}^{**\beta}\text{-Cl}(X - A)] = \text{g}^{**\beta}\text{-Fr}(A). \text{ Hence } \text{g}^{**\beta}\text{-Fr}(A) \text{ is}$$

$$\text{g}^{**\beta}\text{-closed}.$$

$$(10) \text{g}^{**\beta}\text{-Fr}[\text{g}^{**\beta}\text{-Fr}(A)] =$$

$$\text{g}^{**\beta}\text{-Cl}[\text{g}^{**\beta}\text{-Fr}(A)] \text{I} \text{g}^{**\beta}\text{-Cl}[X - (\text{g}^{**\beta}\text{-Fr}(A))] \subseteq$$

$$\text{g}^{**\beta}\text{-Cl}[\text{g}^{**\beta}\text{-Fr}(A)] = \text{g}^{**\beta}\text{-Fr}(A).$$

$$(12) \text{g}^{**\beta}\text{-Fr}[\text{g}^{**\beta}\text{-Cl}(A)] = \text{g}^{**\beta}\text{-Cl}[\text{g}^{**\beta}\text{-Cl}(A)] - \text{g}^{**\beta}\text{-Int}[\text{g}^{**\beta}\text{-Cl}(A)] =$$

$$[\text{g}^{**\beta}\text{-Cl}(A)] - [\text{g}^{**\beta}\text{-Int}(\text{g}^{**\beta}\text{-Cl}(A))] \subseteq$$

$$[(\text{g}^{**\beta}\text{-Cl}(A)) - (\text{g}^{**\beta}\text{-Int}(A))] = \text{g}^{**\beta}\text{-Fr}(A).$$

$$(13) A - [\text{g}^{**\beta}\text{-Fr}(A)] = A - [(\text{g}^{**\beta}\text{-Cl}(A)) - (\text{g}^{**\beta}\text{-Int}(A))] = \text{g}^{**\beta}\text{-Int}(A).$$

### 3-8: CHARACTERIZATIONS OF MAPPINGS



The purpose of this part is to introduce  $g^{**\beta}$ -continuous,  $g^{**\beta}$ -irresolute,  $g^{**\beta}$ -open,  $g^{**\beta}$ -closed,  $pre$ - $g^{**\beta}$ -open, and  $pre$ - $g^{**\beta}$ -closed functions and explore properties and characterizations of these functions.

### 3. $g^{**\beta}$ -CONTINUOUS FUNCTIONS

The purpose of this section is to investigate the properties and characterizations of  $g^{**\beta}$ -continuous functions.

**Definition 3.1.** A function  $f : (X, \tau) \rightarrow (Y, \sigma)$  is said to be  $g^{**\beta}$ -continuous if  $f^{-1}(V) \in g^{**\beta}\text{-}\mathcal{O}(X, \tau)$  for every  $V \in \sigma$ .

**Theorem 3.2.** Let  $f : (X, \tau) \rightarrow (Y, \sigma)$  be a function. Then the following statements are equivalent:

- (1)  $f$  is  $g^{**\beta}$ -continuous.
- (2) The inverse image of each closed set in  $Y$  is a  $g^{**\beta}$ -closed set in  $X$ ;
- (3)  $g^{**\beta}\text{-Cl}[f^{-1}(V)] \subseteq f^{-1}[Cl(V)]$ , for every  $V \subseteq Y$ ;
- (4)  $f[g^{**\beta}\text{-Cl}(U)] \subseteq Cl[f(U)]$ , for every  $U \subseteq X$ ;
- (5) For any point  $x \in X$  and any open set  $V$  of  $Y$  containing  $f(x)$ , there exists  $U \in g^{**\beta}\text{-}\mathcal{O}(X, \tau)$  such that  $x \in U$  and  $f(U) \subseteq V$ ;
- (6)  $g^{**\beta}\text{-Bd}[f^{-1}(V)] \subseteq f^{-1}[g^{**\beta}\text{-}d(V)]$ , for every  $V \subseteq Y$ ;
- (7)  $f[g^{**\beta}\text{-}D(U)] \subseteq Cl[f(U)]$ , for every  $U \subseteq X$ ;
- (8)  $f^{-1}[Int(V)] \subseteq g^{**\beta}\text{-}Int[f^{-1}(V)]$ , for every  $V \subseteq Y$ ;

**Proof.** (1)  $\Rightarrow$  (2): Let  $F \subseteq Y$  be closed. Since  $f$  is  $g^{**\beta}$ -continuous,  $f^{-1}(Y - F) = X - f^{-1}(F)$  is  $g^{**\beta}$ -open. Therefore,  $f^{-1}(F)$  is  $g^{**\beta}$ -closed in  $X$ .

(2)  $\Rightarrow$  (3): Since  $Cl(V)$  is closed for every  $V \subseteq Y$ , then  $f^{-1}[Cl(V)]$  is  $g^{**\beta}$ -closed. Therefore  $f^{-1}[Cl(V)] = g^{**\beta}\text{-Cl}[f^{-1}(Cl(V))] \supseteq g^{**\beta}\text{-Cl}[f^{-1}(V)]$ .

(3)  $\Rightarrow$  (4): Let  $U \subseteq X$  and  $f(U) = V$ . Then  $g^{**\beta}\text{-Cl}[f^{-1}(V)] \subseteq f^{-1}[Cl(V)]$ . Thus  $g^{**\beta}\text{-Cl}(U) \subseteq g^{**\beta}\text{-Cl}[f^{-1}(f(U))] \subseteq f^{-1}[Cl(f(U))]$  and  $f[g^{**\beta}\text{-Cl}(U)] \subseteq Cl[f(U)]$ .

(4)  $\Rightarrow$  (2): Let  $W \subseteq Y$  be a closed set, and  $U = f^{-1}(W)$ . Then  $f[g^{**\beta}\text{-Cl}(U)] \subseteq Cl[f(U)] = Cl[f(f^{-1}(W))] \subseteq Cl(W) = W$ . Thus  $g^{**\beta}\text{-Cl}(U) \subseteq f^{-1}[f(g^{**\beta}\text{-Cl}(U))] \subseteq f^{-1}(W) = U$ . So  $U$  is  $g^{**\beta}$ -closed.



(2)  $\Rightarrow$  (1): Let  $V \subseteq Y$  be an open set. Then  $Y - V$  is closed. Then  $f^{-1}(Y - V) = X - f^{-1}(V)$  is  $\mathbf{g}^{**}\beta$ -closed in  $X$  and hence  $f^{-1}(V)$  is  $\mathbf{g}^{**}\beta$ -open in  $X$ .

(1)  $\Rightarrow$  (5): Let  $f : (X, \tau) \rightarrow (Y, \sigma)$  be  $\mathbf{g}^{**}\beta$ -continuous. For any  $x \in X$  and any open set  $V$  of  $Y$  containing  $f(x)$ ,  $U = f^{-1}(V) \in \mathbf{g}^{**}\beta\text{-}O(X, \tau)$ , and  $f(U) = f[f^{-1}(V)] \subseteq V$ .

(5)  $\Rightarrow$  (1): Let  $V \in \sigma$ . We prove  $f^{-1}(V) \in \mathbf{g}^{**}\beta\text{-}O(X, \tau)$ . Let  $x \in f^{-1}(V)$ . Then  $f(x) \in V$  and there exists  $U \in \mathbf{g}^{**}\beta\text{-}O(X, \tau)$  such that  $x \in U$  and  $f(U) \subseteq V$ . Hence  $x \in U \subseteq f^{-1}[f(U)] \subseteq f^{-1}(V)$ . It shows that  $f^{-1}(V)$  is a  $\mathbf{g}^{**}\beta$ -neighborhood of each of its points. Therefore  $f^{-1}(V) \in \mathbf{g}^{**}\beta\text{-}O(X, \tau)$ .

(6)  $\Rightarrow$  (8): Let  $V \subseteq Y$ . Then by hypothesis,  $\mathbf{g}^{**}\beta\text{-}Bd[f^{-1}(V)] \subseteq f^{-1}[Bd(V)]$

$\Rightarrow f^{-1}(V) - [\mathbf{g}^{**}\beta\text{-}Int(f^{-1}(V))] \subseteq f^{-1}[V - Int(V)] = f^{-1}(V) - f^{-1}[Int(V)]$

$\Rightarrow f^{-1}[Int(V)] \subseteq \mathbf{g}^{**}\beta\text{-}Int[f^{-1}(V)]$ .

(8)  $\Rightarrow$  (6): Let  $V \subseteq Y$ . Then by hypothesis,  $f^{-1}[Int(V)] \subseteq \mathbf{g}^{**}\beta\text{-}Int[f^{-1}(V)]$

$\Rightarrow f^{-1}(V) - [\mathbf{g}^{**}\beta\text{-}Int(f^{-1}(V))] \subseteq f^{-1}(V) - f^{-1}[Int(V)] = f^{-1}[V - Int(V)]$

$\Rightarrow \mathbf{g}^{**}\beta\text{-}Bd[f^{-1}(V)] \subseteq f^{-1}[Bd(V)]$ .

(1)  $\Rightarrow$  (7): It is obvious, since  $f$  is  $\mathbf{g}^{**}\beta$ -continuous and by (4)  $f[\mathbf{g}^{**}\beta\text{-}Cl(U)] \subseteq Cl[f(U)]$  for each  $U \subseteq X$ . So  $f[\mathbf{g}^{**}\beta\text{-}D(U)] \subseteq Cl[f(U)]$ .

(7)  $\Rightarrow$  (1): Let  $U \subseteq Y$  be an open set,  $V = Y - U$  and  $f^{-1}(V) = W$ . Then by hypothesis  $f[\mathbf{g}^{**}\beta\text{-}D(W)] \subseteq Cl[f(W)]$ . Thus

$f[\mathbf{g}^{**}\beta\text{-}D(f^{-1}(V))] \subseteq Cl[f(f^{-1}(V))] \subseteq Cl(V) = V$ . Then  $\mathbf{g}^{**}\beta\text{-}D[f^{-1}(V)] \subseteq f^{-1}(V)$  and  $f^{-1}(V)$  is  $\mathbf{g}^{**}\beta$ -closed. Therefore,  $f$  is  $\mathbf{g}^{**}\beta$ -continuous.

(1)  $\Rightarrow$  (8): Let  $V \subseteq Y$ . Then  $f^{-1}[Int(V)]$  is  $\mathbf{g}^{**}\beta$ -open in  $X$ . Thus  $f^{-1}[Int(V)] = \mathbf{g}^{**}\beta\text{-}Int[f^{-1}(Int(V))] \subseteq \mathbf{g}^{**}\beta\text{-}Int[f^{-1}(V)]$ . Therefore  $f^{-1}[Int(V)] \subseteq \mathbf{g}^{**}\beta\text{-}Int[f^{-1}(V)]$ .

(8)  $\Rightarrow$  (1): Let  $V \subseteq Y$  be an open set. Then  $f^{-1}(V) = f^{-1}[Int(V)] \subseteq \mathbf{g}^{**}\beta\text{-}Int[f^{-1}(V)]$ . Therefore,  $f^{-1}(V)$  is  $\mathbf{g}^{**}\beta$ -open. Hence  $f$  is  $\mathbf{g}^{**}\beta$ -continuous.

In the next Theorem,  $\# \mathbf{g}^{**}\beta\text{-}c$ . denotes the set of points  $x$  of  $X$  for which a function  $f : (X, \tau) \rightarrow (Y, \sigma)$  is not  $\mathbf{g}^{**}\beta$ -continuous.



**Theorem 3.3.**  $\#g^{**\beta}$ - $c.$  is identical with the union of the  $g^{**\beta}$ -frontiers of the inverse images of  $g^{**\beta}$ -open sets containing  $f(x)$ .

**Proof.** Suppose that  $f$  is not  $g^{**\beta}$ -continuous at a point  $x$  of  $X$ . Then there exists an open set  $V \subseteq Y$  containing  $f(x)$  such that  $f(U)$  is not a subset of  $V$  for every  $U \in g^{**\beta}$ - $O(X, \tau)$  containing  $x$ . Hence, we have  $U \cap f^{-1}(X - f^{-1}(V)) \neq \emptyset$  for every  $U \in g^{**\beta}$ - $O(X, \tau)$  containing  $x$ . It follows that  $x \in [g^{**\beta}\text{-Cl}(X - f^{-1}(V))]$ . We also have  $x \in f^{-1}(V) \subseteq g^{**\beta}\text{-Cl}[f^{-1}(V)]$ . This means that  $x \in g^{**\beta}\text{-Fr}[f^{-1}(V)]$ . Now, let  $f$  be  $g^{**\beta}$ -continuous at  $x \in X$  and  $V \subseteq Y$  any open set containing  $f(x)$ . Then,  $x \in f^{-1}(V)$  is a  $g^{**\beta}$ -open set of  $X$ . Thus,  $x \in g^{**\beta}\text{-Int}[f^{-1}(V)]$  and therefore  $x \notin g^{**\beta}\text{-Fr}[f^{-1}(V)]$  for every open set  $V$  containing  $f(x)$ .

**Remarks 3.4.** (1) Every  $g^{**\beta}$ -continuous function is continuous, but the converse may not be true.

(2) If a function  $f : (X, \tau) \rightarrow (Y, \sigma)$  is  $g^{**\beta}$ -continuous and a function  $g : (Y, \sigma) \rightarrow (Z, \vartheta)$  is  $g^{**\beta}$ -continuous, then  $g \circ f : (X, \tau) \rightarrow (Z, \vartheta)$  is  $g^{**\beta}$ -continuous.

(3) If a function  $f : (X, \tau) \rightarrow (Y, \sigma)$  is  $g^{**\beta}$ -continuous and a function  $g : (Y, \sigma) \rightarrow (Z, \vartheta)$  is continuous, then  $g \circ f : (X, \tau) \rightarrow (Z, \vartheta)$  is  $g^{**\beta}$ -continuous.

(4) Let  $(X, \tau)$  and  $(Y, \sigma)$  be topological spaces. If  $f : (X, \tau) \rightarrow (Y, \sigma)$  is a function, and one of the following

(a)  $f^{-1}[Int(B)] \subseteq g^{**\beta}\text{-Int}[f^{-1}(B)]$  for each  $B \subseteq Y$ .

(b)  $g^{**\beta}\text{-Cl}[f^{-1}(B)] \subseteq f^{-1}[Cl(B)]$  for each  $B \subseteq Y$ .

(c)  $f[g^{**\beta}\text{-Cl}(A)] \subseteq Cl[f(A)]$  for each  $A \subseteq X$  holds, then  $f$  is continuous.

**Lemma 3.5.** Let  $A \subseteq Y \subseteq X$ ,  $Y$  is  $g^{**\beta}$ -open in  $X$  and  $A$  is  $g^{**\beta}$ -open in  $Y$ . Then  $A$  is  $g^{**\beta}$ -open in  $X$ .

**Proof.** Since  $A$  is  $g^{**\beta}$ -open in  $Y$ , there exists a  $g^{**\beta}$ -open set  $U \subseteq X$  such that  $A = Y \cap U$ . Thus  $A$  being the intersection of two  $g^{**\beta}$ -open sets in  $X$ , is  $g^{**\beta}$ -open in  $X$ .

**Theorem 3.6.** Let  $f : (X, \tau) \rightarrow (Y, \sigma)$  be a mapping and  $\{U_i : i \in I\}$  be a cover of  $X$  such that  $U_i \in g^{**\beta}$ - $O(X, \tau)$  for each  $i \in I$ . Then prove that  $f$  is  $g^{**\beta}$ -continuous.

**Proof.** Let  $V \subseteq Y$  be an open set, then  $(f|_{U_i})^{-1}(V)$  is  $g^{**\beta}$ -open in  $U_i$  for each  $i \in I$ . Since  $U_i$  is  $g^{**\beta}$ -open in  $X$  for each  $i \in I$ . So by Lemma 3.5,  $(f|_{U_i})^{-1}(V)$  is  $g^{**\beta}$ -open in  $X$  for each  $i \in I$ . But,  $f^{-1}(V) = \bigcup \{(f|_{U_i})^{-1}(V) : i \in I\}$ , then  $f^{-1}(V) \in g^{**\beta}\text{-}(X, \tau)$  because  $g^{**\beta}\text{-}O(X, \tau)$  is closed under union. This implies that  $f$  is  $g^{**\beta}$ -continuous.



## 4. $g^{**}\beta$ -IRRESOLUTE FUNCTIONS

In this section, the functions to be considered are those for which inverses of  $g^{**}\beta$ -open sets are  $g^{**}\beta$ -open. We investigate some properties and characterizations of such functions.

**Definition 4.1.** Let  $(X, \tau)$  and  $(Y, \sigma)$  be topological spaces. A function  $f : (X, \tau) \rightarrow (Y, \sigma)$  is called  $g^{**}\beta$ -irresolute if the inverse image of each  $g^{**}\beta$ -open set of  $Y$  is a  $g^{**}\beta$ -open set in  $X$ .

**Theorem 4.2.** Let  $f : (X, \tau) \rightarrow (Y, \sigma)$  be a function between topological spaces. Then the following statements are equivalent:

- (1)  $f$  is  $g^{**}\beta$ -irresolute;
- (2) the inverse image of each  $g^{**}\beta$ -closed set in  $Y$  is a  $g^{**}\beta$ -closed set in  $X$ ;
- (3)  $g^{**}\beta\text{-Cl}[f^{-1}(V)] \subseteq f^{-1}[g^{**}\beta\text{-Cl}(V)]$  for every  $V \subseteq Y$ ;
- (4)  $f[g^{**}\beta\text{-Cl}(U)] \subseteq g^{**}\beta\text{-Cl}[f(U)]$  for every  $U \subseteq X$ ;
- (5)  $f^{-1}[g^{**}\beta\text{-Int}(B)] \subseteq g^{**}\beta\text{-Int}[f^{-1}(B)]$  for every  $B \subseteq Y$ .

**Theorem 4.3.** Prove that a function  $f : (X, \tau) \rightarrow (Y, \sigma)$  is  $g^{**}\beta$ -irresolute if and only if for each point  $p$  in  $X$  and each  $g^{**}\beta$ -open set  $B$  in  $Y$  with  $f(p) \in B$ , there is a  $g^{**}\beta$ -open set  $A$  in  $X$  such that  $p \in A$ ,  $f(A) \subseteq B$ .

**Proof. Necessity.** Let  $p \in X$  and  $B \in g^{**}\beta\text{-}O(Y, \sigma)$  such that  $f(p) \in B$ . Let  $A = f^{-1}(B)$ . Since  $f$  is  $g^{**}\beta$ -irresolute,  $A$  is  $g^{**}\beta$ -open in  $X$ . Also  $p \in f^{-1}(B) = A$  as  $f(p) \in B$ . Thus we have  $f(A) = f[f^{-1}(B)] \subseteq B$ .

**Sufficiency.** Let  $B \in g^{**}\beta\text{-}O(Y, \sigma)$ , and  $A = f^{-1}(B)$ . We show that  $A$  is  $g^{**}\beta$ -open in  $X$ . For this let  $x \in A$ . It implies that  $f(x) \in B$ . Then by hypothesis, there exists  $A_x \in g^{**}\beta\text{-}O(X, \tau)$  such that  $x \in A_x$  and  $f(A_x) \subseteq B$ . Then  $A_x \subseteq f^{-1}[f(A_x)] \subseteq f^{-1}(B) = A$ . Thus  $A = \cup\{A_x : x \in A\}$ . It follows that  $A$  is  $g^{**}\beta$ -open in  $X$ . Hence  $f$  is  $g^{**}\beta$ -irresolute.

**Definition 4.4.** Let  $(X, \tau)$  be a topological space. Let  $x \in X$  and  $N \subseteq X$ . We say that  $N$  is a  $g^{**}\beta$ -neighborhood of  $x$  if there exists a  $g^{**}\beta$ -open set  $M$  of  $X$  such that  $x \in M \subseteq N$ .

**Theorem 4.5.** Prove that a function  $f : (X, \tau) \rightarrow (Y, \sigma)$  is  $g^{**}\beta$ -irresolute if and only if for each  $x$  in  $X$ , the inverse image of every  $g^{**}\beta$ -neighborhood of  $f(x)$ , is a  $g^{**}\beta$ -neighborhood of  $x$ .





**Proof. Necessity.** Let  $x \in X$  and let  $B$  be a  $\mathfrak{g}^{**}\mathfrak{B}$ -neighborhood of  $f(x)$ . Then there exists  $U \in \mathfrak{g}^{**}\mathfrak{B}-O(Y, \sigma)$  such that  $f(x) \in U \subseteq B$ . This implies that  $x \in f^{-1}(U) \subseteq f^{-1}(B)$ . Since  $f$  is  $\mathfrak{g}^{**}\mathfrak{B}$ -irresolute, so  $f^{-1}(U) \in \mathfrak{g}^{**}\mathfrak{B}-O(X, \tau)$ . Hence  $f^{-1}(B)$  is a  $\mathfrak{g}^{**}\mathfrak{B}$ -neighborhood of  $x$ .

**Sufficiency.** Let  $B \in \mathfrak{g}^{**}\mathfrak{B}-O(Y, \sigma)$ . Put  $A = f^{-1}(B)$ . Let  $x \in A$ . Then  $f(x) \in B$ . But then,  $B$  being  $\mathfrak{g}^{**}\mathfrak{B}$ -open set, is a  $\mathfrak{g}^{**}\mathfrak{B}$ -neighborhood of  $f(x)$ . So by hypothesis,  $A = f^{-1}(B)$  is a  $\mathfrak{g}^{**}\mathfrak{B}$ -neighborhood of  $x$ . Hence by definition, there exists  $A_x \in \mathfrak{g}^{**}\mathfrak{B}-O(X, \tau)$  such that  $x \in A_x \subseteq A$ . Thus  $A = \cup\{A_x : x \in A\}$ . It follows that  $A$  is a  $\mathfrak{g}^{**}\mathfrak{B}$ -open set in  $X$ . Therefore  $f$  is  $\mathfrak{g}^{**}\mathfrak{B}$ -irresolute.

**Theorem 4.6.** Prove that a function  $f : (X, \tau) \rightarrow (Y, \sigma)$  is  $\mathfrak{g}^{**}\mathfrak{B}$ -irresolute if and only if for each  $x$  in  $X$  and each  $\mathfrak{g}^{**}\mathfrak{B}$ -neighborhood  $U$  of  $f(x)$ , there is a  $\mathfrak{g}^{**}\mathfrak{B}$ -neighborhood  $V$  of  $x$  such that  $f(V) \subseteq U$ .

**Proof. Necessity.** Let  $x \in X$  and let  $U$  be a  $\mathfrak{g}^{**}\mathfrak{B}$ -neighborhood of  $f(x)$ . Then there exists  $O_{f(x)} \in \mathfrak{g}^{**}\mathfrak{B}-O(Y, \sigma)$  such that  $f(x) \in O_{f(x)} \subseteq U$ . It follows that  $x \in f^{-1}[O_{f(x)}] \subseteq f^{-1}(U)$ . By hypothesis,  $f^{-1}[O_{f(x)}] \in \mathfrak{g}^{**}\mathfrak{B}-O(X, \tau)$ . Let  $V = f^{-1}(U)$ . Then it follows that  $V$  is a  $\mathfrak{g}^{**}\mathfrak{B}$ -neighborhood of  $x$  and  $f(V) = f[f^{-1}(U)] \subseteq U$ .

**Sufficiency.** Let  $B \in \mathfrak{g}^{**}\mathfrak{B}-O(Y, \sigma)$ . Put  $O = f^{-1}(B)$ . Let  $x \in O$ . Then  $f(x) \in B$ . Thus  $B$  is a  $\mathfrak{g}^{**}\mathfrak{B}$ -neighborhood of  $f(x)$ . So by hypothesis, there exists a  $\mathfrak{g}^{**}\mathfrak{B}$ -neighborhood  $V_x$  of  $x$  such that  $f(V_x) \subseteq B$ . Thus it follows that  $x \in V_x \subseteq f^{-1}[f(V_x)] \subseteq f^{-1}(B) = O$ . Since  $V_x$  is a  $\mathfrak{g}^{**}\mathfrak{B}$ -neighborhood of  $x$ , so there exists an  $O_x \in \mathfrak{g}^{**}\mathfrak{B}-O(X, \tau)$  such that  $x \in O_x \subseteq V_x$ . Hence  $x \in O_x \subseteq O$ ,  $O_x \in \mathfrak{g}^{**}\mathfrak{B}-O(X, \tau)$ . Thus  $O = \cup\{O_x : x \in O\}$ . It follows that  $O$  is  $\mathfrak{g}^{**}\mathfrak{B}$ -open in  $X$ . Therefore,  $f$  is  $\mathfrak{g}^{**}\mathfrak{B}$ -irresolute.

**Theorem 4.7.** Prove that a function  $f : (X, \tau) \rightarrow (Y, \sigma)$  is  $\mathfrak{g}^{**}\mathfrak{B}$ -irresolute if and only if  $f[\mathfrak{g}^{**}\mathfrak{B}-D(A)] \subseteq f(A) \cup [\mathfrak{g}^{**}\mathfrak{B}-D(f(A))]$ , for all  $A \subseteq X$ .

**Proof. Necessity.** Let  $f : (X, \tau) \rightarrow (Y, \sigma)$  be  $\mathfrak{g}^{**}\mathfrak{B}$ -irresolute. Let  $A \subseteq X$ , and  $a_0 \in \mathfrak{g}^{**}\mathfrak{B}-D(A)$ . Assume that  $f(a_0) \notin f(A)$  and let  $V$  denote a  $\mathfrak{g}^{**}\mathfrak{B}$ -neighborhood of  $f(a_0)$ . Since  $f$  is  $\mathfrak{g}^{**}\mathfrak{B}$ -irresolute, so by Theorem 4.6, there exists a  $\mathfrak{g}^{**}\mathfrak{B}$ -neighborhood  $U$  of  $a_0$  such that  $f(U) \subseteq V$ . From  $a_0 \in \mathfrak{g}^{**}\mathfrak{B}-D(A)$ , it follows that  $U \cap A \neq \emptyset$ ; there exists, therefore, at least one element  $a \in U \cap A$  such that  $f(a) \in f(A)$  and  $f(a) \in f(V)$ . Since  $f(a_0) \notin f(A)$ , we have  $f(a) \neq f(a_0)$ . Thus every  $\mathfrak{g}^{**}\mathfrak{B}$ -neighborhood of  $f(a_0)$  contains an element of  $f(A)$  different from  $f(a_0)$ , consequently,  $f(a_0) \in \mathfrak{g}^{**}\mathfrak{B}-D[f(A)]$ . This proves necessity of the condition.



**Sufficiency.** Assume that  $f$  is not  $g^{**}\beta$ -irresolute. Then by Theorem 4.6, there exists  $a_0 \in X$  and a  $g^{**}\beta$ -neighborhood  $V$  of  $f(a_0)$  such that every  $g^{**}\beta$ -neighborhood  $U$  of  $a_0$  contains at least one element  $a \in U$  for which  $f(a) \notin V$ . Put  $A = \{a \in X : f(a) \notin V\}$ . Then  $a_0 \notin A$  since  $f(a_0) \in V$ , and therefore  $f(a_0) \notin A$ ; also  $f(a_0) \notin g^{**}\beta-D[f(A)]$  since  $V \cap (V - \{f(a_0)\}) = \emptyset$ .

Therefore,  $f(a_0) \in f[g^{**}\beta-D(A)] - [f(A) \cup (g^{**}\beta-D(f(A)))] \neq \emptyset$ , which is a contradiction to the given condition. The condition of the Theorem is therefore sufficient, and the theorem is proved.

**Theorem 4.8.** Let  $f : (X, \tau) \rightarrow (Y, \sigma)$  be a one-to-one function. Then  $f$  is  $g^{**}\beta$ -irresolute if and only if  $f[g^{**}\beta-D(A)] \subseteq g^{**}\beta-D[f(A)]$ , for all  $A \subseteq X$ .

**Proof. Necessity.** Let  $f$  be  $g^{**}\beta$ -irresolute. Let  $A \subseteq X$ ,  $a_0 \in g^{**}\beta-D(A)$  and  $V$  be a  $g^{**}\beta$ -neighborhood of  $f(a_0)$ . Since  $f$  is  $g^{**}\beta$ -irresolute, so by Theorem 4.6, there exists a  $g^{**}\beta$ -neighborhood  $U$  of  $a_0$  such that  $f(U) \subseteq V$ . But  $a_0 \in g^{**}\beta-D(A)$ ; hence there exists an element  $a \in U \cap A$  such that  $a \neq a_0$ ; then  $f(a) \in f(A)$  and since  $f$  is one to one,  $f(a) \neq f(a_0)$ . Thus every  $g^{**}\beta$ -neighborhood  $V$  of  $f(a_0)$  contains an element of  $f(A)$  different from  $f(a_0)$ ; consequently  $f(a_0) \in g^{**}\beta-D[f(A)]$ . We have therefore  $f[g^{**}\beta-D(A)] \subseteq g^{**}\beta-D[f(A)]$ .

**Sufficiency.** Follows from Theorem 4.7.

## 5 $g^{**}\beta$ -OPEN FUNCTIONS

The purpose of this section is to investigate some characterizations of  $g^{**}\beta$ -open mappings.

**Definition 5.1.** Let  $(X, \tau)$  and  $(Y, \sigma)$  be topological spaces. A function  $f : (X, \tau) \rightarrow (Y, \sigma)$  is called  $g^{**}\beta$ -open if for every open set  $G$  in  $X$ ,  $f(G)$  is a  $g^{**}\beta$ -open set in  $Y$ .

**Theorem 5.2.** Prove that a mapping  $f : (X, \tau) \rightarrow (Y, \sigma)$  is  $g^{**}\beta$ -open if and only if for each  $x \in X$ , and  $U \in \tau$  such that  $x \in U$ , there exists a  $g^{**}\beta$ -open set  $W \subseteq Y$  containing  $f(x)$  such that  $W \subseteq f(U)$ .

**Proof.** Follows immediately from Definition 5.1.

**Theorem 5.3.** Let  $f : (X, \tau) \rightarrow (Y, \sigma)$  be  $g^{**}\beta$ -open. If  $W \subseteq Y$  and  $F \subseteq X$  is a closed set containing  $f^{-1}(W)$ , then there exists a  $g^{**}\beta$ -closed  $H \subseteq Y$  containing  $W$  such that  $f^{-1}(H) \subseteq F$ .

**Proof.** Let  $H = Y - f(Y - F)$ . Since  $f^{-1}(W) \subseteq F$ , we have  $f^{-1}(Y - F) \subseteq (Y - W)$ . Since  $f$  is  $g^{**}\beta$ -open, then  $H$  is  $g^{**}\beta$ -closed and  $f^{-1}(H) = X - f^{-1}[f(Y - F)] \subseteq X - (Y - F) = F$ .



**Theorem 5.4.** Let  $f : (X, \tau) \rightarrow (Y, \sigma)$  be a  $g^{**}\beta$ -open function and let  $B \subseteq Y$ . Then  $f^{-1} [g^{**}\beta - Cl(g^{**}\beta - Int(g^{**}\beta - Cl(B)))] \subseteq Cl[f^{-1}(B)]$ .

**Proof.**  $Cl[f^{-1}(B)]$  is closed in  $X$  containing  $f^{-1}(B)$ . By Theorem 5.3, there exists a  $g^{**}\beta$ -closed set  $B \subseteq H \subseteq Y$  such that  $f^{-1}(H) \subseteq Cl[f^{-1}(B)]$ . Thus,  $f^{-1} [g^{**}\beta - Cl(g^{**}\beta - Int(g^{**}\beta - Cl(B)))] \subseteq f^{-1} [g^{**}\beta - Cl(g^{**}\beta - Int(g^{**}\beta - Cl(H)))] \subseteq f^{-1}(H) \subseteq Cl[f^{-1}(B)]$ .

**Theorem 5.5.** Prove that a function  $f : (X, \tau) \rightarrow (Y, \sigma)$  is  $g^{**}\beta$ -open if and only if  $f[Int(A)] \subseteq g^{**}\beta - Int[f(A)]$ , for all  $A \subseteq X$ .

**Proof. Necessity.** Let  $A \subseteq X$  and  $x \in Int(A)$ . Then there exists  $U_x \in \tau$  such that  $x \in U_x \subseteq A$ . So  $f(x) \in f(U_x) \subseteq f(A)$ . and by hypothesis,  $f(U_x) \in g^{**}\beta - O(Y, \sigma)$ . Hence  $f(x) \in g^{**}\beta - Int[f(A)]$ . Thus  $f[Int(A)] \subseteq g^{**}\beta - Int[f(A)]$ .

**Sufficiency.** Let  $U \in \tau$ . Then by hypothesis,  $f[Int(U)] \subseteq g^{**}\beta - Int[f(U)]$ . Since  $Int(U) = U$  as  $U$  is open. Also,  $g^{**}\beta - Int[f(U)] \subseteq f(U)$ . Hence  $f(U) = g^{**}\beta - Int[f(U)]$ . Thus  $f(U)$  is  $g^{**}\beta$ -open in  $Y$ . So  $f$  is  $g^{**}\beta$ -open.

**Remark 5.6.** The equality may not hold in the preceding Theorem.

**Theorem 5.7.** Prove that a function  $f : (X, \tau) \rightarrow (Y, \sigma)$  is  $g^{**}\beta$ -open if and only if  $Int[f^{-1}(B)] \subseteq f^{-1}[g^{**}\beta - Int(B)]$ , for all  $B \subseteq Y$ .

**Proof. Necessity.** Let  $B \subseteq Y$ . Since  $Int[f^{-1}(B)]$  is open in  $X$  and  $f$  is  $g^{**}\beta$ -open,  $f[Int(f^{-1}(B))]$  is  $g^{**}\beta$ -open in  $Y$ . Also we have  $f[Int(f^{-1}(B))] \subseteq f[f^{-1}(B)] \subseteq B$ . Hence,  $f[Int(f^{-1}(B))] \subseteq g^{**}\beta - Int(B)$ . Therefore  $Int(f^{-1}(B)) \subseteq f^{-1}[g^{**}\beta - Int(B)]$ .

**Sufficiency.** Let  $A \subseteq X$ . Then  $f(A) \subseteq Y$ . Hence by hypothesis, we obtain  $Int(A) \subseteq Int[f^{-1}(f(A))] \subseteq f^{-1}[g^{**}\beta - Int(f(A))]$ . Thus  $f[Int(A)] \subseteq g^{**}\beta - Int[f(A)]$ , for all  $A \subseteq X$ . Hence, by Theorem 5.5,  $f$  is  $g^{**}\beta$ -open.

**Theorem 5.8.** Let  $f : (X, \tau) \rightarrow (Y, \sigma)$  be a mapping. Then a necessary and sufficient condition for  $f$  to be  $g^{**}\beta$ -open is that  $f^{-1}[g^{**}\beta - Cl(B)] \subseteq Cl[f^{-1}(B)]$  for every subset  $B$  of  $Y$ .

**Proof. Necessity.** Assume  $f$  is  $g^{**}\beta$ -open. Let  $B \subseteq Y$ . Let  $x \in f^{-1}[g^{**}\beta - Cl(B)]$ . Then  $f(x) \in g^{**}\beta - Cl(B)$ . Let  $U \in \tau$  such that  $x \in U$ . Since  $f$  is  $g^{**}\beta$ -open, then  $f(U)$  is a  $g^{**}\beta$ -open set in  $Y$ . Therefore,  $B \cap f(U) \neq \emptyset$ . Then  $U \cap f^{-1}(B) \neq \emptyset$ . Hence  $x \in Cl[f^{-1}(B)]$ . We conclude that  $f^{-1}[g^{**}\beta - Cl(B)] \subseteq Cl[f^{-1}(B)]$ .



**Sufficiency.** Let  $B \subseteq Y$ . Then  $(Y - B) \subseteq Y$ . By hypothesis,  $f^{-1}[\mathbf{g}^{**}\beta\text{-Cl}(Y - B)] \subseteq \text{Cl}[f^{-1}(Y - B)]$ . This implies that  $X - \text{Cl}[f^{-1}(Y - B)] \subseteq X - f^{-1}[\mathbf{g}^{**}\beta\text{-Cl}(Y - B)]$ . Therefore  $X - \text{Cl}[X - f^{-1}(B)] \subseteq f^{-1}[Y - (\mathbf{g}^{**}\beta\text{-Cl}(Y - B))]$ . This implies that  $\text{Int}[f^{-1}(B)] \subseteq f^{-1}[\mathbf{g}^{**}\beta\text{-Int}(B)]$ . Now from Theorem 5.7, it follows that  $f$  is  $\mathbf{g}^{**}\beta\text{-open}$ .

## 6. $\mathbf{g}^{**}\beta\text{-CLOSED FUNCTIONS}$

In this section, we introduce  $\mathbf{g}^{**}\beta\text{-closed}$  functions and study certain properties and characterizations of these types of functions.

**Definition 6.1.** A mapping  $f : (X, \tau) \rightarrow (Y, \sigma)$  is called  $\mathbf{g}^{**}\beta\text{-closed}$  if the image of each closed set in  $X$  is a  $\mathbf{g}^{**}\beta\text{-closed}$  set in  $Y$ .

**Theorem 6.2.** Prove that a mapping  $f : (X, \tau) \rightarrow (Y, \sigma)$  is  $\mathbf{g}^{**}\beta\text{-closed}$  if and only if  $\mathbf{g}^{**}\beta\text{-Cl}[f(A)] \subseteq f[\text{Cl}(A)]$  for each  $A \subseteq X$ .

**Proof. Necessity.** Let  $f$  be  $\mathbf{g}^{**}\beta\text{-closed}$  and let  $A \subseteq X$ . Then  $f(A) \subseteq f[\text{Cl}(A)]$  and  $f[\text{Cl}(A)]$  is a  $\mathbf{g}^{**}\beta\text{-closed}$  set in  $Y$ . Thus  $\mathbf{g}^{**}\beta\text{-Cl}[f(A)] \subseteq f[\text{Cl}(A)]$ .

**Sufficiency.** Suppose that  $\mathbf{g}^{**}\beta\text{-Cl}[f(A)] \subseteq f[\text{Cl}(A)]$ , for each  $A \subseteq X$ . Let  $A \subseteq X$  be a closed set. Then  $\mathbf{g}^{**}\beta\text{-Cl}[f(A)] \subseteq f[\text{Cl}(A)] = f(A)$ . This shows that  $f(A)$  is a  $\mathbf{g}^{**}\beta\text{-closed}$  set. Hence  $f$  is  $\mathbf{g}^{**}\beta\text{-closed}$ .

**Theorem 6.3.** Let  $f : (X, \tau) \rightarrow (Y, \sigma)$  be  $\mathbf{g}^{**}\beta\text{-closed}$ . If  $V \subseteq Y$  and  $E \subseteq X$  is an open set containing  $f^{-1}(V)$ , then there exists a  $\mathbf{g}^{**}\beta\text{-open}$  set  $G \subseteq Y$  containing  $V$  such that  $f^{-1}(G) \subseteq E$ .

**Proof.** Let  $G = Y - f(X - E)$ . Since  $f^{-1}(V) \subseteq E$ , we have  $f(X - E) \subseteq Y - V$ . Since  $f$  is  $\mathbf{g}^{**}\beta\text{-closed}$ , then  $G$  is a  $\mathbf{g}^{**}\beta\text{-open}$  set and also  $f^{-1}(G) = X - f^{-1}[f(X - E)] \subseteq X - (X - E) = E$ .

**Theorem 6.4.** Suppose that  $f : (X, \tau) \rightarrow (Y, \sigma)$  is a  $\mathbf{g}^{**}\beta\text{-closed}$  mapping. Then  $\mathbf{g}^{**}\beta\text{-Int}[\mathbf{g}^{**}\beta\text{-Cl}(f(A))] \subseteq f[\text{Cl}(A)]$  for every subset  $A$  of  $X$ .

**Proof.** Suppose  $f$  is a  $\mathbf{g}^{**}\beta\text{-closed}$  mapping and  $A$  is an arbitrary subset of  $X$ . Then  $f[\text{Cl}(A)]$  is  $\mathbf{g}^{**}\beta\text{-closed}$  in  $Y$ . Then  $\mathbf{g}^{**}\beta\text{-Int}[\mathbf{g}^{**}\beta\text{-Cl}(f(\text{Cl}(A)))] \subseteq f[\text{Cl}(A)]$ . But also  $\mathbf{g}^{**}\beta\text{-Int}[\mathbf{g}^{**}\beta\text{-Cl}(f(A))] \subseteq \mathbf{g}^{**}\beta\text{-Int}[\mathbf{g}^{**}\beta\text{-Cl}(f(\text{Cl}(A)))]$ . So  $\mathbf{g}^{**}\beta\text{-Int}[\mathbf{g}^{**}\beta\text{-Cl}(f(A))] \subseteq f[\text{Cl}(A)]$ .

**Theorem 6.5.** Let  $f : (X, \tau) \rightarrow (Y, \sigma)$  be a  $\mathbf{g}^{**}\beta\text{-closed}$  function, and  $B, C \subseteq Y$ .



**Proof.** (1) If  $U$  is an open neighborhood of  $f^{-1}(B)$ , then there exists a  $\mathfrak{g}^{**}\mathfrak{B}$ -open neighborhood  $V$  of  $B$  such that  $f^{-1}(B) \subseteq f^{-1}(V) \subseteq U$ .

(2) If  $f$  is also onto, then if  $f^{-1}(B)$  and  $f^{-1}(C)$  have disjoint open neighborhoods, so have  $B$  and  $C$ .

**Proof.** (1) Let  $V = Y - f(X - U)$ . Then  $V^c = Y - V = f(U^c)$ . Since  $f$  is  $\mathfrak{g}^{**}\mathfrak{B}$ -closed, so  $V$  is a  $\mathfrak{g}^{**}\mathfrak{B}$ -open set. Since  $f^{-1}(B) \subseteq U$ , we have  $V^c = f(U^c) \subseteq f[f^{-1}(B^c)] \subseteq B^c$ . Hence,  $B \subseteq V$ , and thus  $V$  is a  $\mathfrak{g}^{**}\mathfrak{B}$ -open neighborhood of  $B$ . Further  $U^c \subseteq f^{-1}[f(U^c)] = f^{-1}(V^c) = [f^{-1}(V)]^c$ . This proves that  $f^{-1}(V) \subseteq U$ .

(2) If  $f^{-1}(B)$  and  $f^{-1}(C)$  have disjoint open neighborhoods  $M$  and  $N$ , then by (1), we have  $\mathfrak{g}^{**}\mathfrak{B}$ -open neighborhoods  $U$  and  $V$  of  $B$  and  $C$  respectively such that  $f^{-1}(B) \subseteq f^{-1}(U) \subseteq \mathfrak{g}^{**}\mathfrak{B}\text{-Int}(M)$  and  $f^{-1}(C) \subseteq f^{-1}(V) \subseteq \mathfrak{g}^{**}\mathfrak{B}\text{-Int}(N)$ . Since  $M$  and  $N$  are disjoint, so are  $\mathfrak{g}^{**}\mathfrak{B}\text{-Int}(M)$  and  $\mathfrak{g}^{**}\mathfrak{B}\text{-Int}(N)$ , hence so  $f^{-1}(U)$  and  $f^{-1}(V)$  are disjoint as well. It follows that  $U$  and  $V$  are disjoint too as  $f$  is onto.

**Theorem 6.6.** Prove that a surjective mapping  $f : (X, \tau) \rightarrow (Y, \sigma)$  is  $\mathfrak{g}^{**}\mathfrak{B}$ -closed, if and only if for each subset  $B$  of  $Y$  and each open set  $U$  in  $X$  containing  $f^{-1}(B)$ , there exists a  $\mathfrak{g}^{**}\mathfrak{B}$ -open set  $V$  in  $Y$  containing  $B$  such that  $f^{-1}(V) \subseteq U$ .

**Proof. Necessity.** This follows from (1) of Theorem 6.5.

**Sufficiency.** Suppose  $F$  is an arbitrary closed set in  $X$ . Let  $y$  be an arbitrary point in  $Y - f(F)$ . Then  $f^{-1}(y) \subseteq X - f^{-1}[f(F)] \subseteq (X - F)$  and  $(X - F)$  is open in  $X$ . Hence by hypothesis, there exists a  $\mathfrak{g}^{**}\mathfrak{B}$ -open set  $V_y$  containing  $y$  such that  $f^{-1}(V_y) \subseteq (X - F)$ . This implies that  $y \in V_y \subseteq [Y - f(F)]$ . Thus  $Y - f(F) = \cup\{V_y : y \in Y - f(F)\}$ . Hence  $Y - f(F)$ , being a union of  $\mathfrak{g}^{**}\mathfrak{B}$ -open sets, is  $\mathfrak{g}^{**}\mathfrak{B}$ -open. Thus its complement  $f(F)$  is  $\mathfrak{g}^{**}\mathfrak{B}$ -closed. This shows that  $f$  is  $\mathfrak{g}^{**}\mathfrak{B}$ -closed.

**Theorem 6.7.** Let  $f : (X, \tau) \rightarrow (Y, \sigma)$  be a bijection. Then the following are equivalent:

- (a)  $f$  is  $\mathfrak{g}^{**}\mathfrak{B}$ -closed.
- (b)  $f$  is  $\mathfrak{g}^{**}\mathfrak{B}$ -open.
- (c)  $f^{-1}$  is  $\mathfrak{g}^{**}\mathfrak{B}$ -continuous.

**Proof.** (a)  $\Rightarrow$  (b): Let  $U \in \tau$ . Then  $X - U$  is closed in  $X$ . By (a),  $f(X - U)$  is  $\mathfrak{g}^{**}\mathfrak{B}$ -closed in  $Y$ . But  $f(X - U) = f(X) - f(U) = Y - f(U)$ . Thus  $f(U)$  is  $\mathfrak{g}^{**}\mathfrak{B}$ -open in  $Y$ . This shows that  $f$  is  $\mathfrak{g}^{**}\mathfrak{B}$ -open.



(b)  $\Rightarrow$  (c): Let  $U \subseteq X$ . be an open set. Since  $f$  is  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -open. So  $f(U) = (f^{-1})^{-1}(U)$  is  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -open in  $Y$ . Hence  $f^{-1}$  is  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -continuous.

(c)  $\Rightarrow$  (a): Let  $A$  be an arbitrary closed set in  $X$ . Then  $X - A$  is open in  $X$ . Since  $f^{-1}$  is  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -continuous,  $(f^{-1})^{-1}(X - A)$   $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -open in  $Y$ . But  $(f^{-1})^{-1}(X - A) = f(X - A) = Y - f(A)$ . Thus  $f(A)$  is  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -closed in  $Y$ . This shows that  $f$  is  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -closed.

**Remark 6.8.** A bijection  $f : (X, \tau) \rightarrow (Y, \sigma)$  may be open and closed but neither  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -open nor  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -closed.

## 7. PRE- $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -OPEN FUNCTIONS

The purpose of this section is to introduce and discuss certain properties and characterizations of *pre- $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -open* functions.

**Definition 7.1.** Let  $(X, \tau)$  and  $(Y, \sigma)$  be topological spaces. Then a function  $f : (X, \tau) \rightarrow (Y, \sigma)$  is said to be *pre- $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -open* if and only if for each  $A \in \mathfrak{g}^{**}\beta-O(X, \tau)$ ,  $f(A) \in \mathfrak{g}^{**}\beta-O(Y, \sigma)$ .

**Theorem 7.2.** Let  $f : (X, \tau) \rightarrow (Y, \sigma)$  and  $g : (Y, \sigma) \rightarrow (Z, \mu)$  be any two *pre- $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -open* functions. Then the composition function  $g \circ f : (X, \tau) \rightarrow (Z, \mu)$  is a *pre- $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -open* function.

**Proof.** Let  $U \in \mathfrak{g}^{**}\beta-O(X, \tau)$ . Then  $f(U) \in \mathfrak{g}^{**}\beta-O(Y, \sigma)$ . Since  $f$  is *pre- $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -open*. But then  $g(f(U)) \in \mathfrak{g}^{**}\beta-O(Z, \mu)$  as  $g$  is *pre- $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -open*. Hence,  $g \circ f$  is *pre- $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -open*.

**Theorem 7.3.** Prove that a mapping  $f : (X, \tau) \rightarrow (Y, \sigma)$  is *pre- $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -open* if and only if for each  $x \in X$  and any  $U \in \mathfrak{g}^{**}\beta-O(X, \tau)$  such that  $x \in U$ , there exists  $V \in \mathfrak{g}^{**}\beta-O(Y, \sigma)$  such that  $f(x) \in V$  and  $V \subseteq f(U)$ .

**Proof.** Routine.

**Theorem 7.4.** Prove that a mapping  $f : (X, \tau) \rightarrow (Y, \sigma)$  is *pre- $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -open* if and only if for each  $x \in X$  and for any  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -neighborhood  $U$  of  $x$  in  $X$ , there exists a  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -neighborhood  $V$  of  $f(x)$  in  $Y$  such that  $V \subseteq f(U)$ .

**Proof. Necessity.** Let  $x \in X$  and let  $U$  be a  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -neighborhood of  $x$ . Then there exists  $W \in \mathfrak{g}^{**}\beta-O(X, \tau)$  such that  $x \in W \subseteq U$ . Then  $f(x) \in f(W) \subseteq f(U)$ . But  $f(W) \in \mathfrak{g}^{**}\beta-O(Y, \sigma)$  as  $f$  is *pre- $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -open*. Hence  $V = f(W)$  is a  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -neighborhood of  $f(x)$  and  $V \subseteq f(U)$ .

**Sufficiency.** Let  $U \in \mathfrak{g}^{**}\beta-O(X, \tau)$  and let  $x \in U$ . Then  $U$  is a  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -neighborhood of  $x$ . So by hypothesis, there exists a  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -neighborhood  $V_{f(x)}$  of  $f(x)$  such that  $f(x) \in V_{f(x)} \subseteq f(U)$ . It follows at once that  $f(U)$  is a  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -neighborhood of each of its points. Therefore  $f(U)$  is  $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -open. Hence  $f$  is *pre- $\mathfrak{g}^{**}\beta$ -open*.



**Theorem 7.5.** Prove that a function  $f : (X, \tau) \rightarrow (Y, \sigma)$  is *pre-g\*\* $\beta$ -open* if and only if  $f[\mathbf{g}^{**\beta}\text{-Int}(A)] \subseteq \mathbf{g}^{**\beta}\text{-Int}[f(A)]$ , for all  $A \subseteq X$ .

**Proof. Necessity.** Let  $A \subseteq X$  and  $x \in \mathbf{g}^{**\beta}\text{-Int}(A)$ . Then there exists  $U_x \in \mathbf{g}^{**\beta}\text{-O}(X, \tau)$  such that  $x \in U_x \subseteq A$ . So  $f(x) \in f(U_x) \subseteq f(A)$  and by hypothesis,  $f(U_x) \in \mathbf{g}^{**\beta}\text{-O}(Y, \sigma)$ . Hence  $f(x) \in \mathbf{g}^{**\beta}\text{-Int}[f(A)]$ . Thus  $f[\mathbf{g}^{**\beta}\text{-Int}(A)] \subseteq \mathbf{g}^{**\beta}\text{-Int}[f(A)]$ .

**Sufficiency.** Let  $U \in \mathbf{g}^{**\beta}\text{-O}(X, \tau)$ . Then by hypothesis,  $f[\mathbf{g}^{**\beta}\text{-Int}(U)] \subseteq \mathbf{g}^{**\beta}\text{-Int}[f(U)]$ . Since  $\mathbf{g}^{**\beta}\text{-Int}(U) = U$  as  $U$  is *g\*\* $\beta$ -open*. Also  $\mathbf{g}^{**\beta}\text{-Int}[f(U)] \subseteq f(U)$ . Hence  $f(U) = \mathbf{g}^{**\beta}\text{-Int}[f(U)]$ . Thus  $f(U)$  is *g\*\* $\beta$ -open* in  $Y$ . So  $f$  is *pre-g\*\* $\beta$ -open*.

We remark that the equality does not hold in Theorem 7.5 as the following example shows.

**Example 7.6.** Let  $X = Y = \{1, 2\}$ . suppose  $X$  is anti-discrete and  $Y$  is discrete. Let  $f = Id.$ ,  $A = \{1\}$ . Then  $\phi = f[\mathbf{g}^{**\beta}\text{-Int}(A)] \neq \mathbf{g}^{**\beta}\text{-Int}[f(A)] = \{1\}$ .

**Theorem 7.7.** Prove that a function  $f : (X, \tau) \rightarrow (Y, \sigma)$  is *pre-g\*\* $\beta$ -open* if and only if  $\mathbf{g}^{**\beta}\text{-Int}[f^{-1}(B)] \subseteq f^{-1}[\mathbf{g}^{**\beta}\text{-Int}(B)]$ , for all  $B \subseteq Y$ .

**Proof. Necessity.** Let  $B \subseteq Y$ . Since  $\mathbf{g}^{**\beta}\text{-Int}[f^{-1}(B)]$  is *g\*\* $\beta$ -open* in  $X$  and  $f$  is *pre-g\*\* $\beta$ -open*,  $f[\mathbf{g}^{**\beta}\text{-Int}(f^{-1}(B))]$  is *gsg-open* in  $Y$ . Also we have  $f[\mathbf{g}^{**\beta}\text{-Int}(f^{-1}(B))] \subseteq f[f^{-1}(B)] \subseteq B$ . Hence,  $f[\mathbf{g}^{**\beta}\text{-Int}(f^{-1}(B))] \subseteq \mathbf{g}^{**\beta}\text{-Int}(B)$ . Therefore  $\mathbf{g}^{**\beta}\text{-Int}[f^{-1}(B)] \subseteq f^{-1}[\mathbf{g}^{**\beta}\text{-Int}(B)]$ .

**Sufficiency.** Let  $A \subseteq X$ . Then  $f(A) \subseteq Y$ . Hence by hypothesis, we obtain  $\mathbf{g}^{**\beta}\text{-Int}(A) \subseteq \mathbf{g}^{**\beta}\text{-Int}[f^{-1}(f(A))] \subseteq f^{-1}[\mathbf{g}^{**\beta}\text{-Int}(f(A))]$ . This implies that  $f[\mathbf{g}^{**\beta}\text{-Int}(A)] \subseteq f[f^{-1}(\mathbf{g}^{**\beta}\text{-Int}(f(A)))] \subseteq \mathbf{g}^{**\beta}\text{-Int}[f(A)]$ . Thus  $f[\mathbf{g}^{**\beta}\text{-Int}(A)] \subseteq \mathbf{g}^{**\beta}\text{-Int}[f(A)]$ , for all  $A \subseteq X$ . Hence, by Theorem 7.5,  $f$  is *pre-g\*\* $\beta$ -open*.

**Theorem 7.8.** Prove that a mapping  $f : (X, \tau) \rightarrow (Y, \sigma)$  is *pre-g\*\* $\beta$ -open* if and only if  $f^{-1}[\mathbf{g}^{**\beta}\text{-Cl}(B)] \subseteq \mathbf{g}^{**\beta}\text{-Cl}[f^{-1}(B)]$ , for every subset  $B$  of  $Y$ .

**Proof. Necessity.** Let  $B \subseteq Y$  and let  $x \in f^{-1}[\mathbf{g}^{**\beta}\text{-Cl}(B)]$ . Then  $f(x) \in \mathbf{g}^{**\beta}\text{-Cl}(B)$ . Let  $U \in \mathbf{g}^{**\beta}\text{-O}(X, \tau)$  such that  $x \in U$ . By hypothesis,  $f(U) \in \mathbf{g}^{**\beta}\text{-O}(Y, \sigma)$  and  $f(x) \in f(U)$ . Thus  $f(U) \cap B \neq \phi$ . Hence  $U \cap f^{-1}(B) \neq \phi$ . Therefore,  $x \in \mathbf{g}^{**\beta}\text{-Cl}[f^{-1}(B)]$ . So we obtain  $f^{-1}[\mathbf{g}^{**\beta}\text{-Cl}(B)] \subseteq \mathbf{g}^{**\beta}\text{-Cl}[f^{-1}(B)]$ .



**Sufficiency.** Let  $B \subseteq Y$ . Then  $(Y - B) \subseteq Y$ . By hypothesis,  $f^{-1}[\mathbf{g}^{**\beta}\text{-Cl}(Y - B)] \subseteq \mathbf{g}^{**\beta}\text{-Cl}[f^{-1}(Y - B)]$ . This implies that  $X - [\mathbf{g}^{**\beta}\text{-Cl}(f^{-1}(Y - B))] \subseteq X - f^{-1}[\mathbf{g}^{**\beta}\text{-Cl}(Y - B)]$ . Hence  $X - \mathbf{g}^{**\beta}\text{-Cl}[X - f^{-1}(B)] \subseteq f^{-1}[Y - (\mathbf{g}^{**\beta}\text{-Cl}(Y - B))]$ . Then this implies that  $\mathbf{g}^{**\beta}\text{-Int}[f^{-1}(B)] \subseteq f^{-1}[\mathbf{g}^{**\beta}\text{-Int}(B)]$ . Now by Theorem 7.7, it follows that  $f$  is *pre-g\*\*β-open*.

**Theorem 7.9.** Let  $f : (X, \tau) \rightarrow (Y, \sigma)$  and  $g : (Y, \sigma) \rightarrow (Z, \mu)$  be two mappings such that  $g \circ f : (X, \tau) \rightarrow (Z, \mu)$  is *g\*\*β-irresolute*. Then

(1) If  $g$  is a *pre-g\*\*β-open* injection, then  $f$  is *g\*\*β-irresolute*.

(2) If  $f$  is a *pre-g\*\*β-open* surjection, then  $g$  is *g\*\*β-irresolute*.

**Proof.** (1) Let  $U \in \mathbf{g}^{**\beta}\text{-O}(Y, \sigma)$ . Then  $g(U) \in \mathbf{g}^{**\beta}\text{-O}(Z, \mu)$  since  $g$  is *pre-g\*\*β-open*. Also  $g \circ f$  is *g\*\*β-irresolute*. Therefore, we have  $(g \circ f)^{-1}[g(U)] \in \mathbf{g}^{**\beta}\text{-O}(X, \tau)$ . Since  $g$  is an injection, so we have :  $(g \circ f)^{-1}[g(U)] = (f^{-1} \circ g^{-1})[g(U)] = f^{-1}[g^{-1}(g(U))] = f^{-1}(U)$ . Consequently  $f^{-1}(U)$  is *g\*\*β-open* in  $X$ . This proves that  $f$  is *g\*\*β-irresolute*.

(2) Let  $V \in \mathbf{g}^{**\beta}\text{-O}(Z, \mu)$ . Then  $(g \circ f)^{-1}(V) \in \mathbf{g}^{**\beta}\text{-O}(X, \tau)$  since  $g \circ f$  is *g\*\*β-irresolute*. Also  $f$  is *pre-g\*\*β-open*,  $f[(g \circ f)^{-1}(V)]$  is *g\*\*β-open* in  $Y$ . Since  $f$  is surjective, we note that  $f[(g \circ f)^{-1}(V)] = [f \circ (g \circ f)^{-1}](V) = [f \circ (f^{-1} \circ g^{-1})](V) = [(f \circ f^{-1}) \circ g^{-1}](V) = g^{-1}(V)$ . Hence  $g$  is *g\*\*β-irresolute*.

## 8. PRE- $\mathbf{g}^{**\beta}$ -CLOSED FUNCTIONS

In this last section, we introduce and explore several properties and characterizations of *pre-g\*\*β-closed* functions.

**Definition 8.1.** A function  $f : (X, \tau) \rightarrow (Y, \sigma)$  is said to be *pre-g\*\*β-closed* if and only if the image set  $f(A)$  is *g\*\*β-closed* for each *g\*\*β-closed* subset  $A$  of  $X$ .

**Theorem 8.2.** The composition of two *pre-g\*\*β-closed* mappings is a *pre-g\*\*β-closed* mapping.

**Proof.** The straightforward proof is omitted.

**Theorem 8.3.** Prove that a mapping  $f : (X, \tau) \rightarrow (Y, \sigma)$  is *pre-g\*\*β-closed* if and only if  $\mathbf{g}^{**\beta}\text{-Cl}[f(A)] \subseteq f[\mathbf{g}^{**\beta}\text{-Cl}(A)]$  for every subset  $A$  of  $X$ .





**Proof. Necessity.** Suppose  $f$  is a  $pre-g^{**}\beta$ -closed mapping and  $A$  is an arbitrary subset of  $X$ . Then  $f[g^{**}\beta-Cl(A)]$  is  $g^{**}\beta$ -closed in  $Y$ . Since  $f(A) \subseteq f[g^{**}\beta-Cl(A)]$ , we obtain  $g^{**}\beta-Cl[f(A)] \subseteq f[g^{**}\beta-Cl(A)]$ .

**Sufficiency.** Suppose  $F$  is an arbitrary  $g^{**}\beta$ -closed set in  $X$ . By hypothesis, we obtain  $f(F) \subseteq g^{**}\beta-Cl[f(F)] \subseteq f[g^{**}\beta-Cl(F)] = f(F)$ . Hence  $f(F) = g^{**}\beta-Cl[f(F)]$ . Thus  $f(F)$  is  $g^{**}\beta$ -closed in  $Y$ . It follows that  $f$  is  $pre-g^{**}\beta$ -closed.

**Theorem 8.4.** Let  $f : (X, \tau) \rightarrow (Y, \sigma)$  be a  $pre-g^{**}\beta$ -closed function, and  $B, C \subseteq Y$ .

(1) If  $U$  is a  $g^{**}\beta$ -open neighborhood of  $f^{-1}(B)$ , then there exists a  $g^{**}\beta$ -open neighborhood  $V$  of  $B$  such that  $f^{-1}(B) \subseteq f^{-1}(V) \subseteq U$ .

(2) If  $f$  is also onto, then if  $f^{-1}(B)$  and  $f^{-1}(C)$  have disjoint  $g^{**}\beta$ -open neighborhoods, so have  $B$  and  $C$ .

**Proof.** (1) Let  $V = Y - f(X - U)$ . Then  $V^c = Y - V = f(U^c)$ . Since  $f$  is  $pre-g^{**}\beta$ -closed, so  $V$  is  $g^{**}\beta$ -open. Since  $f^{-1}(B) \subseteq U$ , we have  $V^c = f(U^c) \subseteq f[f^{-1}(B^c)] \subseteq B^c$ . Hence,  $B \subseteq V$ , and thus  $V$  is a  $g^{**}\beta$ -open neighborhood of  $B$ . Further  $U^c \subseteq f^{-1}[f(U^c)] = f^{-1}(V^c) = [f^{-1}(V)]^c$ . This proves that  $f^{-1}(V) \subseteq U$ .

(2) If  $f^{-1}(B)$  and  $f^{-1}(C)$  have disjoint  $g^{**}\beta$ -open neighborhoods  $M$  and  $N$ , then by (1), we have  $g^{**}\beta$ -open neighborhoods  $U$  and  $V$  of  $B$  and  $C$  respectively such that  $f^{-1}(B) \subseteq f^{-1}(U) \subseteq g^{**}\beta-Int(M)$  and  $f^{-1}(C) \subseteq f^{-1}(V) \subseteq g^{**}\beta-Int(N)$ . Since  $M$  and  $N$  are disjoint, so are  $g^{**}\beta-Int(M)$  and  $g^{**}\beta-Int(N)$ , and hence so  $f^{-1}(U)$  and  $f^{-1}(V)$  are disjoint as well. It follows that  $U$  and  $V$  are disjoint too as  $f$  is onto.

**Theorem 8.5.** Prove that a surjective mapping  $f : (X, \tau) \rightarrow (Y, \sigma)$  is  $pre-g^{**}\beta$ -closed if and only if for each subset  $B$  of  $Y$  and each  $g^{**}\beta$ -open set  $U$  in  $X$  containing  $f^{-1}(B)$ , there exists a  $g^{**}\beta$ -open set  $V$  in  $Y$  containing  $B$  such that  $f^{-1}(V) \subseteq U$ .

**Proof. Necessity.** This follows from (1) of Theorem 8.4.

**Sufficiency.** Suppose  $F$  is an arbitrary  $g^{**}\beta$ -closed set in  $X$ . Let  $y$  be an arbitrary point in  $Y - f(F)$ . Then  $f^{-1}(y) \subseteq X - f^{-1}[f(F)] \subseteq (X - F)$  and  $(X - F)$  is  $g^{**}\beta$ -open in  $X$ . Hence by hypothesis, there exists a  $g^{**}\beta$ -open set  $V_y$  containing  $y$  such that  $f^{-1}(V_y) \subseteq (X - F)$ . This implies that  $y \in V_y \subseteq [Y - f(F)]$ . Thus  $Y - f(F) = \cup \{V_y \mid y \in Y - f(F)\}$ . Hence  $Y - f(F)$ , being a union of  $g^{**}\beta$ -open sets is  $g^{**}\beta$ -open. Thus its complement  $f(F)$  is  $g^{**}\beta$ -closed. This shows that  $f$  is  $g^{**}\beta$ -closed.

**Theorem 8.6.** Let  $f : (X, \tau) \rightarrow (Y, \sigma)$  be a bijection. Then the following are equivalent:



(1)  $f$  is  $g^{**}\beta$ -closed.

(2)  $f$  is  $pre-g^{**}\beta$ -open.

(3)  $f^{-1}$  is  $g^{**}\beta$ -irresolute.

**Proof.** (1)  $\Rightarrow$  (2): Let  $U \in g^{**}\beta-O(X, \tau)$ . Then  $X - U$  is  $g^{**}\beta$ -closed in  $X$ . By (1),  $f(X - U)$  is  $g^{**}\beta$ -closed in  $Y$ . But  $f(X - U) = f(X) - f(U) = Y - f(U)$ . Thus  $f(U)$  is  $g^{**}\beta$ -open in  $Y$ . This shows that  $f$  is  $pre-g^{**}\beta$ -open.

(2)  $\Rightarrow$  (3): Let  $A \subseteq X$ . Since  $f$  is  $pre-g^{**}\beta$ -open, so by Theorem 7.8,  $f^{-1}[g^{**}\beta-CI(f(A))] \subseteq g^{**}\beta-CI[f^{-1}(f(A))]$ . It implies that  $g^{**}\beta-CI[f(A)] \subseteq f[g^{**}\beta-CI(A)]$ .

Thus  $g^{**}\beta-CI[(f^{-1})^{-1}(A)] \subseteq (f^{-1})^{-1}[g^{**}\beta-CI(A)]$ , for all  $A \subseteq X$ . Then by Theorem 4.8, it follows that  $f^{-1}$  is  $g^{**}\beta$ -irresolute.

(3)  $\Rightarrow$  (1): Let  $A$  be an arbitrary  $g^{**}\beta$ -closed set in  $X$ . Then  $X - A$  is  $g^{**}\beta$ -open in  $X$ . Since  $f^{-1}$  is  $g^{**}\beta$ -irresolute,  $(f^{-1})^{-1}(X - A)$  is  $g^{**}\beta$ -open in  $Y$ . But  $(f^{-1})^{-1}(X - A) = f(X - A) = Y - f(A)$ . Thus  $f(A)$  is  $g^{**}\beta$ -closed in  $Y$ . This shows that  $f$  is  $pre-g^{**}\beta$ -closed.

#### ACKNOWLEDGEMENT

The author is highly and gratefully indebted to Prince Mohammad Bin Fahd University, Al Khobar, Saudi Arabia, for providing all necessary research facilities during the preparation of this research paper.

#### REFERENCES

- [1] S.P. Arya and M. Deb, On  $\theta$ -continuous mappings, Math. Student 42(1974), 81-89.
- [2] M. Caldas, M. Ganster, D.N. Georgious, S. Jafari and T. Noiri, On  $\theta$ -semipen sets and separation axioms in topological spaces, Carpathian J. Math., 24 (2008), No. 1, 13 – 22.
- [3] DR. T. Delecia and M. S. Thillai,  $g^{**}\beta$ -Closed Sets in Topological Spaces, Journal of Engineering Technologies and Innovative Research (JETIR), (2014), pp. 129 – 134.
- [4] E. Ekici, ( $\delta$ -pre,s)-continuous functions, Bulletin of the Malaysian Mathematical Sciences Society, Second Series 27(2004), no. 2, 237 – 251.
- [5] E. Ekici, On  $\delta$ -semiopen sets and a generalization of functions, Bol. Soc. Mat. (38) vol. 23 (1-2) (2005), 73-84.
- [6] M. Ganster, T. Noiri, I.L. Reilly, Weak and strong forms of  $\theta$ -irresolute functions, J. Inst. Math. Comput. Sci. 1(1) (1988), 19-29.
- [7] Saeid Jafari, Some properties of  $\theta$ -continuous functions, Far East J. Math. Sci. 6(5) (1998), 689-696.
- [8] Javier A. Hassan, and Mhelmar A. Labendia,  $\theta_s$ -open sets and  $\theta_s$ -continuity of mapps in the product space, Journal of Mathematics and Computer Science, 25 (2022), 182 – 190.



- [9] A. Kilicman, Z. Salleh, Some results on  $(\delta\text{-pre},s)$ -continuous functions, International Journal Math. Mat. Sci. 2006(2006), 1-11.
- [10] Raja M. Latif, On Characterizations of Mappings, Soochow Journal of Mathematics, Volume 19, No.4, (1993), pp. 475 – 495.
- [11] Raja Mohammad Latif, Theta –  $\omega$  – Mappings in Topological Spaces, WSEAS Transactions on Mathematics, Volume 19, 2020, Art.#18, pp. 186 – 207. (Scopus Indexed) ([www.scopus.com](http://www.scopus.com))
- [12] Raja Mohammad Latif, Properties of Theta – Continuous Functions in Topological Spaces, (MACISE 2020: International Conference on Mathematics and Computers in Science and Engineering (MACISE) Madrid Spain 18 – 20 January 2020), (2020), Volume 1, pages 81 – 90. (Scopus Indexed) ([www.scopus.com](http://www.scopus.com))
- [13] N. Levine, Semi-open sets and semi-continuity in topological spaces, Amer. Math. Monthly, 70 (1963), 36 – 41.
- [14] M. Lellis Thivagar, Nirmala Rebecca Paul and Saeid Jafari, On New Class of Generalized Closed Sets, Annals of the University of Craiova, Mathematics and Computer Sciwnce Series, Vulum 38 (3), (2011), pp. 84 – 93.
- [15] P.E. Long, L.L. Herrington, The  $\tau_\theta$ -topology and faintly continuous functions, Kyungpook Math. J. 22(1982), 7-14.
- [16] T. Noiri, S. Jafari, Properties of  $(\theta,s)$ -continuous functions, Topology and its Applications, 123(1) (2002), 167-179.
- [17] T. Noiri, On  $\delta$ -continuous functions, J. Korean Math. Soc., 16 (1980), 161-166.
- [18] M. Saleh, On  $\theta$ -closed sets and some forms of continuity, Archivum Mathematicum (On BRNO) 40 (2004), 383 – 393.
- [19] M. Saleh, On super and  $\delta$ -continuities, Mathematics and Mathematics Education, World Scientific, 2002, 281-291.
- [20] N. V. Velicko, H-closed topological spaces. Mat. Sb. 70 (1966), 98 – 112, English transl., in Amer. Math. Soc. Transl. (2) 78 (1968), 103 – 118.
- [21] Albert Wilansky, Topology for Analysis, Devore Pblications, Inc, Mineola New York. (1980).
- [22] Stephen Willard, General Topology, Reading, Mass.: Addison Wesley Pub. Co. (1970).



## DAM BREAK ANALYSIS AND ITS IMPACT IN GURARA WATERSHED UNDER VARIED LAND-USE AND CLIMATE CONDITIONS

*Al-Amin Danladi Bello<sup>a</sup>, Abdullahi Sule Argungu<sup>a</sup>, Aminu Tijjani Soron Dinki<sup>a</sup>, Aliyu Bamaiyi Usman<sup>a</sup>; khalid Sulaiman<sup>a</sup>; Abdulrazaq Salaudeen<sup>b</sup>*

<sup>a</sup> *Department of Water Resources & Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Ahmadu Bello University, Zaria-Nigeria*

<sup>d</sup> *Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Abubakar Tafawa Balewa University-Bauchi-Nigeria*

### ABSTRACT

This study focuses on the flood disaster and risk that can potentially occur in the event of a dam break in the Gurara Watershed. The integration of a GIS based model known as Hydrological Simulation Fortran Program (HSPF), field observations, and hydro-dynamic models was done to evaluate the impact of LULC and hydroclimatic variation on the attenuation capacity of a popular multipurpose dam in Nigeria and its impact in an event of failure. A simulated hydrodynamic model for the dam breach failure scenario of the Gurara dam was used to analyze its impact on the downstream LULC areas of the dam and watershed. The model was developed through careful selection of the existing correlation models that predict dam failure parameters using sensitivity analysis. The simulation result presents the extent of the flood downstream, which inundates 274.6 Km<sup>2</sup> (27,460 ha) of the watershed, that includes a peri-urban *Jere* town with a total population of 9,912 and 6,000 ha of irrigation area that has the potential to produce 100,000 metric tons of food in four circles per year. Further analysis of the result shows that the flood hazard map of the flooded area produced a varied index for each scenario, but it shows that the hazards increase with an increase in the literal inflow into the dam from the upstream runoffs. The flood vulnerability map shows a similar trend, and the elements at risk were known and evaluated accordingly. It shows that LULC areas with different zones of flood risk increase with increases in the literal inflow flood hydrograph. This study provides information on the potential disaster attached to dam failure in the neighborhood of the water-impoundment structure.

**Keywords:** Gurara Dam, Jere town, HSPF model, Dam break, Vulnerability

### 1.0 Introduction

To mitigate the peril of flooding, water control infrastructures are usually provided, such as dams, detention basins, etc., to attenuate the excess flood (Polemio and Lollino 2011). Nigeria's flooding is primarily anthropogenically induced by an uncontrolled urban upsurge, and a lack of adequate infrastructure exacerbates its impacts on urban areas. Although some of the floods occur far away from urban areas, they still have a negative impact on the human population. As they affect farmlands, fishing, and other related agro-economic activities (Aboyeji 2016). Besides, there has been an unprecedented inflow of people and unplanned land use changes in many countries in the preceding decades, which has led to substantial climatic and hydrological changes and to a large extent influenced the availability and distribution of water resources in most regions of the world (Song et al. 2018). Therefore, most watersheds in Nigeria are not exempt. For example, the Gurara catchment houses the Gurara dam, which is an eight-hundred and eighty-million-cubic-meter multipurpose dam built to serve three major purposes: conveyance of raw water to augment inflow from the Usuma river into the Usuma dam for water treatment and distribution; transfer of water to a thirty-megawatt hydro power station for the generation and transmission of electricity to the Kukenda substation; and modern irrigation of a six-thousand-hectare land area at Azare. The existence of the Gurara dam led to a consecutive increase in the activity level within the watershed, and as a result, tremendous and unplanned changes were recorded between the years 2000 and 2020, with an increase in built-up area recording one of the highest percentage increases for decades. Before the construction of the dam, the lower Gurara watershed



usually experienced flooding on an annual basis (Dam et al. 2003). However, the existence of the dam prevents the recurrence of flooding at the lower Gurara watershed. But evaluating the ability of the dam to sustain the attenuation of the excess floods under varied spatio-temporal conditions is important.

There are various methods to determine the flood inundation caused by dam failures derived from the amplification of runoff due to excess rainfall (Nastiti et al. 2015, Elfeki et al. 2017, Abdessamed and Abderrazak 2019, Davenport et al. 2020, Tedla et al. 2021). This approach has considerably provided historical, real-time, and future flood conditions at regional (Gouldby et al. 2008), large or small watersheds (Toosi et al. 2019, Bhattarai et al. 2023), sub-watersheds (Wijayawardana et al. 2023), cities (Guan et al. 2023) and small towns (Ha et al. 2023). But these studies are concentrated in developed regions such as the USA, Canada, China, etc., whereas in sub-Saharan African regions, similar studies are hardly conducted due to scarce data, a lack of adequate information, and other related problems (Nkwunonwo et al. 2020). There are several numerical models accessible for flood inundation modeling. Among these, the hydrological simulation program FORTRAN (HSPF) and hydrodynamic model—Hydrologic Engineering Center Rivers Analysis System (HEC-RAS)—are selected to conduct this study.

## 2.0 Material and Methods

### 2.1 Study Area

The Gurara Watershed is located in the northern part of Nigeria, between latitudes  $8^{\circ}15'N$  and  $10^{\circ}05'N$  and longitudes  $6^{\circ}30'E$  and  $8^{\circ}30'E$ , and has a total catchment area of  $4,352 \text{ km}^2$ . The basin is tailored in a north-east-south-west direction, with its headwaters starting from the western side of the Jos plateau. The watershed is centered between the semi-arid north and the sub-humid climate in the south, and its climate is characterized by dry northern winters and wet northern summers. The terrain is undulating and dissected, with clay-loam soil and red laterite/alluvial soil being the prevalent soil types. The mean annual rainfall at the location is 1400 mm, and the mean monthly maximum and minimum temperatures in the catchment are  $37.3 \text{ }^{\circ}C$  and  $19.7 \text{ }^{\circ}C$ , respectively. There are five hydrological stations located within the watershed, namely Gantan, Izom, Jere, Kachia, and Kurmin Musa, as depicted in Figure 1. The watershed houses the popular Gurara Dam, which is located in the mid-section in between the mountainous region of high terrains that characterized the uniqueness of the Gurara River and the low savannah downstream.

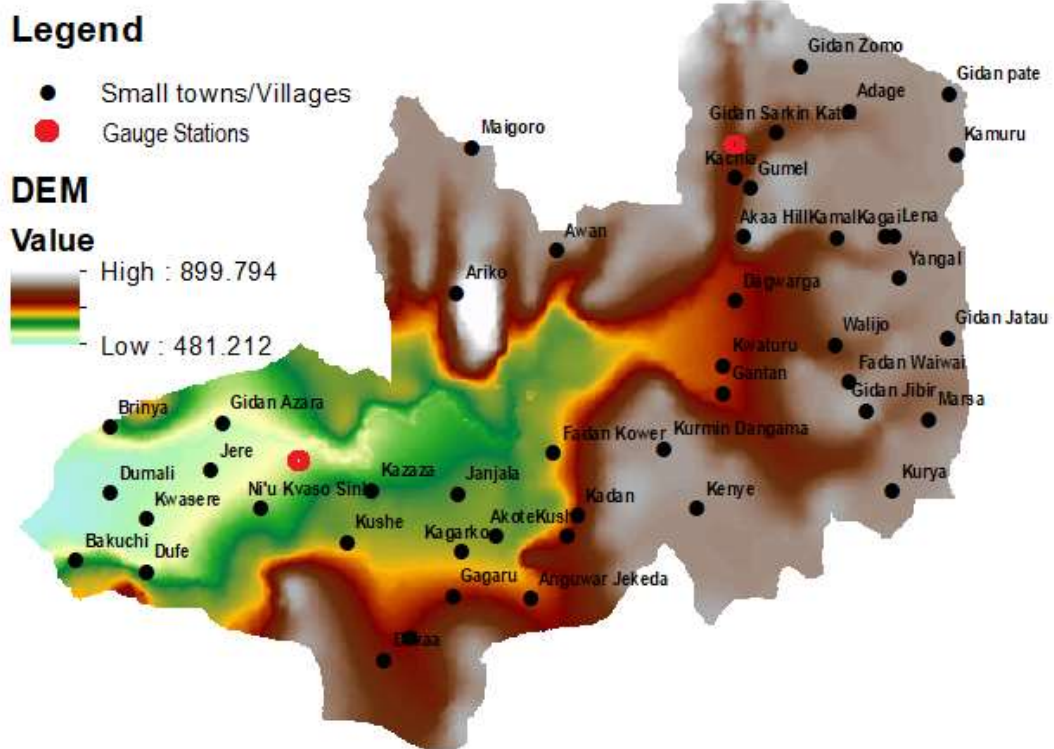


Figure 1: Gurara Watershed showing small settlements, topographic relief, and gauge stations

## 2.2 Brief Models Description

### *HSPF Model*

The Hydrological Simulation Program Fortran (HSPF) is a comprehensive, semi-distributed watershed model supported by the United States Environmental Protection Agency (USEPA). It is used for the simulation of hydrological, environmental, and water quality-related processes of different sizes and complexities (Kovalenko et al. 2022). The module is embedded in the Better Assessment Integrating Point and Non-Point Sources GIS software, popularly called BASINS, which fosters the delineation and sectioning of the watershed. The mathematical representation of the watershed is done by an embedded plug-in in the software known as the Watershed Data Management Program, which facilitates the preparation of the input metrological and hydrological datasets.

### *HEC-RAS model*

In this study, HEC-RAS software version 6.3.1 was used. The software was designed to simulate the hydraulic and hydrologic behavior of hydraulic structures and their impacts during operation or failure. It is a well-developed and tested model that has been used all around the globe. The model utilizes the energy and momentum equations derived from the 1-D/2-D Saint Venart formula for generating steady and unsteady flows using the concept of the finite difference method. This software has the capability to compute the water surface profile in steady and unsteady flow conditions, sediment digenesis, flood extents, dam breaches, and hydraulic design. The details of the software can be further read in the HEC-RAS user manual (Brunner 2016).

### 2.2.1 Input Data

The meteorological data, such as precipitation, cloud cover, wind speed, solar radiation, dew point temperature, and evaporation, were collected from the Nigerian Metrological Agency (NIMET) and the Federal Ministry of Water Resources (FMWR). More meteorological data were downloaded from NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) under the US Department of Commerce (<http://www.noaa.gov/>). For the daily observed streamflow records of the Gurara watershed, they were



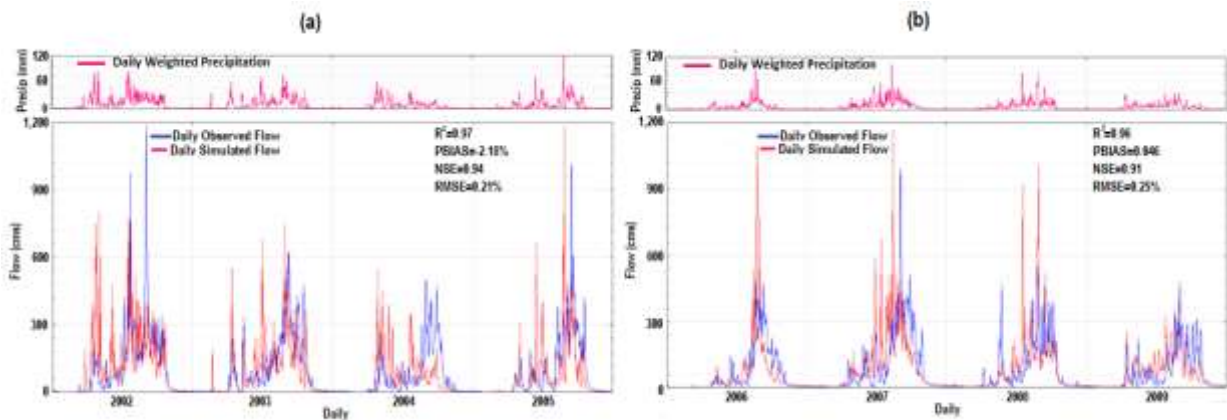
obtained from the Kaduna State Water Board and Gurara Water Development Authority. The elevation data were obtained from the Global Data Explorer (<https://gdex.cr.usgs.gov/gdex/>) and used for the watershed delineation. Some data points for the Gurara river are obtained from FMWR, and after it was integrated with the spatial data, a final DEM of 5 m/pixel resolution was produced, which was used in the 2D hydraulic modeling of the Gurara dam failure in the HEC-RAS model. Other spatial data, such as the land-use data, were developed from remote sensing data obtained from the United States Geological Survey (USGS) EROS Data Center via the USGS Global Visualization Viewer. The imageries were captured by Landsat 4-5 (thematic mapper) and Landsat 7 (enhanced thematic mapping) and operational land imager sensors, respectively, and were used to produce historical land-use and land-cover (LU/LC) data of the study area. While the soil map was obtained from the Federal Ministry of Agriculture (FMOA).

### 2.3 Model Development

The maximum flood hydrograph for each of the four scenarios was derived from the spatio-temporal variability of the upper Gurara watershed, which focused mainly on its historical land-use and land-cover (LULC) and the rainfall conditions over the span of 30 years. This was obtained from the hydrological model of HSPF. A HEC-RAS 2D model of the Lower Gurara watershed is produced to evaluate the impact of the Gurara Dam to attenuate the floods from the upper Gurara watershed and its impact at the lower section of the watershed in terms of flood hazards in case of dam failure, under different literal flood hydrographs produced from the four scenarios.

#### 2.3.1 Dam break Modeling

The upper Gurara watershed was selected for hydrological model development because the Gurara dam is located at the mid-section of the watershed and only runoff generated in the upper section ends up in the Gurara reservoir. The available observed streamflow at the inlet of the dam at *Kachia* station extends from 2002 to 2009. The dataset was sectioned into two parts: the first part used for the calibration was for a period of four years from January 2002 to December 2005, and the second part used for the validation was for a similar period from January 2006 to December 2009. The accuracy analysis of the model simulation showed good performance, as shown in Figure 2.



**Figure 2:** Results of the Hydrological model of Upper Gurara Watershed: (a) Calibrated streamflow (b) Validated streamflow

In order to determine the extent to which possible climatic variations would affect the hydrology of the watershed, synthetic climate scenarios were created following the methodology of Martínez-Retureta et al. (2021), consisting of only immediate future projected precipitation and air temperature. A total of four scenarios were created, using the four historical LULC maps and the synthetic climate. Afterwards, the combined LULC and climate scenarios are simulated using the validated model. This study is primarily targeting maximum flood hydrographs generated from the combined effects of LULC and climate change. For the purpose of this study, the simulated scenario outputs are in hourly time-steps, different from the validated time-steps, which are on a daily basis. Statistical inference was employed to select the optimal flood hydrograph within a 24-hour duration using the 95<sup>th</sup> percentile estimate using



the methodology used by Bonsal et al. (2001). The flood hydrographs produced serve as flow input for the HEC-RAS 2D model.

HEC-RAS is a hydrodynamic model that allows one- and two-dimensional modeling by coupling steady and unsteady flow conditions to simulate the hydrologic and hydraulic behavior of natural or man-made drainage systems. In this study, two-dimensional (2D) modeling was selected due to the availability of adequate spatial data such as roughness coefficient (derived from the watershed LULC), a digital elevation model of good resolution (5 m/pixel), and hydrological information (from the hydrological modeling in HSPF) for evaluating the attenuation capacity of Gurara reservoir. The efficiency of 2D modeling to capture the fluctuations in flood extent, its arrival, and the initiation of flooding due to hydraulic structure failure such as dams, bridges, culverts, and other retaining structures is well documented (Urzică et al. 2021, Sarchani and Koutroulis 2022). After evaluating the unsteady flow routing model equations using the methodology suggested by Brunner (2016), the default model equation known as the 2D diffusion wave equation was used for the analysis. During the 2D model development of the study area, careful grid sizing was done because the resolution of the spatial DEM data determines the grid sizes during the hydrodynamic model settings. Hence, for effective flood hazard evaluation, the concept of micro-scale flood modeling was used to obtain the flood depth and velocity relationships that aim to provide good results in terms of flood loss (Bermúdez and Zischg 2018). Since the study area is more in peri-urban and rural settings, farmlands, forest, and small settlements are predominant.

### 2.3.3 Estimation of Dam Breach Parameters

Accordingly, to predict the peak flow as a result of dam failure due to excess inflow hydrograph, major breach geometrical parameters need to be determined. Several studies suggested varied numerical models, derived from historical trends of dam failures (Zhang et al. 2009). However, the developed models have different prediction uncertainties that are difficult to verify (Tschiedel and Paiva 2018). Therefore, the four dam failure models embedded in HEC-RAS 6.3.1 using a regression model were selected for the best breach parameter prediction of Gurara Dam in this study. Each of the models predicts varied breach parameters (width, slope, and time of breach formation) and tends to produce a different flow condition. A sensitivity analysis is required to select the appropriate breach parameter values to ensure the consistency of the flood hydrographs generated by the failed hydraulic structures. Also, a realistic flood peak must be obtained at the targeted location downstream of the dam. Figure 3 shows the sensitivity analysis of the four selected predictive models. It shows that the MacDonald's methods are more sensitive to changes in reservoir attenuation capacity based on breach width, breach time, and breach slope, followed by Froehlich and Xu's, and the least sensitive is the Von Thun and Gillette method. In terms of peak flows, MacDonald's method produced the highest peak, followed by Xu, Froehlich, and then the Von Thun and Gillette method. However, in both conditions, MacDonald's method proved to be the best model to use for dam breach modeling. Since the dam's storage capacity loss is a long-term progressive process, in a situation where the sediment management is not adhered to, the dam becomes gradually vulnerable to failure during unprecedented flood events.

### 2.3.4 Dam breach scenarios

To evaluate the dam attenuation capacity based on the dam breach conditions. The propagation of flood waves when failure occurs led us to assume that a flood could occur in the upper Gurara watershed due to the impact of LULC and climate change. Since the dam is made of rock fill (of the homogeneous type) and is a multi-purpose dam with multiple flood control structures, the most likely failure might be piping, not overtopping failure (Zhong et al. 2021). As mentioned in section 2.3.1, the four scenarios would be used to create a dam breach due to piping. Also, we assumed 50% reservoir capacity, for each inflow scenario. It means that for scenario S1, it produces a maximum inflow of 2363 m<sup>3</sup>/s, which corresponds to a 56% increase in reservoir volume (686.4 million m<sup>3</sup>); for scenario S2, it produces a maximum inflow of 1863 m<sup>3</sup>/s, which corresponds to a 44% increase in volume (633.6 million m<sup>3</sup>), scenario S3, it produces a maximum inflow of 1072m<sup>3</sup>/s with a change in volume of 25.6% (552.6 million m<sup>3</sup>); and for the last scenario (S4), it generates an inflow of 690m<sup>3</sup>/s which corresponds to a 16% increase in reservoirs. A sudden change in volume due to excess inflow will stress the dam structure and subject it to rapid seepage, which will result in piping (Omofunmi et al. 2017). In this case, if continues,



it will directly affect the safety of the dam structure as the severity of the flood waves increases with increase human activities at the upstream of the watershed.

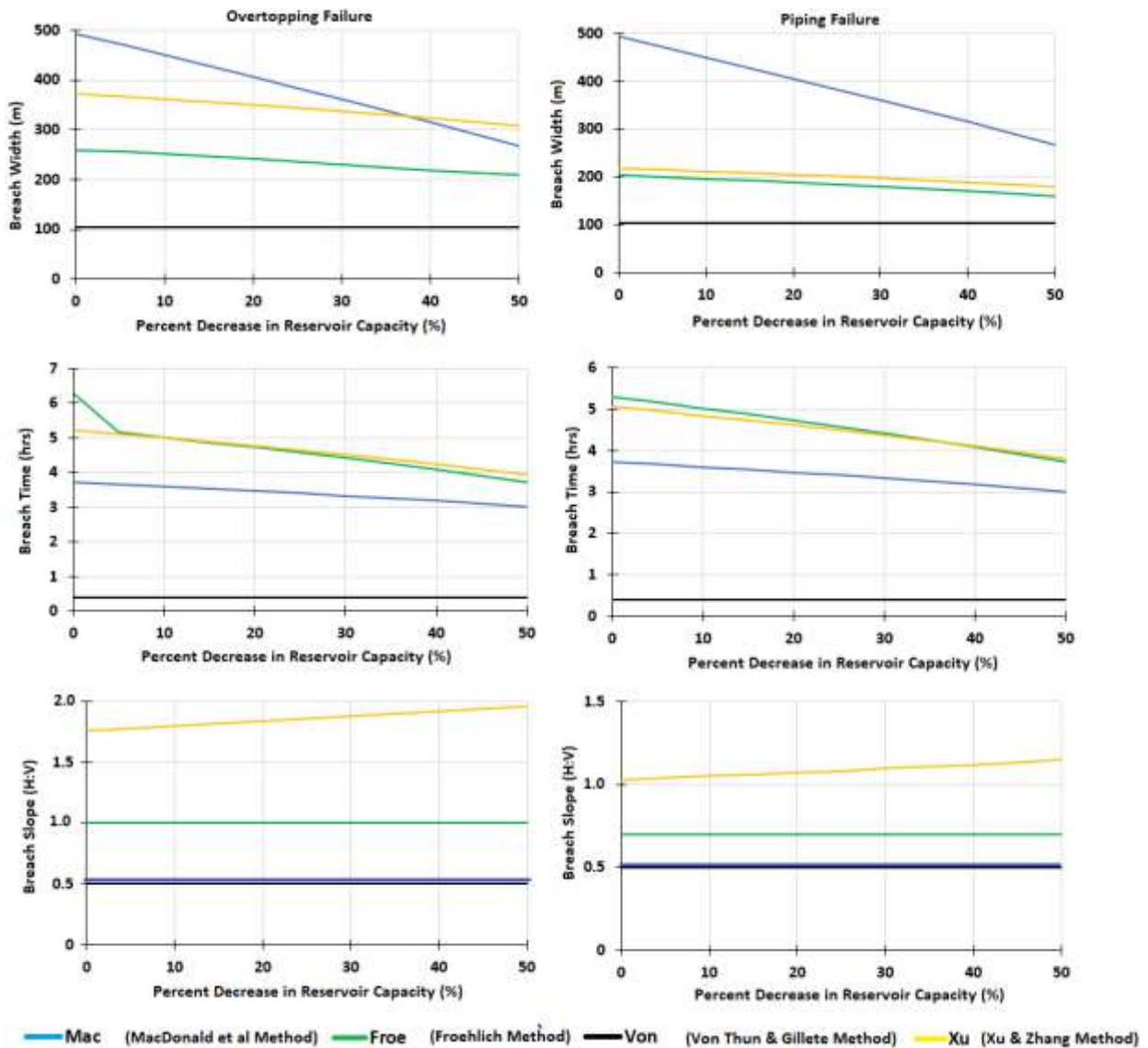


Figure 3: Sensitivity test of the four breach prediction methods

### 2.3.5 Flood Assessment

Recent studies produced hazard maps using the flood wave generated from the hydrodynamic model. We adopted the method used by Baky et al. (2020), which generated the hazard maps using the hazard curve from the literature. For the flood hazard map, we adopt the criteria used by Urzică et al. (2021). We created the vulnerability functions from the five LULC classes (forest, bare land, cropland, built-up, and agricultural land) using the depth-damage relationship, similar to Baky et al. (2020). But in this case, we do not separate the LULC classes from their associated economic value. We combine them and analyze them to produce the vulnerability map for the flood areas. Although the vulnerability curve used in this study ranges from 0 to 4 m with flood depth and their corresponding vulnerability factor of 0 to 1 (see Table 2), we chose this approach because our case study has similar characteristics to their study area, which is a mix of peri-urban and rural settlements with abundant farmland. Table 3 shows the criteria used to produce the two maps. For the projected land loss (for built-up and agricultural land only) derived from the result of the inundation due to dam failure on the downstream side of the



watershed, the estimated land value in this study was based on a review of the National Emergency Management Agency assessment report (NEMA), a combination with the state government under the Kaduna State Geographic Information System (KADGIS), and direct interviews with local people. We set the estimated land value at N12,750 per cell for agriculture; N130,000 for settlements; N7,650 for bare land; N3,700 for cropland; and N9,200 for the forest. We produced the flood risk map on the basis of these criteria.

**Table 2:** Adopted flood hazard and vulnerability index

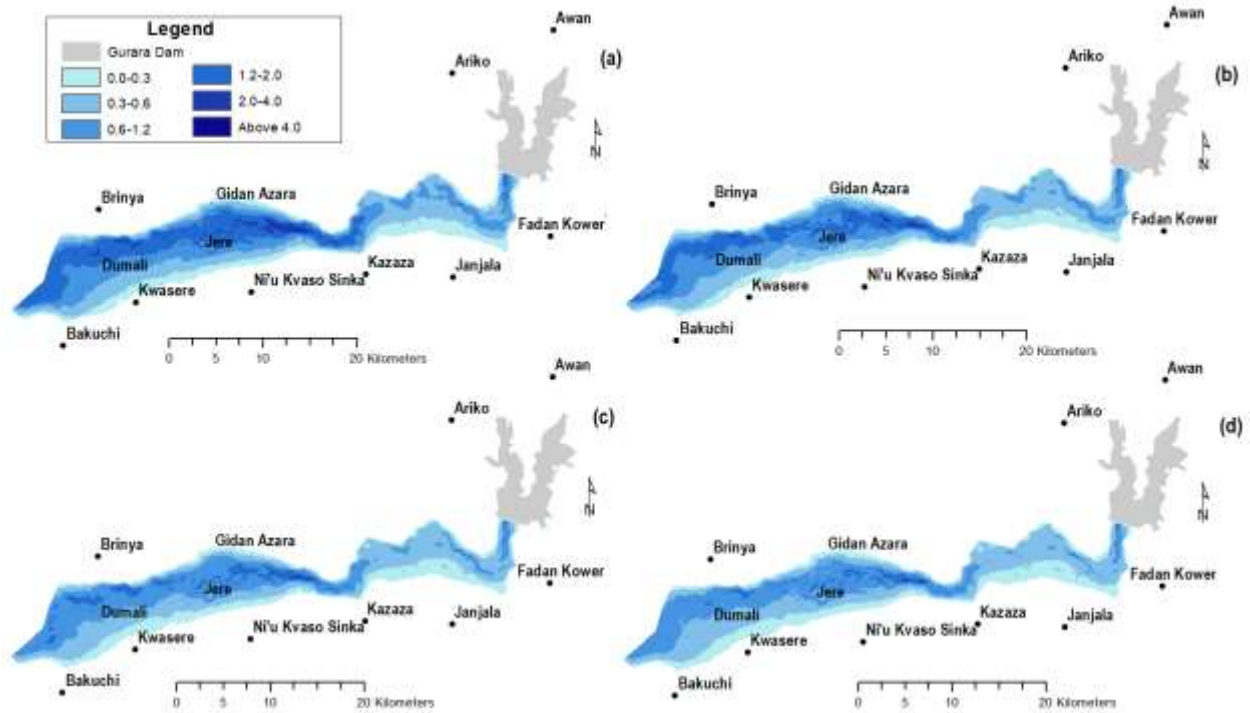
Classes	Flood Hazard (m <sup>2</sup> /s) *	Vulnerability index+	Description**
Very low	0–0.3	0–0.15	little threat to human, animals, and crops
Low	0.3–0.6	0.15–0.35	Unsafe for mobility, children, short crops, and animals
Medium low	0.6–1.2	0.35–0.60	Unsafe for adult, elderly and major crops
Medium high	1.2–2.0	0.6–0.75	Unsafe to some public infrastructures, and agricultural lands
High	2.0–4.0	0.75–0.9	damage buildings and contamination of arable lands
Very high	≥4	0.9-1	unsafe for all building/settlement/cropland

Adopted from Urzică et al. (2021)\*, Hussain et al. (2021)\*\* and Baky et al. (2020)+

### 3.0 Results

#### 3.1 Assessment of Flood Hazard

The simulated results of the dam breach were used to create the flood hazard map of the affected area by combining the flood velocity and depth in ArcGIS software for each scenario. It was found that the maximum and minimum flood hazard under scenario 1 were 38.9 m<sup>2</sup>/s and 0.03m<sup>2</sup>/s respectively, indicating “very high flood hazard” (observed near the rivers/catchments) as shown in Figure 4. The affected areas (in Km<sup>2</sup>) are matched with the corresponding flood hazard indices for each scenario based on the LULC classes of the catchment to assess the extent of flood hazard resulting from a hypothetical dam failure (Table 3). For scenario S1, it can be seen that 54.4% (5.4 km<sup>2</sup>) of the built-up areas (which include Jere, Dumali and Gidan Azara villages) will be exposed to a “high flood hazard” (index between 2 and 4 m<sup>2</sup>/s) in the event of a dam failure, while this value decreases to 4.4, 4.1 and 3.5 km<sup>2</sup> for scenarios S2, S3 and S4, respectively. However, the percentage of built-up areas exposed to “very high flood hazard” (≥ 4 m<sup>2</sup>/s) is low compared to the values obtained for the “low” (maximum 1.9 Km<sup>2</sup>), “medium” (maximum 0.7 km<sup>2</sup>) and “medium-high” (maximum 1.88 km<sup>2</sup>) hazard index (Figure 4). The LULC classes of agriculture, forest and outcrop areas were found to be most affected by a “very high” (≥ 4m<sup>2</sup>/s) flood hazard.



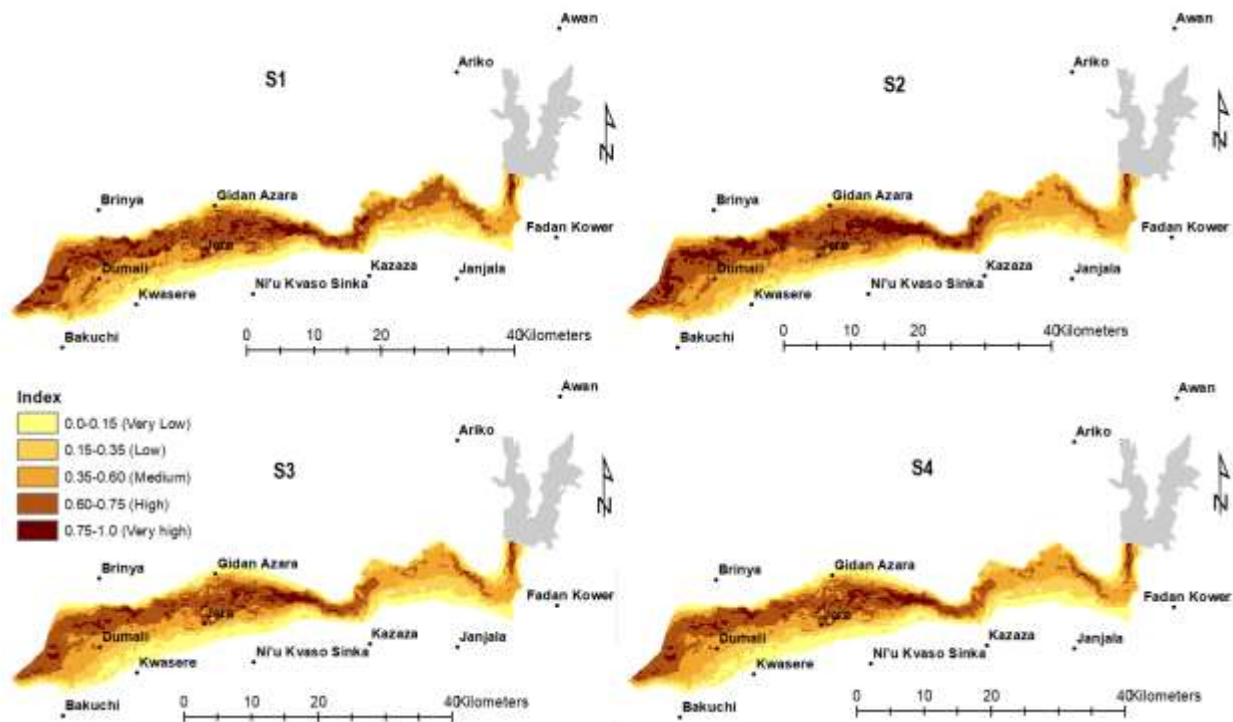
**Figure 4:** Flood hazards assessment maps of the four scenarios (a) S1 (b) S2 (c) S3 and (d) S4

Further analysis shows that agricultural lands that are closer to the river have a greater tendency to be in very high flood hazard situations with little control over the buildup. As the agricultural land mixes with the bare land, forest, and built-up areas, the impact is largely distributed among the major LULC classes, and the hazards are in multiple areas of the flooded zone, as shown in Table 4. For example, in all four scenarios, forest and agriculture are more affected by the flood, as it indicates that a minimum of 41% and 35.3% and a maximum of 49.1% and 44.6%, respectively, fall under “very high flood hazards”. It indicates the potential of the flood to extremely disrupt the economic activities of the affected areas. It means that the flood propagation due to the breach of the dam, have consequences on the socio-economic activities of the people downstream, being that about 27.8 km<sup>2</sup> of the agricultural lands are utilized for irrigation purposes. In all the scenarios, the hazard condition increases toward the river and diminishes further away from it. To prevent flood hazards situations downstream, at least all planned development should be 1.5 to 2 km away from the river. While farmland can be allowed within a distance of 389 to 1500 m based on the hazard prevention criteria suggested by Mudashiru et al. (2022).

### 3.2 Vulnerability assessment of the flooded area

The vulnerability maps for different scenarios were produced, as shown in Fig. 5. On the map, the respective vulnerability is: “very low” (0–0.15), “low” vulnerable (0.15–0.35), “medium low” vulnerable (0.35–0.6), “medium high” vulnerable (0.6–0.75), “high” vulnerable (0.75–0.9), and “very high” vulnerable (0.9–1) for different scenarios of dam break. In Fig. 8, it is found that LULC vulnerability decreases as the inflow into the dam decreases. Nearly 22.3% of the total agricultural land area is “very high” vulnerable to S1 flood inundation. These areas are close to the Gurara River, and furthermore, they generally lie at low or average elevations. Also, 30% of the total agricultural land area is “low” vulnerable to S1. Most of these areas are further away from the river floodplain. Significantly, the results in Fig. 8 illustrate the fact that the built-up land in the middle and side of the flooded area is much more vulnerable to flooding than any other area of the inundated site. This is due to the fact that the middle is very close to the Gurara River tailwater, one of the main rivers in the watershed. Furthermore, the area is an undulating zone, as observed in the DEM shown in Fig. 1. Consequently, the impact of flood damage would be higher in the middle and toward the outlet of the watershed than in any other flood sections. Note that this assumption is true for the same flood in terms of peak period and time to peak. However, forest land is more affected than agricultural land, as 33% of the total forest land flooded by

the flood water is "very high" vulnerable, which is also dominant in the high elevations close to the dam



and the low areas at the outlet.

**Figure 5:** Vulnerability Maps of the inundated areas downstream of the watershed under the four scenarios (a) S1 (b) S2 (c) S3 and (d) S4

Further analysis of the vulnerability map for other LULC classes, illustrates that outcrop, bare land and built-up decreases with the decreases in inflow of water (S1-S4). In general, irrespective of any index of vulnerability, 16%, 12.2% and 9.1% of the total outcrop, bare land and built-up area is vulnerable to flooding in all scenarios. Now, if looking on the basis of vulnerability class, 56% of the total built-up area is "very high" vulnerable to flooding in Scenario S1, and reduced to 48.2% for Scenario S4. However, in Scenario S2 and S3 the percentage decreases to 4%. For outcrop, 26% is "very high" vulnerable to flood at scenario S1 and remains unchanged for all the scenarios. Also, for bare land area, 46% is "very high" vulnerable to flooding for S1, but decreases to 44%, 39% and 36% for S2, S3, and S4 respectively. This decreasing trend is probably due to the location of the bare land areas as they are very close to the Gurara river and at the tail-water floodplains.

Considerably, outcrops and built-up areas "very low" vulnerable to flooding decrease gradually with decreased inflows upstream of the Dam (scenarios S1-S4). While bare land areas with "very low" are vulnerable to flooding, they increase with decreased inflows upstream of the dam. The area increases from about 26% to 32% from scenario S1 to S4. These areas where bare land vulnerability with "very low" increases tend to be either close to the high elevation areas or far away from the Gurara River (Fig 1). As a whole, distance from the river to any LULC classes affects the extent of vulnerability in the flooded area. However, the type of LULC classes is obviously a factor in this regard as they have different distribution and spatio-temporal conditions within the flooded areas, especially in a situation where they are located at a low elevation and close to the Gurara river.

#### 4.0 Discussion

The results of this study show the hypothetical dam break of Gurara Dam under varied inflow conditions and its impact downstream of the Gurara Watershed. Over the years, the watershed experiences various anthropogenic changes, as observed by the spatial analysis of the historical LULC over the span of 20 years. It was observed that a drastic change occurred on the LULC of the watershed after construction of the popular Gurara Dam. This is as a result of the socio-economic activities that commence immediately after the completion of the dam. About 6,000 ha of land are dedicated for irrigation at the



downstream, which is expected to generate 100,000 metric tons of food in three circles per year. On the other hand, there is rural to rural and rural to peri-urban migration during the same period as it encourages more people to move from their former location to the new rural and peri-urban areas that are mostly downstream of the dam and along the Gurara River and its tributaries. This was observed from the sudden change in the built-up and agricultural land from 2013 to 2020 (see Fig. 4) at the upstream of the watershed. The same situation was observed all within the watershed. Also, the watershed is a center of tourism, and more people settle in peri-urban areas like Jere, Dufe, Dumalli, etc., at the upstream, and Kachia, Gumel, Maigoro, Ariko, etc. Also, the topographic characteristics of the watershed encourage runoff, and an increase in impervious areas upstream (high elevation zones) is expected to increase the runoff situation that ends at the Gurara reservoir. Therefore, the impact of the LULC under increased rainfall conditions upstream of the watershed was evaluated to produce four scenarios (as 24-hour inflow hydrographs): S1, S2, S3, and S4. This is to evaluate the dam's attenuation capacity and its control of excess runoff. It is important to note that the downstream of the watershed experiences flood events on a yearly basis (Ibrahim and Isiguzo 2009). After the construction of the dam, the floods experienced downstream decreased drastically. The question that remains unanswered is: what if, the inflow into the reservoir is beyond the dam's attenuation capacity, and what will be the consequences downstream? Hence, a hypothetical dam break analysis of the watershed was evaluated considering piping failure (Chen et al. 2019).

Piping failure was selected because of the type of dam, which is composite rock fill with multiple outlets (3 m diameter sluice gates, a 4200 m<sup>3</sup>/s discharge spillway, and a 1.5-m-diameter penstock for power generation) that makes overtopping failure possible (Yilmaz et al. 2023). A sensitivity analysis of the four known correlation models for the prediction of the dam break parameters of the Gurara dam shows that MacDonald's method proved to be the best model for this study. The evaluation of the sensitivity analysis was based on the criteria used by Tschiedel and Paiva (2018). Most studies encourage the assessment of accidental floods from dam failure due to the disastrous downstream impact derived mostly from hydroclimatic and anthropogenic conditions (Azam and Li 2010, Mallakpour et al. 2019). A critical understanding of the preventive and adaptive measures in case of its failure. In Africa, this approach is not common nor implemented elsewhere within the continent (Munyai et al. 2019). Although there have been numerous dam disasters on the continent (Van Niekerk and Viljoen 2005, Fourie et al. 2022), in Nigeria, a lot of dams have failed but not all have been documented in the literature, resulting in damage to crops and destruction of property (Umaru et al. 2010, Ezugwu 2013).

The simulated model of the dam failure of Gurara dam follows the known procedure of the hydrodynamic model development (subsection 2.3.5). Considering the volume of water reserved by the dam, the large flood released as a result of the hypothetical dam failure downstream of the dam is disastrous and will impact LULC classes, the environment, and socio-economic activities (Latrubesse et al. 2020). With respect to the flood hazard maps produced from the flood propagation during failure, it shows that it has a different impact on the LULC classes. But forests, agricultural land, bare land, and built-up areas are the most affected, as a large percentage fall within very high flood hazard conditions. In terms of flood propagation, all four scenarios (S1, S2, S3, and S4) produced the same flood extent with a varied flood hazard index. The influencing factor for the concentrated flood hazards (very high, high, medium, and low) is the significant elevation difference from the dam axis to the tailwater downstream. It is characterized by meandering rivers and their tributaries, which result in the sudden accumulation of floodwater and the efficient conveyance of floodwater in a short period of time (Fryirs 2017). These factors result in high flood hazards close to the rivers and their associated flood plains (see Fig. 7). The same condition was observed for the vulnerability map, as the flood hazards changed with the scenarios (S1, S2, S3, and S4), so did the vulnerability (Fig. 8). In general, the point of concern is that the vulnerable areas include the major peri-urban area known as Jere and its neighboring villages of Dumali, Gidan Azara, etc. For the agricultural areas, the proposed irrigation areas will be affected, which will render the effort of the Federal Authority in vain. About 100,000 metric tons of food will perish. This situation will produce a chain reaction in the socio-economic development of the country, the state, and the local community.



## 5.0 Conclusion

Several studies have shown the devastating impact of dam-break floods on the ecosystem, environment, and socio-economic activities. In most African countries like Nigeria, the level of these disasters is not communicated to the residents at risk, nor is it measured by the authorities to adopt preventive strategies. This study shows the hazards, vulnerabilities, and risks involved in an event of Gurara Dam breaching downstream. Also, to show the attenuation capacity of the dam and its impact in case of failure. Hence, four flood hydrograph scenarios derived from the simulated hydrologic model of the upper Gurara watershed were used as the literal inflow for the dam breach model. The result of the study shows that about 274.6 km<sup>2</sup> (27,460 ha) will be flooded, of which 83.69 km<sup>2</sup> (83,690 ha) is agricultural land, 145.06 km<sup>2</sup> (14,506 ha) is forest land, 25.85 km<sup>2</sup> (2585 ha) is bare land, 9.17 km<sup>2</sup> (917 ha) is cropland, and 10.76 km<sup>2</sup> (1075 ha) is built-up land. Based on the flood hazard maps, it shows that 54.4% (5.4 km<sup>2</sup>) of the built-up areas (which include Jere, Dumali, and Gidan Azara villages) will be exposed to a "high flood hazard" (an index between 2 and 4 m<sup>2</sup>/s) in the event of a dam failure. It was observed that in all four scenarios, forest and agriculture are more affected by the flood, as it indicates that a minimum of 41% and 35.3% and a maximum of 49.1% and 44.6%, respectively, fall under "very high flood hazards". Now, if looking at the vulnerability map of the flooded area, 56% of the total built-up area is "very highly" vulnerable to flooding in Scenario S1, and reduced to 48.2% in Scenario S4. However, in scenarios S2 and S3, the percentage decreases to 4%. In general, under vulnerability conditions, the type of LULC classes is a major factor in this regard, as they have different distribution and spatio-temporal conditions within the flooded areas, especially in a situation where they are located at a low elevation and close to the Gurara river. This study provides information on the consequences of a Gurara dam breach if it fails to attenuate the excess inflows generated from the anthropogenic impact and climate change at the upstream and its influence on the downstream of the Gurara Dam. It also provides an opportunity for the authority to review potential flood disasters in the neighboring community that are close to water-related structures like dams, dikes, and basins.

## References

- Abdessamed, D., and B. Abderrazak. 2019. Coupling HEC-RAS and HEC-HMS in rainfall–runoff modeling and evaluating floodplain inundation maps in arid environments: case study of Ain Sefra city, Ksour Mountain. SW of Algeria. *Environmental Earth Sciences* **78**:586.
- Aboyeji, O. S. 2016. Hydro-period dynamics of some inland valley agroecosystems in southwest Nigeria. *African Geographical Review* **35**:294-305.
- Azam, S., and Q. Li. 2010. Tailings dam failures: a review of the last one hundred years. *Geotechnical news* **28**:50-54.
- Baky, M. A. A., M. Islam, and S. Paul. 2020. Flood hazard, vulnerability and risk assessment for different land use classes using a flow model. *Earth Systems and Environment* **4**:225-244.
- Bermúdez, M., and A. P. Zischg. 2018. Sensitivity of flood loss estimates to building representation and flow depth attribution methods in micro-scale flood modelling. *Natural Hazards* **92**:1633-1648.
- Bhattarai, S., P. B. Parajuli, and F. To. 2023. Comparison of Flood Frequency at Different Climatic Scenarios in Forested Coastal Watersheds. *Climate* **11**:41.
- Bonsal, B., X. Zhang, L. Vincent, and W. Hogg. 2001. Characteristics of daily and extreme temperatures over Canada. *Journal of climate* **14**:1959-1976.
- Brunner, G. W. 2016. HEC-RAS river analysis system 2D modeling user's manual. US Army Corps of Engineers—Hydrologic Engineering Center:1-171.
- Chen, S.-s., Q.-m. Zhong, and G.-z. Shen. 2019. Numerical modeling of earthen dam breach due to piping failure. *Water Science and Engineering* **12**:169-178.
- Dam, S., O. JIMOH, and O. AYODEJI. 2003. Water Resources Systems-Hydrological Risk, Management and Development (Proceedings of symposium 277 HS02b held during IUGG2003 at Sapporo, July 2003). IAHS Publ. no. 281, 2003. Page 277 in *Water Resources Systems--hydrological Risk, Management and Development: Proceedings of an International Symposium (Symposium HS02b)*



Held During IUGG 2003, the XXIII General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics: at Sapporo, Japan, from 30 June to 11 July, 2003. International Association of Hydrological Science.

Davenport, F. V., J. E. Herrera-Estrada, M. Burke, and N. S. Diffenbaugh. 2020. Flood size increases nonlinearly across the western United States in response to lower snow-precipitation ratios. *Water Resources Research* **56**:e2019WR025571.

Elfeki, A., M. Masoud, and B. Niyazi. 2017. Integrated rainfall–runoff and flood inundation modeling for flash flood risk assessment under data scarcity in arid regions: Wadi Fatimah basin case study, Saudi Arabia. *Natural Hazards* **85**:87-109.

Ezugwu, C. 2013. Dam development and disasters in Nigeria. *Int J Eng Res Technol (IJERT)* **2**:960-977.

Fourie, A., G. Papageorgiou, and G. Blight. 2022. Static liquefaction as an explanation for two catastrophic tailings dam failures in South Africa. Pages 149-158 *Tailings and Mine Waste 2000*. CRC Press.

Fryirs, K. A. 2017. River sensitivity: a lost foundation concept in fluvial geomorphology. *Earth Surface Processes and Landforms* **42**:55-70.

Gouldby, B., P. Sayers, J. Mulet-Marti, M. Hassan, and D. Benwell. 2008. A methodology for regional-scale flood risk assessment. Pages 169-182 *in Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Water Management*. Thomas Telford Ltd.

Guan, M., K. Guo, H. Yan, and N. Wright. 2023. Bottom-up multilevel flood hazard mapping by integrated inundation modelling in data scarce cities. *Journal of Hydrology*:129114.

Ha, H., Q. D. Bui, H. D. Nguyen, B. T. Pham, T. D. Lai, and C. Luu. 2023. A practical approach to flood hazard, vulnerability, and risk assessing and mapping for Quang Binh province, Vietnam. *Environment, Development and Sustainability* **25**:1101-1130.

Hussain, M., M. Tayyab, J. Zhang, A. A. Shah, K. Ullah, U. Mehmood, and B. Al-Shaibah. 2021. GIS-based multi-criteria approach for flood vulnerability assessment and mapping in district Shangla: Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan. *Sustainability* **13**:3126.

Ibrahim, H. M., and E. A. Isiguzo. 2009. Flood frequency analysis of Figurara river catchment at Jere, Kaduna State, Nigeria. *Science Research Essay* **4**:636-646.

Kovalenko, S., C. J. Brown, C. Akan, and A. Schonning. 2022. An examination of extreme floods, effects on land-use change and seasonality in the lower St. Johns River Basin, Florida using HSPF and statistical methods. *Environmental Earth Sciences* **81**:87.

Latrubesse, E. M., E. Park, K. Sieh, T. Dang, Y. N. Lin, and S.-H. Yun. 2020. Dam failure and a catastrophic flood in the Mekong basin (Bolaven Plateau), southern Laos, 2018. *Geomorphology* **362**:107221.

Mallakpour, I., A. AghaKouchak, and M. Sadegh. 2019. Climate-induced changes in the risk of hydrological failure of major dams in California. *Geophysical Research Letters* **46**:2130-2139.

Martínez-Retureta, R., M. Aguayo, N. J. Abreu, A. Stehr, I. Duran-Llacer, L. Rodríguez-López, S. Sauvage, and J.-M. Sánchez-Pérez. 2021. Estimation of the climate change impact on the hydrological balance in basins of south-central Chile. *Water* **13**:794.

Mudashiru, R. B., N. Sabtu, R. Abdullah, A. Saleh, and I. Abustan. 2022. Optimality of flood influencing factors for flood hazard mapping: An evaluation of two multi-criteria decision-making methods. *Journal of Hydrology* **612**:128055.

Munyai, R. B., N. S. Nethengwe, and A. Musyoki. 2019. An assessment of flood vulnerability and adaptation: A case study of Hamutsha-Muongamunwe village, Makhado municipality. *Jambá: Journal of Disaster Risk Studies* **11**:1-8.



- Nastiti, K. D., Y. Kim, K. Jung, and H. An. 2015. The application of rainfall-runoff-inundation (RRI) model for inundation case in upper Citarum watershed, West Java-Indonesia. *Procedia engineering* **125**:166-172.
- Nkwunonwo, U., M. Whitworth, and B. Baily. 2020. A review of the current status of flood modelling for urban flood risk management in the developing countries. *Scientific African* **7**:e00269.
- Omofunmi, O., J. Kolo, A. Oladipo, P. Diabana, and A. Ojo. 2017. A review on effects and control of seepage through earth-fill dam. *Current Journal of Applied Science and Technology* **22**:1-11.
- Polemio, M., and P. Lollino. 2011. Failure of infrastructure embankments induced by flooding and seepage: a neglected source of hazard. *Natural Hazards and Earth System Sciences* **11**:3383-3396.
- Sarchani, S., and A. G. Koutroulis. 2022. Probabilistic dam breach flood modeling: the case of Valsamiotis dam in Crete. *Natural Hazards* **114**:1763-1814.
- Song, X.-P., M. C. Hansen, S. V. Stehman, P. V. Potapov, A. Tyukavina, E. F. Vermote, and J. R. Townshend. 2018. Global land change from 1982 to 2016. *Nature* **560**:639-643.
- Tedla, M. G., Y. Cho, and K. Jun. 2021. Flood Mapping from Dam Break Due to Peak Inflow: A Coupled Rainfall-Runoff and Hydraulic Models Approach. *Hydrology* **8**:89.
- Toosi, A. S., G. H. Calbimonte, H. Nouri, and S. Alaghmand. 2019. River basin-scale flood hazard assessment using a modified multi-criteria decision analysis approach: A case study. *Journal of Hydrology* **574**:660-671.
- Tschiedel, A. d. F., and R. C. D. d. Paiva. 2018. Uncertainty assessment in hydrodynamic modeling of floods generated by dam break. *RBRH* **23**.
- Umaru, A., K. Ogedengbe, and M. Omobowale. 2010. Structural failures of earth dams in Nigeria: A case study of Cham Dam in Gombe State. *ARPN Journal of Engineering & Applied Sciences* **5**:47-52.
- Urzică, A., A. Mișu-Pintilie, C. C. Stoleriu, C. I. Cîmpianu, E. Huțanu, C. I. Pricop, and A. Grozavu. 2021. Using 2D HEC-RAS modeling and embankment dam break scenario for assessing the flood control capacity of a multi-reservoir system (NE Romania). *Water* **13**:57.
- Van Niekerk, H., and M. Viljoen. 2005. Causes and consequences of the Merriespruit and other tailings-dam failures. *Land degradation & development* **16**:201-212.
- Wijayawardana, N., C. Abenayake, A. Jayasinghe, and N. Dias. 2023. An Urban Density-Based Runoff Simulation Framework to Envisage Flood Resilience of Cities. *Urban Science* **7**:17.
- Yilmaz, K., Y. Darama, Y. Oruc, and A. B. Melek. 2023. Assessment of flood hazards due to overtopping and piping in Dalaman Akköprü Dam, employing both shallow water flow and diffusive wave equations. *Natural Hazards*:1-25.
- Zhang, L., Y. Xu, and J. Jia. 2009. Analysis of earth dam failures: A database approach. *Georisk* **3**:184-189.
- Zhong, Q., L. Wang, S. Chen, Z. Chen, Y. Shan, Q. Zhang, Q. Ren, S. Mei, J. Jiang, and L. Hu. 2021. Breaches of embankment and landslide dams-State of the art review. *Earth-Science Reviews* **216**:103597.





## EXPERIMENTAL STUDY OF BIFACIAL SOLAR PHOTOVOLTAIC SYSTEMS IN SNOWY ENVIRONMENTS

*Hasan Huseyin COBAN*

*Ardahan Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, 75002. Ardahan, Türkiye.*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5284-0568>*

### ABSTRACT

In order to maximize the energy produced by a solar farm while occupying the same amount of space, the Photovoltaics (PV) sector has successfully developed and used bifacial solar modules. With the latest generation of bifacial photovoltaic panels, which further make use of the light reflected from the ground to the backside, it is feasible to achieve more energy per unit area. The potential of bifacial photovoltaics for snowy regions is studied from an economic and technical standpoint in this experimental feasibility study. The results demonstrate that the system may generate much more energy than conventional systems in the city of Ardahan, Turkey during a full year from June 2022 to May 2023. The bifacial south-facing systems generated 29.9% more energy than monofacial modules. By installing the modules several meters above the ground, the snow can slide off unhindered and is also exposed to the wind. In contrast to roof systems, the accumulation of snow in the lower area of the module segments can be avoided.

**Keywords:** Bifacial photovoltaics, Solar PV, Design optimization, Albedo, Snow

### 1. INTRODUCTION

Renewable energy sources are inexhaustible and self-renewing sources of energy in nature [1]. These energy sources include solar energy, wind energy, geothermal energy, hydroelectric energy, wave energy, and biomass energy. It is estimated that 90% of the world's electricity can and should come from renewable energy by 2050 [2]. Renewable electricity generation grew by about 8% in 2021 [3]. China is the largest employer of workers within the renewable energy sector. As of 2021, there were over 5.3 million renewable energy jobs in the Asian country. Turkey's potential in terms of renewable energy resources creates a very advantageous situation and also increases the value of Turkey strategically and economically [4]. The fact that a country's dependence on foreign energy will decrease due to renewable energy sources makes a very positive contribution to the geopolitics of the country [5].

Solar energy is one of the most suitable energy sources with its low damage to the environment, and it can benefit even in countries where the sun is very low [6]. Moreover, only a small part of the energy generated by the sun can be used by humans. Today, most of the outdoor solar panels installed in Turkey are aligned to the south with an inclination angle of 30° [7], [8]. However, this approach may change with the advent of bifacial solar panels that use solar radiation on the front and solar radiation on the back. Bifacial solar modules promise higher efficiency with the same surface area compared to monofacial solar modules [9], [10]. The direct and diffuse radiation of the sun, which is diffusely reflected in the back, is necessary for additional efficiency at the backside. The reflectivity of the subsurface, also known as albedo [11]–[13], is the determining variable for the possible additional efficiency of bifacial solar modules [14]. In addition to the south orientation, the east/west orientation option may also be promising for bifacial cell technology. Such a system absorbs solar radiation in the morning and evening hours and also allows multiple uses of the solar farm area.

Also, a bifacial panel can generate more energy by taking up space like a monofacial panel [15]. With increasing population density in cities, a higher utilization rate of surfaces is becoming more and more important. As land surfaces are both expensive and dwindling, the roofs of buildings in cities are becoming a potential secondary surface resource. One use for roofs is to install solar cells to match the building's own electricity consumption. Solar cells generate mainly renewable electricity that can be



used where it is installed and helps prevent transmission losses in the electrical grid. In addition to the transmission loss in the electricity grid, it lowers the temperature in cities that are several degrees higher than in the countryside, which reduces the cooling demand in buildings during the summer months.

High power generation is preferred to maximize the benefits of the roof combination. A new type of solar cell that is expected to capture a larger portion of the solar cell market in the coming years is bifacial solar cells. This type of solar cell is quite rare in Turkey today. They are solar cells with double-sided light absorption, providing a higher power absorption than the more common single-sided solar cells on the market today. Although its market share is low today, it is expected to increase its market share in the next 10 years. This study investigates the energy generation with bifacial solar cells and the effects of reflected solar radiation from snow.

### 1.1. Purpose and problem formulation

This study aims to reveal the effects of snow reflection on energy generation for regions with snowfall most of the year with bifacial solar cells. Moreover, the study is to determine whether it is a good investment for bifacial solar cells by focusing on the Ardahan province of Turkey. The study is based on the generation data of 2 different solar panels on the campus of Ardahan University. In order to achieve the aims and objectives of this study, the following three problems were answered:

1. What are the benefits of installing bifacial solar cells together on the same location (roof) in areas where it snows most of the year?
2. What disadvantages can bifacial solar cells have in installation?
3. In terms of generation and economic benefit, what is the optimal location (azimuth and tilt angle) for bifacial solar cells?

The first part of this study explains many similarities and differences between bifacial and monofacial solar cells. In addition, specific components for research on bifacial solar cells are described. In addition, the background of economic models is explained. In the method section, the methods used in this study are explained in order to answer the problems of the study and achieve its goals, and the selection of input parameters in the model is justified. In the conclusion part, the optimum placement of bifacial, comparison between bifacial and monofacial, and profitability calculations are made. The content of the study is summarized in a short conclusion.

This study aims to generate energy from reflected solar radiation from snow and focuses in part on a good combination system with good solar conditions for bifacial solar cells without shading from surrounding walls, or trees. Infrastructure work is not taken into account for solar panel installation as it has already been researched. Solar panel installation on roofs will not be examined as it requires more maintenance, and durability and these will increase the cost even more, which contributes to the shading of bi-surface solar cells.

## 2. THEORY

The following section discusses the theory for the intended results of this study. The chapter begins with the definition of bifacial solar panels, continues with the solar cell technologies considered, and ends with the production aspects of bifacial solar cells.

### 2.1. Solar Source

Sunlight is converted into electricity through a phenomenon called the photovoltaic (PV) effect. However, the amount of light converted into useful energy is determined by several factors, listed below are the key terms and concepts used to evaluate how the solar resource is managed.

The relationship of the sun with the earth is of great importance for solar energy production. Solar radiation is highly dependent on geographic location, so reliable measurements are needed to assess the potential of the source in each case. In terms of relationship, sun angles, the relevant parameters are listed below.

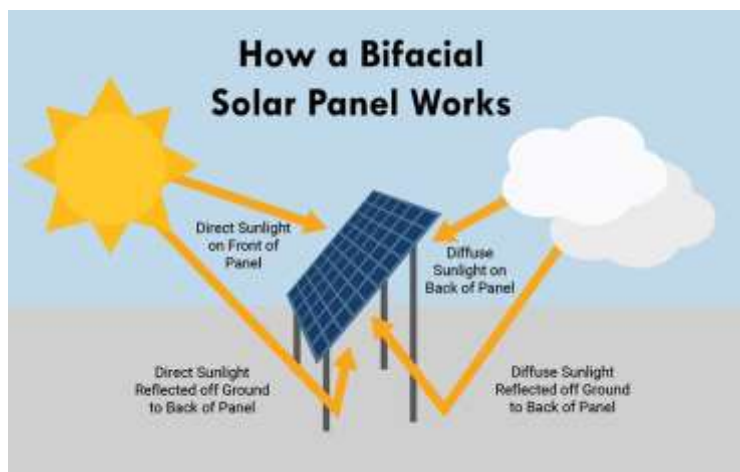
- Tilt angle [16]: Specifies the angle between the slope and the horizontal plane. The angle varies between  $0^\circ$  and  $90^\circ$ .



- **Azimuth angle** [16]: It shows the orientation of the inclined plane relative to the north-south axis, expressed in degrees and varying between  $-180^\circ$  and  $+180^\circ$ .
- **Zenith angle** [17]: It indicates the angle between the vertical plane and the line of sight to the sun.
- **Angle of incidence** [18]: Specifies the angle between the normal of the inclined plane and the line of sight to the sun.

## 2.2. Bifacial solar cells

Conventional technology for solar cells assumes that only the front is used as a receiver for the sun's rays. Bifacial modules, also called double-sided modules, are solar cells that can use both the front and back sides to convert light into electrical energy [14]. Thus, the modules use a larger portion of the emitted and reflected light. Figure 1 shows how bifacial modules make more use of the indirect components of light.



**Figure 1.** Bifacial modules can use more diffuse and reflected light than single-sided modules [19]

Solar cells get their energy from sunlight by absorbing the energy of light, photons. When photons strike the semiconductor material in the solar cell, the electrons are excited, with the photons transferring all their energy to them. The energy in the excited electrons is then used to generate electrical energy by passing them through a circuit [20].

Excited electrons must move in the same direction in an electric field in order to generate electricity. The most common semiconductor material used for solar cells today is silicon. They do not do this in pure silicon, as it is an electrically neutral material. The type of material that forms the largest part of the solar panel cell is called bulk material, and the type of solar cell is also called this material. The most common bulk material today is the p-type, and therefore the most common type of solar cell is the p-type. For a standard solar cell, referred to as a monofacial, an anti-reflective layer is applied to the front. The monofacial has a rear contact that covers the entire back of the solar cell. The advantage of this is that the backflow of electrons is not hindered and thus the resistance losses are reduced. Additionally, the surface internally reflects about 90% of the incident light, which means a second chance for light to be absorbed in the pn junction.

Bifacial solar cells have both front and rear contact points to allow light to be absorbed from both the front and back [14], [21]. Thus, more light can be absorbed into the cell compared to monofacial, but if the cells are too thin, the backflow of electrons may be blocked. Therefore, bifacial has higher resistance losses than monofacial. An example of the difference between monofacial and bifacial structures can be seen in Figures 1 and 7. Unlike monofacial, bifacial usually has an n-type as bulk material.

With the help of reflective substrates such as white sand, roofing foils, or paint, there is great potential for generation, which delivers more light to the light-using backs of bifacial photovoltaic modules, thereby generates additional energy. Previously used standard modules can thus be replaced with more efficient bifacial panels and the low additional system costs are soon amortized.



In addition, a different material than monofacial panels is used as back contact in bifacial [22], [23]. This contributes to reduced infrared absorption, which lowers the operating temperature of the cell. Lower operating temperature means higher power output and benefits in colder climates. All these advantages of bifacial mean it can have higher efficiency than monofacial. How high this efficiency is depends on the reflection coefficient of the ground. The reason why bifacial does not have a large market share today is due to a more complex production process that requires higher costs than monofacial.

### 2.3. Reflected irradiation from snow

Albedo is a measure of a surface's ability to reflect sunlight. It is defined as the ratio between an incident and reflected sunlight, it is dimensionless and has a value between 0 and 1 for all surfaces [11]–[13]. It is also seen that Albedo is expressed as a percentage between 0% and 100%. At albedo zero, no light is reflected, and at hundred all light is reflected. Examples of albedo for different surface types are shown in Table 1 [24].

**Table 1.** Examples of albedo for different surfaces.

Surface type	Albedo
Black bitumen roof (ordinary roof)	0.07
Red brick roof	0.10-0.35
Grass	0.15-0.30
Fresh snow	0.90
Old snow	0.59
Wet sand	0.10-0.20
Dry sand	0.20-0.30
White stone	0.80
White marble pebbles	0.55

Bifacial gain (*BG*) describes the extra electrical energy that a bifacial can extract compared to a monofacial under the same conditions. It is measured as a percentage over a period of time.

$$BG(\%) = \left( \frac{\sum \frac{P_{bf}(t)}{P_{nbf}}}{\frac{P_{mf}(t)}{P_{nm}}} - 1 \right) 100$$

where;

$P_{nbf}$  represents the rated power of the bifacial module;

$P_{nm}$  represents the rated power of the monofacial module.

### 2.4. Economic aspects

The net present value method is a widely used method for calculating the profitability of an investment [21]. It involves discounting payments that occur at different times and comparing them over time at a common reference point. The reference time is usually set to the time of the underlying investment. An investment is considered profitable when the net present value is positive. The calculation of the net present value (NPV) is explained in the following Equation.

$$NPV = Inv + \sum_{t=0}^T \frac{Cf_t}{(1 + dr)^t}$$

where;

*Inv* is the basic investment (cash flow refers to annual income and expenses);

$Cf_t$  is the cash flow at time *t*;

*dr* is the discount rate.



Annual income from solar cell installations depends on the amount of generated electricity. In this study, the value of savings made when purchasing electricity, electricity certificates, energy tax, and electricity transmission fees are not taken into account.

### 3. METHOD

As bifacial solar panels are new to the solar cell market, there are still uncertainties about the accuracy of the design of the system fabrication. This is mainly because there is no specific program or model designed for this type of solar cell. In some studies, the PVsyst programming tool is used to model bifacial systems. The equipment purchased in this project is solar panels, 4 pieces of 12V 12Ah batteries, 2 pieces of 20A MPTT, 30 meters solar panel cable, MC4 Connector. In this study, data obtained from 2 different bifacial solar panels which are installed on the campus of Ardahan University by conducting an experimental study were used (see Figure 2).



**Figure 2.** Solar panels are installed on south-facing

Efficient generation results can be achieved on clear sky days, while cloudy days have a limited impact on generation. At least one year of a dataset is required to get an acceptable result considering cloudy days. Figure 2 shows the solar panels from which the data were obtained. The used equipment list and specifications in this experimental study are summarized in Table 2.

For solar energy generation, it is common to use meteorological average data (humidity and solar radiation) for average annual production. The weather in the selected area is mostly rainy from April to September, the temperature does not fall below 0°C in summer, and it is -20°C in winter. The azimuth is set to -10° based on the selected position. The variation in slopes was between 0° and 80°. In addition, vertical bifacial 90° tilt has been tested with different azimuths between -90° and 90°. To adjust the azimuth angle, an adjustable screw is used on the profile where the panels are mounted, as shown in Figure 3.



**Figure 3.** Adjustable screw is used to adjust the tilt angle of the panels

**Table 2.** Features of the solar panel used in the project

	<b>Monocrystalline Solar Panel</b>	<b>Polycrystalline Solar Panel</b>
Product code	LXR-100M	LXR-125P
Brand	LEXRON	LEXRON
Short Circuit Current (Isc)	5.10A	7.30A
Max. Current (Imp)	4.83A	6.94A
Strength	100W	125W
Number of Cells	36	36
Open Circuit Voltage (Voc)	24,84V	22,10V
Max. Voltage (Vmp)	20,70V	18.00V
Module Dimensions (mm)	791*679*25	670*1150*30

#### **Albedo Value**

Since the albedo value is to be used in this calculation, it is obtained by reflection from the snow, therefore snowfall should be taken into account for the selected area. The normal value in Ardahan is that the first snowfall occurs on around 15 November and the last snow cover normally extends until 15 April. The normal value for Ardahan is approximately 110 days in total with snow cover. However, with the effect of global warming, the number of days with snowfall is expected to decrease in the following periods. It is assumed that these future scenarios will have a range of 75 - 95 snow days in 2030. Figure 4 shows the bifacial PV system in winter, showing one of the advantages of being covered by snow.



**Figure 4.** More energy generation with snow Albedo

### **Financial calculation**

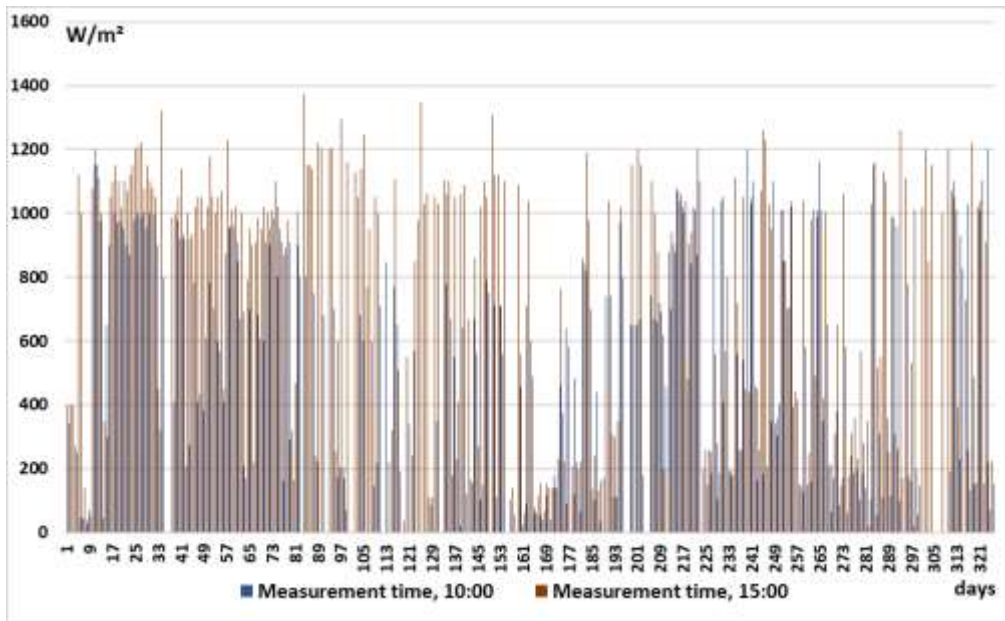
The 20-year economic life for equipment is used to calculate the NPV. It is assumed that the batteries are renewed every 5 years. The discount rate is set at 5%, the normal value of the European market. How electricity prices will change in the future is not considered in this study. The base investment differs for monofacial and bifacial modules. The module price for monofacial is \$0.64/W while bifacial is new to the solar cell market, so it is currently difficult to establish a justified average price for business investment, especially for the Turkish market.

### **Sensitivity analysis**

Various sensitivity analyzes are performed to review the assumptions made in the creation of the feasibility study. Their purpose is in part to analyze the reliability of the result and to determine how changing conditions affect the result. The optimal azimuth angle for Ardahan city is true south, which is  $6.8^\circ$  east of magnetic south. The optimal tilt angles by season or Ardahan city is Spring:  $32^\circ$ , Summer:  $17^\circ$ , Fall:  $32^\circ$ , and Winter:  $47^\circ$ . Azimuth and tilt angle varies between  $-40^\circ$  and  $+40^\circ$ . The results of the sensitivity analyzes are presented in the results section.

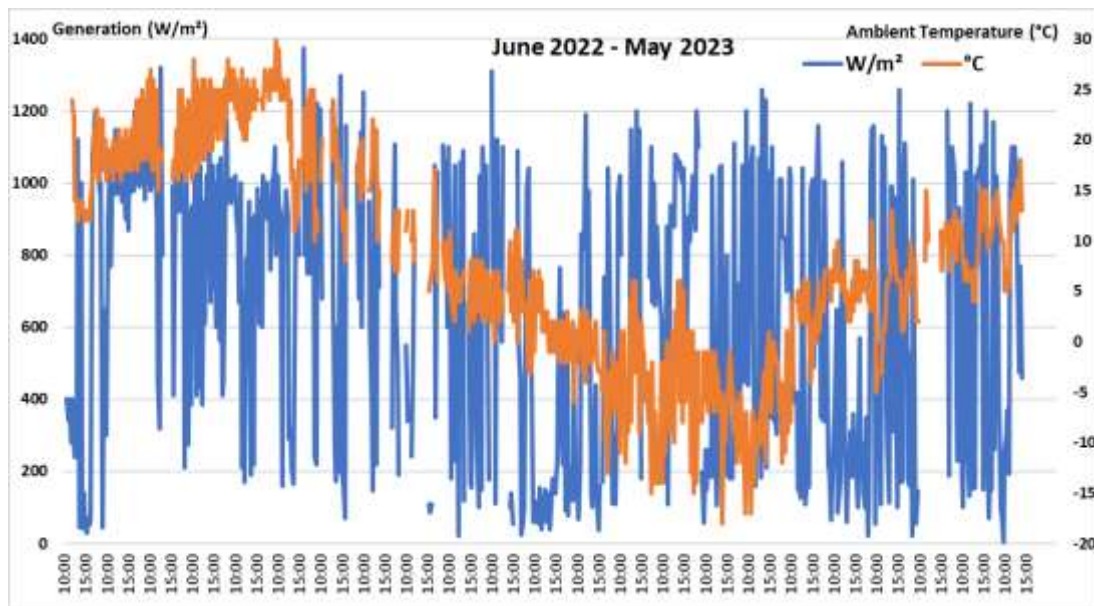
## **4. RESULTS**

In order to avoid the error that may occur due to the variability of the weather, the measurements at both 10:00 and 15:00 each day are shown separately and calculations are made. Figure 5 presents the results from 1-year measurements for the monofacial solar panels. The generation is presented according to mounting height and angle to the ground. The azimuth is set to  $-10^\circ$ . The difference between monocrystalline and polycrystalline panels is negligible.



**Figure 5.** Energy generation from PV panels

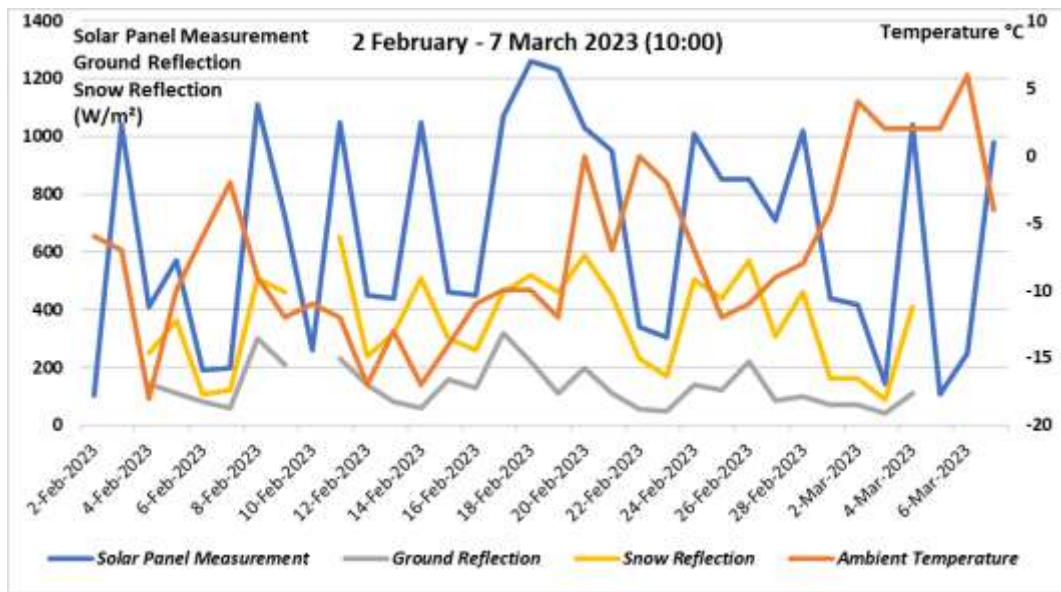
As a result, monocrystalline solar panels are more efficient and provide greater power output than polycrystalline solar panels. Since monocrystalline panels have more power output, they produce more electricity with fewer panels than other panel types. The results have the highest system output, with an average of  $635 \text{ W/m}^2$  at an installation height of 40 cm and the average ambient temperature is  $8.1^\circ\text{C}$ .



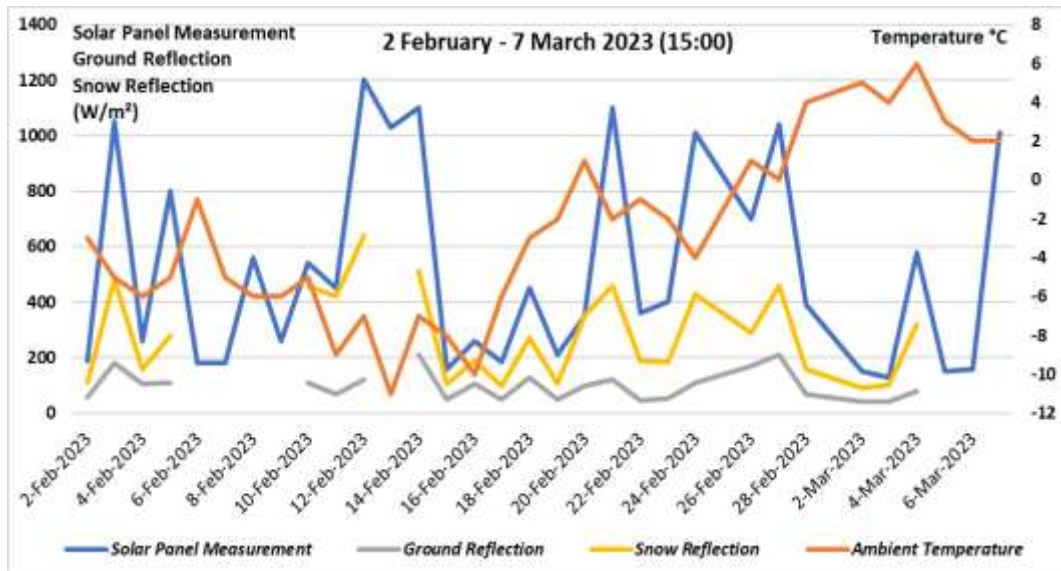
**Figure 6.** Daily generation and ambient temperature

Following Figures shows power data for February and March when energy generation is at its highest from snow reflection throughout the year. Figures 7 and 8 show the generation values at 10:00 and 15:00, respectively. As can be seen in the Figures, sunlight emitted from snow has increased the amount of energy generated.



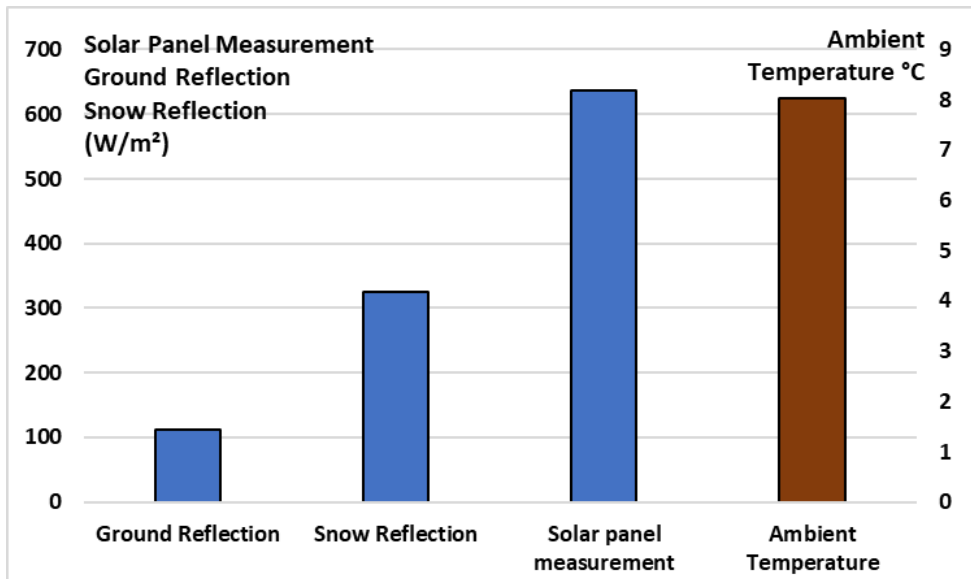


**Figure 7.** The generation of bifacial panels for snowy days (measurement time: 10:00)



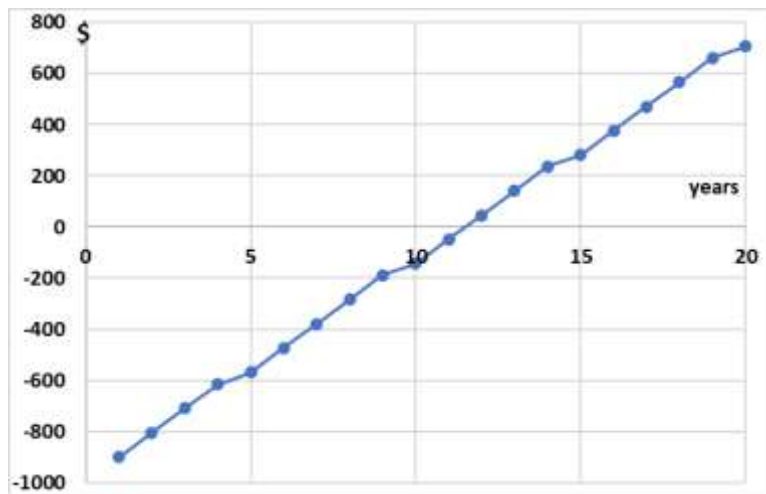
**Figure 8.** The generation of bifacial panels for snowy days (measurement time: 15:00)

Especially on days when the weather is cloudy, the reflection from the snow in the snow-covered area ensures the continuous operation of the solar cells. On sunny days in winter, with the effect of reflection, electricity generation doubles with the light received from both snow and the sun. The amount of generated energy in 14 hours in summer can only be produced in 8 hours in winter thanks to snow. Figure 9 shows the annual average measurement results.



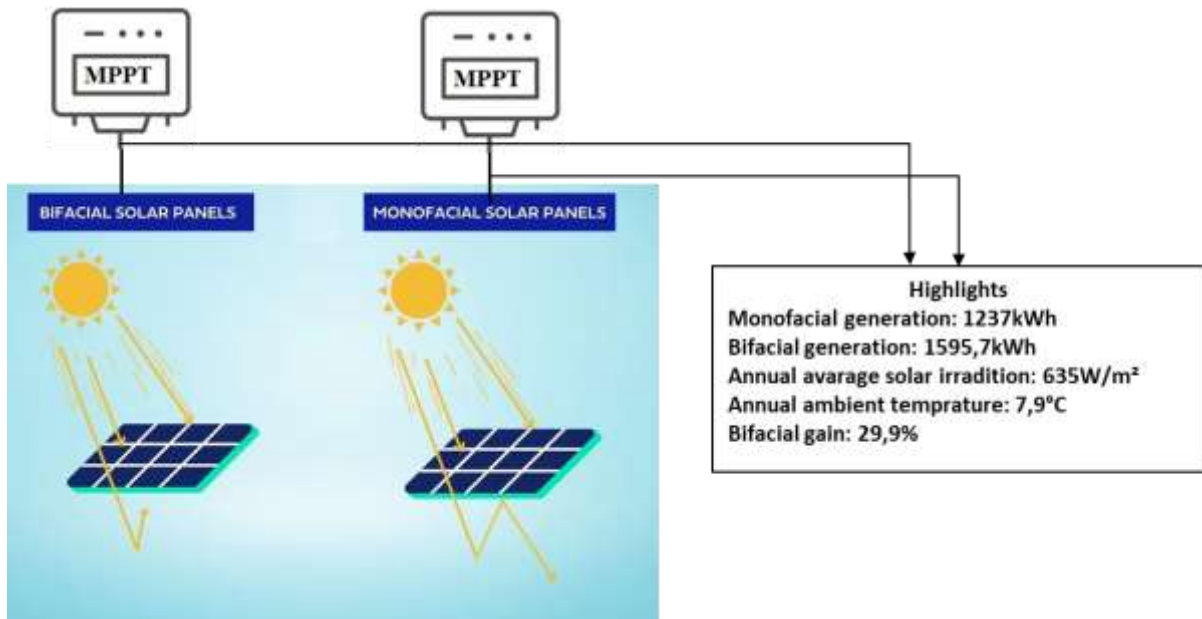
**Figure 9.** Annual average measurement results

Based on system generation, the result shows that the optimal tilt position for bifacial is  $-10^\circ$  and  $40^\circ$  for azimuth angle. Since the overall cost of this project is not high, so in a duration of 20 years with a discount rate of 5% and based on the incomes the Net Present Value will be 124\$. It is assumed that the batteries are renewed every 5 years. According to Figure 10, it takes nearly 12.5 years of project operation to start receiving payback, and the cumulative cash flows become positive by then.



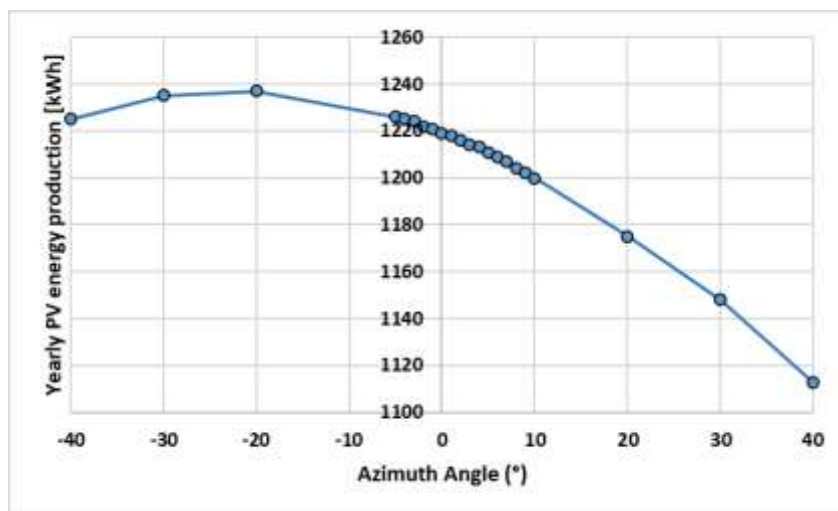
**Figure 10.** Cumulative cash flows (\$) of PV power system operating for 20 years

Figure 11 compares bifacial and monofacial annual power generation results. It is possible to obtain higher energy per unit area with bifacial photovoltaic panels, which also use the light reflected from the ground to the back. In February and March, when the ground is covered with snow, the average efficiency of bifacial PV modules was 29.9% higher than monofacial modules. Thus, snow is a pretty good reflector for double-sided PV modules.



**Figure 11.** Annual monofacial vs bifacial solar photovoltaic generation

Figure 12 shows the results of a test obtained from this study conducted in Ardahan. It shows the different types of azimuth angles and with it the results obtained by varying the tilt factor. This chart belongs to May data. In the blue curve, it is seen that the azimuth angle of the panel is positioned to face  $-40^\circ$ , that is, to the south, and the slope is increased in a parabolic way, but this increase reaches the optimum point at  $-20^\circ$ , and the subsequent azimuth increase affects the irradiation obtained in a way that decreases.



**Figure 12.** Annual energy generation distribution obtained by varying azimuth angle for May

## 5. CONCLUSIONS

In this project, the techno-economic feasibility analysis of a solar photovoltaic electricity generation was investigated considering 200 kW<sub>e</sub> bifacial PV panels in Ardahan, Turkey. This experimental study shows that a significant additional efficiency can be obtained with bifacial solar modules with snow reflection and south orientation. In a comparison between monofacial and bifacial solar modules, additional efficiency was obtained. Additional efficiency can be increased by using a cell technology with a higher bifacial coefficient. In a direct comparison between the single-sided and south-facing solar modules and the bifacial module, an efficiency increase of 29.9% was determined. The estimated payback period for bifacial systems is 12.5 years. Overall, the bifacial system offered higher Net Present Value (NPV) and cost-benefits compared to monofacial systems. The monocrystalline technology exhibited a slightly higher overall economic performance compared to the polycrystalline PV system.



In the coming years, more attention will be given to bifacial PV technology as it allows for an opportunity to yield more generation from PV at reduced costs. Thus, many successful gains such as contribution to the country's economy, protection of human health and the environment, and reduction of electricity production costs will be realized by generating electricity from bifacial solar panels in snowy regions.

This study argues that the Turkish Government and investors should set a detailed policy for developing solar power plants with a complete action plan. The present study explored the vital priorities of different technologies to guide efforts to solve energy problems in developing countries such as Turkey.

For a more comprehensive evaluation, the examinations should be repeated in the winter months. Here, the behavior of various bifacial systems can be studied more closely when the light is more flattering or when there is a higher percentage of diffused light due to dense cloud cover. Ultimately, the knowledge gained can be used as a basis for planning and implementing pilot projects.

## 6. FUTURE STUDY

Something missing in the calculations is the shading from surrounding buildings or trees, in this study, but there is nothing that can cast a shadow where the panels are installed. Also, measurements of how albedo changes throughout the year not only from the snow but also from various reflective materials such as yellow sand, and white sand can be valuable to get a better overview. This study was carried out in Ardahan City, one of the coldest provinces of Turkey. It will be particularly interesting to see what the temperature profile looks like therefore this is also measured for different mounting heights and preferably with a slightly longer dataset.

## ACKNOWLEDGEMENT

This research was funded by a grant from the Ardahan University Scientific Research Projects Coordination Office "Investigation of the effect of snow reflection on solar energy potential in Ardahan province with different bifacial photovoltaic panels" (ID 2021-009). Also; I would like to thank Dr. Arif Cem Topuz, who worked as a researcher in this project.

## REFERENCES

- [1] A. Androniceanu and O. M. Sabie, "Overview of Green Energy as a Real Strategic Option for Sustainable Development," *Energies*, vol. 15, no. 22, p. 8573, Nov. 2022, doi: 10.3390/en15228573.
- [2] D. Gielen, F. Boshell, D. Saygin, M. D. Bazilian, N. Wagner, and R. Gorini, "The role of renewable energy in the global energy transformation," *Energy Strateg. Rev.*, vol. 24, no. January, pp. 38–50, 2019, doi: 10.1016/j.esr.2019.01.006.
- [3] S. A. Abulifa, I. M. Abdaldeam, A. A. Abulifa, M. Amer, and T. M. Ghandoori, "A Current Assessment of the Renewable Energy Industry."
- [4] O. Korkmaz and B. Önoz, "Modelling the Potential Impacts of Nuclear Energy and Renewables in the Turkish Energy System," *Energies*, vol. 15, no. 4, p. 1392, Feb. 2022, doi: 10.3390/en15041392.
- [5] K. J. Chalvatzis and A. Ioannidis, "Energy supply security in the EU: Benchmarking diversity and dependence of primary energy," *Appl. Energy*, vol. 207, pp. 465–476, Dec. 2017, doi: 10.1016/j.apenergy.2017.07.010.
- [6] I. Dincer, "Renewable energy and sustainable development: a crucial review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 4, no. 2, pp. 157–175, Jun. 2000, doi: 10.1016/S1364-0321(99)00011-8.
- [7] Ö. Gönül, F. Yazar, A. C. Duman, and Ö. Güler, "A comparative techno-economic assessment of manually adjustable tilt mechanisms and automatic solar trackers for behind-the-meter PV applications," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 168, p. 112770, Oct. 2022, doi: 10.1016/j.rser.2022.112770.
- [8] A. Bodenhagen, C. Guesdon, A. Parr, P. Clough, and M. van Cleef, "Integration of Large Rooftop Photovoltaic Plants in Industrial or Commercial Areas," 2017, pp. 361–368.
- [9] M. R. Khan, M. T. Patel, R. Asadpour, H. Imran, N. Z. Butt, and M. A. Alam, "A review of



next generation bifacial solar farms: predictive modeling of energy yield, economics, and reliability,” *J. Phys. D. Appl. Phys.*, vol. 54, no. 32, p. 323001, Aug. 2021, doi: 10.1088/1361-6463/abfce5.

[10] M. Vimala, G. Ramadas, M. Perarasi, A. M. Manokar, and R. Sathyamurthy, “A Review of Different Types of Solar Cell Materials Employed in Bifacial Solar Photovoltaic Panel,” *Energies*, vol. 16, no. 8, p. 3605, Apr. 2023, doi: 10.3390/en16083605.

[11] A. S. Gardner and M. J. Sharp, “A review of snow and ice albedo and the development of a new physically based broadband albedo parameterization,” *J. Geophys. Res.*, vol. 115, no. F1, p. F01009, Mar. 2010, doi: 10.1029/2009JF001444.

[12] N. Riedel-Lyngskær *et al.*, “The effect of spectral albedo in bifacial photovoltaic performance,” *Sol. Energy*, vol. 231, pp. 921–935, Jan. 2022, doi: 10.1016/j.solener.2021.12.023.

[13] B. Marion, “Measured and satellite-derived albedo data for estimating bifacial photovoltaic system performance,” *Sol. Energy*, vol. 215, pp. 321–327, Feb. 2021, doi: 10.1016/j.solener.2020.12.050.

[14] M. P. Brennan, A. L. Abramase, R. W. Andrews, and J. M. Pearce, “Effects of spectral albedo on solar photovoltaic devices,” *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, vol. 124, pp. 111–116, May 2014, doi: 10.1016/j.solmat.2014.01.046.

[15] P. Olczak, M. Olek, D. Matuszewska, A. Dyczko, and T. Mania, “Monofacial and Bifacial Micro PV Installation as Element of Energy Transition—The Case of Poland,” *Energies*, vol. 14, no. 2, p. 499, Jan. 2021, doi: 10.3390/en14020499.

[16] A. Z. Hafez, A. Soliman, K. A. El-Metwally, and I. M. Ismail, “Tilt and azimuth angles in solar energy applications – A review,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 77, pp. 147–168, Sep. 2017, doi: 10.1016/j.rser.2017.03.131.

[17] T. W. Cronin, “On the Choice of Average Solar Zenith Angle,” *J. Atmos. Sci.*, vol. 71, no. 8, pp. 2994–3003, Aug. 2014, doi: 10.1175/JAS-D-13-0392.1.

[18] D. L. King, J. A. Kratochvil, and W. E. Boyson, “Measuring solar spectral and angle-of-incidence effects on photovoltaic modules and solar irradiance sensors,” in *Conference Record of the Twenty Sixth IEEE Photovoltaic Specialists Conference - 1997*, pp. 1113–1116, doi: 10.1109/PVSC.1997.654283.

[19] Junaid Shah, “Explained: Bifacial Solar Panels,” 2022.

[20] M. Grätzel, “Solar Energy Conversion by Dye-Sensitized Photovoltaic Cells,” *Inorg. Chem.*, vol. 44, no. 20, pp. 6841–6851, Oct. 2005, doi: 10.1021/ic0508371.

[21] M. J. Shin *et al.*, “Bifacial photovoltaic performance of semitransparent ultrathin Cu(In,Ga)Se<sub>2</sub> solar cells with front and rear transparent conducting oxide contacts,” *Appl. Surf. Sci.*, vol. 535, p. 147732, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.apsusc.2020.147732.

[22] Z. Song, C. Li, L. Chen, and Y. Yan, “Perovskite Solar Cells Go Bifacial—Mutual Benefits for Efficiency and Durability,” *Adv. Mater.*, vol. 34, no. 4, p. 2106805, Jan. 2022, doi: 10.1002/adma.202106805.

[23] M. De Bastiani *et al.*, “Efficient bifacial monolithic perovskite/silicon tandem solar cells via bandgap engineering,” *Nat. Energy*, vol. 6, no. 2, pp. 167–175, Jan. 2021, doi: 10.1038/s41560-020-00756-8.

[24] M. P. Heris, “Do Planning and Design Policies and Procedures Matter In Microclimate Management and Urban Heat Mitigation?,” Doctoral dissertation, University of Colorado at Denver, 2018.



## KAYNAK ROBOTLARINDA EKSENEL TEKRARLANABİLİRLİK TESTLERİ VE GEÇERLİ KILMA ÇALIŞMALARI

### WELDING ROBOT AXIAL REPEATABILITY TESTS AND VALIDATION STUDIES

*Halil Tolga AYVALI*

*Erciyes University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Kayseri, Turkey*

*ORCID ID: 0000-0001-6466-1156*

*Doç. Dr. Hamdi TAPLAK*

*Erciyes University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Kayseri, Turkey*

*ORCID ID: 0000-0003-3387-2692*

#### ÖZET

Robotlarda tekrarlanabilirlik, programlanmış bir noktaya tekrar eden hareketler sırasında, robotun uç noktası ile hedef nokta arasındaki farkı tanımlar. Robotların aynı hassasiyetle ve birden fazla kez aynı hareketi veya işlemi gerçekleştirebilme yeteneğidir. Endüstriyel robotlar, tekrarlanabilirlik özelliği sayesinde üretim hatlarında sürekli olarak aynı işlemleri gerçekleştirerek üretim kalitesini artırma imkânı sağlarlar.

Kaynak robotunun ekonomik ömrünü maksimum seviyede tutabilmek ve tekrarlanabilirlik seviyesini ölçebilmek adına geçerli kılma faaliyetleri ele alınmıştır. Tekrarlanabilirlik deneylerinde, X, Y ve Z eksenleri için 3 farklı komparatör monte edilir ve belirlenen tekrar sayısı kadar makinanın istenilen noktaya hareket ettirilmesi suretiyle testler gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde deneysel olarak robotun tekrarlanabilirliği ölçülmüş ve Cpk analizi yöntemiyle yeterliliği değerlendirilmiştir.

Bakım süreçleri, robot kaynak makinesinde elektriksel ve mekanik bakımlarını gerçekleştirir. Bakım işleri sebebiyle kritik parametreler her arıza bakımdan veya planlı bakımdan sonra etkilenebilir ve bu parametrelere karşılık ekipmanın geçerli kılma raporunda etkisinin olup olmadığını incelenir. Bakım süreçleri de kaynak robotunun tekrarlanabilirliğini etkileyen faktörler arasındadır.

Mevzuatlar ve standartlara uyum sağlamak amacıyla işletmelerin kalite kontrol süreçlerinin geliştirilmesi için önemli bir adımdır. Sonuç olarak, kritik parametrelerden biri olan kaynak robotunun tekrarlanabilirliğinin test edilmesi için kapsamlı bir çalışma sunulmuştur.

**Anahtar kelimeler:** Kaynak Robotu, Tekrarlanabilirlik, Kritik Parametreler, Yeterlilik, Cpk Analizi, Bakım Süreçleri, Geçerli Kılma, Doğrulama, Yasal Gereklilikler, Üretim Süreci

#### ABSTRACT

Repeatability in robots defines the difference between the robot's endpoint and the target point during repetitive movements to a programmed point. It is the ability of robots to perform the same movement with the same precision and more than once. Industrial robots provide the opportunity to increase production quality the same operations on production lines with their repeatability feature.

Validation activities are discussed to maximize the economic life welding robot and to measure the repeatability. In repeatability experiments, 3 different comparators for X, Y and Z axes were mounted and tests were carried out by moving the machine to the desired point for the specified number of repetitions. In this way, the repeatability of the robot was measured experimentally, and its capability was measured by Cpk analysis method.

Maintenance processes perform electrical and mechanical maintenance on the robot welding machine. Due to maintenance work, critical parameters can be affected after each maintenance and the validation



report of the equipment is examined to see if there is an impact. Maintenance processes are also among the factors affecting repeatability.

It is an important step to improve the quality control processes of enterprises to comply with regulations and standards. As a result, A comprehensive study is presented to test the repeatability of welding robots, one of the critical parameters.

**Keywords:** Welding Robot, Repeatability, Critical Parameters, Qualification, Cpk Analysis, Maintenance Processes, Validation, Verification, Regulatory Requirements, Production Process

## GİRİŞ

Tıbbi Cihazlar satılmak istenilen pazarlarda geçerli olan yönetmeliklerine ve kalite standartlarına uyum sağlayarak üretim prosesleri tasarlanır. Üretim proseslerini ve özellikleri ürün riski ve süreç riskleri ile belirlenir.

Geçerli olan standartlar ve yönetmelikler gereği zorunlu olarak ürün, üretim için kullanılan süreçler, ekipmanlar, yazılımlar için ölçümlerin, kalibrasyonların, doğrulamaların ve geçerli kılma işlemlerinin yapılması gerekmektedir [1], [2].

Kalibrasyon işlemlerinde ölçüm alınan cihazlarda, gerçek ölçüler arasındaki sapmayı ve var ise standartlarına veya çalıştığı süreçlerde kabul kriterlerine göre kayıt altına alır.

Doğrulama işlemlerinde alınan ölçümleri, test sonuçlarını uygun kalibrasyon sonucuna sahip olan cihazlar ile ölçülmesidir. Kısaca karşılaştırma yapılarak doğrulamaları yapılır.

Geçerli kılma faaliyetleri ise üretim süreçlerinde kullanılan ekipmanların özellikleri, süreç için belirlenmiş kritik parametreler ve beraberinde çalışan ekipmanlar ile testlerinin yapılarak istenilen kritik özelliklerin sağlandığını, istenilen sapma aralıklarında olduğunu kanıtlamaktır. Süreçlerin tasarımına göre periyodik olarak izleme veya süreçlerde olabilecek değişikliklere göre tekrarlanması söz konusudur.

Günümüzde standart ve yönetmelikler ile çalışan sistemlerde işin kalitesini ve şartlara uygunluk sağlayabilmek çok önemlidir. Bununla birlikte işçilik ve malzeme giderlerini azaltmakta da önemlidir. Robotlar günümüzde ameliyat gibi çok hassas işlerde kullanılabilirdiği gibi üretim süreçlerinde de kaynak yapma amacıyla da kullanılır. Robot kullanımı üretim yapan firmalara rekabet gücünü arttırmaktadır [3].

ISO 13485 Tıbbi Cihazlar Kalite Yönetim Standardı tıbbi cihazı tanımlamaktadır. Tek başına veya birlikte kullanılacak şekilde, üretici tarafından insanlar üzerinden [4]; hastalığın teşhisi, önlenmesi, izlenmesi, tedavisi veya hafifletilmesi, yaralanma veya sakatlığın teşhisi, izlenmesi, tedavisi, etkisinin hafifletilmesi veya mağduriyetin giderilmesi, gibi konularındaki belirli amaç/amaçlar için öngörülen; ilgili kalemler tıbbi cihaz olarak tanımlanır. Tıbbi cihaz üretimi yapılan süreçlerde kullanılan standartlar ve neredeyse tüm ülkelerin ilaç veya tıbbi cihaz için geçerli olan yönetmeliklerde geçerli kılma faaliyetleri önemli bir maddedir ve süreçlerinintasarlanması, deneylerin yapılması, kaydedilmesi bu sonuçların saklanması kadar mevzuat gereği belirlenmiştir.

Bu çalışmada; tıbbi cihaz üretim tesisinde kullanılan kaynak robotlarında geliştirilmiş olan geçerli kılma parametreleriyle, gerçekleştirilen bakım faaliyetleri incelenmesi ve robotların eksenel tekrarlanabilirlikleri incelenerek analiz edilmiştir.

## YÖNTEM

### Kaynak Robotları

Kaynak robotları, endüstriyel robotların bir alt kategorisidir ve kaynak işlemlerinin otomatikleştirilmesinde kullanılırlar. Bu robotlar, birçok endüstriyel uygulama için tasarlanmıştır ve MIG/MAG, TIG, lazer, plazma vb. çeşitli kaynak yöntemlerinde kullanılabilirler.

Kaynak robotları, yüksek hassasiyet ve tekrarlanabilirlik sağlayarak işçilik maliyetlerini düşürmeye yardımcı olur. Ayrıca, insan işçiler için tehlikeli ve zorlu koşullarda çalışabilecekleri için iş güvenliği



açısından da avantajlıdır. Kaynak robotları ayrıca, kaynak hatalarını en aza indirerek ve üretim verimliliğini artırarak ürün kalitesini artırabilirler.

### Geçerli Kılma Planı (Protokol)

Belirli bir kullanım amacı veya uygulama gerekliliklerinin yerine getirildiğinin, kaydedilerek teyit edilmesidir [5].

Geçerli kılma süreçleri kullanım amacı ve uygulamanın sahip olduğu özelliklerin dizayn edilmesidir. Burada çeşitli özellikler ekipman, cihaz veya süreç üretim süreçlerinin özellikleri ile yorumlanarak yapılması gereken deneyler, testler belirlenmesidir. Bu testler deneyler geçerli kılma planını yani neler yapılması gerektiğini içerir.

### Tekrarlanabilirlik

Robotun programlanan bir noktaya tekrarlanan hareketlerinin sonucunda, robota bağlı takımın uç noktası ile hareket etmesi istenen nokta arasındaki fark olarak tanımlanabilir [6]. Bu, robotların aynı hareketi veya işlemi birden fazla kez ve aynı hassasiyette yapabilme yeteneği anlamına gelir. Bu, endüstriyel robotların üretim hatlarında sürekli olarak aynı işlemleri gerçekleştirebilmelerini sağlar ve üretim kalitesini artırır. Ayrıca, robotların programlanması sırasında tekrarlanabilirlik dikkate alınması, işlemlerin optimize edilmesini ve robotların verimli bir şekilde kullanılmasını sağlar. Bu parametrenin üretim içinde periyodik olarak kontrol edilmesi ve üretimin aynı değerlerde olduğunun geçerli kılınması gerekir.



Şekil 1. Kaynak Bölgesi

Józwik, Ostrowski vd. (2016), Endüstriyel robotlarda tekrarlanabilirlik testlerini yüksek hızlı kameralar ile gerçekleştirdikleri makalede sonuç güvenilirlikleri ve sapmaların analizlerini gerçekleştirmişlerdir [7].

Şirinterlikçi, Tiryakioğlu, vd. (2009),” Bir Endüstriyel Robotun Tekrarlanabilirliği ve Doğruluğu: Deney Tasarımı Kursu için Laboratuvar Deneyimi” makalesinde daha tutarlı ve daha yüksek çözünürlüklü bir ölçüm elde edebilen farklı yöntemlerle yapılması gerektiğini ve araştırma aşamasında keşfedilen bazı yöntemler, küçük konum farklılıklarını büyütülecekleri bir ekrana yansıtmak için lazerlerin ve aynaların kullanılması yönünde görüş bildirmişler [8].

Kuric, Tlach, vd., (2018) “Endüstriyel Robot Poz Tekrarlanabilirliğinin Ölçümü” makalesinde tekrarlanabilirlik sonuçları değerlendirilmesini bir program aracılığı ile yapılmış, robotun çalışma alanının seçilen alanında tekrarlanabilirliğinin üretici tarafından belirtilen tekrarlanabilirlik değerine ( $\pm 0.02\text{mm}$ ) eşdeğer sonuçlar almışlar [9].

Türker (2015), “Endüstride Kaynak Robotları (Proseslerin İncelenmesi ve Geliştirilmesi)” yüksek lisans tezinde tekrarlanabilirlik kaynak robotlarında bir seçim kriteri olarak ele almış ve kaynak proseslerinde en önemli noktalardan biri olduğunu belirtmiştir [10].



## Geçerli Kılma (Validasyon) Süreç Tasarımı

Uygulamalı çalışmada ise Muka Metal A.Ş. fabrika sahasında bulunan kaynak robotlarında gerçekleştirilen bakım faaliyetleri incelenmiştir. 1 yıllık periyotlar ile yapılan eksenel tekrarlanabilirlik test sonuçları robotlar üzerinden komparatör yardımı ile ölçümler alınmış, eksenel tekrarlanabilirlik sonuçlarını Cpk analizlerini gerçekleştirilmiş ve geçmiş yıl kayıtları ile değişimleri izlenmiştir.

Geçerli kılma sürecini, yapılacak olan protokolleri ve testleri tasarımı yapabilmek için süreçte kullanılacak olan kaynak robotlarının özelliklerini bilmemiz gereklidir. Bu özellikler üreticinin belirlediği değerler ile üretim sürecinin parametrelerinin birlikte yorumlanması ile oluşmaktadır.

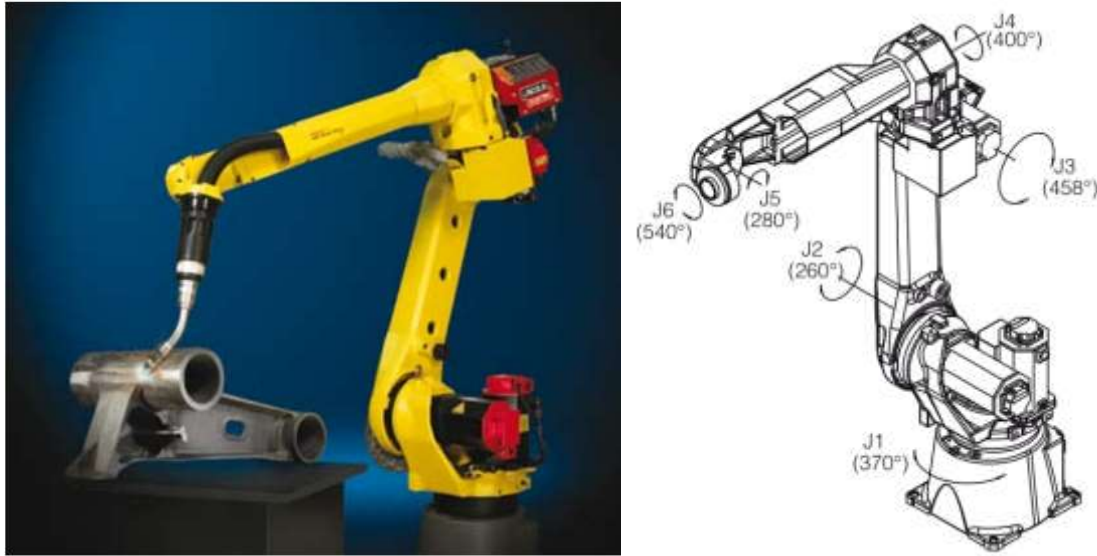
Teorik çalışmada geçerli kılmanın anlamı ve geçerli kılma faaliyetleri gereklilikleri incelenmiştir. Geçerli kılma işlemlerinin çeşitliliği ve nasıl tasarlanması gerektiği araştırılarak kaynak robotları ve özellikleri incelenmiştir. Minitab programı yardımıyla yeterlilik analizleri gerçekleştirilmiştir.

Minitab programı verilerin analizlerinin yapılabildiği grafiklerinin oluşturabilmesini sağlayan bir paket programdır ve pek çok dünya çapında işletme tarafından kullanılabilir. Yapılan yazılım geçerli kılma testleri ve uluslararası kuruluşlar tarafından onaylanması sebebiyle de tıbbi cihaz üretimi yapan tesislerde tasarım gibi süreçlerde kullanılabilir gibi geçerli kılma süreçlerinde de kullanılabilir [11]. Bu sebeple Stryker Medical bünyesinde bulunan Muka Metal A.Ş. işletmesinde de bu program aracılığıyla analizler gerçekleştirilmiştir.

### Deneyde Kullanılan Kaynak Robotu

Muka Metal A.Ş. fabrika sahasında 4 adet kaynak robotu bulunmaktadır. Farklı tasarımlarda olan parçaların imalatı için çeşitli fiyestürler ve toleranslarla çalışmaktadır. Bu robotların fabrika sahasında KR01, KR02, KR03, KR04 olarak adlandırılmıştır.

Üretim süreçlerimizde kullanılan robotlar Fanuc markasına ait ARC Mate 120iC modelidir. Üreticinin paylaşmış olduğu broşürden faydalanarak tekrarlanabilirliği etkileyebilen parametreler ele alınmıştır [12].



Şekil 2. ARC Mate 120iC Kaynak Robotu Eksenleri

Kaynak robotunun X, Y ve Z boyutunda hareket edebilmek için 6 farklı eksen yani 6 serbestlik derecesine sahiptir. Eksenler sayesinde aşağıdaki şekilde bir alan içerisinde iş yapabileceği kabiliyetindedir.

Tablo 1. Kaynak robotu özellikleri

Model	AM120iC
Aks Sayısı	6
Yük Taşıma (kg)	20
Erişim alanı (mm)	1811
Tekrarlanabilirlik(mm)	$\pm 0,08$ mm

Üreticinin paylaşmış olduğu özellikler ile hareket kabiliyetleri tanıtılmış ve üreticinin belirtmiş olduğu tekrarlanabilirlik için ise  $\pm 0.08$ mm olarak belirtmiştir. Bu parametre testlerimizde ele alacağımız en önemli parametredir.

Gök ve Afyon (2000), “Kaynak Uygulamalarında Robot Teknolojisi” konusunda yazmış olduğu makalede kaynak ile imalatta rekabet gücünü artırabilmek için işin kalitesini, zamanı etkilemesi sebebiyle robot teknolojisinin kullanılmasının avantaj olduğunu ifade etmektedir. “Robot uç noktası ile öğretilecek nokta arasında oluşabilecek maksimum hata miktarıdır” şeklinde tekrarlanabilirlik tanımını yapmış. Ayrıca “genel amaçlı robotlarda tekrarlanabilirlik değerinin 0,1mm ila 0,2mm olması yeterli olabilmektedir” olarak belirtmiştir ve kaynak telinin 1,5 katı kadar tekrarlanabilir hassasiyette ise sensörler ile bunun takibinin yapılmasını belirtir [3].

### Deneyde Kullanılan Kaynak Teli

Malzeme özellikleri olarak kaynağın özelliklerini etkilemektedir. Ancak bu özellikler robotun tekrarlanabilirliğini etkilemektedir. Tekrarlanabilirliği en büyük etkileyecek kaynak teli özelliği kaynakta kullanılan telin yarı çapıdır.

Kaynak robotlarında kaynak yapılacak bölgede robotun hareketindeki en fazla tolerans tel yarı çapı kadar olmalıdır [10]. Eğer bu çapı geçen bir ölçüde robot kaynak yapılan bölgeye yaklaşırsa kaynak penetrasyonu doğru sağlanmaz. Bu sebeple yapmış olduğumuz analizde kaynak telinin yarı çapı önemli bir parametre olmaktadır.

Deneyde ise kullanılan telin yarı 0,4mm'dir. Ve üretim süreçleri bu tele göre şekillenmiş ve kaynak özellikleri teknik resimlerle belirtilmiştir. Bu sebeple kaynak robotunun tekrarlanabilirlik testlerinde 0,4mm üretim süreçleri için kullanılacak bir parametredir.



Şekil 3. Kaynak Teli

### Kritik Parametreler ve Deney Tasarımı

Tekrarlanabilirlik ele alındığında geçerli kılma planını oluşturmak için kullanacağımız parametrelerde kritik olarak tercih edilen üreticinin paylaşmış olduğu tekrarlanabilirlik değeri ve üretim süreçlerinde kullanılan telin yarı çapı tercih edilmiştir.

Bu değerleri test edebilmek için tercih edilecek olan ölçüm aletlerinin toleransları da bu değerler bakımından önemlidir. Tasarlanacak olan deneyi bütüncül olarak ele alıp geçerli kılınması gerekmektedir.

Tasarlanacak deneyde kritik parametreyi tespit edebilmek için robotun tekrarlanabilirlik testleri gerçekleştirilmiştir. Bu işlem için aşağıdaki şekilde adımlar izlenmiştir.

- Robot hareket kabiliyeti dahilinde ele alınacak herhangi bir nokta üzerinden deneyimiz için sıfır noktası olarak kabul edilmiştir.
- Deneyin belirlenen sıfır noktasına X, Y ve Z eksenleri için 3 farklı komparatör monte edilmiştir.
- Robotun bu noktaya ulaşması için robotun kendi sıfır noktasından bu noktaya hareket ettirilmiştir.
- İstatistiksel hesap için belirlenen tekrar sayısından belirlenen noktaya makinanın hareket etmesi sağlanmıştır.
- Her hareketin sonunda ölçü saatlerindeki değerler, her eksen okunup test sonucu alınmıştır.

Burada ölçü saatlerini robotun tek bir eksen için X, Y ve Z eksenlerini tek seferde de ölçülebileceği gibi (Şekil 4. Deney Düzenegi 1) bir fişür yardımıyla da (Şekil 5. Deney Düzenegi 2) ölçüm işi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4. Deney Düzenegi 1



Şekil 5. Deney Düzenegi 2

## Ölçü Aleti ve Kalibrasyonları

Kalibrasyon süreci geçerli kılma faaliyetlerinin bir parçasıdır. Yapılacak olan testlerde seçilecek olan ölçü aletlerinin önemi var. Doğrulama faaliyetlerinde yani kalibrasyon sertifikalarında da sapma değerleri buradaki sürece göre değerlendirmek ve kullanılabilir olup olmadığına karar vermek gerek. Ölçü aletlerinin öncelikler kalibrasyon süreçlerine tabi tutulmuş olması ve akredite kuruluşlarca doğrulanmış olmasına bu sebeple önemli.

Bu tez çalışmasında ölçümler için Mitutoyo marka ID-S112B tipi dijital komparatör tercih edilmiştir. Komparatörün hassasiyeti  $\mu\text{m}$  seviyesinde yani  $\text{mm}$ 'nin  $\pm 0,001\text{mm}$  seviyesinde sapmaya sahiptir [13]. Yine ölçüm saatinde de  $0,001\text{mm}$  yani  $1 \mu\text{m}$  hassasiyetiyle ölçüm alınabilmektedir.  $80 \mu\text{m}$  gibi bir değeri  $80'$ de  $1$  olarak hassas ölçebilmek geçerli kılma faaliyetleri için yeterli görülmektedir. Belirli bir ölçüde örneğin  $0,020\text{mm}$  ayarlayarak buradan ölçümleri hem pozitif yönde hem de negatif yönde değerleri okuyup farkı ölçüm olarak alınmıştır. Ölçü aleti bu değerlerde hatalı ölçüm veriyor olsa da referans olarak belirlenen değer ile arasındaki fark alınarak konumsal farka bakılacağı için bu hatanın teste teknik olarak etkisi çok az olacaktır. Örnek olarak  $2\text{mm}$  ile  $2,010\text{mm}$  değeri arasında ölçümlere bakacak olursak  $2\text{mm}$  değerinde sıfırladığımız komparatörümüz  $2,010\text{mm}$  değerinde  $0,03\mu\text{m}$  hatalı olarak ölçüm almış. Bu sonuca göre bakacak olursak ölçümlerimizde  $0,001\text{mm}$ 'den küçük hatalar ile ölçmesi muhtemeldir. Ancak hesaplarımızı  $0,001\text{mm}$  değeri ile yaptığımız için hata kabul edilebilir seviyededir.



Şekil 6. Mitutoyo Dijital Komparatör

## Yeterlilik ve Numune Sayısı Tercihi

Yeterliliği görebilmek için pek çok farklı yöntem olabilir. Muka Metal A.Ş. bünye olarak Stryker Medical Inc. Şirketine bağlı şirket gruplarına ait ve bu şirket gruplarını yöneten kurumsal yapı olarak numune alma veya test tekrar planları prosedürlerce belirlenmiş durumdadır. İstatiksel proses kontrolü için ISO 22514-3 [14] standardından da belirtilen tablolardan faydalanarak örneklem tabloları hazırlanmıştır. Kurumsal prosedürlerce işletmede kabul edilen numune sayısı  $C_p$ ,  $C_{pk}$  analizleri için 30 tekrar sayısı olarak belirlenmiştir.

Tablo 2. Çalışma Tipine göre minimum örneklem seçimi

Çalışma Tipi	Minimum örneklem büyüklüğü (n)
Makine Yeterliliği ( $C_m$ , $C_{mk}$ )	15 ardışık parça
Proses Yeterliliği ( $C_p$ , $C_{pk}$ )	30 temsili parça
Proses performansı ( $P_p$ , $P_{pk}$ )	30 temsili parça

Yeterlilik, bir makinanın veya ekipmanın özelliklerine odaklanarak baskın olan faktörleri, yani kritik olan özellikleri ele alınıp test edilmesidir. Yeterliliği anlamak için yine istatistiksel kontrol araçlarından faydalanılmıştır. Üst ve alt limitler değerlendirildi ve bu limitleri kullanarak kolaylıkla  $C_{pk}$  analizlerini gerçekleştirilebiliriz.  $C_{pk}$  analizleri için aşağıdaki formüllerden faydalanılmıştır.



USL: Üst limit

LSL: Alt limit

$\bar{X}$ : Aritmetik ortalama

$\sigma$ : Sapma değeri (toleransa olan farkların toplamının karekökü)

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$$

$$T = USL - LSL$$

$$Cp = \frac{T}{6 \cdot \sigma}$$

$$Cpk: \text{Minimum değer} \left( \frac{USL - \bar{X}}{3 \cdot \sigma}, \frac{\bar{X} - LSL}{3 \cdot \sigma} \right)$$

Çıkan sonuçları aşağıdaki şekilde bir histogram grafiğinde gösterilmiştir. Normal veri için minimum 30 numune ile %95 güven aralığında [14] analizlerimizi gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3. Cpk, Cp sonucuna göre değerlendirme

Cp>1,33	Proses yeterliliği iyi
1<Cp<1,33	Proses yeterli fakat yakından izlenmeli
Cp<1	Proses yeterliliği iyi değil, değişkenlik azalmalı
Cpk>1,33	Proses şartname limitlerini karşılıyor
1<Cpk<1,33	Proses limiti karşılıyor fakat ortalama hedeften uzaklaştıkça hata yüzdesi artabilir
Cpk<1	Proses şartname limiti karşılamıyor, ortalama değer hedeften uzak

Proses yeterliliğinin sağlandığının kanıtı olarak Cp ve Cpk değerlerinin minimum 1,33 olması gereklidir. 1 ve 1,33 değerinin arasındaki değerler için ise prosesin takip edilmesi gereklidir. Bu takipten kasıt bakımların, sonuçların değerlendirilmesidir. 1 değerinden düşük durumlar için mutlaka süreçlerde ele alınması gereken durumlar vardır.

İstatistiksel araçlar kullanılarak yapılacak olan tekrarlanabilirlik deneyinin sonuçlarını değerlendirmek için Cpk analizinde minimum 30 numune alınması tercih edilmiştir [14].

Muka Metal A.Ş. süreçlerinde makine yeterlilikleri X, Y ve Z eksenleri üzerinden değerlendirmeleri yapılmış olup süreç yeterliliklerinde bu eksenler üzerinden karar verilmiştir. Ayrıca X, Y ve Z sapmasının vektörel bileşkesi alınarak normal uzaydaki noktadan ne kadar saptığına da bakılarak tekrar değerlendirilmiştir.

### Bakım Süreçleri

Muka Metal A.Ş. operasyonel süreçlerde Bakım bölümü tanımlanmıştır. Bakım bölümü Robot kaynak makinesinde bulunan değişebilir fişürlerin elektriksel-otomasyonel bakımları gerçekleştirmektedir. Bunların dışında tüm imalata dayalı-mekanik bakımları İmalat Mühendisliği sorumluluğunda olup müdahale edilmektedir. Bakımla ilgili tüm faaliyetler tesis bünyesinde bulunan yazılım ile kayıt altına alınmaktadır. Bakım bölümü prosedürleri gereği İmalat Mühendisliği ile belirlenmiş olan bu çalışmada da bahsetmiş olduğum kritik parametrelerle ilgili kontrollerini her arıza bakımından sonra veya planlı bakımdan sonra kontrollerini gerçekleştirmekte ve bu parametrelere karşılık makinanın veya ekipmanın geçerli kılma sonucunda değişiklik olup olmadığını kayıt altına almaktadır.

Makine bakım kılavuzunda belirtilen kontroller bakım süreçlerinde günlük, haftalık ve aylık periyotlarda Üretim bölümü, yıllık periyotlarda Bakım bölümü bakım ve kontrol işlemlerini gerçekleştirmektedir.



Tablo 4. Üreticinin tavsiye ettiği bakım süreci:

Periyodu	Kontrol
Günlük	Bağlantılardaki yağ kaçağı Yağ seviyesi ve yağ rengi Gürültü, titreşim gibi beklenmedik durumlar
Birinci ay	Yağ rengi
Üçüncü ay	Kablolar Kablolar Ana cıvataların sıkılması Genel temizlik
Her üç ayda	Yağ seviyesi ve rengi Keçe kontrolü
Her yıl	Mekanik ünite kablosu ve kaynak kablosu Ana cıvataların sıkılması Mekanik durdurucuyu kontrolü Her bir parçanın temizlenmesi ve incelenmesi Kablolar Eksen redüktörü gres beslemesi Mekanik ünitedeki pil
Her üç yılda	Her eksenin gres ve yağının değiştirilmesi redüktör ve şanzıman
Her dört yılda	Mekanik ünite kablosunu değiştirilmesi

Burada kurulan sistemde en son yapılan geçerli kılma raporlarının devamlılığını sağlayacak bir yöntem kurulması sağlanmıştır. Kritik parametreleri etkilemeyen bazı genel temizlik, yağ durumu, keçe gibi kontrolleri Üretim bölümü tarafından raporlanmaktadır ve aksi bir durum tespiti arıza bakım olarak bildirilmektedir. Bu sebeple yapılacak olan deneyde bakım bölümü kayıtları da girdi sağlamaktadır ve incelenmiştir. Değerlere etki eden durumlar tekrarlanabilirlik testleri ile yorumlanmıştır.

## BULGULAR

Bulguları değerlendirmek için KR01, KR02, KR03 ve KR04 kaynak robotlarında yapılan tekrarlanabilirlik deney sonuçları 6 farklı zamandaki sonuçlar ele alınmıştır. X, Y ve Z eksenler ile bileşke vektör ele alınmıştır. Cpk analizleri için ise X, Y ve Z eksenleri ayrı ayrı değerlendirilip bunlara ek olarak bileşke vektör de hesaplanmıştır. Ayrıca tüm yılların değerlendirilebilmesi için değerlerin ortalaması ve Cpk analizi yapılması için her yılın ortalamaları ve sapmaları ele alınarak Cpk analizleri yapılmıştır. Analizlerde LSL ve USL değerleri için aşağıdaki tablodan faydalanıldı. Robotun tekrarlanabilirlik değerine göre olan analizlerde “Robot” Telin ölçüsüne göre olan analizlerde ise “Tel” şeklinde belirtilmiştir. Toplamda 72 farklı günde aynı testler gerçekleştirilmiştir ve bu testlerle de toplamda hem robot özellikleri hem de tel özelliklerine göre 192 farklı yeterlilik analizi yapılmıştır.

Tablo 5. Üst ve Alt Limitler

Limitler (mm)	Robot	Tel
LSL	-0,08	-0,4
USL	+0,08	+0,4

Robot için hesaplanan Cpk analizleri Minitab programıyla oluşturulan grafiklerden faydalanılmıştır. Excel programında yapılan formülasyon ile Minitab’dan çıkan sonuçlar doğrulanmıştır. Verilerin aynı olması sebebiyle doğrularak Tel için hesaplanan Cpk analizleri aynı tablolarda Robot değerleri karşılaştırılmıştır. Robot tekrarlanabilirlik değeri daha dar bir aralıkta olması sebebiyle değerlendirmeler buradaki sonuçlara yönelik yorumlanmıştır. Tekrarlanabilirlik sonuçlarında kaynak teli özelliklerine göre de tablolarda karşılaştırılmıştır.

Sonuçlar için ilgili zaman aralığında bakım kayıtlarını da incelemek önemlidir. Yetersiz çıkabilecek veya incelenmesi gerekli olan süreçlerde yürütülen periyodik bakım veya arıza bakımının süreç yeterliliklerine etkisi söz konusu olabilir



## KR01 Kaynak Robotu Tekrarlanabilirlik Sonuçları ve Cpk Analizleri

Tablo 6. 4 Ağustos 2015 KR01 Proses Yeterliliği

Değerler	X	Y	Z	Vektörel	
Ortalama	0,0022	0,0012	0,0004	0,0080	
Sapma ( $\sigma$ )	0,0036	0,0027	0,0068	0,0028	
Robot	Cp	7,46	9,75	3,91	9,44
	CpL	7,66	9,90	3,93	10,38
	CpU	7,26	9,60	3,89	8,50
	Cpk	7,26	9,60	3,89	8,50
Tel	Cp	37,30	48,74	19,55	47,18
	CpL	37,50	48,89	19,57	48,12
	CpU	37,09	48,59	19,53	46,25
	Cpk	37,09	48,59	19,53	46,25

Tablo 7. 20 Ocak 2017 KR01 Proses Yeterliliği

Değerler	X	Y	Z	Vektörel	
Ortalama	0,0224	0,0281	0,0198	0,0417	
Sapma ( $\sigma$ )	0,0116	0,0138	0,0115	0,0200	
Robot	Cp	2,29	1,93	2,33	1,33
	CpL	2,93	2,61	2,90	2,03
	CpU	1,65	1,25	1,75	0,64
	Cpk	1,65	1,25	1,75	0,64
Tel	Cp	11,46	9,65	11,64	6,67
	CpL	12,10	10,32	12,22	7,36
	CpU	10,81	8,97	11,06	5,97
	Cpk	10,81	8,97	11,06	5,97

Tablo 8. 7 Mayıs 2018 KR01 Proses Yeterliliği

Değerler	X	Y	Z	Vektörel	
Ortalama	-0,0056	0,0014	-0,0176	0,0261	
Sapma ( $\sigma$ )	0,0053	0,0035	0,0182	0,0051	
Robot	Cp	5,03	7,54	1,46	5,24
	CpL	4,68	7,67	1,14	6,95
	CpU	5,38	7,40	1,79	3,54
	Cpk	4,68	7,40	1,14	3,54
Tel	Cp	25,15	37,68	7,32	26,22
	CpL	24,80	37,81	7,00	27,93
	CpU	25,51	37,54	7,64	24,51
	Cpk	24,80	37,54	7,00	24,51

Tablo 9. 24 Temmuz 2019 KR01 Proses Yeterliliği

Değerler	X	Y	Z	Vektörel	
Ortalama	0,0067	-0,0017	-0,0280	0,0295	
Sapma ( $\sigma$ )	0,0036	0,0039	0,0076	0,0069	
Robot	Cp	7,36	6,85	3,50	3,86
	CpL	7,98	6,70	2,28	5,28
	CpU	6,75	7,00	4,73	2,43
	Cpk	6,75	6,70	2,28	2,43
Tel	Cp	36,82	34,24	17,51	19,29
	CpL	37,44	34,09	16,29	20,71
	CpU	36,20	34,38	18,74	17,87
	Cpk	36,20	34,09	16,29	17,87



Tablo 10. 15 Aralık 2020 KR01 Proses Yeterliliği

Değerler	X	Y	Z	Vektörel	
Ortalama	0,0055	0,0089	-0,0161	0,0201	
Sapma ( $\sigma$ )	0,0041	0,0048	0,0094	0,0095	
Robot	Cp	6,48	5,56	2,85	2,80
	CpL	6,93	6,18	2,28	3,51
	CpU	6,03	4,94	3,42	2,10
	Cpk	6,03	4,94	2,28	2,10
Tel	Cp	32,39	27,81	14,24	14,02
	CpL	32,84	28,43	13,67	14,73
	CpU	31,94	27,19	14,82	13,31
	Cpk	31,94	27,19	13,67	13,31

Tablo 11. 4 Mart 2022 KR01 Proses Yeterliliği

Değerler	X	Y	Z	Vektörel	
Ortalama	0,0044	-0,0004	-0,0105	0,0122	
Sapma ( $\sigma$ )	0,0037	0,0028	0,0054	0,0056	
Robot	Cp	7,12	9,40	4,96	4,78
	CpL	7,51	9,35	4,31	5,51
	CpU	6,73	9,45	5,61	4,05
	Cpk	6,73	9,35	4,31	4,05
Tel	Cp	35,58	47,00	24,78	23,92
	CpL	35,97	46,95	24,13	24,65
	CpU	35,19	47,05	25,43	23,19
	Cpk	35,19	46,95	24,13	23,19

2015, 2019, 2020 ve 2022 yılları Cp ve Cpk değerlerin tamamı incelendiğinde 1,33 değerinden yüksek olduğu görüldü. Prosesin yeterliliği sağlanmıştır.

2017 yılında Cp değerleri uygun iken, Cpk değerlerin Y eksini haricinde incelendiğinde 1,33 değerinden yüksek olduğu görülmüştür. X ve Z ekseni sonuçları uygun. Y ekseni ise prosesin takip edilmesi gerektiğini yorumlayabiliriz. Y eksenindeki sapmaların fazla olması sebebiyle X, Y ve Z eksenleri vektörel bileşkesinde Cpk daha düşük bir sonuç elde edilmiştir. Proses takibi ve kabuller işletme tarafından X, Y ve Z eksenlerine göre yapıldığından dolayı rapor sonucu kabul edilmiştir.

2018 yılında Cp değeri Z ekseninde uygun olmasına rağmen, Cpk değeri 1,14 çıkmış. Proses limitleri karşılamıştır. Vektörel bileşke de ise uygun olarak çıkmıştır.

### KR02 Kaynak Robotu Tekrarlanabilirlik Sonuçları

Tablo 12. 4 Ağustos 2015 KR02 Proses Yeterliliği

Değerler	X	Y	Z	Vektörel	
Ortalama	0,0072	0,0066	-0,0016	0,0120	
Sapma ( $\sigma$ )	0,0051	0,0037	0,0054	0,0047	
Robot	Cp	5,22	7,11	4,97	5,62
	CpL	5,69	7,69	4,87	6,46
	CpU	4,74	6,53	5,07	4,77
	Cpk	4,74	6,53	4,87	4,77
Tel	Cp	26,08	35,56	24,84	28,08
	CpL	26,56	36,14	24,73	28,92
	CpU	25,61	34,97	24,94	27,24
	Cpk	25,61	34,97	24,73	27,24





Tablo 13. 20 Ocak 2017 KR02 Proses Yeterliliği

Değerler	X	Y	Z	Vektörel	
Ortalama	0,0289	0,0308	0,0210	0,0473	
Sapma ( $\sigma$ )	0,0131	0,0141	0,0103	0,0215	
Robot	Cp	2,03	1,89	2,59	1,24
	CpL	2,77	2,62	3,27	1,98
	CpU	1,30	1,16	1,91	0,51
	Cpk	1,30	1,16	1,91	0,51
Tel	Cp	10,17	9,45	12,95	6,21
	CpL	10,91	10,18	13,63	6,94
	CpU	9,44	8,72	12,27	5,48
	Cpk	9,44	8,72	12,27	5,48

Tablo 14. 7 Mayıs 2018 KR02 Proses Yeterliliği

Değerler	X	Y	Z	Vektörel	
Ortalama	0,0380	0,0219	-0,0297	0,0535	
Sapma ( $\sigma$ )	0,0032	0,0069	0,0059	0,0061	
Robot	Cp	8,35	3,85	4,55	4,38
	CpL	12,31	4,90	2,86	7,30
	CpU	4,38	2,80	6,24	1,45
	Cpk	4,38	2,80	2,86	1,45
Tel	Cp	41,73	19,23	22,75	21,88
	CpL	45,70	20,29	21,06	24,81
	CpU	37,77	18,18	24,44	18,96
	Cpk	37,77	18,18	21,06	18,96

Tablo 15. 24 Temmuz 2019 KR02 Proses Yeterliliği

Değerler	X	Y	Z	Vektörel	
Ortalama	-0,0033	-0,0048	-0,0140	0,0167	
Sapma ( $\sigma$ )	0,0039	0,0047	0,0065	0,0053	
Robot	Cp	6,82	5,68	4,07	5,05
	CpL	6,54	5,34	3,36	6,11
	CpU	7,09	6,02	4,78	4,00
	Cpk	6,54	5,34	3,36	4,00
Tel	Cp	34,08	28,40	20,37	25,26
	CpL	33,80	28,06	19,65	26,31
	CpU	34,36	28,73	21,08	24,20
	Cpk	33,80	28,06	19,65	24,20

Tablo 16. 15 Aralık 2020 KR02 Proses Yeterliliği

Değerler	X	Y	Z	Vektörel	
Ortalama	-0,0003	-0,0029	-0,0175	0,0188	
Sapma ( $\sigma$ )	0,0045	0,0041	0,0083	0,0081	
Robot	Cp	5,91	6,46	3,22	3,28
	CpL	5,89	6,22	2,51	4,05
	CpU	5,93	6,69	3,93	2,51
	Cpk	5,89	6,22	2,51	2,51
Tel	Cp	29,55	32,28	16,10	16,40
	CpL	29,53	32,05	15,39	17,17
	CpU	29,58	32,52	16,80	15,62
	Cpk	29,53	32,05	15,39	15,62



Tablo 17. 4 Mart 2022 KR02 Proses Yeterliliği

Değerler	X	Y	Z	Vektörel	
Ortalama	0,0034	0,0000	-0,0074	0,0104	
Sapma ( $\sigma$ )	0,0018	0,0052	0,0051	0,0036	
Robot	Cp	15,19	5,14	5,26	7,38
	CpL	15,84	5,14	4,77	8,34
	CpU	14,54	5,14	5,75	6,43
	Cpk	14,54	5,14	4,77	6,43
Tel	Cp	75,95	25,71	26,30	36,92
	CpL	76,61	25,71	25,82	37,88
	CpU	75,30	25,71	26,79	35,97
	Cpk	75,30	25,71	25,82	35,97

2015, 2018, 2019, 2020 ve 2022 yılları Cp ve Cpk değerlerin tamamı incelendiğinde 1,33 değerinden yüksek olduğu görülmüştür. Prosesin yeterliliği sağlanmıştır.

2017 – Cp değerleri X, Y, Z eksenlerinde uygun çıkmasına rağmen vektörel bileşkede 1,24 olarak çıkmıştır ve proses yeterli görülmüştür. Ancak Cpk değeri X ve Y eksen için 1 değerinden büyük 1,33 değerinden küçük olarak proses limitleri karşılamıştır. Vektörel bileşke de ise daha kötü bir sonuç ile karşılaşmıştır. Vektörel bileşkeye göre süreç kabul ediliyor olsaydı proses yetersiz sonucu çıkardı. Yine bu makinada yapılan bakım işleri kontrol edildiğinde ise benzer olarak periyodik bakımların kontrol edildiği kaydedilmiştir.

### KR03 Kaynak Robotu Tekrarlanabilirlik Sonuçları

Tablo 18. 4 Ağustos 2015 KR03 Proses Yeterliliği

Değerler	X	Y	Z	Vektörel	
Ortalama	0,0342	0,0059	-0,0010	0,0358	
Sapma ( $\sigma$ )	0,0032	0,0032	0,0084	0,0036	
Robot	Cp	8,29	8,36	3,17	7,45
	CpL	11,83	8,97	3,13	10,79
	CpU	4,75	7,75	3,21	4,12
	Cpk	4,75	7,75	3,13	4,12
Tel	Cp	41,44	41,79	15,85	37,26
	CpL	44,99	42,41	15,81	40,60
	CpU	37,90	41,18	15,88	33,93
	Cpk	37,90	41,18	15,81	33,93

Tablo 19. 20 Ocak 2017 KR03 Proses Yeterliliği

Değerler	X	Y	Z	Vektörel	
Ortalama	0,0094	0,0223	0,0059	0,0263	
Sapma ( $\sigma$ )	0,0080	0,0118	0,0072	0,0136	
Robot	Cp	3,33	2,26	3,69	1,96
	CpL	3,71	2,89	3,96	2,60
	CpU	2,94	1,63	3,41	1,32
	Cpk	2,94	1,63	3,41	1,32
Tel	Cp	16,63	11,30	18,44	9,80
	CpL	17,02	11,94	18,72	10,44
	CpU	16,24	10,67	18,17	9,15
	Cpk	16,24	10,67	18,17	9,15



Tablo 20. 7 Mayıs 2018 KR03 Proses Yeterliliği

Değerler	X	Y	Z	Vektörel	
Ortalama	-0,0083	-0,0313	-0,0031	0,0377	
Sapma ( $\sigma$ )	0,0105	0,0065	0,0168	0,0077	
Robot	Cp	2,54	4,11	1,59	3,46
	CpL	2,28	2,50	1,53	5,08
	CpU	2,81	5,72	1,65	1,83
	Cpk	2,28	2,50	1,53	1,83
Tel	Cp	12,72	20,55	7,94	17,28
	CpL	12,45	18,95	7,88	18,91
	CpU	12,98	22,16	8,00	15,65
	Cpk	12,45	18,95	7,88	15,65

Tablo 21. 24 Temmuz 2019 KR03 Proses Yeterliliği

Değerler	X	Y	Z	Vektörel	
Ortalama	0,0160	-0,0051	-0,0263	0,0329	
Sapma ( $\sigma$ )	0,0111	0,0065	0,0132	0,0150	
Robot	Cp	2,41	4,10	2,03	1,78
	CpL	2,89	3,84	1,36	2,51
	CpU	1,93	4,36	2,69	1,05
	Cpk	1,93	3,84	1,36	1,05
Tel	Cp	12,05	20,49	10,14	8,89
	CpL	12,53	20,23	9,47	9,62
	CpU	11,57	20,75	10,80	8,16
	Cpk	11,57	20,23	9,47	8,16

Tablo 22. 15 Aralık 2020 KR03 Proses Yeterliliği

Değerler	X	Y	Z	Vektörel	
Ortalama	0,0162	-0,0077	-0,0199	0,0279	
Sapma ( $\sigma$ )	0,0106	0,0064	0,0141	0,0171	
Robot	Cp	2,52	4,16	1,89	1,56
	CpL	3,03	3,76	1,42	2,11
	CpU	2,00	4,56	2,35	1,02
	Cpk	2,00	3,76	1,42	1,02
Tel	Cp	12,58	20,81	9,43	7,81
	CpL	13,09	20,41	8,96	8,35
	CpU	12,07	21,21	9,89	7,26
	Cpk	12,07	20,41	8,96	7,26

Tablo 23. 4 Mart 2022 KR03 Proses Yeterliliği

Değerler	X	Y	Z	Vektörel	
Ortalama	0,0100	-0,0056	0,0059	0,0139	
Sapma ( $\sigma$ )	0,0044	0,0047	0,0036	0,0053	
Robot	Cp	6,05	5,63	7,43	4,98
	CpL	6,80	5,23	7,98	5,85
	CpU	5,29	6,02	6,88	4,12
	Cpk	5,29	5,23	6,88	4,12
Tel	Cp	30,23	28,14	37,13	24,92
	CpL	30,99	27,74	37,69	25,79
	CpU	29,48	28,53	36,58	24,06
	Cpk	29,48	27,74	36,58	24,06



2015, 2018 ve 2022 Cp ve Cpk değerlerin tamamı incelendiğinde 1,33 değerinden yüksek olduğu görülmüştür. Prosesin yeterliliği sağlanmıştır.

2017 ve 2019 ve 2020 CP ve Cpk değerler X, Y ve Z eksenlerinde proses yeterli olarak çıkmıştır. Ancak Vektörel bileşkeye bakıldığında ise Cp'de proses yeterli, ancak Cpk değerinde ise 1,33'ün altında çıkmıştır. Genel olarak değerlendirilecek olursak prosesin yeterli olduğu söylenebilir.

#### KR04 Kaynak Robotu Tekrarlanabilirlik Sonuçları

Tablo 24. 4 Ağustos 2015 KR04 Proses Yeterliliği

Değerler	X	Y	Z	Vektörel	
Ortalama	-0,0043	0,0088	0,0068	0,0138	
Sapma ( $\sigma$ )	0,0027	0,0015	0,0074	0,0039	
Robot	Cp	10,00	17,56	3,61	6,80
	CpL	9,46	19,49	3,92	7,97
	CpU	10,53	15,63	3,30	5,63
	Cpk	9,46	15,63	3,30	5,63
Tel	Cp	50,00	87,81	18,04	34,02
	CpL	49,46	89,74	18,34	35,19
	CpU	50,53	85,89	17,73	32,85
	Cpk	49,46	85,89	17,73	32,85

Tablo 25. 20 Ocak 2017 KR04 Proses Yeterliliği

Değerler	X	Y	Z	Vektörel	
Ortalama	0,0122	0,0271	0,0072	0,0322	
Sapma ( $\sigma$ )	0,0106	0,0158	0,0072	0,0176	
Robot	Cp	2,53	1,69	3,70	1,51
	CpL	2,91	2,26	4,03	2,12
	CpU	2,14	1,12	3,36	0,90
	Cpk	2,14	1,12	3,36	0,90
Tel	Cp	12,64	8,45	18,48	7,57
	CpL	13,02	9,02	18,82	8,17
	CpU	12,25	7,88	18,15	6,96
	Cpk	12,25	7,88	18,15	6,96

Tablo 26. 7 Mayıs 2018 KR04 Proses Yeterliliği

Değerler	X	Y	Z	Vektörel	
Ortalama	0,0285	0,0246	0,0231	0,0448	
Sapma ( $\sigma$ )	0,0063	0,0079	0,0083	0,0109	
Robot	Cp	4,20	3,36	3,23	2,45
	CpL	5,70	4,39	4,16	3,82
	CpU	2,70	2,33	2,30	1,08
	Cpk	2,70	2,33	2,30	1,08
Tel	Cp	21,01	16,78	16,14	12,25
	CpL	22,51	17,81	17,07	13,62
	CpU	19,52	15,75	15,21	10,88
	Cpk	19,52	15,75	15,21	10,88



Tablo 27. 24 Temmuz 2019 KR04 Proses Yeterliliği

Değerler	X	Y	Z	Vektörel	
Ortalama	-0,0454	0,0013	0,0084	0,0477	
Sapma ( $\sigma$ )	0,0058	0,0083	0,0090	0,0054	
Robot	Cp	4,57	3,19	2,97	4,89
	CpL	1,98	3,25	3,28	7,81
	CpU	7,16	3,14	2,66	1,97
	Cpk	1,98	3,14	2,66	1,97
Tel	Cp	22,83	15,97	14,85	24,47
	CpL	20,24	16,03	15,16	27,39
	CpU	25,42	15,92	14,54	21,55
	Cpk	20,24	15,92	14,54	21,55

Tablo 28. 15 Aralık 2020 KR04 Proses Yeterliliği

Değerler	X	Y	Z	Vektörel	
Ortalama	0,0135	0,0097	0,0164	0,0247	
Sapma ( $\sigma$ )	0,0086	0,0061	0,0125	0,0142	
Robot	Cp	3,08	4,41	2,13	1,88
	CpL	3,60	4,94	2,56	2,46
	CpU	2,56	3,87	1,69	1,30
	Cpk	2,56	3,87	1,69	1,30
Tel	Cp	15,42	22,03	10,64	9,41
	CpL	15,94	22,56	11,08	9,99
	CpU	14,90	21,50	10,21	8,83
	Cpk	14,90	21,50	10,21	8,83

Tablo 29. 4 Mart 2022 KR04 Proses Yeterliliği

Değerler	X	Y	Z	Vektörel	
Ortalama	-0,0007	0,0029	0,0012	0,0073	
Sapma ( $\sigma$ )	0,0039	0,0030	0,0054	0,0032	
Robot	Cp	6,78	8,77	4,90	8,29
	CpL	6,72	9,10	4,97	9,04
	CpU	6,84	8,45	4,83	7,53
	Cpk	6,72	8,45	4,83	7,53
Tel	Cp	33,91	43,87	24,50	41,44
	CpL	33,85	44,19	24,57	42,19
	CpU	33,97	43,55	24,43	40,69
	Cpk	33,85	43,55	24,43	40,69

2015, 2019 ve 2022 Cp ve Cpk değerlerin tamamı incelendiğinde 1,33 değerinden yüksek olduğu görülmüştür. Prosesin yeterliliği sağlanmıştır.

2017, Cp değerleri uygun iken, Cpk değerlerin Y eksini haricinde incelendiğinde 1,33 değerinden yüksek olduğu görülmüştür. X ve Z ekseni sonuçları uygun çıkmıştır. Y ekseni ise prosesin takip edilmesi gerektiğini yorumlayabiliriz. Y eksenindeki sapmaların fazla olması sebebiyle X, Y ve Z eksenleri vektörel bileşkesinde Cpk daha düşük bir sonuç elde edilmiştir. Proses takibi ve kabuller işletme tarafından X, Y ve Z eksenlerine göre yapıldığından dolayı rapor sonucu kabul edilmiştir.

2018 ve 2020 Bir önceki yıl ile benzer şekilde CP ve Cpk değerler X, Y ve Z eksenlerinde proses yeterli olarak çıkmıştır. Ancak Vektörel bileşkeye bakıldığında ise Cp'de proses yeterli, ancak Cpk değerinde ise 1,33'ün altında çıkmıştır. Genel olarak değerlendirecek olursak prosesin yeterli olduğu söylenebilir.

#### Robotlar Cpk Analizleri Tüm Yıllar

Proses yeterlilik sonuçlarını tüm yılların dahil edip ölçmek, değerlendirmek gerekebilir. Uzun vadede değerlerde bir kayma söz konusu olabilir.



Bütüncül bir sonucu görebilmek veriler kısa vadede normal dağılıma sahipse ancak dağılımın ortalamasında uzun vadeli bir kayma varsa, süreç zamana göre kararsız olabilir. Tüm yılların ortalama değerlerini ve tüm yıllar için yeni bir sapma ve ortalama değeri hesaplayabilmeliyiz. Bosh, 11.2019, Technical Statistics Booklet No.9 kaynağının 7.1 maddesinde [15] M1 metodundan faydalanarak yeni ortalama değeri ve sapma değerini hesaplayabilmek için varyansı hesaplanmıştır ve karekökü alınarak yeni sapma değeri belirlenmiştir. Yeni ortalama değeri için her yıl çıkan sonuçların ortalaması alınmıştır.

$n$ : yıl (6yıl)

$i$ : her yıla ait veri

$\bar{X}$ : yeni ortalama değeri (aritmetik ortalama)

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i$$

$\bar{\sigma}$ : Yeni standart sapmanın tahmin edilmesi

$$\bar{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (\sigma_i)^2}$$

Bu formüllerle Cp ve Cpk değerlerini tüm yıllar için yeni standarttan sapma ve yeni ortalama ile yeniden hesaplanmıştır.

$$Cp = \frac{T}{6 \cdot \bar{\sigma}}$$

$$Cpk: \text{Minimum değer} \left( \frac{USL - \bar{X}}{3 \cdot \bar{\sigma}}, \frac{\bar{X} - LSL}{3 \cdot \bar{\sigma}} \right)$$

Tablo 30. KR01 Tüm Yıllar Proses Yeterliliği

Yeterlilik		X	Y	Z	Bileşke vektör
Robot	Cp	4,40	4,07	2,50	2,66
	CpL	4,72	4,39	2,23	3,42
	CpU	4,07	3,75	2,77	1,90
	Cpk	4,07	3,75	2,23	1,90
Tel	Cp	22,00	20,36	12,48	13,30
	CpL	22,32	20,68	12,21	14,06
	CpU	21,67	20,04	12,76	12,54
	Cpk	21,67	20,04	12,21	12,54

Tablo 31. KR02 Tüm Yıllar Proses Yeterliliği

Yeterlilik		X	Y	Z	Bileşke vektör
Robot	Cp	4,16	3,61	3,73	2,61
	CpL	4,80	4,00	3,35	3,47
	CpU	3,52	3,22	4,11	1,75
	Cpk	3,52	3,22	3,35	1,75
Tel	Cp	20,78	18,05	18,66	13,04
	CpL	21,42	18,44	18,28	13,90
	CpU	20,14	17,67	19,04	12,17
	Cpk	20,14	17,67	18,28	12,17



Tablo 32. KR03 Tüm Yıllar Proses Yeterliliği

Yeterlilik		X	Y	Z	Bileşke vektör
Robot	Cp	3,12	3,79	2,32	2,31
	CpL	3,62	3,62	2,14	3,14
	CpU	2,61	3,96	2,51	1,47
	Cpk	2,61	3,62	2,14	1,47
Tel	Cp	15,59	18,94	11,61	11,53
	CpL	16,09	18,77	11,43	12,37
	CpU	15,09	19,11	11,80	10,69
	Cpk	15,09	18,77	11,43	10,69

Tablo 33. KR04 Tüm Yıllar Proses Yeterliliği

Yeterlilik		X	Y	Z	Bileşke vektör
Robot	Cp	3,88	3,15	3,11	2,50
	CpL	3,91	3,64	3,51	3,38
	CpU	3,85	2,66	2,70	1,61
	Cpk	3,85	2,66	2,70	1,61
Tel	Cp	19,41	15,75	15,53	12,48
	CpL	19,44	16,24	15,94	13,36
	CpU	19,38	15,26	15,12	11,59
	Cpk	19,38	15,26	15,12	11,59

Cp ve Cpk değerlerin tamamı incelendiğinde 1,33 değerinden yüksek olduğu görülmüştür. Proseslerin yeterliliği sağlanmıştır.

#### Gerçekleştirilen Bakım Faaliyetleri

Bakım faaliyetleri açısından 2017 yılından itibaren dijital kayıtlar olduğu için bu yıldan itibaren incelemeler yapılmıştır. En son veri aralığı ise Nisan 2022 ele alındı. Kayıtlar özelinde incelendiğinde her bakım ve tamir işlemi ardına en son geçerli kılma sonuçlarını etkileyebilecek kritik parametrelerin kontrolü de gerçekleştirildiği ve raporun güvenilirliği sağlanmıştır.

Tablo 34. Robotların Bakım ve Arıza Kayıt Sayısı

Bakım İşlemi	KR01	KR02	KR03	KR04	Toplam
Periyodik Bakım	12	12	12	13	49
Takım çarpma	1	3	1	2	7
Eksen		1	1	1	3
Yer değişikliği			1	1	2
Sürücü				1	1
Toplam	13	16	15	18	62

Tablo 35. Yıllara göre Bakım ve Arıza Sayısı

Bakım İşlemi	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Toplam
Periyodik Bakım	8	12	9	8	8	4	49
Takım çarpma	2	3			2		7
Eksenel problem	1				1		2
Yer değişikliği					1	1	2
Sürücü	1		1				2
Toplam	12	15	10	8	12	5	62

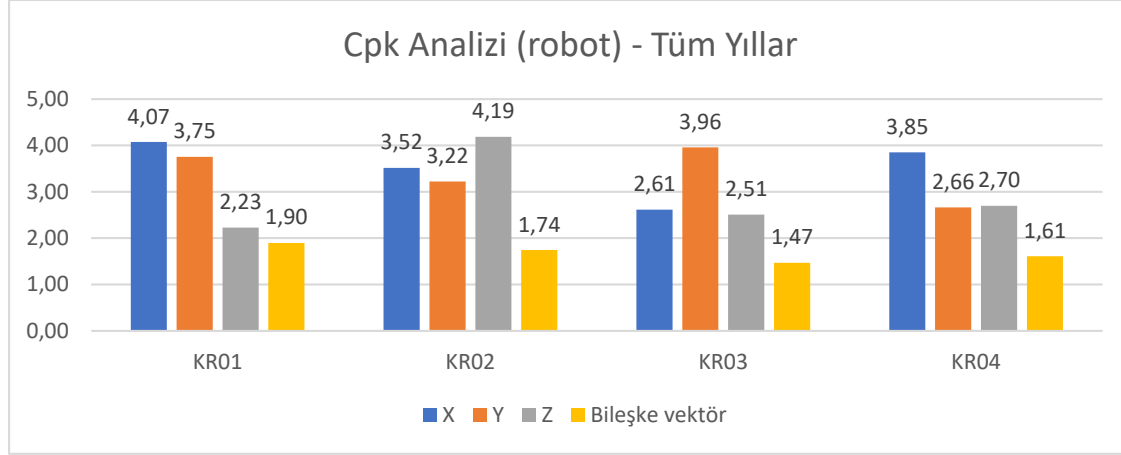
## SONUÇ ve ÖNERİLER

### Sonuç ve Tartışma

KR01 Tüm verileri inceleyince Cp ve Cpk değerlerinin X, Y ve Z eksenleri ile vektörel bileşke için de 1,33'ten yukarıda sonuçlanmış ve prosesin yeterliliğini kanıtlanmıştır. KR01 ve KR02 için 2017 ve 2018 yıllarında çıkan sonuçlara bakınca ek bakım faaliyetleri ile ilerlemesiyle proses yeterliliği için onaylar

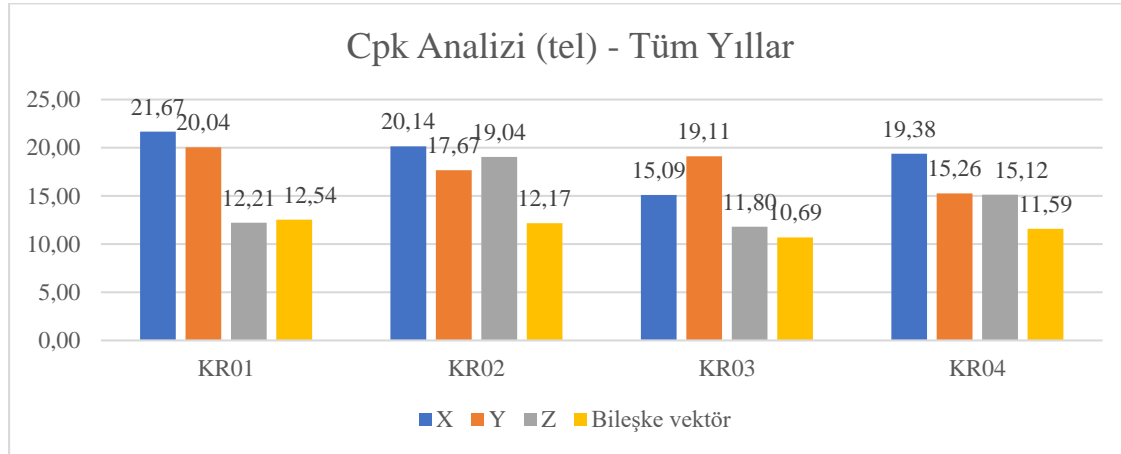
verilmiştir. Tüm robotlar için inceleyince 6 yıllık veri de prosesin bu kararlar ile yeterliği olduğu ve verilen kararın mantıklı olduğu görülmüştür.

Robot tekrarlanabilirlik değerleri üreticinin vermiş olduğu değerlere göre proses yeterliliğini kanıtlamıştır.



Şekil 7. Cpk Analizi Tüm Yıllar Grafiği (robot)

Tel özelliğine göre  $\pm 0,40\text{mm}$  olması sebebiyle yeterlilik hesaplarında daha iyi sonuçlar çıkması gayet normaldir. Hesaplamalar için 1,33 yeterli iken genel olarak sonuçlar robotun toleransına göre doğal olarak en az 5 kat daha iyi çıkmıştır.



Şekil 8. Cpk Analizi Tüm Yıllar Grafiği (tel)

Bakım ve arızalar yorumlayacak olursak Tablo 34. Robotların Bakım ve Arıza ve Tablo 35. Yıllara göre Bakım ve Arıza Tablolarından da belirtildiği üzere periyodik bakımlar her yıl gerçekleştirilmiştir. Arıza bakım olarak bu bakımların ardına kritik parametrelerin kontrolü işletmede 2018 sonrasında devreye alınmıştır. Nitekim 2017 ve 2018 proses yeterliliğinde 1 üstü 1,33 altında olan durumlarda görülmüştür. 2018 sonrasında değerlerin daha iyi kontrol altında olmasına etkisi olduğunu düşünülebilir. Bakım işlerin geçerli kılma faaliyetlerine en önemli etkisi kritik parametrelerin doğruluğunu etkisini işlemlerin ardına kontrol ediliyor olmasıdır. Dijital kayıtlarında geçerli kılma faaliyeti raporunda yer verilip geçen süre içerisinde etkileyen ve etkilemeyen durumların raporlanmasına olumlu etkisi vardır.

## Öneriler

### Geçerli Kılma Faaliyetleri ve Bakım

Geçerli kılma raporları oldukça uzun ve zahmetli raporlardır. İlk kurulum esnasında gerçekleşen süreçler tasarım girdileri ile prosesin risklerine yönelik her türlü faktör kurulum geçerli kılma faaliyetleri olarak kaydedilir. Geçen süre zarfında makine üreticisinin de tavsiye ettiği bakımların takip edilmesi ve prosesin gerekliliği olarak belirlenen genel temizlik bakım işleri yapılan işin çıktısını etkilediği zaten





bilinmektedir. Bu sebeple her türlü bakım faaliyetinin yürütülmesi (periyodik ve önleyici bakımlar) geçerli kılma faaliyetleri için önemlidir.

Geçerli kılma raporu oluşturulduktan sonra geçen süre zarfında geçecek değişiklikler bu raporun girdilerini etkileyebileceği gibi çıktılarını da etkileyebilir. Bu sebeple yapılan değişiklikler mutlaka kaydedilmeli. Değişiklikler mühendislik değişiklikleri olduğu gibi bakım, arıza bakım gibi faaliyetlerin çıktısı da söz konusu olabilir. Bu sebeple kritik parametrelerin kontrol altında olması bakım süreçleri açısından da kontrol altında olması önemlidir. Bakım işlerinin mutlaka bakım takip sistemi kurularak kontrol altında olmalıdır.

### **Tekrarlanabilirlik Tolerans ve Sonuç İlişkisi**

İşletmede tercih robotlar için tercih edilen sapma  $\pm 0.08\text{mm}$  olsa da üretim parametrelerinde genel olarak  $\pm 0.40\text{mm}$ 'de tercih edilebilirdi. Bu değer kaynak işlemlerinde kullanılan telin yarı çapı kadardır. Şekil 3. Kaynak Telinde görüldüğü gibi bu kadarlık bir sapma değeri üretime etkisinin çok olmayacağı düşünülebilir. Ancak burada parça üzerinden geometrik toleranslar düşünüldüğünde robota müsaade edilen tolerans daha az olabilir. Bu tarz bir değerlendirmeyi mutlaka tasarım süreçlerinden ele alınması ve bu tasarım süreçlerinin ardına buradaki sapma kabiliyetine göre robot tercih edilmesi işletmenin faydasına olacaktır.

Mevcut işletmenin teknik verileri incelendiğinde de kaynak bölgeleri için verilen maksimum tolerans yine  $\pm 0,4\text{ mm}$  ile  $\pm 0,2\text{ mm}$  aralıklarında değişmektedir. Bu değerlere göre değerlendirmiş olsaydık çıkacak olan yeterlilik sonucu ( $C_p$  ve  $C_{pk}$  değerleri) en az 2 katı gibi bir değer olurdu. Bu sebeple daha geniş toleranslar varsa daha büyük tekrarlanabilirlik değeri olan robotlar da tercih edilebilir.

### **İşletmede İyileştirme Fırsatları**

Genellikle istatistiksel analizde 6 adet art arda veri ele alındığında sonuçların hepsi olumlu ise eğilimin olumlu olduğu, sonuçların hepsi olumsuz ilerlemişse de olumsuz bir eğilim olduğu şeklinde yorumlanır [16]. Robot tekrarlanabilirliğinde 6 yıllık veriyi incelediğimizde sonuçları M1 metodu kullanılarak [15] yeterliliği kanıtlanmış oldu. Bundan sonraki süreçte tekrarlanabilirlik testlerinin olumlu bir eğilimde olduğu devam ettiği yorumlanabilir. Bu testlerin periyodu yılda bir test etmek yerine daha geniş bir zaman aralığıyla test edilmesi tercih edilebilir. Veya süreçte herhangi bir kritik değişiklik olduğunda bu testlerin yapılması tercih edilebilir. Bu sayede test sayılarının azaltılması yapılarak mühendislik iyileştirmesi ile test giderlerinden kaçınılabilir ve işletme için kazanç elde edilebilir.

6 yıllık veride robotların tekrarlanabilirlik değerinin olumlu olduğunu kanıtladık. Ancak her cismin bir ömrü olduğu gibi bu tarz makinalarında bir ekonomik kullanım ömrü bulunmaktadır. Bugün için robotun tekrarlanabilirlik değeri  $\pm 0.08\text{mm}$  olsa da bu değer gün geçtikçe daha geniş toleranslara ihtiyaç duyulacağı söz konusu. Bu sebeple en fazla tel yarıçapı değerince genişleyinceye kadar test edilen robotlar yeterliliğini sağlayabilecek kabiliyettedir. Kullanılan robotlar işletme açısından beklenenden daha uzun ömürde kullanılabilmesi mümkündür.

Goldsmith, Smith, vd. (2014) "Characterization of robotic system passive path repeatability during specimen removal and reinstallation for in vitro knee joint testing" [17], Józwick, Ostrowski vd. "Industrial Robot Repeatability Testing with High Speed Camera Phantom V2511" [7] ve Ferraguti (2022) "MyWelder: A collaborative system for intuitive robot-assisted welding" [18] makalelerinde ele aldıkları şekilde lazerle takip, yüksek hızlı kamera ile takip işlemleri ile konumsal tekrarlanabilirliği ölçmüşlerdir ve hassas ölçüm yapabilmek için bu tarz çalışmaları gerçekleştirmişlerdir. Yapmış olduğumuz çalışmaya ek olarak daha hassas işler gerektiğinde, robot teknolojisine uyarlanmış görüntü işleme teknolojisi ile sapmaları anlık olarak değerlendirebilecek ve robotu her daim istenen noktaya taşımaları sağlayacak bir yapay zeka sistem tasarımı ile konumsal tekrarlanabilirlik sifıra yaklaştırılabilir ve endüstriyel kaynak prosedürlerinde küçük geometrilere ihtiyaç duyulduğu durumlarda veya tıbbi bir prosedür gerçekleştirildiğinde daha hassas çalışmalar sağlanabilir. Önerilen bu çalışma ile anlık olarak sapma değerleri görülebilecektir. Bu çalışmadaki gibi periyodik bir test düzeneği kurma gerekliliği söz konusu olmadan istatistiksel olarak M1 metodu ile [15] yeterlilik seviyeleri anlık ölçülebilir ve takip edilebilir.



## KAYNAKLAR

- [1] International Standard Organization, “ISO 13485:2016—Medical Devices—Quality Management Systems—Requirements for Regulatory Purposes”. 2016. Web sitesi: <https://www.iso.org/standard/59752.html>
- [2] “Regulation (Eu) 2017/745 Of the European Parliament and of the Council, 2.2, 2nd Paragraph (d)”, Web sitesi: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32017R0745>
- [3] Gökhan Vargın Gök ve Çağatay Afyon, “Kaynak Uygulamalarında Robot Teknolojisi”, *Kaynak Teknolojisi II. Ulusal Kongresi*, Kas. 1999, Web sitesi: [http://sezaitaskin.cbu.edu.tr/wp-content/uploads/2016/03/KAYNAK-UYGULAMALARINDA-ROBOT-TEKNOLOJ%C4%B0S%C4%B0\\_ALTINAY.pdf](http://sezaitaskin.cbu.edu.tr/wp-content/uploads/2016/03/KAYNAK-UYGULAMALARINDA-ROBOT-TEKNOLOJ%C4%B0S%C4%B0_ALTINAY.pdf)
- [4] Study Group 1, “Principles of Medical Devices Classification”, *The Global Harmonization Task Force*. Haziran 2006. Web sitesi: <https://www.imdrf.org/sites/default/files/docs/ghrf/final/sg1/technical-docs/ghrf-sg1-n15-2006-guidance-classification-060627.pdf>
- [5] International Standard Organization, “ISO 9000:2015 Quality management systems — Fundamentals and vocabulary”. 2015. Web sitesi: <https://www.iso.org/standard/45481.html>
- [6] International Standard Organization, “ISO 9283:1998 Manipulating industrial robots — Performance criteria and related test methods”. 1998. Web sitesi: <https://www.iso.org/standard/22244.html>
- [7] J. Józwiak, D. Ostrowski, P. Jarosz, ve D. Mika, “Industrial Robot Repeatability Testing with High Speed Camera Phantom V2511”, *Advances in Science and Technology Research Journal*, c. 10, sy 32, ss. 86-96, 2016, doi: 10.12913/22998624/65136.
- [8] A. Sirinterlikci, M. Tiryakioğlu, A. Bird, A. Harris, ve K. Kweder, “Repeatability and Accuracy of an Industrial Robot: Laboratory Experience for a Design of Experiments Course”, *Technology Interface Journal*, c. 9, Haz. 2009, Web sitesi: [https://www.researchgate.net/publication/260336817\\_Repeatability\\_and\\_Accuracy\\_of\\_an\\_Industrial\\_Robot\\_Laboratory\\_Experience\\_for\\_a\\_Design\\_of\\_Experiments\\_Course/stats](https://www.researchgate.net/publication/260336817_Repeatability_and_Accuracy_of_an_Industrial_Robot_Laboratory_Experience_for_a_Design_of_Experiments_Course/stats)
- [9] I. Kuric, V. Tlach, Z. Sagova, M. Cisar, ve I. Gritsuk, “Measurement of industrial robot pose repeatability”, *MATEC Web of Conferences*, c. 244, s. 1015, Haz. 2018, doi: 10.1051/mateconf/201824401015.
- [10] K. S. Türker, “Endüstriyel Kaynak Robotları (Proseslerin İncelenmesi ve Geliştirilmesi)”, GEDİK ÜNİVERSİTESİ, İstanbul, 2015. Web sitesi: <http://acikerisim.gedik.edu.tr:8080/xmlui/bitstream/handle/11501/119/10060697.pdf?sequence=3>
- [11] Minitab, “Quality Trainer Helps Stryker’s New Engineers Quickly Get Started”. <https://www.minitab.com/en-us/resources-services/resources/case-studies/stryker/>
- [12] Fanuc, “ARC Mate 120iC Mechanical Unit Operator’s Manual ”, Web sitesi: <https://fanuc2014.local.reference.be/tr/en/robots/robot-filter-page/arc-welding/arcmate-120ic>
- [13] Mitutoyo, “Absolute Digimatic Solar Indicator”. <https://shop.mitutoyo.eu/media/mitutoyoData/DO/base/99mah031m3.pdf>
- [14] International Standard Organization, “ISO 22514-3:2020 Statistical methods in process management — Capability and performance — Part 3: Machine performance studies for measured data on discrete parts”. 2020. Web sitesi: <https://www.iso.org/standard/69642.html>
- [15] Robert Bosch GmbH 2019, “Technical Statistics Booklet No. 9 Machine and Process Capability, Quality Management in the Bosch Group”, içinde *Technical Statistics Booklet No. 9 Machine and Process Capability*, Stuttgart Germany , 2019, s. 103. Web sitesi: [https://assets.bosch.com/media/global/bosch\\_group/purchasing\\_and\\_logistics/information\\_for\\_business\\_partners/downloads/quality\\_docs/general\\_regulations/bosch\\_publications/booklet-no09-machine-and-process-capability\\_en.pdf](https://assets.bosch.com/media/global/bosch_group/purchasing_and_logistics/information_for_business_partners/downloads/quality_docs/general_regulations/bosch_publications/booklet-no09-machine-and-process-capability_en.pdf)



- [16] International Standard Organization, “ISO 2859-1:1999 Sampling procedures for inspection by attributes — Part 1: Sampling schemes indexed by acceptance quality limit (AQL) for lot-by-lot inspection”. 1999. Web sitesi: <https://www.iso.org/standard/1141.html>
- [17] M. Goldsmith, S. Smith, K. Jansson, R. LaPrade, ve C. Wijdicks, “Characterization of robotic system passive path repeatability during specimen removal and reinstallation for in vitro knee joint testing”, *Med Eng Phys*, c. 36, Haz. 2014, doi: 10.1016/j.medengphy.2014.06.022.
- [18] F. Ferraguti, V. Villani, ve C. Storchi, “MyWelder: A collaborative system for intuitive robot-assisted welding”, *Mechatronics*, c. 89, s. 102920, Şub. 2023, doi: 10.1016/J.MECHATRONICS.2022.102920.



## OPTIMIZERS COMPARISON OF COVID-19 PREDICTION PERFORMANCES USING CHEST X-RAY IMAGES

**Ceren KAYA**

*Zonguldak Bulent Ecevit University, Faculty of Engineering, Department of Biomedical Engineering, Zonguldak, Turkey.*

*ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1970-2833>*

**Tuğba PALABAŞ**

*Zonguldak Bulent Ecevit University, Faculty of Engineering, Department of Biomedical Engineering, Zonguldak, Turkey.*

*ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6985-6494>*

### ABSTRACT

Coronavirus (COVID-19) is an infectious disease caused by severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2) that emerged in Wuhan, China, 2019. Performing automatic computer aided design (CAD) of this disease is clinically vital for early detection, as the virus can easily spread among humans and can even cause permanent damage or death. In this study, the effect of optimizers on performance of three deep transfer learning models to detect COVID-19 is analysed using 1200 covid, 1341 non-covid (normal), and 1345 viral pneumonia chest x-ray images in COVID-19 Radiography Database. Accordingly, classification performances of DenseNet169, InceptionResNetV2, and ResNet50 models are compared using Adaptive moment estimation (Adam) and Stochastic gradient descent (SGD) optimizers at 30 epochs and batch size = 64 parameter values separately. When simulation results obtained from two different optimizers are examined, it has been determined that Adam optimizer has mostly higher classification accuracy than SGD optimizer. In SGD optimizer; average classification accuracy of DenseNet169 model (97.42%) is higher than InceptionResNetV2 (95.36%), and ResNet50 (94.68%) models. However, in Adam optimizer; average classification accuracy of DenseNet169 model (97.25%) is higher than InceptionResNetV2 (96.22%), and ResNet50 (95.88%) models. In this context, it is clearly seen that choice of optimizer has an important effect on the classification performance when using deep learning models.

**Keywords:** COVID-19 Disease, Chest X-rays, Classification, Deep Learning Models

### INTRODUCTION

The COVID-19 pandemic which spreads in multiple chains from one people to the other has resulted in millions of deaths and has affected practically all areas of human life from healthcare to economy. This epidemic, which gradually loses its lethal effect due to the immunity of people to the virus, but still causes some damage, occurs with different symptoms in each person [1-3]. When infected with the virus, the most common symptoms are elevated body temperature, respiratory problems, cough, severe headache, muscle aches, and fatigue [4]. Many vaccines have been developed using both traditional and next-generation technologies to deal with this infection. Although the vaccine provides immunity to the body by producing antibodies against the virus and reduces the rate of spread of the disease, its effectiveness is still discussed. However, there are also problems such as supply and storage, and the side effects it causes. In summary, although it causes some problems, a basic prevention measure for this infection has been provided by the vaccine [5]. However, early detection of the coronavirus is also very important, as it will facilitate the monitoring of contacts and prevent further spread of the epidemic. Medical radiological imaging methods such as X-ray and Computed Tomography (CT), which can give rapid results, have been frequently used in the detection of the disease, which is mostly manifested as a lung infection [6-8].



Since these techniques require less contact with the person, they carry less risk of human to human transmission. Diagnosis from X-Ray image causes relatively less radiation, is faster and less costly than CT, which provides more detailed scanning [9, 10]. However, chest X-Ray images contain important details about lung diseases. Because COVID-19 shows similar effects with other lung diseases, expert examinations on radiological images may result in long processes and low accuracy. In this context, deep learning approaches in disease detection through radiological images has attracted a lot of attention in recent years. These approaches are faster and provide highly accurate automated analysis [11].

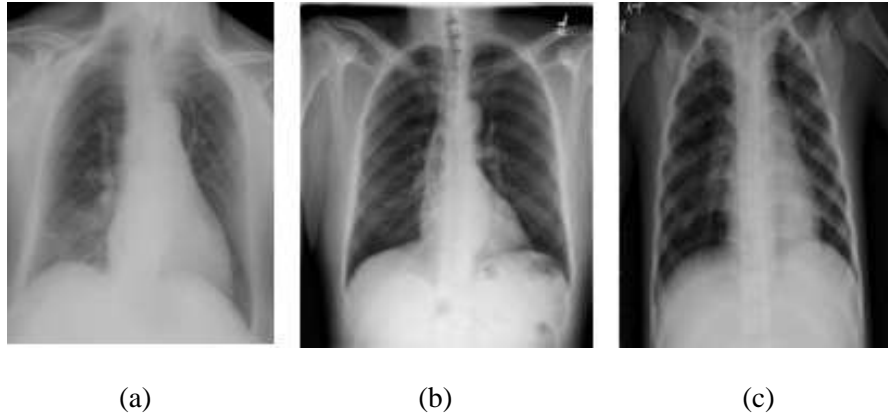
Demir and Yılmaz propose a deep learning-based approach for rapid and accurate diagnosis of COVID-19 from lung radiological images. According to the experimental results obtained with two different Convolutional Neural Networks (CNN), they have shown that VGG16 architecture has higher success rates than the Simple-CNN architecture, and have obtained close results with similar studies using the same dataset in the literature [12]. Similarly, Kogilavani et al. performed various analyzes based on CNN architectures such as VGG16, DenseNet121, MobileNet, NASNet, Xception and EfficientNet using a total of 3873 CT scan images, "COVID" and "non-COVID". The accuracies obtained for VGG16 are 97.68%, DenseNet121 97.53%, MobileNet 96.38%, NASNet 89.51%, Xception 92.47% and EfficientNet 80.19%, respectively. As can be seen from the results obtained, the VGG16 architecture has achieved higher accuracy than other architectures [13]. On the other hand Kassania et al., compare popular deep learning-based feature extraction methods for COVID-19 classification. MobileNet, DenseNet, Xception, ResNet, InceptionV3, InceptionResNetV2, VGGNet, NASNet algorithms based on CNN are discussed for feature extraction, which is a basic component of learning, in the most accurate way. The performance of the proposed method is evaluated on a publicly available COVID-19 dataset consisting of chest X-ray and CT images. Accordingly the DenseNet121 feature extractor with Bagging tree classifier provides the best accuracy with 99% [14]. Subramanian et al. present a review of deep learning-based detection methods for COVID-19, examining existing deep learning methods and assessment criteria reported in the literature to detect coronavirus infection in lung images. Later, Aslani and Jacob also present a detailed review of deep learning-based artificial intelligence (AI) techniques for COVID-19 diagnosis using chest radiography and CT. For this, the authors, who reviewed thirty articles using two-dimensional and three-dimensional CNN combined with transfer learning, explained how deep learning methods detect COVID-19 and highlighted various limitations of the proposed methods [15].

In this study, deep learning-based approaches and the effect of optimizers on these methods are investigated for rapid and accurate diagnosis of COVID-19 from chest X-Ray images. To evaluate the performance of the DenseNet169, InceptionResNetV2, and ResNet50 models, Adaptive moment estimation (Adam) and Stochastic gradient descent (SGD) optimizers at 30 epochs and batch size = 64 parameter values are used. Here, Adam optimizer achieves higher accuracy classification success than SGD optimizer, clearly highlighting the effect of optimizer on classification performance.

## **MATERIAL and METHOD**

### **Chest X-Ray Dataset**

In this study, chest X-ray images of 1341 normal (healthy), 1345 viral pneumonia and 1200 COVID-19 patients were selected from publicly available Kaggle repository named as "COVID-19 Radiography Database" [16]. Sample chest X-ray images of normal (healthy), COVID-19 and viral pneumonia patients are given in Figure 1, respectively [16].



**Figure 1.** Chest X-ray images of (a) COVID-19 (b) normal (healthy) (c) viral pneumonia patients [16] Original X-ray images in the dataset used were resized as 224x224 pixels to be given as input to the proposed models. Scaling (1/255), shear (0.1), zoom (0.1) ranges and horizontal displacement hyperparameters are preferred for data augmentation technique applied to the training dataset.

### Convolutional Neural Network (CNN)

The small quantity of data sets is one of the greatest problems researchers have while evaluating medical data. While deep learning models often require a large amount of data, the primary benefit of employing deep transfer learning is that it enables data to be trained with fewer datasets and costs less to process. The knowledge from the pre-trained model on a sizable data set is transferred to the model that must be trained using the transfer learning approach, which is popular in the field of deep learning [17]. For the classification of COVID-19 chest X-ray images in this study, we developed deep convolutional neural network (CNN) based DenseNet169, InceptionResNetV2 and ResNet50 models. Utilizing ImageNet data, we also used the transfer learning approach to get around the lack of data and training time. Deep learning (DL) models ResNet50 [18], InceptionResNetV2 [19] and DenseNet201 [20] were trained on the ImageNet dataset using 50-layer, 164-layer and 169-layer networks, respectively. For use in image recognition competitions, ImageNet is a collection of pictures with more than 14 million images organized into more than 20,000 categories [21].

### Performance Metrics

The performance of deep learning models used to classify COVID-19 disease from chest X-ray images was evaluated according to criteria calculated using confusion matrix. In this context, accuracy, cohen cappa coefficient, and F1-score evaluation metrics were investigated. The mathematical equations for accuracy and F1-score metrics as follows (Eq.1 and Eq.2):

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad (1)$$

$$F1 - Score = \frac{2 * Precision * Sensitivity}{Precision + Sensitivity} \quad (2)$$

Here TP, TN, FP, and FN are, respectively, true positive, true negative, false positive and false negative values, in where true denotes correct classification, false denotes misclassification, positive identifies patient, and negative identifies normal subjects [8].

Cohen cappa coefficient, which is another performance metric and has values in the range of [0,1], is mainly used to calculate the classification accuracy [22].

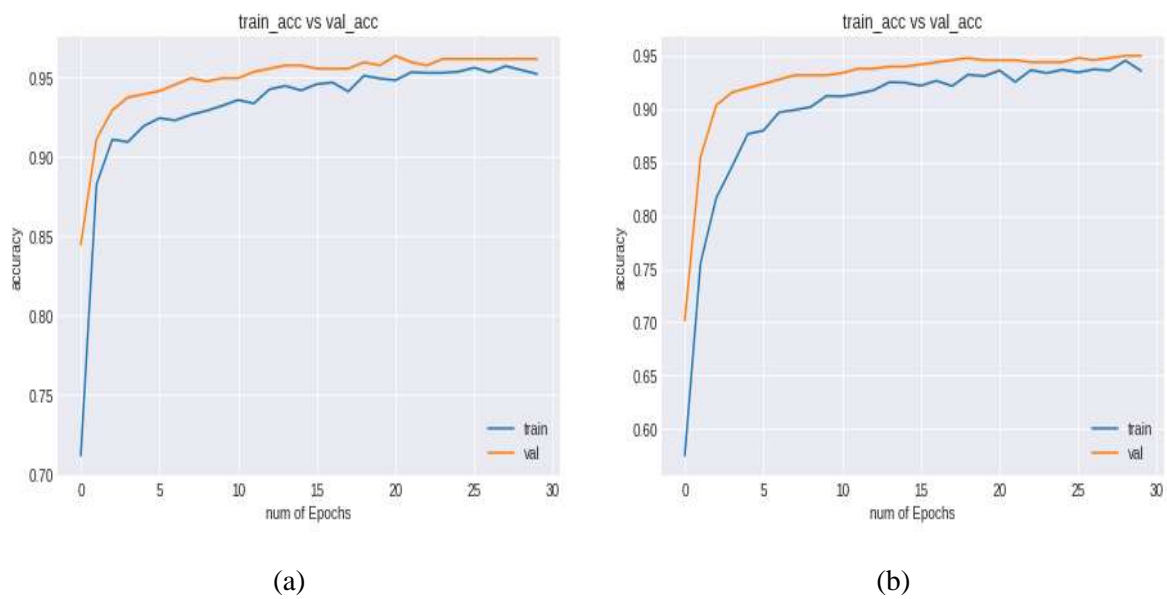


## RESULTS AND DISCUSSIONS

In this study, deep convolutional neural network (CNN) based DenseNet169, InceptionResNetV2 and ResNet50 models were built for the classification of COVID-19 chest X-ray images in Python software in Google Colab environment containing Tesla K80 Graphics Processing Unit (GPU). The dataset used is randomly split into three independent datasets with 70%, 15% and 15% for training, test and validation, respectively. InceptionResNetV2, ResNet50 and DenseNet169 CNN models were pre-trained with random initialization weights by optimizing cross-entropy function with adaptive moment estimation (Adam) [23] and Stochastic gradient descent (SGD) [24] ( $\beta_1 = 0.9$  and  $\beta_2 = 0.999$ ) optimizers. The learning rate, batch size and number of epochs were experimentally set to  $1e-5$  (0.00001), 64 and 30, respectively for all simulations.

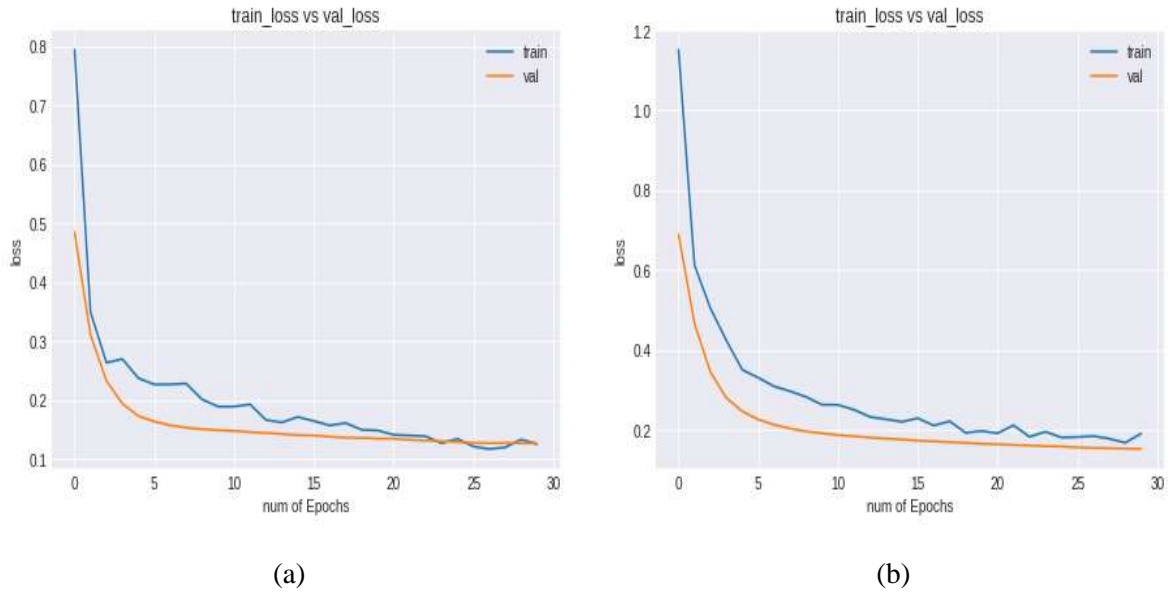
### DenseNet169 Model (Adam and SGD Optimizers)

Training / test accuracy values for Adam and SGD optimizers of pre-trained DenseNet169 model are given in Figure 2.



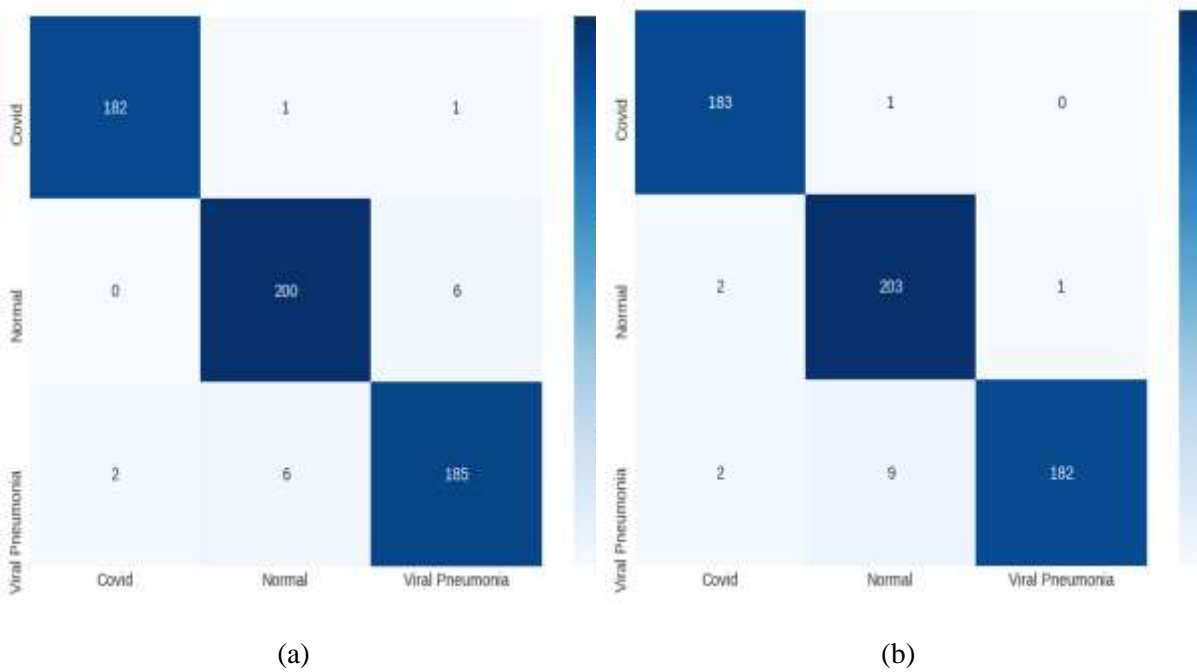
**Figure 2.** Training / test accuracy values of DenseNet169 model for (a) Adam (b) SGD optimizers

Training / test loss values for Adam and SGD optimizers of pre-trained DenseNet169 model are given in Figure 3.



**Figure 3.** Training / test loss values of DenseNet169 model for (a) Adam (b) SGD optimizers

In Figure 4, confusion matrix of COVID-19, normal and viral pneumonia test results obtained from DenseNet169 model for Adam and SGD optimizers is given.

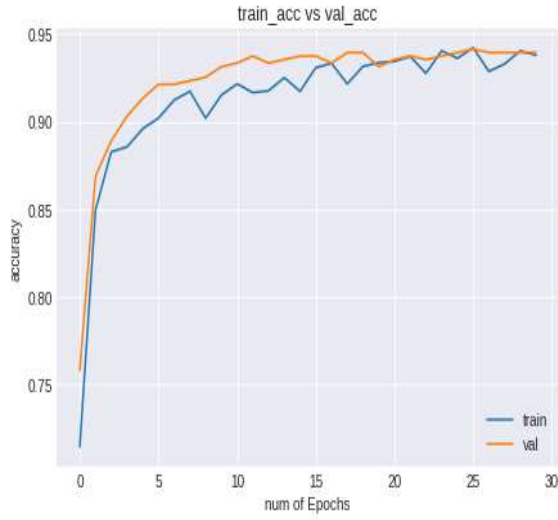


**Figure 4.** Confusion matrices of DenseNet169 model for (a) Adam (b) SGD optimizers

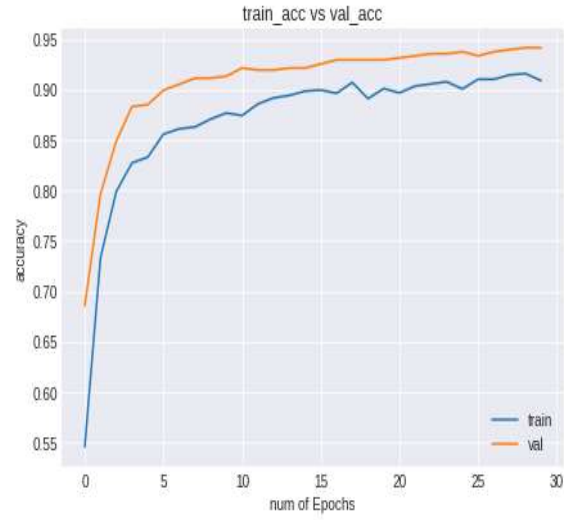
### InceptionResNetV2 Model (Adam and SGD Optimizers)

Training / test accuracy values for Adam and SGD optimizers of pre-trained InceptionResNetV2 model are given in Figure 5.



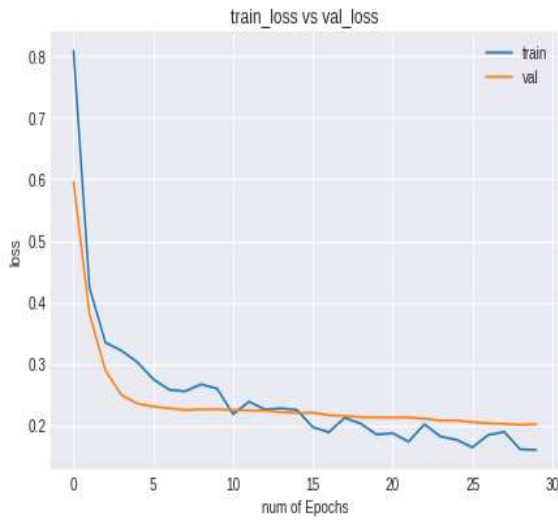


(a)

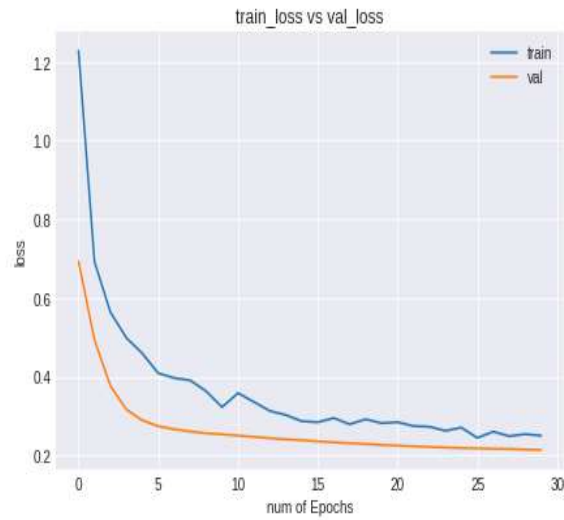


(b)

**Figure 5.** Training / test accuracy values of InceptionResNetV2 model for (a) Adam (b) SGD optimizers  
 Training / test loss values for Adam and SGD optimizers of pre-trained InceptionResNetV2 model are given in Figure 6.

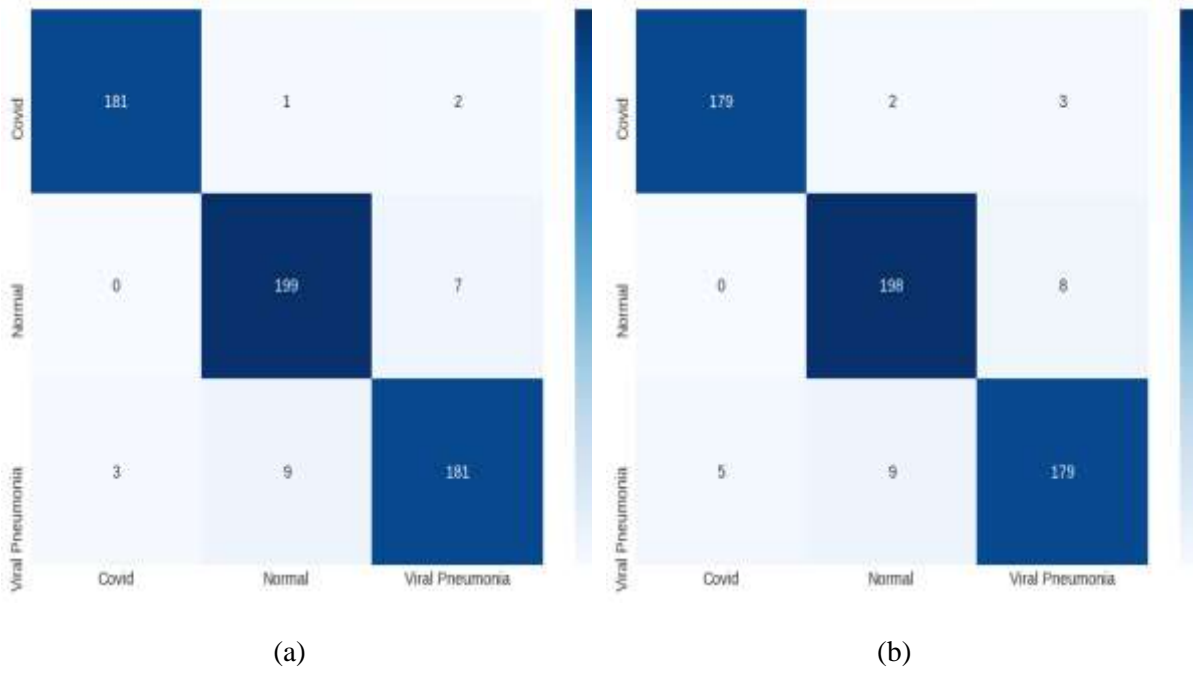


(a)



(b)

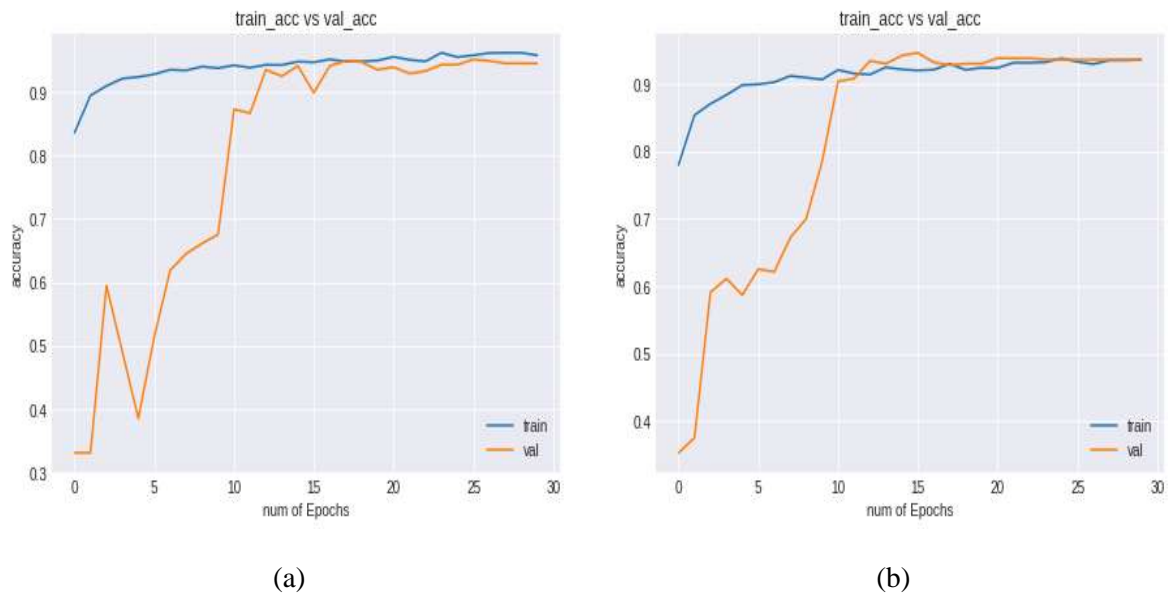
**Figure 6.** Training / test loss values of InceptionResNetV2 model for (a) Adam (b) SGD optimizers  
 In Figure 7, confusion matrix of COVID-19, normal and viral pneumonia test results obtained from InceptionResNetV2 model for Adam and SGD optimizers is given.



**Figure 7.** Confusion matrices of InceptionResNetV2 model for (a) Adam (b) SGD optimizers

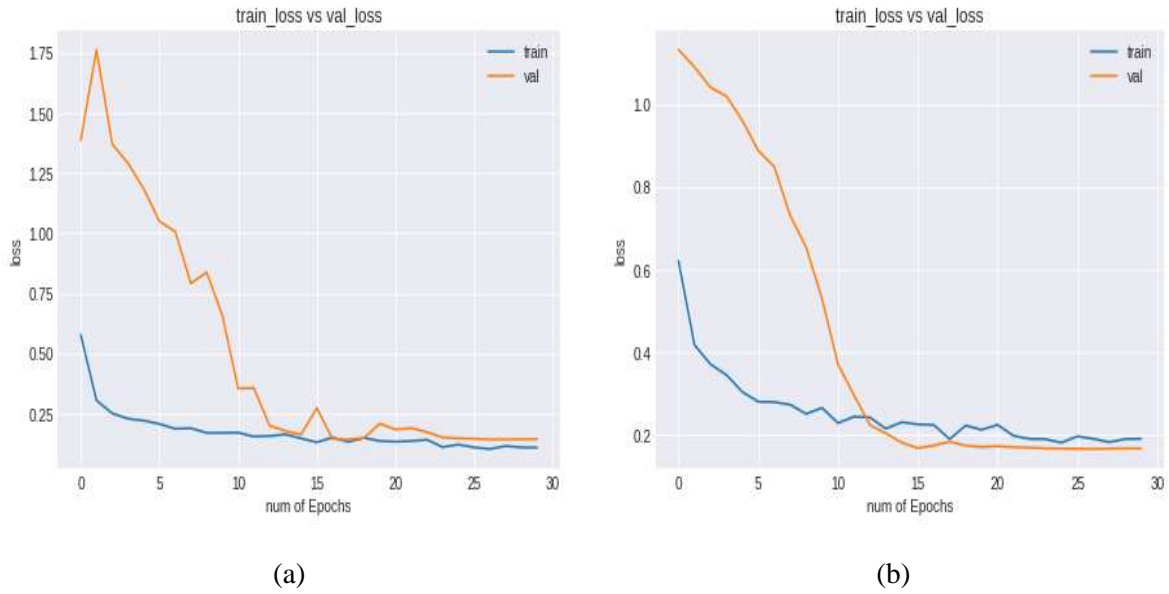
**ResNet50 Model (Adam and SGD Optimizers)**

Training / test accuracy values Adam and SGD optimizers of pre-trained ResNet50 model are given in Figure 8.



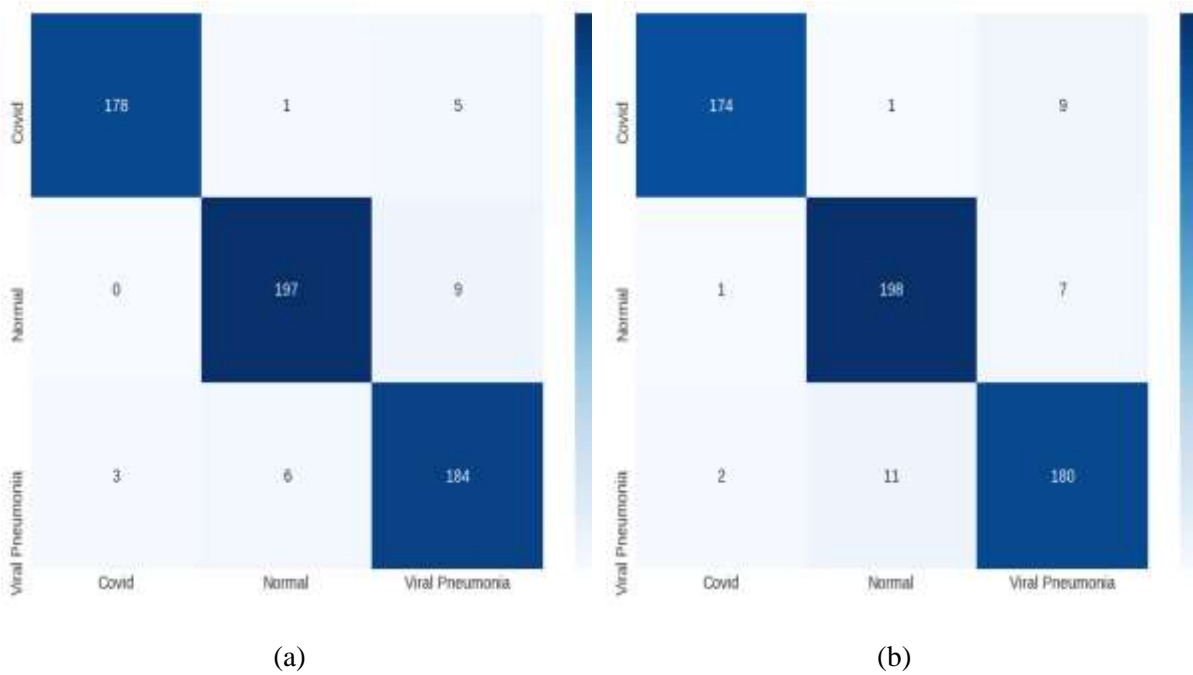
**Figure 8.** Training / test accuracy values of ResNet50 model for (a) Adam (b) SGD optimizers

Training / test loss values Adam and SGD optimizers of pre-trained ResNet50 model are given in Figure 9.



**Figure 9.** Training / test loss values of ResNet50 model for (a) Adam (b) SGD optimizers

In Figure 10, confusion matrix of COVID-19, normal and viral pneumonia test results obtained from ResNet50 model for Adam and SGD optimizers is given.



**Figure 10.** Confusion matrices of ResNet50 model for (a) Adam (b) SGD optimizers

When the results obtained from Figure 2 to Figure 10 are examined, it is clearly seen that confusion matrices obtained from all models are compatible with their accuracy and loss value results. In addition, three classification performance metrics (overall accuracy, cohen kappa coefficient and F1-score) are calculated for proposed DL models from confusion matrices given in Figure 4, Figure 7 and Figure 10. The classification performance results obtained from the relevant models for Adam and SGD optimizers are presented in Table 1 and Table 2, respectively.



**Table 1.** Performance metrics of pre-trained CNN models for Adam optimizer

<b>DL Models</b>	<b>Overall Accuracy (%)</b>	<b>Cohen Cappa Coefficient</b>	<b>F1-Score (%)</b>
<b>DenseNet169</b>	97.25	0.9587	98.25
<b>InceptionResNetV2</b>	96.22	0.9433	96.22
<b>ResNet50</b>	95.88	0.9381	95.88

**Table 2.** Performance metrics of pre-trained CNN models for SGD optimizer

<b>DL Models</b>	<b>Overall Accuracy (%)</b>	<b>Cohen Cappa Coefficient</b>	<b>F1-Score (%)</b>
<b>DenseNet169</b>	97.42	0.9613	97.42
<b>InceptionResNetV2</b>	95.36	0.9304	95.36
<b>ResNet50</b>	94.68	0.9201	94.68

As seen In Table 1 and Table 2, it is clearly seen that in SGD optimizer; overall classification accuracy of DenseNet169 model (97.42%) is higher than InceptionResNetV2 (95.36%), and ResNet50 (94.68%) models. However, in Adam optimizer, overall classification accuracy of DenseNet169 model (97.25%) is higher than InceptionResNetV2 (96.22%), and ResNet50 (95.88%) models. In this context, it is clearly seen that choice of optimizer has an important effect on the classification performance when using deep learning models.

## CONCLUSIONS

Early prediction of COVID-19 disease is significant to prevent its spread among humans. In this study, we have proposed a deep transfer learning-based approach that uses chest X-ray images from normal, COVID-19 and viral pneumonia patients to automatically predict COVID-19 patients. The performances of three different pre-trained deep learning models were compared using two different optimizers (Adam and SGD). In the light of findings, it has determined that Adam optimizer has mostly higher classification accuracy than SGD optimizer. Within the scope of this study, use of deep transfer learning model in early diagnosis of COVID-19 disease has the potential to help minimize the misdiagnosis of specialist doctors and radiologists due to their workload. In future studies, classification performance of different CNN models will be examined in more detail according to the optimizers to be changed. In addition, it is planned to investigate other current deep learning-based approaches in the diagnosis of COVID-19 related diseases and to work on more chest X-ray images.

## REFERENCES

- [1] Lamers, M. M., & Haagmans, B. L. (2022). SARS-CoV-2 pathogenesis. *Nature reviews microbiology*, 20(5), 270-284.
- [2] Sun, Y., Luo, B., Liu, Y., Wu, Y., & Chen, Y. (2023). Immune damage mechanisms of COVID-19 and novel strategies in prevention and control of epidemic. *Frontiers in Immunology*, 14, 1130398.
- [3] Berube, D.M. (2023). Effects on Adults. In: *Pandemics and Resilience: Lessons we should have learned from Zika*. Risk, Systems and Decisions. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-25370-6\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-031-25370-6_9)



- [4] Baj, J., Karakuła-Juchnowicz, H., Teresiński, G., Buszewicz, G., Ciesielka, M., Sitarz, R., ... & Maciejewski, R. (2020). COVID-19: specific and non-specific clinical manifestations and symptoms: the current state of knowledge. *Journal of clinical medicine*, 9(6), 1753.
- [5] Subramanian, N., Elharrouss, O., Al-Maadeed, S., & Chowdhury, M. (2022). A review of deep learning-based detection methods for COVID-19. *Computers in Biology and Medicine*, 105233.
- [6] Ahmad, M., Sadiq, S., Alluhaidan, A. S., Umer, M., Ullah, S., & Nappi, M. (2022). Industry 4.0 technologies and their applications in fighting COVID-19 pandemic using deep learning techniques. *Computers in biology and medicine*, 145, 105418.
- [7] Alyasseri, Z. A. A., Al-Betar, M. A., Doush, I. A., Awadallah, M. A., Abasi, A. K., Makhadmeh, S. N., ... & Zitar, R. A. (2022). Review on COVID-19 diagnosis models based on machine learning and deep learning approaches. *Expert systems*, 39(3), e12759.
- [8] Narin, A., Kaya, C., Pamuk, Z. "Automatic detection of coronavirus disease (covid-19) using X-ray images and deep convolutional neural networks." *Pattern Analysis and Applications*, 24, 3, (2021), 1207-1220.
- [9] Ghaderzadeh, M., & Asadi, F. (2021). Deep learning in the detection and diagnosis of COVID-19 using radiology modalities: a systematic review. *Journal of healthcare engineering*, 2021.
- [10] Bhattacharyya, A., Bhaik, D., Kumar, S., Thakur, P., Sharma, R., & Pachori, R. B. (2022). A deep learning based approach for automatic detection of COVID-19 cases using chest X-ray images. *Biomedical Signal Processing and Control*, 71, 103182.
- [11] Panwar, H., Gupta, P. K., Siddiqui, M. K., Morales-Menendez, R., & Singh, V. (2020). Application of deep learning for fast detection of COVID-19 in X-Rays using nCOVnet. *Chaos, Solitons & Fractals*, 138, 109944.
- [12] Demir, F. B., & Yılmaz, E. (2022). X-Ray Görüntülerinden COVID-19 Tespiti için Derin Öğrenme Temelli Bir Yaklaşım. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (32), 627-632.
- [13] Kogilavani, S. V., Prabhu, J., Sandhiya, R., Kumar, M. S., Subramaniam, U., Karthick, A., ... & Imam, S. B. S. (2022). COVID-19 detection based on lung CT scan using deep learning techniques. *Computational and Mathematical Methods in Medicine*, 2022.
- [14] Kassania, S. H., Kassanib, P. H., Wesolowskic, M. J., Schneidera, K. A., & Detersa, R. (2021). Automatic detection of coronavirus disease (COVID-19) in X-ray and CT images: a machine learning based approach. *Biocybernetics and Biomedical Engineering*, 41(3), 867-879.
- [15] Aslani, S., & Jacob, J. (2023). Utilisation of deep learning for COVID-19 diagnosis. *Clinical Radiology*, 78(2), 150-157.
- [16] T. Rahman. COVID-19 Radiography Database. (2023). Available: <https://www.kaggle.com/tawsifurrahman/covid19-radiography-database>
- [17] N. Jmour, S. Zayen, and A. Abdelkrim, "Convolutional neural networks for image classification", in *Conf. Rec. 2018 Int. Conf. on Advanced Systems and Electric Technologies (IC\_ASET)*, pp. 397–402.
- [18] Z. Wu, C. Shen, and A. Van Den Hengel, "Wider or Deeper: Revisiting the ResNet Model for Visual Recognition", *Pattern Recognit.*, vol. 90, pp. 119–133, 2019.
- [19] Mondal, M. R. H., Bharati, S., & Podder, P. (2021). CO-IRv2: Optimized InceptionResNetV2 for COVID-19 detection from chest CT images. *PloS one*, 16(10), e0259179.
- [20] K. Sahinbas, and F. O. Catak. (2020). Transfer Learning Based Convolutional Neural Network for COVID-19 Detection with X-Ray Images. Available: <https://www.ozgurcatak.org/files/papers/covid19-deep-learning.pdf>
- [21] O. Russakovsky, J. Deng, H. Su, J. Krause, S. Satheesh, S. Ma S, and et al., "ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge", *Int. J. Comput. Vis.*, vol. 115, pp. 211–252, 2015.



- [22] Rwanga, S. S., & Ndambuki, J. M. (2017). Accuracy assessment of land use/land cover classification using remote sensing and GIS. *International Journal of Geosciences*, 8(04), 611.
- [23] Gupta, A., Ramanath, R., Shi, J., & Keerthi, S. S. (2021). Adam vs. SGD: Closing the generalization gap on image classification. In *OPT2021: 13th Annual Workshop on Optimization for Machine Learning*.
- [24] Bohmrah, M. K., & Kaur, H. (2021). Classification of Covid-19 patients using efficient fine-tuned deep learning DenseNet model. *Global Transitions Proceedings*, 2(2), 476-483.



## INVESTIGATION OF STIFFNESS ON THE RESPONSE OF HIGH MODULUS COLUMNS UNDER LATERAL LOADING CONDITIONS

ABDUHADI NAFAA MHMOOD<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Yildiz Technical University, Civil Engineering, Istanbul, Turkey.

<sup>1</sup>ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4146-4501>

<sup>1</sup> [abduhadinafea@gmail.com](mailto:abduhadinafea@gmail.com), +905343627006:

PELIN TOHUMCU ÖZENER<sup>2</sup>

<sup>2</sup>Yildiz Technical University, Civil Engineering, Istanbul, Turkey.

<sup>2</sup>ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9407-286X>

<sup>2</sup> [tohumcu@yildiz.edu.tr](mailto:tohumcu@yildiz.edu.tr)

### ABSTRACT:

Different modulus columns are often used to provide support and stability for a variety of structures, including buildings, bridges, and other types of infrastructure. These columns are well known for their high level of stiffness and strength, which makes them a good option for resisting lateral loads. In this research study, the finite element program (PLAXIS<sup>3D</sup>) was used to determine the influence of the stiffness ratio ( $r$ ), between the soil and the columns, on the response of different types of columns. Embedded beam elements were used to simulate the columns. The constitutive model for the columns is linear elastic. A hardening soil model was used to simulate the behavior of the sand. First of all, the model was validated based on a study from the literature Wang et al. (2022). A very good match was founded between the outcomes of the program and the results of the study. After that, the lateral deflection, the shear forces, and the bending moment of different columns (i.e., steel piles, concrete columns, and low-modulus of columns) were calculated based on 36 different analyses. The results showed that the lateral deflection was decreased as the stiffness ratio increased. Furthermore, it was found that increasing the diameter of the column had a positive influence on the behavior of the column, the deflection was decreased while the shear and the bending moment was increased.

**Keywords:** Stiffness ratio, High modulus columns, Lateral loading, Column stiffness, Column response.

### INTRODUCTION

In the field of geotechnical engineering, high-modulus columns are a frequent component used to provide support for a variety of different structures such as buildings, bridges, and other types of infrastructure. These columns are well known for their high level of stiffness and strength, which makes them a good option for resisting lateral loads generated by offshore structures, wind or earthquakes. The influence of axial load on the response of high-modulus composite columns was the subject of one research that was conducted by Huang et al. (2023) It was found that increasing the axial load led to a decrease in the amount of lateral deflection as well as an increase in the capacity for lateral load. Another investigation of the behavior of high-strength steel columns when subjected to lateral load was carried out by Li et al. (2018) under lateral loads, it was concluded that the columns showed higher stability and less lateral displacement as compared with the other columns. The influence of stiffness on the reaction of high-modulus columns to lateral stress has been the subject of research conducted by a number of different researchers. In one of their studies, Wang et al. (2020) looked at how the response of high-modulus composite columns was affected by the stiffness of the columns. According to the findings, it was observed that an increase in stiffness led to a decrease in lateral deflection as well as an increase in the lateral load capacity. Hai et al. (2019) explored



how the level of stiffness of high-strength steel columns influenced the reaction of the columns. It was observed that an increase in the rigidity of the column resulted in a rise in the ultimate load capacity as well as a decrease in the lateral deflection. A variety of parameters, including the material qualities, geometric design, and boundary conditions of the high-modulus columns, have an effect on how the columns react to lateral loads (Jenett et al., 2020). When designing high modulus columns, the column configuration is an essential component to take into consideration since it has the potential to dramatically influence how the columns react to lateral loads and how effective they are as a structural element as a whole (King et al., 2018). The response of the column to lateral force may be significantly influenced, in some cases significantly, by the configuration of the column the shape, the cross-sectional profile, the length, and the aspect ratio of the column (Espinosa et al., 2016). Some typical column configurations are round, square, rectangular, and octagonal. When it comes to columns with a high modulus, the circular structure is often chosen because, in comparison to other configurations, it provides a more uniform distribution of stress and makes better use of the material. In addition to being utilized often, square, rectangular, and octagonal forms may be useful in a variety of contexts (Naser et al., 2019). When the columns are subjected to lateral stresses, a column that is longer and has a higher aspect ratio will be more likely to buckle, while a column that is shorter and has a lower aspect ratio will be more resistant to the buckling effect (Watkins et al., 2018). From what was written above, it can be noted that the stiffness ratio affects the behavior of columns significantly, which requires careful study. The stiffness ratio is a ratio resulting

from dividing the stiffness of the column by the stiffness of the soil. The aim of the current study is to study the effect of the slenderness ratio on the behavior of laterally loaded columns. The effect of on bending moments, shear forces, and lateral displacement of columns has been studied. In addition, the effect of changing the column lengths and changing the diameter on the behavior of the columns was studied.

#### **VERIFICATION OF THE MODEL BASED ON LARGE -SCALE SITE TEST.**

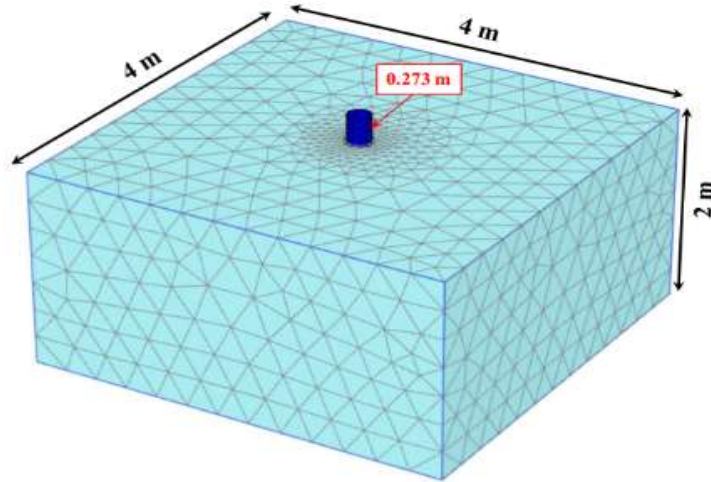
The field and numerical study of the lateral response of rigid piles in sand conducted by (wang et al 2022) was taken as a reference to establish the reliability of the model. The three-dimensional finite element program (PLAXIS<sup>3D</sup>) was used for validation purposes. As reported in the search paper the hardening model was used to define the constitutive model of the soil. The soil dimensions of 4 m in width, and 4 m in length with a depth of 2 meters as shown in Figure (1). Soil parameters are available in Table (1). The pile was defined as an embedded pile with a corresponding length of 1.5 meters. The properties of the embedded pile are shown in Table (2). A side force was applied, which was 6.1 KN, 10.1 KN, and 16.2 KN, respectively. A comparison was achieved to address the matching between reference data and the outcomes of the program. It was found a very good agreement between the results as shown in Figure (2).

#### **Finite Element Analysis**

A number of 36 finite elements (FEM) calculations were carried out to determine the effect of the soil-column stiffness ratio on the lateral displacement, shear, and moment of the column. Figure 2 shows the dimensional of the soil which is 30 m length x 30 m width x 18 m height. Soil parameters can be found in Table (1). Four different types of columns were used in the current analysis. Three of the columns were concrete columns with different modulus of elasticity. While the fourth type of column was a steel column. The properties of the columns are shown in Table (3). The boundary conditions were fixed at the base of the model in x,y, and z directions, but the lateral boundary conditions were normally constrained.

Medium mesh was used, and model size sensitivity evaluations ensured correct findings. For each single column, different lengths of (5,10,15) m and diameters (0.25,0.5,0.75) m were selected as shown in the following flow chart to identify the effect of changing the column diameter and column length on the behavior of the column. After that, a lateral force of 100 KN was applied on the column at the surface of the soil (Schanz et al., 2019) and the software was run.

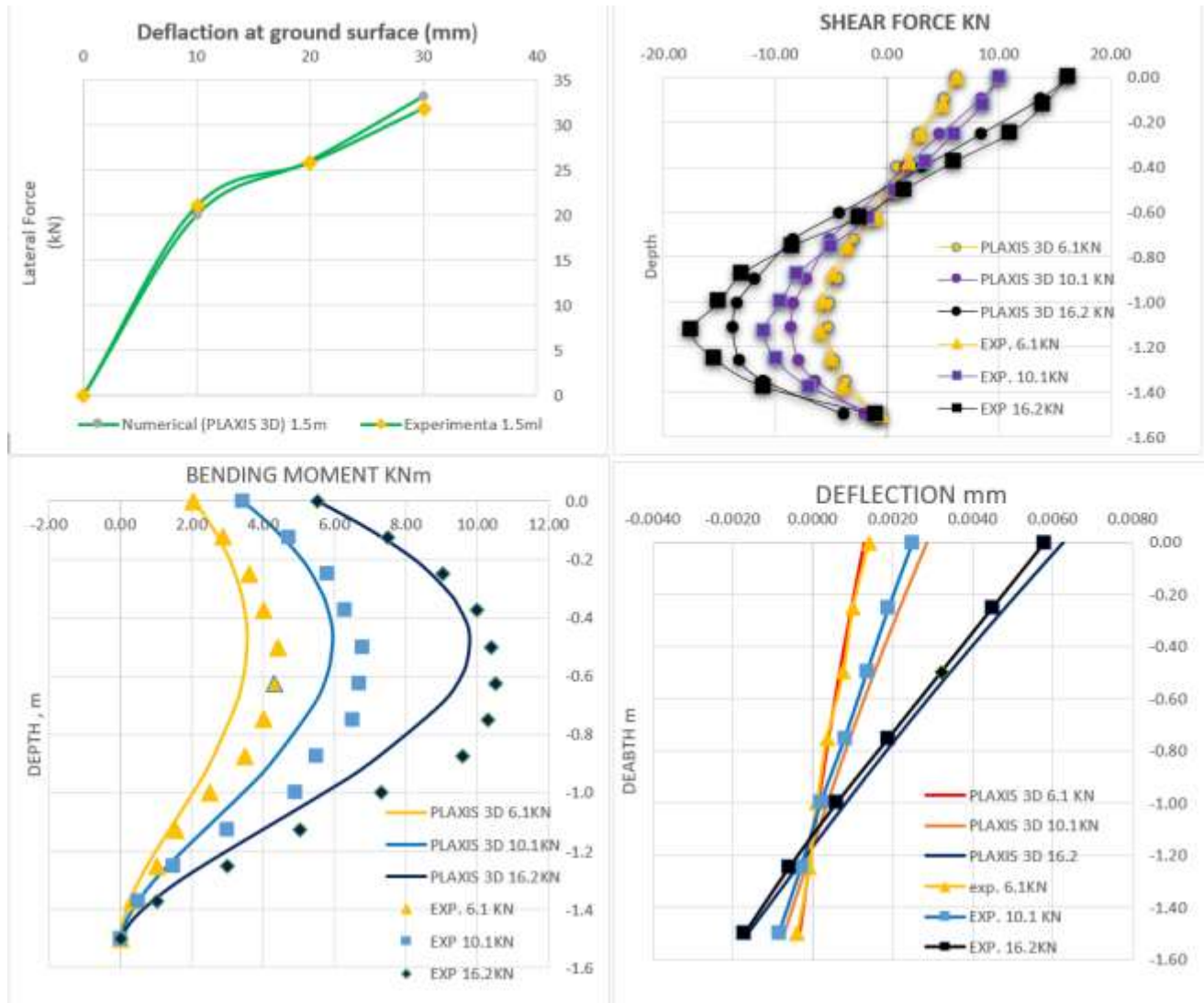




**Figure 1.** The validation on the PLAXIS<sup>3D</sup>, which resulted in a 1.5-meter-long column with the same soil dimensions (wang et al 2022).

**Table 1.** Hardening soil model parameters for Shenton Park sand (wang et al 2022)

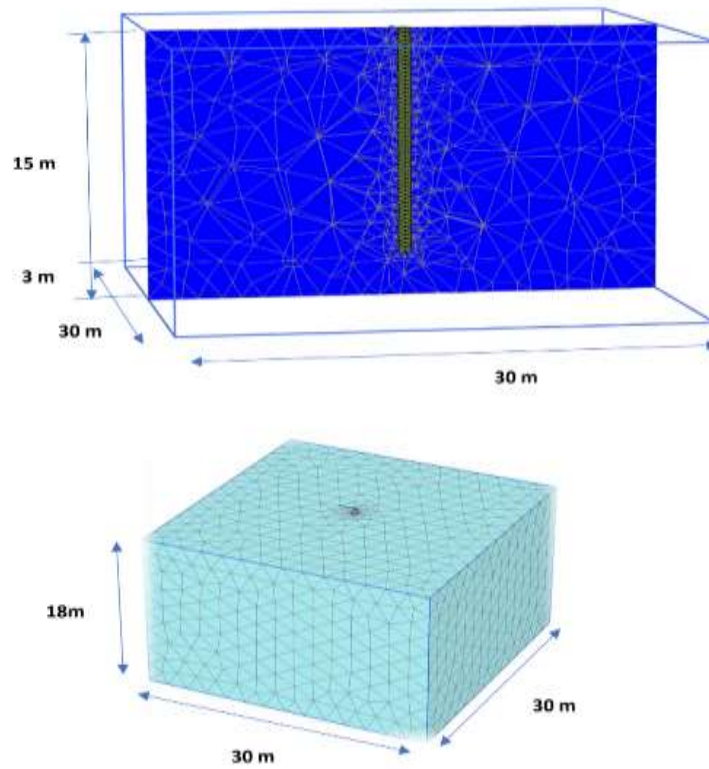
Sym.	Parameters	value
$\gamma$	Unit weight of soil (KN/m <sup>3</sup> )	16.4
Pref	Reference stress for normalized stiffness parameters (Kpa)	100
$E_{50}^{ref}$	Reference secant stiffness at 50% of the failure load in isotropic triaxial compression (Mpa)	60
$E_{ocd}^{ref}$	Reference tangent stiffness for oedometer loading (Mpa)	60
$E_{ur}^{ref}$	Reference unloads reload stiffness (Mpa)	180
m	Exponent for stress dependent stiffness	0.5
C	Cohesion intercept (kPa)	2
$\phi$	peak friction angle	38
$\psi$	Dilation angle	6
$\nu_{ur}$	Poisson's ratio for unload-reload conditions	0.2
Dr	Relative density	64%



**Figure 2.** The validation on the PLAXIS<sup>3D</sup>, which resulted in a 1.5-meter-long column with the same soil dimensions.

Table (2). The properties of the embedded pile

	$\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )	E (GPa)
Steel Pipe pile	78	210



**Figure 3.** Finite Element Simulation and Dimensions of the problem

**Table 3.** Details and properties of the columns

Column Type	$\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )	E (GPa)	Column diameter (m)	Column Length (m)
STEEL COL. (r=3500)	78	210	0.25	5
				10
				15
			0.5	5
				10
				15
			0.75	5
				10
				15
CONCRETE COL.(r=400)	24	24.0	0.25	5
				10
				15
			0.5	5
				10
				15
			0.75	5
				10
				15
CONCRETE COL.(r=501):	24	30.0	0.25	5
				10



			0.5	15
				5
				10
			0.75	15
				5
				10
CONCRETE COL. (r =703)	24	42.2	0.25	15
				10
				5
			0.5	15m
				10m
				5m
			0.75	15m
				10m
				5m

## DISCUSSION AND RESULTS

After conducting analyses on the model using finite element analysis (FEA) software (PLAXIS<sup>3D</sup>) and varying some of the column parameters to observe the effect of lateral forces on them, the following results were obtained.

### Effect Of Diameter Change On The Column's Behavior

The column diameters were changed using three different values: 0.25m, 0.50m, and 0.75m. These diameter variations were applied to a column with a length of 10m to study their specific effects. as shown in Figure (4), Figure (5), Figure (6)

#### A-Lateral Displacement

Table 4, Figure 4, is another comprehensive dissection of the influence exerted by changes in the column diameter on its susceptibility to lateral displacement, specifically for columns with a length of 10m. Different stiffness conditions are explored, and each is represented by columns with varying diameters: 0.25m, 0.5m, and 0.75m.

Observing the table, it is evident that an increase in column diameter correlates to a reduction in lateral displacement. This reduction in lateral displacement with an increase in diameter is a manifestation of increased rigidity provided by larger diameters. The more substantial the diameter, the more resistance the column offers to lateral forces, thereby resulting in lower lateral displacements.

For columns with a stiffness of  $E=24 \times 10^6$  KPa ( $r=400$ ), the lateral displacement decreased from 0.0149m for a 0.25m diameter to 0.0046m for a 0.5m diameter – a reduction of 69%. Similarly, the lateral displacement for columns with a diameter of 0.75m was only 0.0023m, which is 50% less than that of columns with a diameter of 0.5m.

This pattern is consistent across different stiffness conditions. For instance, with a stiffness of  $E=30.1 \times 10^6$  KPa ( $r=501$ ), a column with a diameter of 0.5m showed a lateral displacement reduction of 68% compared to one with a 0.25m diameter. Furthermore, the lateral displacement for columns with a 0.75m diameter was 48% less than that of 0.5m diameter columns.

The most rigid columns, with a stiffness of  $E=2.1 \times 10^8$  KPa ( $r=3500$ ), also showed similar trends, albeit with smaller difference ratios, indicating that the effect of diameter on lateral displacement might be slightly diminished at very high rigidity levels.



The findings in this table mirror the broader consensus in the field of structural engineering. It is well-accepted that column diameter significantly affects lateral displacement, with larger diameters offering increased resistance to such displacement. This insight is crucial for the design and construction of safe and resilient structures, underscoring the need to consider column diameter as a pivotal factor in managing lateral forces.

**Table 4 .** Effect lateral displacement column length=10m with diameter (0.25,0.5,0.75)m

Type of column	Diameter (m)	Lateral Displacements(m)	Difference Ratio %
E=24*10 <sup>6</sup> KPa (r)=400	0.25	0.0149	
	0.5	0.0046	69
	0.75	0.0023	50
E=30.1 *10 <sup>6</sup> KPa (r)=501	0.25	0.0135	
	0.5	0.0043	68
	0.75	0.0022	48
E=42.2*10 <sup>6</sup> KPa (r)=703	0.25	0.012	
	0.5	0.0037	69
	0.75	0.00189	48
E= 2.1*10 <sup>8</sup> KPa (r)=3500	0.25	0.0063	
	0.5	0.0019	69
	0.75	0.0011	42

**B-Shear Force:**

**Table 5.** Effect of negative shear force column length=10m with diameter (0.25,0.5,0.75)m

Type of column	Diameter (m)	Shear force depth (m)	Difference Ratio %
E=24*10 <sup>6</sup> KPa (r)=400	0.25	-1.6	
	0.5	-3.7	131%
	0.75	-3.8	138%
E=30.1 *10 <sup>6</sup> KPa (r)=501	0.25	-1.6	
	0.5	-3.7	131%
	0.75	-3.8	138%
E=42.2*10 <sup>6</sup> KPa (r)=703	0.25	-1.6	
	0.5	-3.7	131%
	0.75	-3.8	138%
E= 2.1*10 <sup>8</sup> KPa (r)=3500	0.25	-1.6	
	0.5	-3.7	131%
	0.75	-3.8	138%

Table (5), figure 5, delineates the effect of changing the diameter on the negative shear force depth in columns of length 10m across various types based on modulus of elasticity and relative stiffness. The shear force depth has been measured in meters, and it is noteworthy that all these measurements are negative, indicating a downward direction. The variation in column diameter, with three levels (0.25m, 0.5m, and 0.75m), has been applied to each type of column, which are distinguished by different values of E and r.

Across all types of columns, it is observed that as the diameter of the column increases, the depth at which negative shear force is experienced also increases. For instance, in the column with E=24\*10<sup>6</sup> KPa and



$r=400$ , the depth of negative shear force magnifies from  $-1.6\text{m}$  at a diameter of  $0.25\text{m}$  to  $-3.7\text{m}$  at  $0.5\text{m}$  and further to  $-3.8\text{m}$  at  $0.75\text{m}$ . The Difference Ratio % represents the relative change in depth compared to the column with a diameter of  $0.25\text{m}$ . It exhibits a substantial increase as the diameter magnifies, with an increment of approximately  $131\%$  at  $0.5\text{m}$  and  $138\%$  at  $0.75\text{m}$  diameter.

This trend is consistently observed across all types of columns, irrespective of their  $E$  and  $r$  values, and presents a critical understanding of how column diameter influences the depth at which negative shear force is experienced. These findings align with the fundamental principles of mechanics and structural behavior, where an increase in diameter enhances the capacity of the column to resist shear forces, thereby leading to an increased depth of negative shear force [58].

The magnitude of change is particularly noteworthy. An increase in diameter from  $0.25\text{m}$  to  $0.5\text{m}$  results in a more than two-fold increase in shear force depth, signifying that even a small increase in diameter can significantly impact the shear resistance of the column. This is a crucial finding for the design of reinforced concrete columns, wherein the appropriate diameter must be selected to ensure sufficient resistance against shear forces.

The consistency of the results across different  $E$  and  $r$  values also indicates that the observed effect of diameter is robust and applies generally to different types of columns. However, it should be noted that this analysis assumes linear elastic behavior and does not take into account possible non-linear effects in real-world conditions, including the effect of load duration, load frequency, and the potential for material fatigue.

**C-Bending Moment:**

**Table 6.** Effect bending moment column length=10m with diameter (0.25,0.5,0.75)m

Type of column	Diameter (m)	bending moment (KNm)	DIFFERENCE RATIO %
E=24*10 <sup>6</sup> KPa (r)=400	0.25	46	
	0.5	78	-69
	0.75	101	-0.29
E=30.1 *10 <sup>6</sup> KPa (r)=501	0.25	49	
	0.5	81	-65
	0.75	107	-32
E=42.2*10 <sup>6</sup> KPa (r)=703	0.25	52	
	0.5	89	-71
	0.75	114	-28
E= 2.1*10 <sup>8</sup> KPa (r)=3500	0.25	72	
	0.5	119	-65
	0.75	152	-27

Table 6, figure 6, presents the impact of varying diameters on the bending moment for columns of length 10m, each defined by a different modulus of elasticity and stiffness ratio.

One commonality across all types of columns is that the bending moment increases with the diameter of the column, a finding consistent with the previous table. For columns with a diameter of  $0.25\text{m}$ , the bending moment is considerably smaller than the values recorded for larger diameters ( $0.5\text{m}$  and  $0.75\text{m}$ ).

The trend of increasing bending moment with column diameter is consistent across different moduli of elasticity and stiffness ratios, affirming the notion that the diameter plays a crucial role in the column's ability to resist bending moments. This trend supports the fundamental principle that greater column diameter provides more resistance to bending due to the increased cross-sectional area [61].

However, the 'Difference Ratio%' showcases an intriguing pattern. As the diameter of the column increases from  $0.5\text{m}$  to  $0.75\text{m}$ , the difference ratio seems to decrease across all types of columns. This may indicate

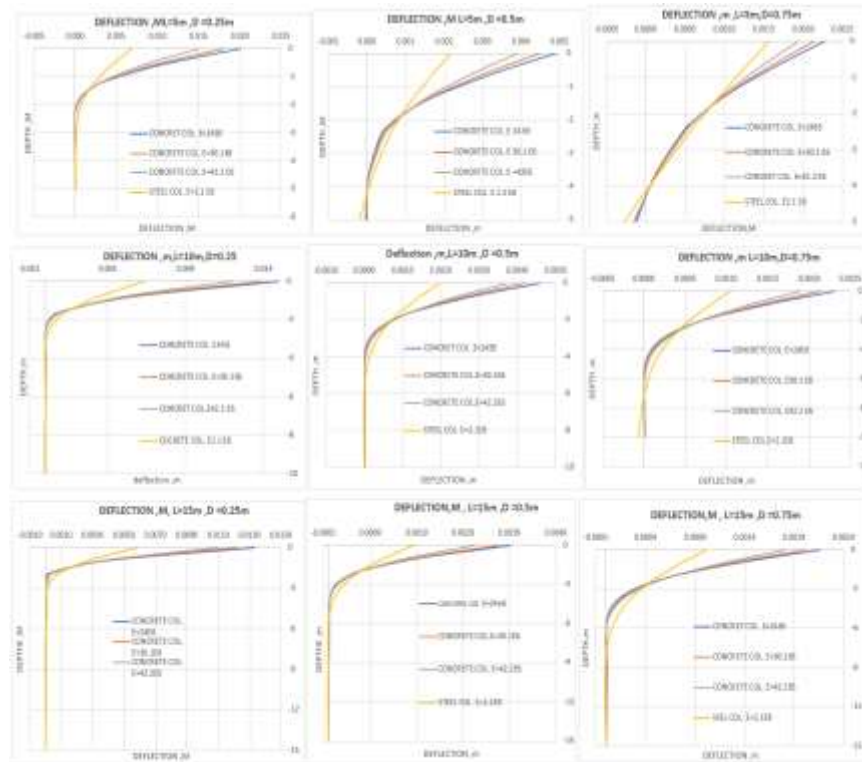


a diminishing return of the additional resistance provided by a larger diameter when compared to the increase in the column's bending moment. This behavior may be attributed to the underlying physics of column bending, wherein not only the size but also the distribution of material (which is different in a hollow column) can influence the overall response [54].

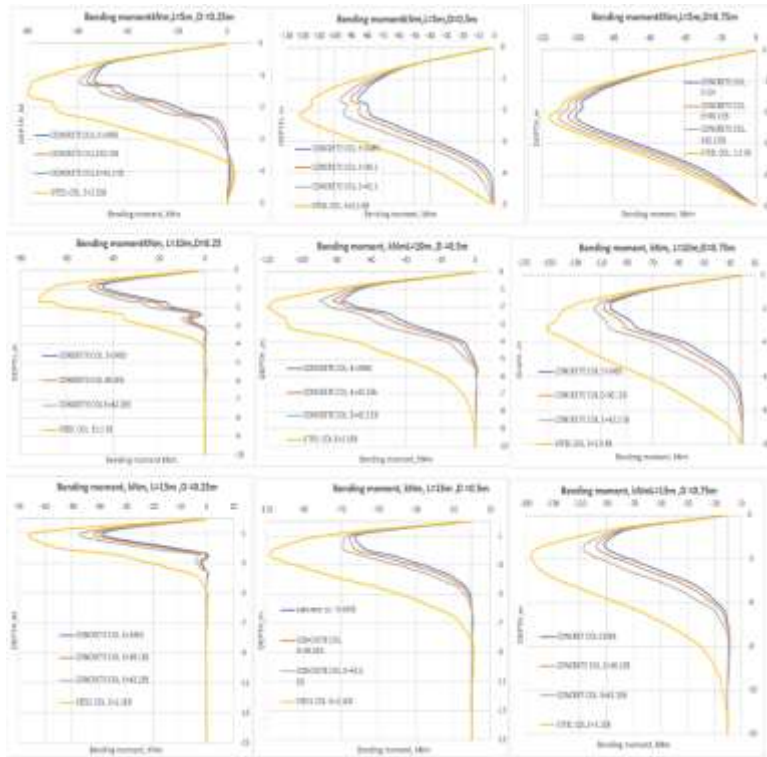
This table confirms that while increasing the diameter of a column generally increases the bending moment, other factors such as the modulus of elasticity and the stiffness ratio can influence this relationship. Understanding this complex interplay is vital for structural engineers in designing and analyzing columns under various load conditions.

### Effect Of Length Change On Column's Behavior

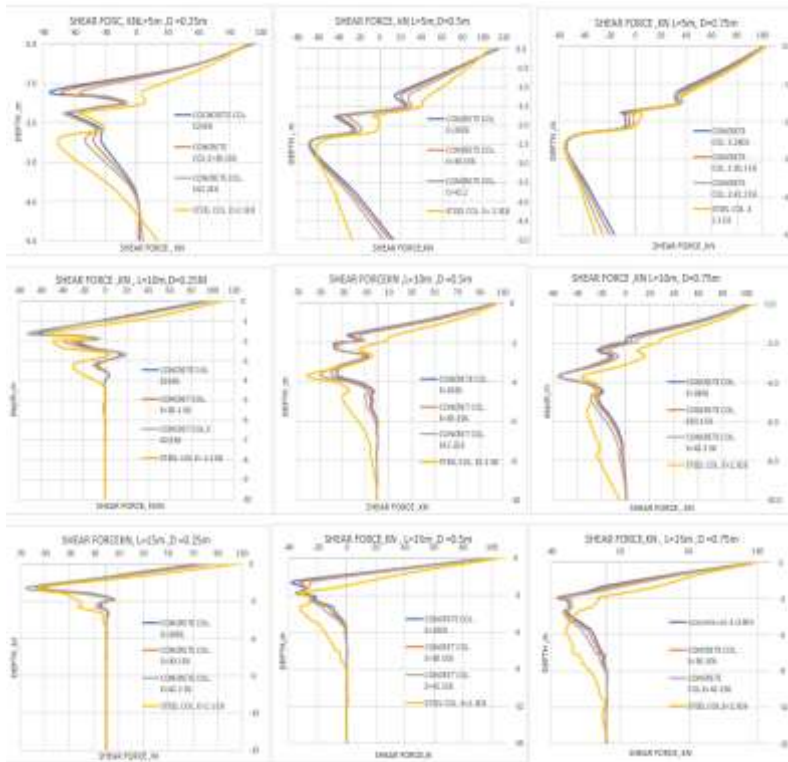
The column lengths were changed using three different values: 5m, 10m, and 15m. These lengths variations were applied to a column with a diameter of 0.5m to study their specific effects. as shown in Figure (4), Figure (5), Figure (6).



**Figure 4.** The lateral deflection of the column at different lengths of (10, 15, 5 m) and diameters (0.25, 0.5, 0.75m)



**Figure 5.** The bending moment of the column at different lengths of (10, 15, 5 m) and diameters (0.25, 0.5, 0.75m).



**Figure 6.** The shear force of the column at different lengths of (10, 15, 5 m) and diameters (0.25, 0.5, 0.75m).





### A- Lateral Displacement.

Table (7), figure 4, provides data on the effect of changing column length on the lateral displacement for columns of diameter 0.50 meters under different types of columns (denoted by their modulus of elasticity and radial value).

Starting with the column type  $E=24 \times 10^6$  KPa ( $r=400$ ), the lateral displacement experiences a decrease from 0.0049m at 5m length to 0.0040m at 15m length. The difference ratio reveals a gradual decrease as well,

**Table 7. Effect lateral displacement column diameter=0.50m with length (5,10,15)m**

Type of column	Length (m)	lateral displacement(m)	DIFFERENCE RATIO %
E= $24 \times 10^6$ KPa ( $r=400$ )	5	0.0049	
	10	0.0046	6
	15	0.0040	13
E= $30.1 \times 10^6$ KPa ( $r=501$ )	5	0.0045	
	10	0.0043	4
	15	0.0037	14
E= $42.2 \times 10^6$ KPa ( $r=703$ )	5	0.0039	
	10	0.0037	5
	15	0.0033	10
E= $2.1 \times 10^8$ KPa ( $r=3500$ )	5	<b>0.0022</b>	
	10	<b>0.0019</b>	13.6
	15	<b>0.0018</b>	5

with a 6% decrease observed when the length increases from 5m to 10m and a further 13% decrease when it increases to 15m.

A similar trend is observed in the column with  $E=30.1 \times 10^6$  KPa ( $r=501$ ). The lateral displacement diminishes from 0.0045m to 0.0037m as the length increases from 5m to 15m, with the difference ratio indicating a 4% decrease from 5m to 10m and a 14% decrease from 10m to 15m.

The column type  $E=42.2 \times 10^6$  KPa ( $r=703$ ) also shows a decrease in lateral displacement from 0.0039m at 5m length to 0.0033m at 15m length. The difference ratios are 5% and 10% respectively.

The column with  $E=2.1 \times 10^8$  KPa and  $r=3500$  exhibits the smallest lateral displacements overall, decreasing from 0.0022m at 5m to 0.0018m at 15m. The corresponding difference ratios are 13.6% and 5%.

This decreasing trend in lateral displacements with increasing column length aligns with Euler's buckling theory as explained before, and it is consistent with the findings from the table for columns of diameter 0.25m. Nevertheless, an interesting point to note is the overall lateral displacements for the 0.50m diameter columns are lower than those for the 0.25m diameter columns. This suggests that the diameter of the column could also have a significant impact on its lateral displacement, potentially due to the increased cross-sectional area providing greater resistance to bending.



**B- Shear Force.**

**Table 8.** Effect Shear force column diameter=0.50m with length (5,10,15) m

Type of column	Diameter (m)	Shear force depth (m)	Difference Ratio %
E=24*10 <sup>6</sup> KPa (r)=400	5	-2.5	-
	10	-3.7	48%
	15	-2	-46%
E=30.1 *10 <sup>6</sup> KPa (r)=501	5	-2.5	-
	10	-3.7	48%
	15	-2	-46%
E=42.2*10 <sup>6</sup> KPa (r)=703	5	-2.5	-
	10	-3.7	48%
	15	-2	-46%
E= 2.1*10 <sup>8</sup> KPa (r)=3500	5	-2.5	-
	10	-3.7	48%
	15	-2	-46%

The results in table (8), figure5, exhibit a notable correlation between column length and shear force depth. The depth at which maximum shear force occurs is seen to increase by approximately 48% when the column length increases from 5m to 10m, and then decreases by about 46% when the length extends from 10m to 15m. This pattern remains consistent across all column types.

Scientifically, these findings underscore the importance of considering column length in structural design. The varying shear force depth with column length has significant implications on the load-bearing capacity of the column and its overall stability. As column length increases, the column tends to exhibit deeper shear force depth, which can increase its vulnerability to shear-induced failure.

This behavior aligns with the Euler-Bernoulli beam theory which states that longer beams are more susceptible to shear and bending effects [54]. This theory's applicability to the behavior of columns under shear force suggests the importance of careful shear force analysis during the design phase, particularly for longer columns.

This study supports previous research, such as the work of Zhang et al. [62], who also found an increase in the depth of maximum shear force with increasing column length. However, it is essential to conduct further research to consider factors such as material properties, load type, and column boundary conditions for a more comprehensive understanding.



### C- Bending Moment.

**Table 9.** Effect bending moment column diameter =0.5m with length (5,10,15)m

Type of column	Length (m))	bending moment (KNm)	DIFFERENCE RATIO %
E=24*10 <sup>6</sup> KPa (r)=400	5	84	
	10	78	7
	15	63	19
E=30.1 *10 <sup>6</sup> KPa (r)=501	5	89	
	10	81	9
	15	65	19
E=42.2*10 <sup>6</sup> KPa (r)=703	5	96	
	10	89	7
	15	69	22
E= 2.1*10 <sup>8</sup> KPa (r)=3500	5	121	
	10	119	1.5
	15	107	10

Table (9), figure 6, presents displays the influence of changing column length on the bending moment for columns with a diameter of 0.50 m. Four types of columns, each with different elastic modulus (E) and radius of gyration (r), are studied: E=24\*10<sup>6</sup> KPa (r)=400, E=30.1\*10<sup>6</sup> KPa (r)=501, E=42.2\*10<sup>6</sup> KPa (r)=703, and E= 2.1\*10<sup>8</sup> KPa (r)=3500.

For all column types, an incremental increase in length (5m to 10m to 15m) results in a decreasing bending moment. Specifically, for the column with E=24\*10<sup>6</sup> KPa and r=400, the bending moment reduces from 84 KNm at 5m length to 78 KNm at 10m, and further decreases to 63 KNm at 15m. The respective difference ratios between 5m and 10m, and between 10m and 15m, are 7% and 19%.

The other columns follow a similar trend, with varying degrees of difference ratios ranging from 1.5% to 22%. Notably, the column with the highest elastic modulus and radius of gyration (E= 2.1\*10<sup>8</sup> KPa, r=3500) exhibits the least rate of bending moment reduction as length increases.

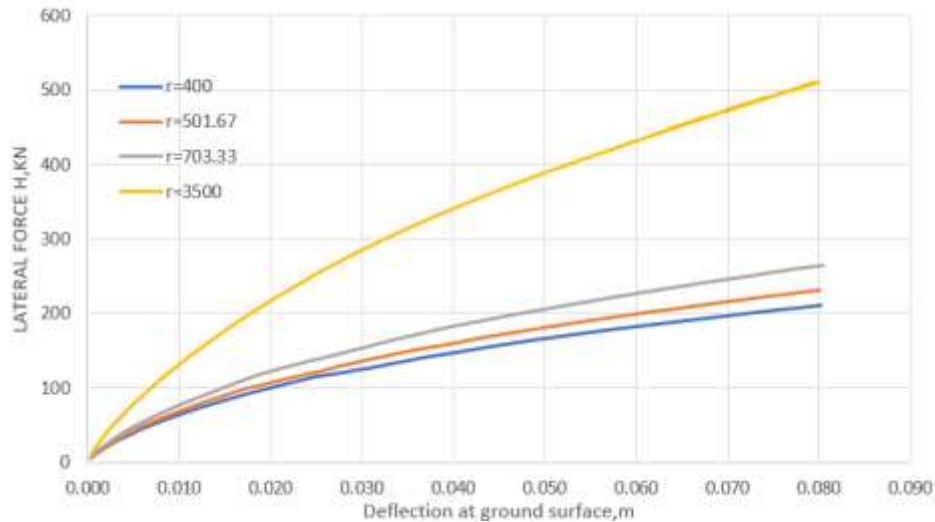
This pattern is consistent with the Euler-Bernoulli beam theory, which postulates that bending moment is inversely proportional to the beam's (or in this case, column's) length. As column length increases, its susceptibility to buckling also increases, thereby reducing its resistance to bending, leading to a lesser bending moment.

The trend observed in these results is analogous to earlier findings and reinforces the fundamental understanding of beam-column behavior under bending loads.

#### Effect Of Stiffness Ratio

As the stiffness ratio increases, the load bearing capacity of the column for lateral force also increases. Additionally, increase in the modulus of elasticity of the column results in increase in the stiffness ratio, as the shown in figure (7).

$$r = E_{Column}/E_{sand}$$



**Figure 7.** The values of stiffness ratio ( $r$ ) for different columns.

## CONCLUSION

In summary, the numerical analysis was conducted using the finite element programming (PLAXIS<sup>3D</sup>) on A hard soil type. A model with dimension of 30\*30\*18m was created, and lateral force of 100kN were applied. The study investigated the effects of changing certain parameters of columns, such as elasticity modulus, diameter, and length, on the stiffness ratio of the column. The results indicated the following:

- Increasing elasticity modulus enhanced the resistance of the columns to lateral forces, resulting in improved resistance to deflection, shear force, and bending moment.
- increasing the column diameter improved its resistance to lateral force, deflection, shear force, and bending moment.
- The variation in column length also had an impact on improving the resistance of the columns to lateral force, shear force, and bending moment.
- the effect of length was relatively less significant compared to the effect of diameter. This is because the applied force remained constant at 100kN. If these lateral forces were increased, the influence of column length would become more significant.

## REFERENCES

1. Wang, H., Lehane, B. M., Bransby, M. F., Wang, L. Z., & Hong, Y. (2022). Field and numerical study of the lateral response of rigid piles in sand. *Acta Geotechnica*, 1-12.
2. Huang, G., Zhang, J., Hui, B., Zhang, H., Guan, Y., Guo, F., ... & Wang, D. (2023). Analysis of Modulus Properties of High-Modulus Asphalt Mixture and Its New Evaluation Index of Rutting Resistance. *Sustainability*, 15(9), 7574.
3. Wang, J., Liu, Y., Wang, C., Zhang, Y., Li, H., & Cheng, L. (2020). Microstructure of directionally modified SiC whisker C/SiC composites prepared with LA-CVI technique. *Frontiers in Materials*, 7, 155.
4. Li, G., Chen, B., Yang, Z., & Feng, Y. (2018). Experimental and numerical behaviour of eccentrically loaded high strength concrete filled high strength square steel tube stub columns. *Thin-Walled Structures*, 127, 483-499.
5. Hai, L. T., Li, G. Q., Wang, Y. B., Sun, F. F., & Jin, H. J. (2019). Experimental investigation on cyclic behavior of Q690D high strength steel H-section beam-columns about strong axis. *Engineering Structures*, 189, 157-173.
6. Jenett, B., Cameron, C., Turlomousis, F., Rubio, A. P., Ochalek, M., & Gershenfeld, N. (2020). Discretely assembled mechanical metamaterials. *Science advances*, 6(47), eabc9943.



7. King, D. J., Bouazza, A., Gniel, J. R., Rowe, R. K., & Bui, H. H. (2018). Geosynthetic reinforced column supported embankments and the role of ground improvement installation effects. *Canadian Geotechnical Journal*, 55(6), 792-809.
8. Espinos, A., Romero, M. L., & Lam, D. (2016). Fire performance of innovative steel-concrete composite columns using high strength steels. *Thin-Walled Structures*, 106, 113-128.
9. Naser, M. Z., Hawileh, R. A., & Abdalla, J. A. (2019). Fiber-reinforced polymer composites in strengthening reinforced concrete structures: A critical review. *Engineering Structures*, 198, 109542.
10. Watkins, R. T., Reedlunn, B., Daly, S., & Shaw, J. A. (2018). Uniaxial, pure bending, and column buckling experiments on superelastic NiTi rods and tubes. *International Journal of Solids and Structures*, 146, 1-28.
11. Schanz, T., Vermeer, P. A., & Bonnier, P. G. (2019). The hardening soil model: formulation and verification. In *Beyond 2000 in computational geotechnics* (pp. 281-296). Routledge.
12. Erginag, U. C., & Kayalar, A. S. (2016, June). Investigation of Contribution of High Modulus Columns on Liquefaction Mitigation Based on Effective Stress Approach by 3D Finite Difference Method. In *The 26th International Ocean and Polar Engineering Conference*. OnePetro.
13. Hales, T. A., Pantelides, C. P., & Reaveley, L. D. (2016). Experimental evaluation of slender high-strength concrete columns with GFRP and hybrid reinforcement. *Journal of Composites for Construction*, 20(6), 04016050.
14. Zhu, W., Jia, J., Gao, J., & Zhang, F. (2016). Experimental study on steel reinforced high-strength concrete columns under cyclic lateral force and constant axial load. *Engineering Structures*, 125, 191-204.



## KANATLILARDA SICAKLIK STRESİ, BESİN MADDE GEREKSİNİMLERİ VE STRESE KARŞI BESLENME UYGULAMALARI

### TEMPERATURE STRESS, NUTRITIONAL REQUIREMENTS AND NUTRITION APPLICATIONS AGAINST STRESS IN POULTRY

*Esra GÜRSOY<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi, Celal Oruç Hayvansal Üretim Yüksekokulu*

*ORCID ID: 0000-0002-4697-7365*

*Tugay AYAŞAN<sup>2</sup>*

*<sup>2</sup>Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi/Kadirli Uygulamalı Bilimler Fakültesi/Organik Tarım İşletmeciliği Bölümü/Organik Tarım İşletmeciliği Anabilim Dalı*

*ORCID ID: 0000-0001-7397-6483*

#### ÖZET

Bu çalışmada, kanatlılarda stresin ne olduğu, stres faktörleri ve kanatlılarda stresin neden olduğu olumsuz etkiler üzerinde durulmuştur. Stres faktörleri arasında iklimsel, çevresel, beslenmeye bağlı, fizyolojik, fiziksel, psikolojik, sosyal ve patolojik faktörler bulunmaktadır. Stresle karşılaşan kanatlıların belirtileri arasında mortalitenin artması, iştahın azalması, büyümede gerileme ve hastalıklara daha yatkın olma gibi durumlar yer almaktadır. Bu durumlar da üretim maliyetlerini artırmaktadır. Ayrıca, stresin kanatlıların besin madde gereksinimleri üzerinde de olumsuz etkileri olduğu belirtilmiştir. Son olarak, stresle mücadele için uygulanabilecek beslenme stratejileri de vurgulanmıştır. Yüksek sıcaklıklar, hayvanların metabolizmasını etkileyerek, besin madde gereksinimlerinde değişikliklere neden olur. Bu değişiklikler, hayvanların vücut ısısını düzenlemek ve vücut fonksiyonlarını sürdürmek için gereksinim duydukları besin öğelerinin miktarını ve oranını etkiler. Bu derlemede kanatlılarda sıcaklık stresine karşı güncel besleme uygulamaları ortaya konmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Kanatlı hayvan, sıcaklık stresi, besin madde gereksinimi

#### ABSTRACT

In this study, what stress is in poultry, stress factors and the negative effects of stress in poultry are emphasized. Stress factors include climatic, environmental, nutritional, physiological, physical, psychological, social and pathological factors. Stress factors include climatic, environmental, nutritional, physiological, physical, psychological, social and pathological factors. Symptoms of birds experiencing stress include increased mortality, decreased appetite, retarded growth, and greater susceptibility to diseases. These situations also increase production costs. In addition, it has been stated that stress has negative effects on the nutrient requirements of birds. Finally, nutritional strategies that can be applied to combat stress are also highlighted. High temperatures affect the metabolism of animals, causing changes in their nutrient requirements. These changes affect the amount and ratio of nutrients that animals need to regulate body temperature and maintain bodily functions. In this review, current feeding practices against heat stress in poultry were presented.

**Keywords:** Poultry, heat stress, nutrient requirement

#### Giriş

Stres, canlıların olağan, alışıldık koşullarından farklı bir durum ve faktörlerle karşılaştığında olumsuz etkilenmeleri sonucu normal fizyolojik durumlarını sürdürememeleri olarak tanımlanabilir. Canlıların strese maruz kalmaları sonucunda vücudunda anatomik, fizyolojik ve davranışsal değişiklikler meydana



gelir (Taşkın ve ark., 2015). Kısa süreli stres, fiziksel ve ekonomik olarak önemli bir etki göstermezken, uzun süreli stres kümes hayvanları ve üretiminde önemli olumsuz etkilere neden olmaktadır (Viriden ve Kidd, 2009). Canlının stres faktörleri ile karşılaşması ile vücudu strese tepki verir. Bu tepki 3 evrede gerçekleşir. Bunlar; alarm, direnme veya adaptasyon ve tükenmedir (Sapolsky ve ark., 2000). Stres, kümes hayvanlarının fizyolojisini etkilemekte ve karlılık oranını düşürmektedir (Barnett ve Hemsworth, 2003; Osti ve ark., 2017).

Kanatlılarda stres oluşturacak faktörler (Freeman, 1987); iklimsel stres faktörleri (aşırı sıcak veya soğuk çevre sıcaklığı), çevresel stres faktörleri (aydınlık, karanlık, nakil), beslenmeye bağlı stres faktörleri (yetersiz ve dengesiz rasyonlar, yetersiz su ve aşırı tuz), fizyolojik stres faktörleri (anestezi, tüy dökümü, yüksek yumurta verimi), fiziksel stres faktörleri (yerleşim sıklığı), psikolojik stres faktörleri (korku), sosyal stres faktörleri (sürünün yapısında değişiklik), patolojik stres faktörleri (enfeksiyonlar, mikroorganizmalar ve parazitler) ve endüstri tipi yetiştiricilik olarak sıralanmaktadır. Bu faktörlerle karşılaşan kanatlılardaki belirtileri ise; mortalitenin artması, iştahın azalması, büyümede gerileme, hastalıklara daha yatkın olmasıdır. Ayrıca bu belirtilerin varlığı üretim maliyetlerinin yükselmesine neden olmaktadır (Franco-Jimenez ve Beck, 2007; Uttarac ve ark., 2009).

### Sıcaklık Stresi

Kanatlılar, sıcaklık stresi gibi çevresel stres faktörlerine karşı oldukça duyarlıdırlar. Sıcaklık stresi, kanatlıların vücut sıcaklıklarının yükselmesine neden olur ve bu da sağlık sorunlarına yol açabilir. Yüksek sıcaklıklar, kanatlıların yem yeme oranını düşürebilir, büyüme oranlarını ve yumurta verimliliğini azaltabilir. Sıcaklık stresine maruz kalan kanatlıların vücutlarında birçok fizyolojik değişiklik meydana gelir. Kanatlıların vücut sıcaklıkları artar ve solunum oranları fazlalaşır. Bu da metabolizmalarını hızlandırır ve vücutlarında daha fazla enerji üretilmesine neden olur. Ayrıca, kanatlıların su ihtiyaçları artar ve elektrolit dengeleri bozulur. Tüm bu faktörler, sıcaklık stresinin kanatlıların sağlığı ve performansı üzerindeki etkisini artırır. Kanatlılar için yaşamını rahat sağlayabileceği ayrıca verim verebileceği ortamın sıcaklığı (termal nötral bölge) 14-25 °C aralığında olmalıdır (Etches ve ark., 2008). Ergin tavuklarda vücut sıcaklığı 40.6–41.7 °C arasında değişiklik gösterir (Akansu ve Sarıca, 2011). Kanatlılarda ter bezi bulunmaz ve vücudunun %95'i tüylerle kaplıdır. Sıcaklığın 25 °C'nin üzerine çıkması halinde kanatlılarda termoregülasyon sağlanamaz ve sıcaklık stresi oluşur (Zhang ve ark., 2012).

Sıcaklık stresi, kanatlılarda önemli bir stres etmenidir. Sıcaklık stresi kanatlılarda davranışsal, fizyolojik, hormonal ve moleküler bazı değişikliklere neden olmaktadır (Etches ve ark., 1995). Sıcaklık stresi immunosupressif etki ile büyümede yavaşlama ve mortalite oranında artışa ayrıca ekonomik olarak maliyetin yükselmesine yol açar (Al-Marzooqi ve Leeson 1999; AOAC 2005; Abdulkarimi ve Daneshyar 2012; Shah ve ark., 2019; Kang ve ark., 2020; Wasti ve ark., 2020). Ayrıca sıcaklık stresinde performans düşüklüğü yani yumurta verim ve kabuk kalitesinin düşüklüğü gibi parametrelerin de olumsuz etkilendiği bilinmektedir (Arslan, 2012; Zhang ve ark., 2012; Song ve ark., 2014; Adanır, 2019; Saleh ve ark., 2020). Tavuklar için gerekli sıcaklık değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Tavuklar için gerekli sıcaklık düzeyleri (Özdemir ve Poyraz, 1997)

	SICAKLIKLAR (°C)		
	Minimum	Optimum	Maksimum
Yumurta Tavuğu	10	15-18	25
Etlik Anaç	10	15-20	25
Etlik Piliç	13	17-25	25
Günlük Cıvciv	30	32	33

Sıcaklık stresi esnasında kanatlılarda 4 farklı biyolojik değişiklikler görülmektedir. Bunlar davranışsal, psikolojik, verim, üretim ile nörodokrin değişikliklerdir (Wasti ve ark., 2020). Sıcaklık stresinde ortaya çıkan davranış değişiklikleri; yemle daha az zaman harcama, daha fazla su içme, nefes nefese kalma, daha az yürüme, hareket ve kanatların yükselme hareketidir. Psikolojik değişiklikler; oksidatif stres, asit-baz dengesizliği, H/L oranının artması, cecal mikrobiyal profilindeki değişiklikler ile solunumdaki değişikliklerdir. Aynı araştırmacılar sıcaklık stresinde kortikotropin serbestleştirici faktörde,



adrenokortropik hormonda, katekolaminlerde, plazma kortikosteron düzeyinde artma olduğunu; buna karşılık T3 hormon, GnRH, FSH ve LH düzeylerinde azalma olduğunu ifade etmişlerdir.

## **Yüksek Sıcaklıkta Besin Madde Gereksinimleri**

### **Enerji gereksinimi**

Kanatlı hayvanlar sıcak havalarda sıcaklık stresi yaşarlar ve bu durum metabolizmalarında değişikliklere neden olur. Sıcaklık stresi, kanatlı hayvanların enerji gereksinimlerini artırır. Sıcaklık stresi, kanatlı hayvanların vücut sıcaklığını düzenlemek için daha fazla enerji harcamasına neden olur. Ayrıca, sıcaklık stresi nedeniyle kanatlı hayvanların yem tüketimi azalabilir. Bu durum, kanatlı hayvanların vücut ağırlığının azalmasına ve büyüme hızının yavaşlamasına neden olur. Sıcaklık stresine karşı enerji gereksinimi arttığından, kanatlı hayvanların beslenmesinde enerji kaynaklarına daha fazla ihtiyaçları vardır. Yüksek enerjili yemler, kanatlı hayvanların sıcaklık stresi ile başa çıkmalarına yardımcı olur. Bunun yanı sıra, kanatlı hayvanların sıcaklık stresine karşı enerji ihtiyacını karşılamak için yağ asitleri de önemlidir. Yağ asitleri, kanatlı hayvanların enerji seviyelerini artırarak sıcaklık stresi ile başa çıkmalarına yardımcı olur (Açıkgöz ve Özkan, 2001). Özellikle ticari amaçlı olarak yetiştirilen kanatlıların beslenmesi, sıcaklık stresi durumunda etkili bir şekilde yapılandırılmalıdır.

Kanatlı hayvanlarda yem tüketimi enerji ihtiyaçlarını karşılayacak kadardır. Genellikle diğer canlılarda olduğu gibi kanatlılarda da çevre sıcaklığı artığında yem tüketimleri azalmakta ve bundan dolayı almaları gereken enerji ihtiyaçları karşılanamamaktadır (Açıkgöz ve Özkan, 2001). Sıcaklık stresinden dolayı yem tüketimi azalmasına karşın metabolizmaya bağlı enerji ihtiyacı artış gösterir (Özkan, 1992). Yüksek sıcaklıklarda enerji kaynağı olarak rasyonda yağ kullanılması ile; karbonhidrat ve proteinin enerjisine oranla daha iyi yararlandığı ve yemde bulunan karbonhidratların enerjisinden daha iyi faydalandığı bildirilmiştir (Özkan, 1992). Çiftçi ve ark. (2013)'ün yaptıkları bir çalışmada rasyona biberiye yağı ilavesinin sıcaklık stresinin olumsuz etkisini azalttığı görülmüştür.

### **Protein gereksinimi**

Sıcaklık stresi, kanatlı hayvanların protein gereksinimlerini artırabilir. Sıcaklık stresi, kanatlıların vücut sıcaklığını düzenlemek için daha fazla enerji harcamasına neden olur. Bu enerji harcaması, protein sentezinde kullanılan amino asitlerin tüketimini artırabilir. Bu nedenle, kanatlıların sıcaklık stresi sırasında protein ihtiyacı artabilir. Ancak, sıcaklık stresi ile birlikte kanatlıların yem tüketimi de azalabilir. Bu durumda, kanatlıların sıcaklık stresine uygun yemlerle beslenmesi ve yemdeki proteinin sindirilebilirliğinin yüksek olması önemlidir. Kanatlıların sıcaklık stresine karşı protein ihtiyaçlarını karşılamak için yüksek kaliteli protein kaynakları kullanılabilir (Muğlalı, 2000). Bu kaynaklar arasında, hayvansal protein kaynakları olan et, balık unu ve süt ürünleri gibi yüksek sindirilebilirliğe sahip protein kaynakları yer alır. Ayrıca, soya fasulyesi, kanola, aspir ve ayçiçeği gibi bitkisel protein kaynakları da kullanılabilir.

Sıcaklık stresi ile yem tüketimine bağlı olarak protein ve amino asit gereksinimi azalmaktadır. Optimum düzeyde ve kalitede verim elde edebilmek için sıcaklık stresinde protein düzeyi ayarlanmalıdır. Yüksek çevre sıcaklığında, rasyonun protein düzeyinin artırılarak verim ve yemden yararlanma oranının iyileştiği bildirilmiştir (Bozkurt ve ark., 2000). Yapılan çalışmalarda rasyondaki protein düzeyini artırmak yerine lizin ve metionin gibi aminoasitlerin artırılması gerektiği belirlenmiştir. Böylece, yemle tüketilen fazla proteinin organizmada değerlendirilmesinde ortaya çıkan ısı enerjisinin yüksek olması engellenir, böbreklerin aşırı yorulması önlenmekte, kümes içi amonyak seviyesi düşmektedir (Devegowda, 1992; Özkan, 1992; Altan ve ark., 1995; Dagher, 1995). Önel ve ark. (2012)'de sıcaklık stresi altındaki erken yumurtlama döneminde olan tavukların rasyonlarına vitamin E ve esansiyel bir amino asit olan lizin ilavesinin tavukların performans ve yumurta kabuk özelliklerine olan etkisini inceledikleri çalışmada; çevreye bağlı sıcak stresi dönemi ve stres sonrası dönemde erken yumurtlama dönemindeki yumurtacı tavuk rasyonlarının gereksinim düzeylerine ek olarak E vitamini katkısı yapılmasının yumurta kabuk kalitesini iyileştirdiği, E vitamini ve/veya lizin katkısının incelenen performans parametreleri üzerine önemli bir etkisinin olmadığı sonucuna varmışlardır.

Özellikle son yıllarda, yüksek çevre sıcaklığı altındaki piliçlerde ısı üretimini azaltmak için düşük proteinli diyetler önerilmiştir çünkü protein metabolizması, yağ ve karbonhidratlara kıyasla daha yüksek





ısı üretimine neden olmaktadır. Düşük diyet protein seviyesi, kanatlılarda protein metabolizmasının ana son ürünü olan ürik asit (UA) üretimini azaltmaktadır (Saharifi ve ark., 2015a).

Sarıca ve ark., (2019), sıcaklık stresi altındaki Japon bıldırcınlarının yemlerindeki proteini azaltmak için doğal antioksidan kullanmanın etkilerini araştırdıkları çalışmalarında, nar kabuğu ve elma kabuğunun başarıyla kullanılabilirliğini ifade etmiştir.

### **Vitamin ve mineral gereksinimi**

Sıcaklık stresine karşı vitamin ve mineral kullanımı, kanatlı hayvanların sağlığı ve performansını korumak için önemlidir. Ancak, her zaman doğru dozajlarda kullanılmalı ve yemlerin içeriğine göre dengeli bir şekilde verilmelidir. Kanatlı hayvanlar sıcak havalarda sıcaklık stresi yaşarlar ve bu durum metabolizmalarında değişikliklere neden olur. Sıcaklık stresine karşı vitamin ve mineral takviyeleri, kanatlı hayvanların sağlığı ve performansını korumak için önemli bir rol oynar. Sıcaklık stresi, kanatlı hayvanların vücutlarında bazı vitamin ve minerallerin düzeylerini azaltabilir. Bu nedenle, sıcaklık stresine karşı vitamin ve mineral takviyeleri kullanılabilir (Lin ve ark., 2006). Şahin ve ark. (2002), sıcaklık stresine karşı kanatlılarda E vitamini uygulamasının bazı hormon düzeylerini (T3, T4) artırmaya rağmen Adrenokortikotropik hormon (ACTH) düzeyini azalttığını belirlemişlerdir.

Bazı önemli vitamin ve mineraller (Wolowczuk ve ark., 2008; Thunes, 2017):

1- Vitamin C: Sıcaklık stresi, kanatlı hayvanların vücudunda serbest radikallerin artmasına neden olabilir. Vitamin C, serbest radikallerle savaşmaya yardımcı olmakla birlikte sıcaklık stresine karşı koruyucu bir etki gösterir. Kanatlı hayvanların antioksidan savunmalarını güçlendirerek sıcaklık stresine karşı korunmalarına yardımcı olabilir. Ayrıca, sıcaklık stresine bağlı olarak artan kortizol seviyelerini de azaltabilir (Seeman, 1991). Yapılan bir çalışmada, Askorbik asit ve Cr (AACr) kombinasyonunun, sıcaklık stresi sırasında bağırsakta ve sekumda kolonize olan patojenik bakterilerin gelişimini sınırlamada olumlu bir etkiye sahip olduğu saptanmıştır (Saracila ve ark., 2020).

2- Vitamin E: Vitamin E, antioksidan savunmayı artırabilir ve sıcaklık stresine karşı koruyucu bir etkiye sahiptir. Hücre zarlarını koruyarak sıcaklık stresine karşı korunmalarına yardımcı olabilir. Oksidatif stresi azaltarak ve hücre zarlarını koruyarak sıcaklık stresine karşı koruyucu bir etki gösterebilir (Minka ve Ayo, 2011).

3- Vitamin B<sub>1</sub> (Tiamin): Sıcaklık stresi, kanatlı hayvanların tiamin seviyelerini azaltabilir. Tiamin eksikliği, sinir sistemi sorunlarına neden olur. Bu nedenle, sıcaklık stresine karşı tiamin takviyesi yapılmalıdır.

4- B vitaminleri: Sıcaklık stresi, kanatlı hayvanların enerji üretimini etkileyebilir. B vitaminleri, kanatlı hayvanların enerji üretiminde önemli bir rol oynayarak sıcaklık stresine karşı koruyucu bir etki gösterir (Korver ve Klasing, 2003).

5- Selenyum: Sıcaklık stresi, kanatlı hayvanların bağışıklık sistemini zayıflatabilir. Selenyum, sıcaklık stresine bağlı olarak artan oksidatif stresi azaltarak, kanatlı hayvanların bağışıklık sistemlerini güçlendirerek sıcaklık stresine karşı korunmalarda etkili olabilir (Suchy ve ark., 2014).

6- Sodyum: Sıcaklık stresi, kanatlı hayvanların sodyum seviyelerini düşürebilir. Sodyum eksikliği, susuzluğa, halsizliğe ve hatta ölüme neden olabilir. Bu nedenle, sıcaklık stresine karşı sodyum takviyesi yapılabilir.

7- Potasyum: Vücuttaki su ve elektrolit dengesi için önemlidir ve kanatlıların sıcaklık stresine karşı potasyum gereksinimleri artabilir. Potasyum, hücre içindeki sıvı ve elektrolit dengesini koruyarak, su kaybını engelleyebilir ve de kanatlıların vücut sıcaklıklarını düzenlemelerine yardımcı olabilir. Sıcaklık stresi altındaki kanatlı hayvanların potasyum ihtiyacını karşılamak için, potasyum açısından zengin yemler verilmelidir. Muz, domates, patates, salatalık, kabak, karpuz ve diğer meyve ve sebzeler, kanatlıların potasyum ihtiyacını karşılamak için kullanılabilir. Bununla birlikte, potasyum gibi minerallerin fazla miktarda verilmesi de zararlı olabilir. Bu nedenle, kanatlıların potasyum ihtiyacı dikkatlice takip edilmelidir.

8- Bakır: Sıcaklık stresi, kanatlı hayvanlarda minerallerin emilimini etkileyebilir. Bakır, mineral emilimini artırarak sıcaklık stresine karşı savunma mekanizmalarını destekleyebilir.



9- Çinko: Çinko, sıcaklık stresine bağlı olarak artan stres hormonlarına karşı koruyucu bir mineraldir. Ayrıca, çinko takviyesi, kanatlı hayvanların bağışıklık sistemini de güçlendirebilir.

10- Magnezyum: Magnezyum, kanatlı hayvanların kas ve sinir fonksiyonlarını düzenleyen önemli bir mineraldir. Sıcaklık stresine maruz kalan kanatlı hayvanlar, magnezyum eksikliği yaşayabilirler. Magnezyum takviyesi, kanatlı hayvanların kas ve sinir fonksiyonlarını düzenleyerek sıcaklık stresine karşı koruyucu bir etki gösterebilir.

Yapılan çalışmalarda kullanılan pek çok yem katkısının sıcaklık stresinin oluşturduğu zararlı etkiyi önleyebildiği görülmüştür (Hafeez ve ark., 2021; Ahmad ve ark., 2022; Hasan ve ark., 2022; Rebez ve ark., 2023). Bu yem katkılarından birisi taurin aminoasiti olup; sıcaklık stresindeki etlik piliçlerin yemlerine taurin katkısının büyüme performansını artırdığı tespit edilmiştir (Hafeez ve ark., 2021).

Yüksek çevre sıcaklığının olumsuz etkisini azaltmak için;

1. Yem kısıtlaması yapılmalı
2. Çift besleme rejimi yapılmalı
3. Islak yemleme yapılmalı
4. Yeme yağ ilave edilmeli
5. Yeme vitamin, mineral, elektrolit katkısı yapılmalıdır.

Kim ve ark., (2021), stres altındaki yumurtacı tavuklarda relatif nemin etkisinin olduğunu bildirmiştir.

Nane, çemen otu ve karışımlarının sıcaklık stresi altındaki etlik piliçlerin biyokimyasal durumuna etkisini araştıran Abbass ve Avi (2023), aspartat transaminaz, alanin transaminaz ve alkalik fosfataz düzeylerinde önemli derecede azalma olduğunu saptarken; Akhter ve Avi (2023), stres koşulları altında, yemlere betain katkısının zooteknik parametreler üzerinde olumsuz bir etki yapmadığını bildirmişlerdir.

Al-Ramamneh (2018), soğan katkısının, tavuk performansını iyileştirip kolesterolü düşürdüğünü, soğan tüketiminin, piliçlerin ısı toleransını artırdığını, toz veya sıvı olarak soğan ilavesinin ısı stresinin olumsuz etkisini azalttığını veya tedavi edilen civcivlerin yemden yararlanma oranını, ağırlık artışını ve yemleme etkinliğini iyileştirdiğini bildirmiştir.

Al-Ramamneh(2023), sıcaklık stresli etlik piliçlerin içme suyuna sulu nane ve limon katılmasının etkisini araştırdığı çalışmada, nane ve limonun, yüksek çevre sıcaklıklarının tavuklar üzerindeki etkisini etkili bir şekilde azaltabildiğini, kümes hayvanlarının suyuna nane ve limon katmanın vücut ağırlığını artırabildiğini ve karkas yağlanmasını azaltabildiğini saptamıştır.

An ve ark., (2023), büyüme performansı, besinlerin sindirilebilirliği, bakteri sayısı ve et özellikleri sonuçlarına göre, zeolitin broyler rasyonuna eklenmesinin olumsuz özellikleri hafifletebildiğini açıklamıştır.

Gençoğlan (2023), yüksek çevre sıcaklığındaki yumurtacı tavuklarda sıcaklık stresinin üretkenlik ve verim üzerine etkileri araştırdıkları çalışmalarında, erkeklerde canlı sperm sayısı ile hareketinin azalarak kısırlık oluştuğunu, sıcak çarpması ve kramp sonucu ölümlerin de meydana geldiğini açıklamıştır.

### **Sonuç**

Kanatlılar, sıcak hava koşulları altında sıcaklık stresi yaşayarak enerji, protein, vitamin ve mineral gereksinimlerinde değişiklikler yaşayabilirler. Kanatlıların sıcaklık stresine bağlı beslenme uygulamaları, enerji, protein, vitamin ve mineral açısından dengeli bir rasyonun hazırlanmasını gerektirir. Yüksek enerjili yemler, protein düzeyi yüksek ancak su içeriği düşük yemler, vitamin ve mineral takviyeleri, elektrolit takviyeleri, magnezyum, çinko ve selenyum mineralleri, sıcaklık stresi altındaki kanatlıların beslenme ihtiyaçlarını karşılamak için kullanılabilir. Bu derlemede kanatlılarda sıcaklık stresine karşı güncel besleme uygulamaları ortaya konmuştur.



## KAYNAKLAR

Abbass, G., & Abid, A. R. (2023). Influence of Peppermint, Fenugreek and Their Mixture on Biochemical Status of Heat Stressed Broiler Chickens. *Journal of Survey in Fisheries Sciences*, 10(3S), 2717-2736.

Abdulkarimi R, Daneshyar M. 2012. The effects of thyme (*Thymus vulgaris*) extract supplementation in drinking water on iron metabolism in broiler chickens. *J Med Plant Res*. 6(5),645-650. DOI: 10.5897/JMPR11.090.

Açıkgöz Z., Özkan K. 2001. Sıcak iklim koşullarında yumurta tavuklarının enerji ve protein gereksinimleri. *Hayvansal Üretim*, 42(2): 9-14.

Adanır S. 2019. Sıcaklık stresine maruz kalan Japon bıldırcınlarında probiyotik kullanımının büyüme gelişme ve bazı kan parametrelerine olan etkisi. Yüksek Lisans Tezi, BÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Bingöl.

Ahmad, R., Yu, Y. H., Hsiao, F. S. H., Su, C. H., Liu, H. C., Tobin, I., ... & Cheng, Y. H. (2022). Influence of heat stress on poultry growth performance, intestinal inflammation, and immune function and potential mitigation by probiotics. *Animals*, 12(17), 2297.

Akansu Ö. Sarıca Ş. 2011. Kanatlı Beslemede Sıcaklık Stresi ve Olumsuzluklarının Azaltılmasına Yönelik Besleme Uygulamaları. VII. ULUSAL ZOOTEKNİ ÖĞRENCİ KONGRESİ, 42. Aydın.

Akhter M., Avi R., 2023. Effects of dietary betaine supplementation on growth performance of broilers during heat stress. *International Journal of Life Sciences Research*, 11(1): 1-5.

Al-Marzooqi W, Leeson S. 1999. Evaluation of dietary supplements of lipase, detergent, and crude porcine pancreas on fat utilization by young broiler chicks. *Poult Sci*. 78(11), 1561-1566. DOI:10.1093/ps/78.11.1561.

Al-Ramamneh, D. (2018). Reduce heat stress in broiler by adding onion. *Russian Agricultural Sciences*, 44, 92-96.

Al-Ramamneh, Diya (2023) *The Effect of Adding Aqueous Mint and Lemon to Heat-Stress Broiler's Drinking Water*. *Asian Journal of Research in Animal and Veterinary Sciences*, 11 (1). pp. 1-8.

Altan Ö, Altan A, Özkan S. 1995. Tavukçulukta Yüksek Yaz Sıcaklığının Etkileri ve Korunma Yolları. *Hasad*, Temmuz, 44-48.

An, J., Lee, J., Song, M., Oh, H., Kim, Y., Chang, S., ... & Cho, J. (2023). Effects of supplemental different clay minerals in broiler chickens under cyclic heat stress. *Journal of Animal Science and Technology*, 65(1), 113-131.

Arslan A. 2012. Yoğun Yerleşim Sıklığında Beslenen Bıldırcınlarda Farklı Propolis Düzeylerinin Performans Karkas Yağ Asitleri ve Bazı Biyokimyasal Parametreler Üzerine Etkisi. Doktora Tezi, FÜ Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

Association of Official Agricultural Chemists (AOAC). 2005. Official Methods of Analysis of AOAC International. 18th ed. Rockville, MD, USA.

Barnett J, Hemsworth P. 2003. Science and its application in assessing the welfare of laying hens in the egg industry. *Australian Veterinary Journal*, 81:615-624.

Bozkurt M, Ayhan V, Kırkpınar F. 2000. Besin madde yoğunluğu ve yem formunun yüksek yaz sıcaklarında yumurta tavuğu performansı üzerine etkisi. *International Animal Nutrition, Congress*, 4-6 September, Isparta- TURKEY, 196-202.

Cifteci M, Şimşek ÜG, Azman MA, Çerçi IH, Tonbak F. 2013. The effects of dietary rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) oil supplementation on performance, carcass traits and some blood parameters of Japanese quail under heat stressed condition. *Kafkas Univ Vet Fak Derg*, 19(4): 595-599.

Daghir NJ. 1995. Replacement Pullet And Layer Feeding And Management In Hot Climates. Pages 219-253 in: *Poultry Production in Hot Climates*. Ed. By Daghir, N.J., CAB Int., Wallingford Oxon, Uk.



Devegowda G. 1992. Feeding and feed formulation in hot climates for layers. XIX World Poultry Congress. Vol. 2: 77-80, 20-24 September, Amsterdam, The Netherlands.

Etches R, John JM, Gibbins AMV. 1995. Behavioural, physiological, neuro endocrine and molecular responses to heat stress. In: Dagher, N.J. (Ed.), Poultry production in hot climates. CAB International, Wallingford, 31-65.

Etches RJ, John TM, Gibbins AV. 2008. Behavioural, physiological, neuroendocrine and molecular responses to heat stress. Poultry Production in Hot Climates, Second edition. Ed. NJ Dagher. pp.31-66.

Franco-Jimenez DJ, Beck MM. 2007. Physiological changes to transient exposure to heat stress observed in laying hens. Poult Sci 86: 538-544.

Freeman BM. 1987. The stress syndrome. World's Poultry Sci., 43:15-19.

Gençoğlan, S. (2023). The Effects of Heat Stress on Yield and Fertility of Laying Hens and Precautions to be Taken. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 11(1), 140–150.

Hafeez A, Akram W, Asad Sultan, Konca Y, Ayasan T, Shabana Naz, Walikhan Shahzada & Rifat Ullah Khan., 2021. Effect of dietary inclusion of taurine on performance, carcass characteristics and muscle micro-measurements in broilers under cyclic heat stress, *Italian Journal of Animal Science*, 20:1, 872-877.

Hasan MN, Chand N, Naz S, Khan RU, Ayasan T, Laudadio V, Tufarelli V., 2022. Mitigating heat stress in broilers by dietary dried tamarind (*Tamarindus indica* L.) pulp: Effect on growth and blood traits, oxidative status and immune response. *Livestock Science*, 264(2022): 105075.

Kang S, Da-Hye Kim, Lee S, Lee T, Kyung-Woo Lee, Hong-Hee Chang, Moon B, Ayasan T, Choi, Yh., 2020. An acute, rather than progressive, increase in temperature-humidity index has severe effects on mortality in laying hens. *Frontiers. SCI*, published: 05 November 2020; doi: 10.3389/fvets.2020.568093

Kim, D. H., Lee, Y. K., Lee, S. D., & Lee, K. W. (2022). Impact of relative humidity on the laying performance, egg quality, and physiological stress responses of laying hens exposed to high ambient temperature. *Journal of Thermal Biology*, 103, 103167.

Korver, D., & Klasing, K. 2003. Influence of nutrition on immune status of the bird. In Proceedings of the 24th technical turkey conference (p. 43).

Lin H, Jiao H, Buyse J, Decuyper E. 2006. Strategies for preventing heat stress in poultry. *World's Poultry Science Journal* 62(1):71-86.

Minka NS, Ayo JO. 2011. Modulating role of vitamins C and E against transport induced stress in pullets during the hot-dry conditions. *International Scholarly Research Network ISRN Veterinary Science* Volume 2011, Article ID 497138, 7 pages.

Muğlalı ÖH. 2000. Isı stresi ve üretim. *Çiftlik Dergisi*, 201: 34-36.

Osti R, Bhattarai D, Zhou D. 2017. Climatic Variation: Effects on Stress Levels, Feed Intake, and Bodyweight of Broilers. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 19(3): 489-496.

Önol AG, Daşkiran M, Cengiz Ö, Nazlıgül A, Sarı M. 2012. Sıcaklık stresi altındaki erken yumurtlama döneminde olan tavukların rasyonlarına E vitamini ve lizin katkısının performans ve yumurta kabuk özellikleri üzerine etkisi. *Kafkas Univ Vet Fak Derg.*, 18(1): 49-54.

Özdemir E, Poyraz Ö. 1997. Kümeslerde izolasyon, *Lalahan Hay. Araşt. Enst. Derg.*, 37(2): 91-108.

Özkan K. 1992. Sıcak iklim koşullarında kanatlıların beslenmesi. *Tavukçulukta Verimlilik Sempozyumu*, 26-27 Ekim, 84-88.

Rebez, E. B., Sejian, V., Silpa, M. V., & Dunshea, F. R. (2023). Heat Stress and Histopathological Changes of Vital Organs: A Novel Approach to Assess Climate Resilience in Farm Animals. *Sustainability*, 15(2), 1242



- Saleh AA, Eltantawy MS, Gawish EM, Younis HH, Amber KA, El-Moneim A, Ebeid TA. 2020. Impact of dietary organic mineral supplementation on reproductive performance, egg quality characteristics, lipid oxidation, ovarian follicular development, and immune response in laying hens under high ambient temperature. *Biological trace element research*, 195(2): 506-514. doi: 10.1007/s12011-019-01861-w
- Sapolsky RM, Romero LM, Munck AU. 2000. How do glucocorticoids influence stress responses? Integrating permissive, suppressive, stimulatory, and preparative actions. *Endocr Rev.*, 21(1):55-89.
- Saracila M, Panaite T, Tabuc C, Soica C, Untea A, Ayasan T, Criste Rd., 2020. Dietary Ascorbic Acid And Chromium Supplementation For Broilers Reared Under Thermoneutral Conditions Vs. High Heat Stress. *Scientific Papers-Animal Science Series: Lucrări Științifice - Seria Zootehnie*, 73(1):41-47.
- Sarıca Ş., Polat İ., Ayasan T., 2019. Supplementation of Natural Antioxidants To Reduced Crude Protein Diets For Japanese Quails Exposed To Heat Stress. *Revista Brasileira De Ciência Avícola / Brazilian Journal Of Poultry Science*, 21(1):1-14,
- Seeman M. 1991. Is Vitamin C essential in poultry nutrition. *Misset World Poultry* 7(8):17-19.
- Shah M, Zaneb H, Masood S, Khan RU, Din S, Shakirullah S, Khan I, Tariq A, Rehman HU. 2019. Ameliorative effect of zinc and multistrain probiotic on muscle and bone characteristics in broiler reared under cyclic heat stress. *Pak J Zool.* 51(3):1041–1046
- Sharifi MR, Hassanpour H, Khajali F. Dietary L-carnitine supplement counteracts pulmonary hypertensive response in broiler chickens fed reduced-protein diets and subjected to cool condition and hypobaric hypoxia. *Journal Poultry Science* 2015a;52:206-212.
- Song J, Xiao K, Ke YL, Jiao LF, Hu CH, Diao QY, & Zou XT. 2014. Effect of a probiotic mixture on intestinal microflora, morphology, and barrier integrity of broilers subjected to heat stress. *Poultry science*, 93(3): 581-588. doi: 10.3382/ps.2013-03455
- Suchy P, Straková E, Herzig I. 2014. Selenium in poultry nutrition: a review. *Czech J Anim Sci* 59(11):495-503.
- Şahin N, Önderci M, Şahin K. 2002. Effects of dietary chromium and zinc on egg production, egg quality, and some blood metabolites of laying hens reared under low ambient temperature. *Biological Trace Element Research*, 85: 47-58.
- Taşkın A, Şahin A, Camcı Ö, Erener G. 2015. Kanatlılarda anti-stres uygulamalarında yeni yaklaşımlar. *Türk Tarım-Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 3(7): 571-576.
- Thunes C. 2017. Nutrition and immunity in the equine. *innovative veterinary Care*, <https://ivcjournal.com/nutrition-immunity-equine/>
- Uttarac B, Singh AA, Zamboni P, Mahajan RT, 2009. *Oxidative Stress and Neurodegenerative Diseases: A Review of Upstream and Downstream Antioxidant Therapeutic Options*. Bentham Science Publishers Ltd. Current Neuropharmacology, USA.
- Wasti, S., Sah, N., & Mishra, B. (2020). Impact of heat stress on poultry health and performances, and potential mitigation strategies. *Animals*, 10(8), 1266.
- Wolowczuk I, Verwaerde C, Viltart O, Delanoye A, Delacre M, Pot B, et al. 2008. Feeding Our Immune System: Impact on Metabolism. *Clin Dev Immunol*, Article ID 639803: 1-20.
- Zhang ZY, Jia GQ, Zuo JJ, Zhang Y, Lei J, Ren L, Feng DY. 2012. Effects of constant and cyclic heat stress on muscle metabolism and meat quality of broiler breast fillet and thigh meat. *Poultry science*, 91(11): 2931-2937. doi: 0.3382/ps.2012-02255



## DEĞER AKIŞ HARİTALAMA İLE İŞ MAKİNELERİ PARÇA ÜRETİMİNDE YALIN ÜRETİM UYGULAMASI

### LEAN PRODUCTION IMPLEMENTATION IN THE PRODUCTION OF CONSTRUCTION MACHINERY PARTS THROUGH VALUE STREAM MAPPING

*Erkan Sami KÖKTEN*

*Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği, Karabük, Türkiye*

*Beyza KOÇ*

*Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği, Karabük, Türkiye*

#### ÖZET

Üretim yapan işletmeler, faaliyetlerini daha verimli hale getirerek ve sınırlı kaynaklarını en uygun şekilde kullanarak maksimum fayda sağlamayı hedeflerler. Yalın üretim tekniği, işletmelerin israfını minimize ederek finansal açıdan ekonomik ve kalite standartlarına uygun ürünler elde etmelerini sağlar. Yalın üretimde başarı için öncelikle israfın tam olarak anlaşılması gerekmektedir. Yalın üretim yöntemlerinden biri olan değer akış haritalama, müşteri talebinden, hammadde tedarigi ve ürün teslimine kadar olan süreçte malzeme ve bilgi akışını aynı anda görsel olarak sunmaktadır. Değer akış haritaları hammaddenin tedariginden çıktısına kadar geçen süreç boyunca bir mamul üzerinde değer katan ve katmayan tüm sürecin tamamını oluşturmaktadır. Değer akış haritalama tek bir ürüne yönelik olarak yapılmaktadır ve öncelikle ürün ailesinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, ürün ailesi olarak iş makineleri parçaları üreten bir firmanın yakıt ve hidrolik depoları üretim süreci seçilmiştir. İlgili süreçte sırasıyla lazer kesim, büküm, kaynaklı imalat, temizlik, sızdırmazlık testi, kalite kontrol, boya, iç temizlik ve paketleme işlemleri uygulanmaktadır. Her bir sürece ilişkin işlem süreleri, hazırlık zamanı, çalışma süresi, takt zamanı, işçi ve makine sayısı, envanter, sevkiyat ve tedarik bilgileri belirlenerek mevcut durum değer akış haritası hazırlanmıştır. Mevcut durum analizi sonucunda lazer kesimi ve büküm işlemi tamamlanan parçaların ara stok bekleme alanında karmaşıklığa neden olduğu ve parça takibini güçleştirdiği belirlenmiştir. Sorgulama neticesinde süreç genelinde parça takibinin düzenli bir şekilde yapılamadığı ve bunun üretimde zaman, işçilik ve malzeme gibi kayıplara ve kalite problemlerine neden olduğu gözlemlenmiştir. Süreçte 5S ve Kaizen gibi yalın üretim araçlarının kullanımının kayıpları kayda değer oranda azaltacağı sonucuna ulaşılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Yalın Üretim, Değer Akış Haritalama, İsrar, 5S, Kaizen, Metal Sanayi.

#### ABSTRACT

Manufacturing companies aim to achieve maximum benefit through more efficient operations and optimal utilization of limited resources. Lean production enables companies to minimize waste and obtain economically viable products that meet quality standards. In lean production, it is essential to define waste to achieve success. Value stream mapping, one of the lean production methods, visually presents the flow of materials and information from customer demand to raw material supply and product delivery. Value stream maps encompass the entire process, including value-adding and non-value-adding activities, from raw material supply to product delivery. Value stream mapping is conducted for a specific product family, and it requires initial identification of the product family. In this study, the production process of fuel and hydraulic tanks of a company that produces machine parts was chosen as the product family. The relevant process involves laser cutting, bending, welding, cleaning, leak testing, quality control, painting, internal cleaning, and packaging operations. By determining the processing time, setup time, cycle time, number of workers and machines, inventory, shipment, and supply information for each operation, the current state value stream map was prepared. Based on the current state analysis, it has been determined that the stock area is complex after the laser cutting and bending operations, which makes part tracking challenging. The analysis also revealed that



part tracking was not being conducted consistently throughout the process, resulting in losses of time, labor, materials, and quality issues. The utilization of lean production tools such as 5S and Kaizen in the process was found to reduce these losses significantly.

**Keywords:** Lean Production, Value Stream Mapping, Waste, 5S, Kaizen, Metal Industry.

## GİRİŞ

Firmalar artan rekabet ortamında, varlıklarını koruyabilmek adına iyileştirme çalışmalarına yönelmektedirler. Üretimde bulunan işletmelerde maliyetleri azaltmak, işlem süreçlerini iyileştirmek ve müşterilerin isteklerine en iyi şekilde cevap verebilmek amacıyla sürekli iyileştirme çalışmaları gerçekleştirilmektedir. Yalın üretim anlayışı israflarını azaltarak iyileşme hedefleyen işletmeler için önemli bir yere sahiptir. Yalın üretim stokların azaltılması, çevrim zamanının kısaltılması, dar boğazların ortadan kaldırılması ve israfın yok edilmesi gibi birçok iyileştirmeyi bünyesinde barındırmaktadır. Yalın üretim sisteminde bulunan uygulamalar işletmelerde müşterinin gözünde üretilen ürüne değer katmayan faaliyetlerin kaldırılmasına yöneliktir. Yalın üretim sistemleri israf ve ürüne değer katmayan faaliyetleri tespit ederek iş prosesinden çıkarılmasında rol oynamaktadır. Bu uygulamayla müşteri memnuniyeti sağlanırken finansal açıdan maliyetlerde tasarruf sağlamak mümkün hale gelmektedir.

Değer akışı işletmede yaşanan kayıpları belirlemek ve analiz edebilmek için kullanılan bir yalın üretim tekniğidir. Değer akış haritalarıyla üretimin hangi safhasında ve hangi faaliyetlerin değer oluşturup oluşturmadığı görünür hale gelmektedir. Bulut ve Altunay (2016) mobilya sektöründe değer akış haritalama çalışması gerçekleştirmişlerdir. Mevcut durum haritası incelenmesi sonucu firmada delme ve işleme hatlarında bazı gereksiz faaliyetler tespit edilmiştir ve israfa sebep olması nedeni ile değer katmayan süreçlerde iyileştirme çalışmaları yapılması öngörülmüştür. Sevgili ve Antmen (2019) paletli iş makineleri parçası üreten bir firmada değer akış haritalama çalışması gerçekleştirmişlerdir. Mevcut durum haritası incelendiğinde stok fazlalığı nedeniyle üretim akış zamanlarının uzun olduğu gözlemlenmiştir. Ahmetoğlu (2007) tarım makineleri üretimi yapan bir fabrikada kanban sistemi oluşturma ve değer akış haritalama konulu çalışmasında traktörlerin önemli parçalarından olan kaput üretimi sürecini incelemiştir. Milk Run taşıma sistemi uygulaması, 5S ve SMED yöntemleri kullanılarak çevrim süresinde iyileşmeler sağlanacağı öngörülmüştür. Bu çalışmada metal sektöründe bir ürün ailesi seçilerek kapıdan kapıya yöntemi ile malzeme tedarikinden başlayarak müşteriye siparişin sevk edilmesine kadar geçen sürecin değer akış haritalama yöntemi ile görselleştirilmesi amaçlanmıştır. Bu çalışma boyunca süreçteki israf ve gereksiz faaliyetler belirlenerek iyileştirme çalışmaları planlanmıştır.

## METODOLOJİ

Değer akış haritaları hammaddenin tedarikinden çıkışına kadar geçen süreç boyunca bir mamul üzerinde değer katan ve katmayan tüm sürecin tamamını oluşturmaktadır. Değer akış haritaları sadece süreç adımlarının optimizasyonundan çok bütünün gösterilmesidir. Bütün müşteriden başlar, pazarlama, satış, tasarım, planlama gibi destek süreçlerini de içerir. Değer akış haritalama iş akışı, ürün dönüşümü ve bilgi akışı gibi hareketlerin neler olduğunu gösteren basit görsel bir tekniktir (Kahrıman, 2013). Yalın üretimin en önemli yöntemlerinden birisi olan değer akış haritalaması bir süreçteki müşteri talebinden başlayarak, hammadde tedarikinden teslimine kadar geçen sürecin malzeme ve bilgi akışının aynı anda görsel olarak gösterilmesini sağlamaktadır. Ürün ailesi seçilerek mevcut durum haritalandırma, gelecek durum haritalandırma, değer akış planı oluşturma ve planı uygulama aşamalarından oluşmaktadır. Mevcut durum haritasının çizilmesinin ardından süreç analiz edilerek gelecek durum haritasına yönelik çalışmalar öngörülmür. Bu bağlamda iyileştirme çalışmaları planlanmaktadır (Ergüneş, 2014). Değer akış haritalama ürün ailesi seçimi, mevcut durum haritası çizilmesi, gelecek durum haritası çizilmesi, iş planı oluşturma ve planın uygulanması gibi aşamaları takip etmektedir (Döğer, 2016).

Değer akış haritalama uygulaması, iş makineleri parçaları üretimi yapan ve metal imalatı sektöründe faaliyet gösteren bir firmada gerçekleştirilmiştir. Firmada 2 adet CNC lazer kesim tezgâhı, 4 adet pres, 2 adet kaynak robotu ve 26 adet kaynak makinesi bulunmaktadır. Hammadde halindeki metal levhanın yükleme vinci ile kesim tezgahına yerleştirilmesi ile süreç başlamaktadır. Firma 15 mm'ye kadar siyah



sacı bükebilme kapasitesine sahiptir. Firma bünyesinde 2 adet tozlu boya ve yaş boya tesisi yer almaktadır.

## UYGULAMA

Firmada siparişe dayalı üretim yapılmaktadır ve ürün çeşitliliği oldukça fazladır. Firmanın yurt içi ve yurt dışı müşterileri mevcuttur. Müşteriden gelen talepler doğrultusunda üretim yapılmaktadır. Değer akış haritalama süreci bir ürün ailesinin belirlenmesi ile başlamaktadır. Bir ürün ailesinin seçilmesi sürecin daha net görülmesine yardımcı olmaktadır ve tek bir ürün ailesine odaklanılmasını sağlamaktadır. Ürün ailesi seçilirken dikkat edilmesi gereken noktalar aynı işlemlerden geçen benzer ürünlerin seçilmesidir. Ürün ailesi adı altında yapılacak olan çalışmada o ürün ailesine yönelik tüm prosesler yer almaktadır. Bu uygulama çalışmasında ürün ailesi olarak çeşitli boyut ve şekillerde olabilen yakıt ve hidrolik depoları seçilmiştir. Tablo 1’de sürece ait bilgiler yer almaktadır.

**Tablo 1.** Sürece Ait Bilgiler

Günlük Vardiya	1 Vardiya
Saat/Vardiya	10 Saat
Öğle Arası	1 Saat
Net Çalışılabilir Zaman	540 dk
Günlük Kullanılabilir Süre	32400 sn
Günlük Müşteri Talebi	8 Takım
Takt zamanı (540dk/8 takım)	67,5 dk

Tablo 2’de mevcut durum üretim akış süresi ve Tablo 3’te mevcut durum işlem süresi verilmiştir.

**Tablo 2.** Mevcut Durum Üretim Akış Süresi

İşlem	Akış Süresi
Kesilmiş Ürün	5 Gün
Bükülmüş Ürün	3 Gün
Birleştirilmiş Ürün	2,3 Gün
Boyanmış Ürün	1 Gün
<b>Toplam</b>	<b>11,3 Gün</b>







## Mevcut Durum Analizi

Günlük çalışılabilir zamanın talebe bölünmesi ile takt zamanı 67,5 dk olarak belirlenmiştir. Firmaya müşteri siparişleri 6 aylık süreler ile gelmektedir. Üretim planlama departmanı siparişleri haftalık olarak planlamaktadır. Bu haftalık planları üretime manuel şekilde verilmektedir. Satın alma, siparişleri tedarikçi firmanın verdiği termin sürelerine göre planlanmaktadır. Firmanın anlaşmalı olduğu tedarikçi firmalar bulunmaktadır. Satın alma siparişleri haftada 2 kez gelmektedir. Satın alma personeli ile depo görevlisi iletişim halinde çalışmaktadır. Böylelikle depoda bulunan parçalar emniyet stoğunun altına düşmedikçe sipariş açılmamaktadır.

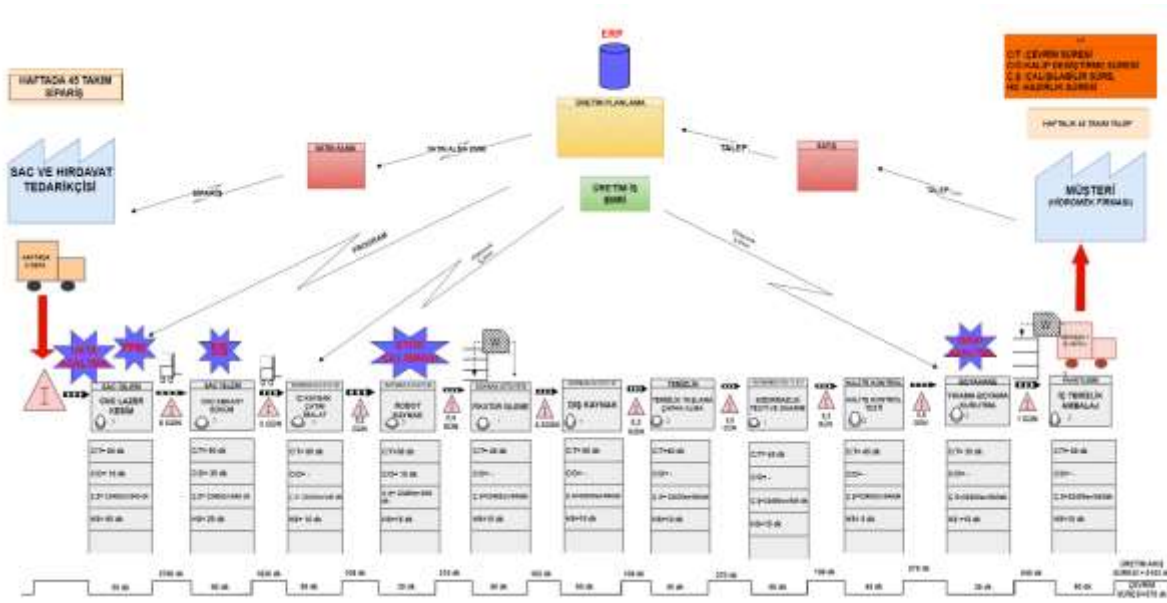
Lazer kesim operasyonunda kesim planları haftalık planlar şeklinde iletilmektedir. Bu işlemlerin manuel olarak yapılması zaman kayıplarına ve izlenebilirliğin olumsuz etkilenmesine neden olmaktadır. Personel bilgisayar programları yardımıyla parça yerleştirme işlemlerini en az fire ile ayarlamaktadır. Sonrasında lazer kesim operatörüne iletilir ve makine ayarlarının yapılması ile kesim işlemi başlamaktadır. Kesilen parçalar büyüklüklerine göre ayrılır ve kalınlık ve hafta numaraları belli olacak şekilde raflara dizilir. Lazer işleminde bazı parçalarda çapaklar olduğu gözlemlenmiştir. Bu çapakların makine arızası ve düzenli bakımların yapılmaması nedeniyle olduğu gözlemlenmiştir. Hammadde sacların lazer kesimden önce stoklandığı alanın kullanışsız olması, sacların kalınlıklarına göre ayrılması gerektiği halde üst üste istiflendiği, bu istifleme işlemi yapılırken aralara ahşap parçaları yerleştirildiği fakat forklift ile parçalar bu alandan çekilirken sıkıntılar yaşandığı ve zaman kayıplarının olduğu gözlemlenmiştir. Bir sonraki aşama olan büküm işlemi için parçalar üretim emrine göre çekilmektedir. Büküm işleminde makinelerde kalıp değişimi yapılmaktadır. Bu süreçte kalıpların az olması nedeni ile işçiler arasında birbirlerinin işlerinin bitmesini bekledikleri görülmüştür. 4 adet abkant büküm tezgâhı bulunmaktadır. Bu tezgahların her birinde bir operatör çalışmaktadır. Kalıp değişimi için kullanılan kalıpların eksikliği nedeni ile beklemeler olduğu görülmüştür. Ayrıca kalıpların tam olarak bilinmemesi ve benzerliği nedeni ile karışıklık yaşandığı sonucuna varılmıştır. Lazer kesim sonrasında büküm atölyesi personelleri tarafından parçalar bükülmek üzere çekilmektedir. İstenilen ölçülere göre kalıplar hazırlanmaktadır. Burada parçaların eksik çekilmesi ya da eksik kesilmesi sonucunda büküm işlemi bitmesi ve başka kalıbın takılması işlemi gerçekleştirilmektedir. Fakat bu işlemler sonrasında eksik parçalar olduğu fark edilmesi ancak kalıpların tekrar sökölüp yeni kalıpların takılması sonucunda geriye dönülmemesi ile parçaların beklediği ayrıca işçiye yönelik gereksiz hareket ve zaman kaybı olduğu gözlemlenmiştir. Robot kaynak atölyesinde metot etüdü çalışması yapılmıştır. Bu çalışma sonucunda robot kaynak atölyesinde işçinin bekleme süresinin değerlendirilebileceği öngörülmüştür. Robot kaynak prosesinden sonra fiktür işlem sürecinde tankların üzerine aksesuar çatımları yapılmaktadır. Bu işlemde kullanılan aksesuar ürünleri dışarıdan satın alınarak tedarik edilmektedir. Bu nedenle depoda stoklanmaktadır. Malzeme bitmesi sonucunda işçinin parça eksikliği nedeni ile beklediği görülmüştür.

Boyahane atölyesinde yıkama, kurutma ve boyama işlemleri gerçekleştirilmektedir. Boyahane atölyesinde kullanılan boya, hava ve gazları daha verimli hale getirmek amacıyla makine yatırımı yapılabileceği öngörülmüştür. Boyahane işlemleri tamamlanan ürünler son kontrol ve iç temizlik aşamalarından geçmektedirler. Tüm işlemleri tamamlanan ürünler müşteri firmaya gönderilmektedir.

## Gelecek Durum Tasarımı

Firma için takt zamanı 67,5 dk olarak hesaplanmıştır. Yani müşteri her 67,5 dakikada bir hidrolik ve yakıt tankı kompleksi talep etmektedir. Firmaya üretimde ve üretim öncesi süreçlerde izlenebilirliği sağlamak adına ERP sistemine geçmesi önerilmiştir. Üretime tabletler dağıtılarak parçanın işlenmesi ile birim sürelerin analizi sağlanabilecektir. Ayrıca duruş nedenleri tabletlere aktarılabilir. Üretimde ERP sistemine geçilmesi ve tablet kullanımı parça takibini daha kolay hale getirmektedir. Lazer kesim prosesinde uygulanan toplam verimli bakım faaliyetleri kullanılan ekipman ve malzemelerin periyodik bakımlarının yapılarak ekipman arızasından kaynaklanan hataların ve duruşların azalmasını sağlayacaktır. Büküm atölyesinde kalıpların düzenlenmesine yönelik 5S çalışması ile kalıpların belirlenerek karmaşıklığın önüne geçilecektir. Robot kaynak atölyesinde metot etüdü çalışması yapılmıştır. Bu çalışma ile parçanın 44 dk da üretildiği, bu sürenin 30 dk'sında (%68,18) işçinin boş ve 4 dakikasında (%6,81) makinanın boş olduğu gözlemlenmiştir. Bu boş sürelerin hata tamiri, kaynak sonrası boru kesme ve robot kaynak izleme ile değerlendirilebileceği öngörülmüştür.

Robot kaynak işleminden sonra tekrar kaynak alanına getirilen parçaların aksesuar çatımı sırasında çoğunlukla satın alma ürünleri olan parçaların depodan getirilmesini talep ettiği ve bu süre boyunca bekleme olduğu gözlemlenmiştir. Fikstür kaynak alanına bir süpermarket oluşturularak haftalık ihtiyacının ilgili alana yerleştirilmesi ve ihtiyaç durumuna göre oradan çekilmesi gereksiz hareket ve beklemlerin önüne geçebilmektedir. Üretimi seviyelendirmek ve kontrol etmek amacı ile süpermarketlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sebeple boyahane ve temizlik prosesleri arasına süpermarket konumlandırılmasına karar verilmiştir. Bu bilgilere göre gelecek durum değer akış haritası Şekil 2'deki gibi oluşturulmuştur.



Şekil 2. Gelecek Durum Değer Akış Haritası Tasarımı

## TARTIŞMA ve SONUÇ

Yalın üretim araçlarından olan değer akış haritalaması ile bir süreç boyunca değer yaratmayan faaliyetler belirlenerek bunları iyileştirmeye yönelik neler yapılabileceği konusunda gerekli çalışmalar yapılabilmektedir. Bu çalışmada metal imalatında israf ve verimsizliklerin belirlenmesi ile gerçekleştirilebilecek bazı iyileştirme faaliyetleri yer almaktadır. Bu amaçla iş makineleri parçaları üreten bir firmada değer akış haritalama çalışması gerçekleştirilmiştir. Ürün ailesi seçilerek üretim hattı incelenmiştir. Mevcut durum haritası oluşturularak gözlemler yapılmış ve sahadan veriler toplanmıştır. Mevcut durum haritasında israf noktaları tespit edilmiştir. Mevcut durum haritasının çizilmesi ve israf noktalarının belirlenmesi ile iyileştirme çalışmaları gelecek durum haritası üzerinden tasarlanmıştır. Lazer kesim prosesinde toplam verimlilik yönetimi ve hata çalışmaları ile hatalı ürün kesimi ve çapak oluşması azaltılabilmektedir. Büküm atölyesinde 5S çalışması ile karmaşıklığın önüne geçilebilmektedir ve tesis içerisinde kullanılabilir alan bu sayede artırılabilir. Robot kaynak atölyesinde gerçekleştirilen etüt çalışması ile işçinin boş kalan zamanları değerlendirilerek işçi verimliliği artırılabilir. Süpermarket kurulumu ile gereksiz hareket ve beklemlerin önüne geçilebilmektedir. Boyahane atölyesinde gerçekleştirilecek makine yatırımı ile daha az hammadde kullanılarak daha fazla yüzey alanı boyanabilmektedir. Yalın üretim anlayışı işletmeler için israfların azaltılması ve değer katmayan faaliyetlerin ortadan kaldırılması yolunda yararlı araçlar sunmaktadır.

## KAYNAKLAR

- Ahmetoğlu, F. (2007). Değer akış haritalandırma ve geleneksel kanban sisteminin kurulması. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Bulut, K., & Altunay, H. (2016). Değer akışı haritalandırma yöntemi: mobilya sektöründe bir uygulama. Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi, 8(1), 48-55.



Döğer, M. (2016). Değer Akış Haritalama ve Bir Üretim İşletmesinde Uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir.

Ergüneş, E. (2014). Gemi inşaatında yalın üretim ve değer akış haritalaması. Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü.

Sevgili, A., & Antmen, Z. F. (2019). Yalın Üretim Tekniklerinden Değer Akış Haritalandırmanın Bir Metal İşleme Fabrikasında Süreç İyileştirme Amacıyla Uygulanması. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (16), 219-228.

Kahrıman, M. (2013). Otomotiv endüstrisinde simülasyon bütünlük değer akış haritalama uygulaması (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).



## SMED METODOLOJİSİ VE TAGUCHI DENEY TASARIMI: PLASTİK SEKTÖRÜNDE BİR UYGULAMA

### SMED METHODOLOGY AND TAGUCHI EXPERIMENTAL DESIGN: AN APPLICATION IN THE PLASTIC INDUSTRY

*Erkan Sami KÖKTEN*

*Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği, Karabük, Türkiye*

*Nida TOPUZ*

*Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği, Karabük, Türkiye*

*Zeyneb Beyza KILIÇ*

*Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği, Karabük, Türkiye*

#### ÖZET

Günümüzde işletmeler ağır rekabet şartlarında çalışmaktadır. Bu rekabet ortamı işletmelerin kendilerini geliştirmesini ve iyileştirmesini gerektirmektedir. Geçmişten günümüze işletmeler çeşitli yöntemler ile amaca yönelik iyileştirme çalışmalarını sürdürerek tercih edilir hâle gelmeye çalışmışlardır. Yalın üretim işletmelerin minimum kaynakla, kısa sürede, hatasız, kaliteli ve standart iş adımlarıyla en uygun üretime veya hizmete ulaşabilmeleri için yol göstericidir. Yalın üretim çeşitli alt disiplinlere sahiptir ve farklı yöntemlerle birlikte iyileştirme çalışmalarında kullanılabilir. Zaman kayıplarını azaltmak için kullanılan yöntemlerden birisi olan SMED (Single-Minute Exchange of Die) işletmeler tarafından artan bir ilgi görmektedir. SMED metodu tekli dakikalarda kalıp değişimi anlamına gelmektedir ve temel amacı, kurulum süresini 10 dakikadan daha az bir süreye indirmektir. Bu metod seri üretimde, daha az zaman kaybederek üretim hızını ve verimliliği arttırmada önem arz etmektedir. Süreçlerde oluşan zaman kayıpları birçok nedenden kaynaklanabilmektedir. Makine kalıp değişiminde kaybedilen süre bu konuda önemli bir yere sahiptir. Deney tasarım yöntemlerinden birisi olan Taguchi metodu ürün veya süreç kalitesini arttırmada etkili bir yöntemdir. Kalıp değişimini etkileyen faktörlerin istatistiksel olarak analiz edilmesinde Taguchi metoduna başvurulabilmektedir. Bu çalışmada plastik sektöründe yalın üretim araçlarından biri olan SMED metodu ele alınmıştır. Kalıp değişimini etkileyen faktörleri analiz etmek amacıyla SMED çalışması ile Taguchi metodundan yararlanılmıştır. Yapılan iyileştirmeler sonucunda 28 dakikalık bir kazanç elde edilmiştir. Yapılan bu çalışma SMED uygulamasında faktör etkilerinin dikkate alınmasının önemini vurgulamaktadır ve plastik sektörü için önemli bir örnek teşkil etmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** SMED, Taguchi Yöntemi, SMED-Taguchi, Plastik Sektörü.

#### ABSTRACT

In today's business environment, companies operate under intense competitive conditions. The competition requires the development and improvement of businesses. Until today, businesses have tried to sustain their existence by utilizing various methods and conducting improvement efforts. Lean production helps businesses achieve the most efficient production or service with minimum resources and correct, qualified, standardized work steps. Lean production has various sub-disciplines and can be used in improvement efforts. SMED (Single-Minute Exchange of Die), one of the methods used to reduce time losses, has been attracting increasing interest from businesses. The SMED method refers to the single-digit minute changeover of tools or dies, and its primary objective is to reduce setup time to less than 10 minutes. This method is essential for enhancing production speed and efficiency by reducing time losses in mass production. Many reasons can cause time losses in processes. The time lost during equipment changeovers is of significant importance. Taguchi method, one of the experimental design methods, is a practical approach to improving product or process quality. Taguchi method can be utilized



for statistically analyzing the factors influencing equipment changeovers. This study considers the SMED method, one of the lean production tools, in the plastic industry. The SMED method was used with the Taguchi method to analyze the factors affecting equipment changeovers. As a result of the improvements, a gain of 28 minutes has been achieved. This study highlights the importance of considering factor effects in SMED implementation and is an important example for the plastic industry.

**Keywords:** SMED, Taguchi Method, SMED-Taguchi, Plastic Industry.

## GİRİŞ

SMED (Single-Minute Exchange of Die) metodolojisi üretimde kullanılan makinelerin ayarlanması veya farklı bir üretim işlemine geçiş gibi nedenlerle meydana gelen duraklamaların yaşandığı kayıp zamanları en aza indirmeyi amaçlamaktadır. SMED, kalıbın hızlı bir şekilde değiştirilmesi için geliştirilmiş bir metodolojidir. Metodun temel amacı, kurulum süresini 10 dakika veya daha az bir süreye indirmektir (Tanık, 2010). Üretimde otomasyonun yoğun olduğu günümüz teknolojisinde kalıp değişimi önemli bir zaman kaybı olarak görülmektedir. Rekabet ortamında değer yaratmayan faaliyetlere ve bunları minimize etmeye odaklanmak işletmelere rakiplerine karşı avantaj sağlamaktadır (Savcı, 2019). SMED metodu işletmelere, maliyetlerini düşürme ve müşteri taleplerine daha hızlı yanıt verme fırsatlarını da sunmaktadır.

Taguchi deney tasarımı yöntemi, ürün veya süreç kalitesini iyileştirmek amacıyla daha az deney sayısı ile çözüme ulaşarak zamandan ve maliyetten tasarruf etmeyi sağlamaktadır (Kökten vd., 2016). Yöntem, bir ürün veya sürecin kalitesinin, tasarım parametrelerinin, ürün veya sürecin performansını etkileyen faktörlerin kontrol edilmesiyle iyileştirilebileceği fikrine dayanmaktadır. Ürün kalitesine etki eden faktörlerin belirlenmesi, bu faktörlerden en etkili olanın tespit edilmesi ve bu sayede kalitenin iyileştirilerek müşteri memnuniyetinin sağlanması istatistiksel deney tasarımı yöntemi ile sağlanabilmektedir (Önal, 2021). Bu çalışmada plastik sektöründe yalın üretim araçlarından biri olan SMED metodu ele alınmıştır. Kalıp değişimini etkileyen faktörleri analiz etmek amacı ile Taguchi deney tasarımı yönteminden yararlanılmıştır.

## UYGULAMA

### SMED Yöntemi

Bu çalışmada, yalın üretim araçlarından biri olan SMED metodu ele alınmıştır. Plastik sektörde faaliyet gösteren bir işletmede kalıp değişimini etkileyen faktörleri analiz etmek ve işlem süresini azaltmak amacıyla SMED ile Taguchi yönteminden birlikte yararlanılmıştır. Üretim genelinde mevcut durumun belirlenmesi amacıyla ilk olarak birimlerin OEE (Toplam Ekipman Etkinliği) değerlerine bakılmıştır. Buna göre enjeksiyon bölümünün belirlenen hedefin altında kaldığı gözlemlenmiştir. İnceleme sonucunda, enjeksiyon bölümündeki OEE değerinin düşük çıkmasının en önemli nedenlerinden birinin setup süreleri olduğu belirlenmiştir. Yapılan kalıp sıralaması sonucunda kalıplar kategorize edilmiştir. Kategorize edilen kalıpların, uygulanma gününe göre mevcut durum video kayıtları tutulmuştur. Mevcut durum video kayıtları detaylı bir şekilde incelenerek mevcut durum ortaya çıkarılmıştır. Kalıp değişim adımları;

1. Takılacak Kalıbın Raftan Alınması
2. Kalıbın Vinç ile Makine Yanına Getirilmesi
3. Kalıpcının Kendini Hazırlaması
4. Takım Arabasından Anahtarların Alınması
5. Kalıpcının Ekranı Girişini Yapması
6. Etraftaki Kasaların Toplanması
7. Mengenenin Açılması
8. Ekranı Tarafa Gidip Hortumların Çıkarılması
9. Takım Arabasından Sprey Alma



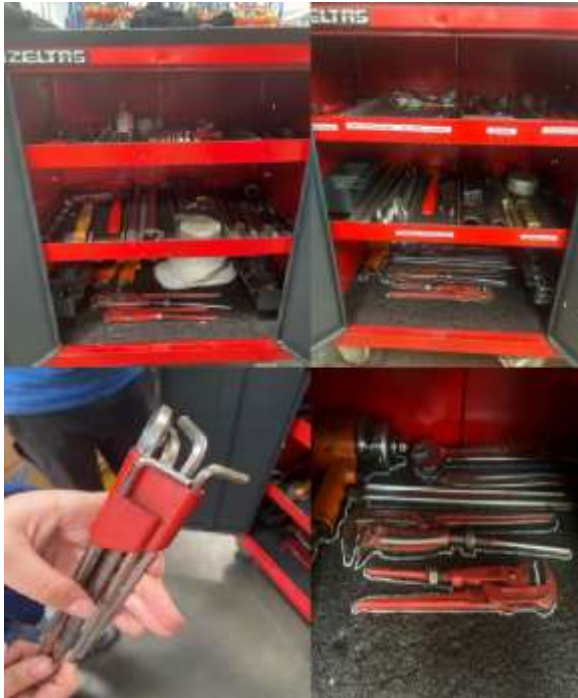
10. Ekranlı Taraftan Kalıba Sprey Sıkma
11. Mengenenin Kapatılması
12. Merdivenin Makine Önüne Konulması
13. Eski Kalıbın Vince Takılması
14. Merdivenin Yerine Konulması
15. Ekran Olan Tarafın Pabuçlarının Sökülmesi
16. Ekransız Tarafın Pabuçlarının Sökülmesi
17. Mengenenin Açılması
18. Kalıbın Makineden Çıkarılıp Yere Konması
19. Yeni Kalıbın Vince Takılması
20. Kalıbın Makineye Konulması
21. Mengenenin Kalıbı Sıkıştırması
22. Pabuçların Takılması
23. Ekransız Tarafın Pabuçlarının Çıkarılması
24. Kalıbın Vinçten Çıkarılması
25. Malzemelerin Takım Arabasına Konulması
26. Ekransız Tarafa Hortumların Takılması
27. Vanaların Açılması
28. Eski Kalıbın Formunun Kalıbın Üstüne Konulması
29. Kalıbın Kontrol Edilmesi
30. İticiyi Çıkartma
31. Malzemelerin Takım Arabasına Konulması
32. Başka Bir Kalıp Arabasından Eksik Parça Olan Alyan Anahtarı Alınması
33. Alyan Anahtarı ile İşlem Yapılması
34. Makine Ayarının Yapılması
35. Sepetin Konulması
36. Makineden Kaliteli Ürün Alınmasını Bekleme

### **Kaizen Çalışmaları**

Kalıp değişimi adımlarının iyileştirilmesinde kaizen çalışmaları ele alınmıştır. Tablo 1’de kalıp değişim adımları ve alınan aksiyonlar verilmiştir. Kalıp değişim sürelerinin uzamasına sebep olan olaylar incelendiğinde iticinin çıkarılması ilk sıralarda yer almaktadır. Bu durumun sebepleri araştırıldığında takım arabasında iticinin çıkarılması için gerekli anahtarın olmadığı tespit edilmiştir. Kaizen iyileştirmelerine kalıpcılara eğitim verilerek başlanmıştır. Kalıp değişim sırasında takım arabasından alınan anahtarlar eğitim sonrası takım arabasına dizilerek hazır hale gelmektedir. Takım arabalarının içerisindeki malzemeler karmaşık bir şekilde bulunmaktadır. Bu durum kalıpcının, kalıp değişimi yaparken zorlanmasına ve kalıp süresinin uzamasına sebep olmaktadır. İlk adımda; takım arabasında bulunan malzemeler 5S metoduna uygun olarak düzenlenmiştir (Şekil 1). Yapılan çalışmalar sonucunda kalıp değişiminden yaklaşık 28 dakika iyileşme sağlanmıştır.

**Tablo 1.** Kalıp değişim adımları ve alınan aksiyonlar

Adım	Gerekli Aksiyon
Kalıpçının Kendini Hazırlaması	Kalıp değişimine başlamadan önce hazırlanmalı
Takım Arabasından Anahtarların Alınması	Gerekli malzemeler kalıp değişimi sırasında takım arabasında hazır olmalı
Etraftaki Kasaların Toplanması	Kalıp değişimine başlamadan önce kalıp değişimini etkileyecek malzemeler toplanmalı
Takım Arabasından Sprey Alma	Gerekli malzemeler kalıp değişimi sırasında takım arabasında hazır olmalı
Malzemelerin Takım Arabasına Yerleştirilmesi	Kalıp değişim işleminden sonra malzemeler toplanarak takım arabasına yerleştirilmeli
Ekransız Tarafa Hortumların Takılması	İki tarafta da konnektör olmalı
İticiyi Çıkartma	İtici için çıkarılması için gerekli malzeme takım arabasında bulunmalı
Diğer Takım Arabasından Alyan Anahtarı Alınması	Kalıp değişimi için kullanılan gerekli malzemeler takım arabasında olmalı



**Şekil 1.** 5S uygulaması





## Taguchi Yöntemi ile Kalıp Değişimini Etkileyen Faktörlerin Analizi

Üretim sürecindeki makinelerin kalıp değişimleri sırasında oluşan kayıp zamanların azaltılması için SMED metodu kullanılmıştır. SMED metodunun ardından elde edilen veriler kullanılarak kalıp değişimini etkileyen faktörlerin analiz edilmesi ve uygun koşulların belirlenmesi amacı ile Taguchi deney tasarım yönteminden yararlanılmıştır. Taguchi deney tasarım yöntemi Minitab programı kullanılarak uygulanmıştır.

Kalıp değişimini etkileyen başlıca faktörler incelendiğinde konnektör sayısı, kalıp değişimini gerçekleştiren operatörün tecrübesi ve hortum renk sayısı olmak üzere 3 faktör belirlenmiştir. Operatörün iş tecrübesi hız ve beceri etkenlerinden dolayı kalıp değişim süresini etkileyebilmektedir. Kalıp değişim sırasında kullanılan hortum renk sayısı kalıp değişiminin uzamasına neden olabilmektedir. Tablo 2’de belirlenen faktörler ve seviyeleri verilmiştir.

**Tablo 2.** Faktörler ve seviyeleri

Faktörler	1. Seviye	2. Seviye
Konnektör sayısı	1 adet	2 adet
Operatör tecrübesi	1 yıl	5 yıl
Hortum renk sayısı	Tek renk	3 farklı renk

Belirlenen faktör ve seviyelerine göre L4 ortogonal dizininde denemeler gerçekleştirilerek sonuçları analiz edilmiştir. Deney sonuçları “en küçük en iyi” yaklaşımına bağlı olarak Tablo 3’te verilmiştir.

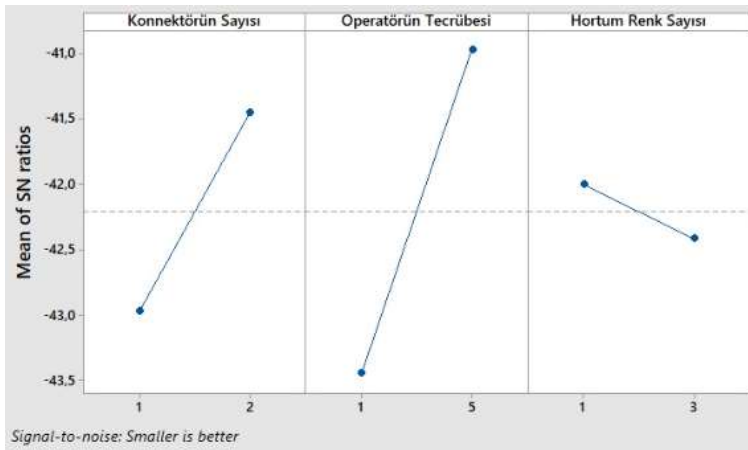
**Tablo 3.** Kalıp değişimi deney sonuçları

Deneme	Konnektör sayısı (adet)	Operatör tecrübesi (yıl)	Hortum renk sayısı	Gözlem 1 (dk)	Gözlem 2 (dk)
1	1	1	1	156	161
2	1	5	3	128	122
3	2	1	3	144	135
4	2	5	1	96	104

Tablo 4’te kalıp değişimine etki eden faktörlere ait S/N oranı yanıt tablosu, Şekil 2’de S/N oranı grafiği görülmektedir. Buna göre, konnektör sayısının 2 adet, operatör tecrübesinin 5 yıl ve hortum renginin tek renk olduğu denemede kalıp değişim süresinin daha kısa sürdüğü sonucuna ulaşılmıştır. Bu deneme L4 ortogonal dizinindeki ortalama gözlem değerinin 100 dk olarak belirlendiği 4 numaralı denemeyi ifade etmektedir. En etkili faktörlerin sırasıyla operatör tecrübesi, konnektör sayısı ve hortum renk sayısı olarak sıralandığı tespit edilmiştir.

**Tablo 4.** S/N oranı yanıt tablosu

Seviye	Konnektör sayısı	Operatör tecrübesi	Hortum renk sayısı
1	-42,97	-43,45	<b>-42,00</b>
2	<b>-41,45</b>	<b>-40,97</b>	-42,42
Delta	1,52	2,48	0,41
Sıra	2	1	3



**Şekil 1.** S/N Oranı Grafiği

Kalıp değişim süresini etkileyen faktörlerin etkisi %95 güven düzeyinde varyans analizinden yararlanılarak analiz edilmiştir (Tablo 5). Buna göre operatör tecrübesi ve konnektör sayısının kalıp değişim süresi üzerinde etkili olduğu, hortum renk sayısının ise istatistiksel olarak etkisinin bulunmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

**Tablo 5.** Varyans Analizi Sonuçları

Kaynak	df	SS	MS	F	P
Konnektör sayısı	1	968,00	968,00	37,59	0,004
Operatör tecrübesi	1	2664,50	2664,50	103,48	0,001
Hortum renk sayısı	1	18,00	18,00	0,70	0,450
Hata	4	103,00	25,75		
Toplam	7	3753,50			

R-Sq= 97,26%

R-Sq (Adj)= 95,20%



## TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu çalışmada, plastik sektöründe faaliyet gösteren bir işletmenin üretimde kullandığı makinelerin kalıp değişim süresini azaltmak ve kalıp değişim adımlarını iyileştirmek amacıyla SMED ve Taguchi yöntemlerinden yararlanılmıştır. Enjeksiyon bölümünün kalıp değişim sırasında oluşan kayıp zamanların azaltılması için SMED metodu kullanılmıştır. Elde edilen verilerden yararlanılarak kalıp değişimini etkileyen faktörlerin analiz edilmesi ve uygun koşulların belirlenmesi amacı ile Taguchi deney tasarım yönteminden yararlanılmıştır. SMED çalışmasında kalıp değişim sürelerinin uzamasına sebep olan olaylar incelenmiştir ve ortadan kaldırılması amaçlanmıştır. Yapılan SMED çalışması sonucunda kalıp değişiminde yaklaşık 28 dakika iyileşme sağlanmıştır. Kalıp değişimini etkileyen başlıca faktörler incelendiğinde konnektör sayısı, kalıp değişimini gerçekleştiren operatörün tecrübesi ve hortum renk sayısı olmak üzere 3 faktör belirlenmiştir. Buna göre, konnektör sayısının 2 adet, operatör tecrübesinin 5 yıl ve hortum renginin tek renk olduğu denemede kalıp değişim süresinin daha kısa sürdüğü sonucuna ulaşılmıştır. En etkili faktörlerin sırasıyla operatör tecrübesi, konnektör sayısı ve hortum renk sayısı olarak sıralandığı tespit edilmiştir. Varyans analizi sonuçlarına göre operatör tecrübesi ve konnektör sayısının kalıp değişim süresi üzerinde etkili olduğu, hortum renk sayısının ise istatistiksel olarak etkisinin bulunmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Bu çalışma kalıp değişiminde faktör etkilerinin dikkate alınmasının önemini vurgulamaktadır ve plastik sektörü için önemli bir örnek teşkil etmektedir.

## KAYNAKLAR

Kökten, E. S., Özbay, G., & Ozciftci, A. (2016). Endüstriyel Atıkların Pirolizinde Parametrelerin Taguchi Ortogonal Dizayını ile Optimizasyonu. In 4th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science (ISITES2016) 3-5 Nov 2016 Alanya/Antalya-Turkey.

Önal, Ş. (2021). Taguchi Metodu Kullanılarak Plastik Enjeksiyon Kalıplama Tekniğiyle Üretilen Parçadaki Çekme Probleminde Etkili Parametrelerin Optimizasyonu. *Researcher*, 1(01), 48-56.

Savcı, Mustafa. "Değer Yaratmayan Faaliyetlerin Azaltılmasında Kaizen Maliyetleme Sisteminin Etkisi." *Manas Sosyal Araştırmalar Dergisi* 8, no. 1 (2019): 308-325.

Tanık, M. (2010). Kalıp ayar sürelerinin SMED metodolojisi ile iyileştirilmesi: Bir yalın altı sigma uygulaması. *Muğla Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 25, 117-140.



## HİBRİT HÜCRELERE SAHİP KAFES YAPILARIN EKLEMELİ İMALAT İLE ÜRETİLEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

### INVESTIGATION OF ADDITIVE MANUFACTURING OF LATTICE STRUCTURES WITH HYBRID UNIT CELL

*Hüseyin KIRATLI*

*Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye*

*ORCID ID: 0000-0002-3591-9469*

*Doç. Dr. Elmas SALAMCI*

*Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye*

*ORCID ID: 0000-0003-2856-9402*

#### ÖZET

Eklemeli imalat 3 boyutlu (3B) modellerden nihai ürün elde edilmesinde kullanılan nispeten yeni bir teknoloji olarak karşımıza çıkmaktadır. Metal eklemeli imalat metodları bu tür karmaşık geometrilerden olan kafes yapıların üretimine de olanak sağlamaktadır. Bu yapılar dikmelerin veya plakaların biraraya gelmesiyle oluşan birim hücrelerin belli bir düzende bir araya gelmesiyle elde edilmektedir. Kafes yapılar morfolojisine göre dikme tabanlı ve yüzey tabanlı olarak ikiye ayrılmaktadır. Bu çalışma kapsamında dikme tabanlı olan hacim merkezli kübik (HMK), yüzey merkezli kübik (YMK) ve bu iki hücrenin birleşiminden meydana gelen hibrit hacim yüzey merkezli kübik (HYMK) birim hücre yapılarından meydana kafes yapılar kullanılmıştır. 3 farklı birim hücre ardından bu birim hücrelerin oluşturduğu kafes yapılar Solidworks yazılımı kullanılarak 3B olarak tasarlanmıştır. Tasarlanan modellerden elektron ışını ile ergitme yöntemiyle Ti6Al4V tozu kullanılarak numuneler üretilmiştir. Numunelerin üretim sonrası geometrilerinin tasarımı ile olan farklılıklarının ortaya konulması için Arşimet yöntemiyle numunelerin hacimsel boşluk oranları ölçülmüştür. Ayrıca tüm numuneler stereo mikroskopta incelenerek üretim sonrası kolonlardaki kalınlaşmalar ve ergimemiş tozların varlığı incelenmiştir. Arşimet yöntemiyle elde edilen sonuçlara göre tasarım ile üretim hacimsel boşluk oranlarındaki sapmanın en fazla HYMK hibrit birim hücre yapısında, sonrasında YMK ve en az ise HMK birim hücre yapısında meydana geldiği görülmüştür. Hücrelerin hacimsel doluluk oranı arttıkça tasarım ile üretim arasındaki hacimsel boşluk oranlarındaki sapmanın da arttığı görülmüştür. Stereo mikroskop incelemeleri sonucunda birim hücreleri oluşturan dikmelerde kalınlaşmalar olduğu ve numunelerin içerisinde sinterlenmiş fakat ergimemiş tozların mevcut olduğu görülmüştür. Bu durumun numunelerin üretim sonrası hacimsel boşluk oranının tasarıma oranla az olmasının temel sebepleri olduğu görülmüştür. Ayrıca numunelerdeki dikme sayısı arttıkça kolonlardaki kalınlaşma ve ergimemiş tozların varlığına bağlı olarak tasarım ile üretim sonrası hacimsel boşluk oranları arasındaki sapmanın daha da arttığı sonucuna varılmıştır. Bu çalışmanın, hibrit hücrelere sahip kafes yapıların tek tip hücre içeren kafes yapılara göre üretim sonrası geometrik davranış farklılıklarının inceleneceği çalışmalar için iyi bir kaynak oluşturacağı düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Eklemeli İmalat, Elektron Işını ile Ergitme, Kafes Yapı, Hibrit Birim Hücre, Ti6Al4V.

#### ABSTRACT

Additive manufacturing is a relatively new technology used to manufacture final products from 3 dimensional (3D) models. Metal additive manufacturing methods also allow the manufacturing of lattice structures from such complex geometries. Lattice structures are obtained by combining the unit cells, which are formed by the combination of struts or plates, in a certain pattern. These structures are divided into two as strut-based and surface-based according to their morphology. In the scope of this study,



lattice structures consisting of strut-based body-centered cubic (BCC), face-centered cubic (FCC) and hybrid body face-centered cubic (BFCC) unit cell structures formed by the combination of these two cells were used. 3 different type of unit cells and lattice structures were designed as 3D models using Solidworks software. The samples were manufactured by electron beam melting method using Ti6Al4V powder from designed models. In order to reveal the differences between the manufactured sample geometries and design, the porosity of the samples were measured by the Archimedes method. In addition, all samples were examined under a stereo microscope and the thickenings in the columns were examined after manufacturing. According to the results obtained by the Archimedes method, it was observed that the deviation in the design and manufacturing highest porosity occurred in the BFCC hybrid unit cell structure, followed by the FCC unit cell structure and the least in the BCC unit cell structure. It was observed that as the occupancy rate of the unit cells increased, the deviation in the porosity between design and production also increased. As a result of stereo microscope examinations, it was observed that thickenings occurred in the struts forming the unit cells. Also, it has been observed that this is the reason why the porosities of the samples after manufacturing is less than design. In addition, it was concluded that as the number of struts in the samples increased, the thickening in the struts further increased the deviation in the porosities between design and manufactured samples. This study will be a good source for studies that will examine the post-production geometric behaviour differences of lattice structures with hybrid unit cells compared to containing single-type cells.

**Keywords:** Additive Manufacturing, Electron Beam Melting, Lattice Structure, Hybrid Unit Cell, Ti6Al4V.

## 1. INTRODUCTION

Additive manufacturing is a production method in which a large number of final products are manufactured using less material and energy to achieve the desired mechanical properties. This method is preferred in the manufacturing of many geometries and structures that are limited in manufacturing with traditional manufacturing methods. Additive manufacturing is based on the principle of manufacturing of the designed 3D model by creating layer by layer. In addition, additive manufacturing allows the manufacturing of parts without the need for any molds and tools unlike traditional manufacturing methods. This new generation manufacturing technology is used in many sectors such as space, aviation, automotive and biomedical. Additive manufacturing technology, which allows complex geometries to be produced with good precision and significantly reduces material consumption, can be adapted to a large number of materials. The additive manufacturing method in which metal alloys such as aluminum, titanium, stainless steel and nickel alloys are used is defined as metal additive manufacturing. One of the complex structures that can be manufactured by utilizing the geometric adaptability of metal additive manufacturing is lattice structures. Lattice structures are morphologically divided into strut-based and surface-based [1-3]. These struts and surfaces come together in a certain pattern to form unit cells and unit cells come together to form lattice structures. Also, lattice structures are distinguished from other geometries with their excellent strength, energy absorption, thermal insulation and light weight properties [5]. These structures are divided into two as strut-based and surface-based according to their morphology. When the studies in the literature were examined, it was seen that the hybrid cell structure of BCC, FCC and BFCC was studied by selective laser melting method and using AlSi10Mg powder. However, no study has been found in the literature to compare these geometries, using the Electron Beam Melting method and Ti6Al4V alloy powder, which is widely used in additive manufacturing, and comparing the porosities [6]. In the scope of this study, lattice structures consisting of strut-based body-centered cubic (BCC), face-centered cubic (FCC) and hybrid body face-centered cubic (BFCC) unit cell structures formed by the combination of these two cells were used in order to reveal the differences between the manufactured sample geometries and designed models [3-4]. Besides, porosity of the samples were measured in order to reveal porosity differences between hybrid unit cells and 2 type of cells that form the hybrid unit cell. These 3 different type of unit cells and lattice structures were designed as 3D models using Solidworks software. The samples were manufactured by electron beam melting method using Ti6Al4V powder from designed models. The



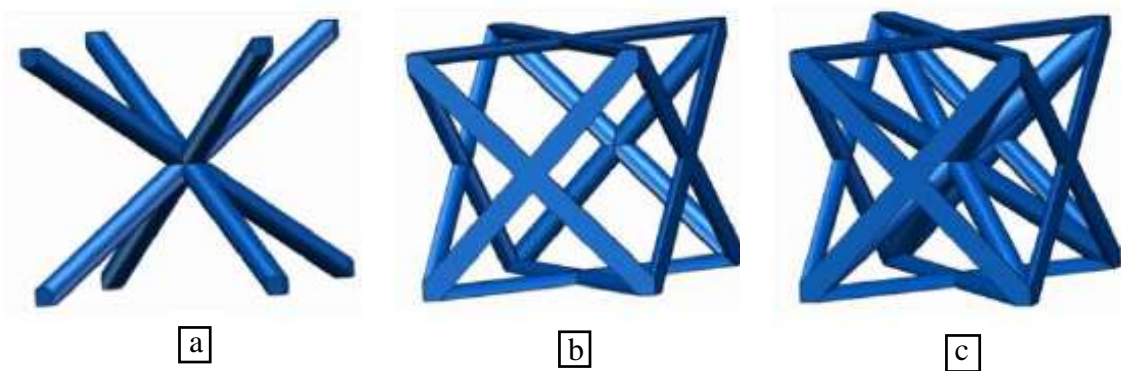
porosity of the samples were measured by the Archimedes method. In addition, all samples were examined under a stereo microscope and the thickenings in the columns after manufacturing were examined.

## 2. MATERIAL AND METHOD

### 2.1. Design of Unit Cells and Lattice Structures

In the scope of this study, lattice structures consisting of strut-based body-centered cubic (BCC), face-centered cubic (FCC) and hybrid body face-centered cubic (BFCC) unit cell structures formed by the combination of these two cells were used [3-4]. 3 different type of unit cells and lattice structures were designed as 3D models using Solidworks software.

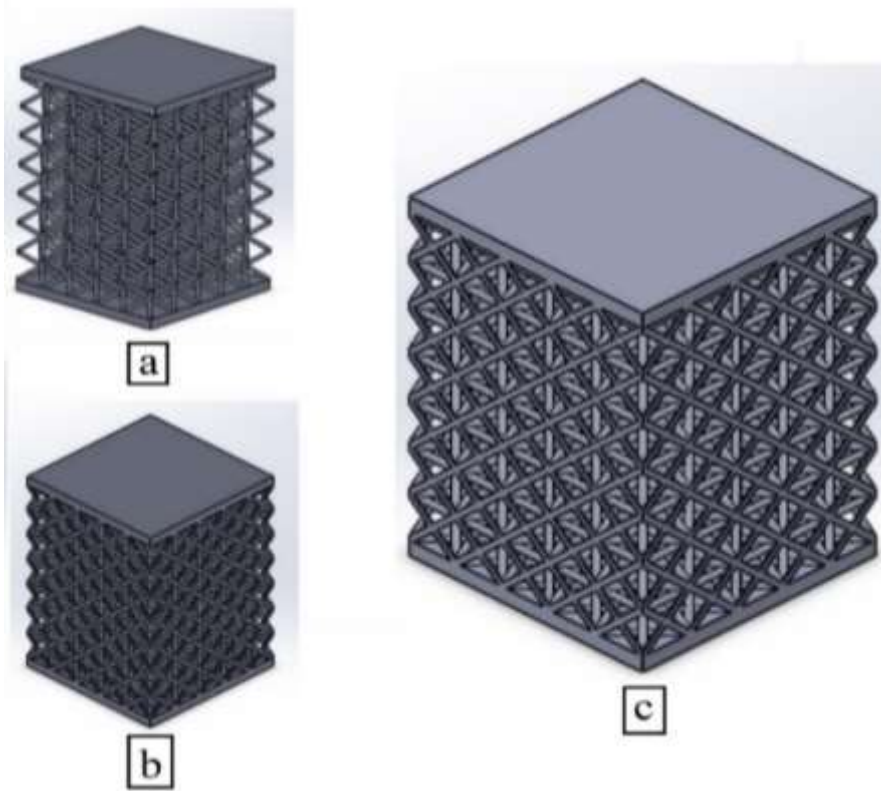
#### 2.1.1. Design of unit cells



**Figure 2.1.** Image of lattice structures that designed in Solidworks software  
a) BCC, b) FCC and c) BFCC unit cell [6]

#### 2.1.2. Design of lattice structures

After the cells were designed, the cells were brought together in a certain order and lattice structures were designed.



**Figure 2.2.** Image of lattice structures that designed in Solidworks software a) BCC, b) FCC and c) BFCC lattice structure

## 2.2. Production of Samples

### 2.2.1. Pre-production preparations

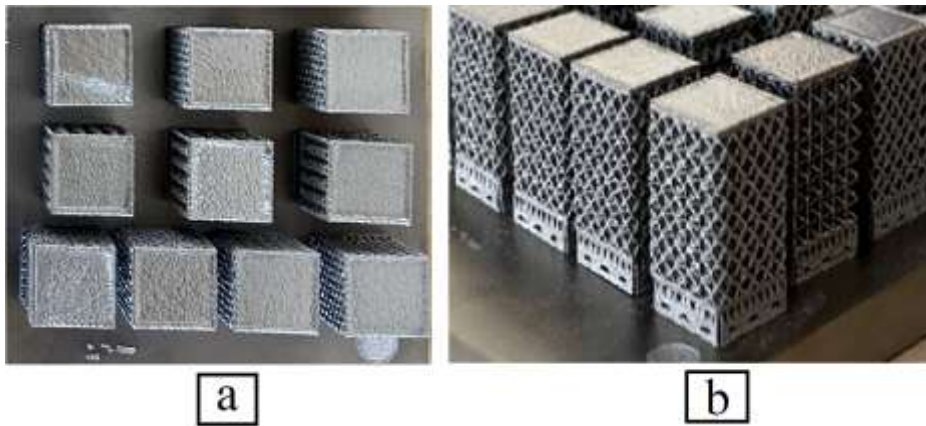
After the designs of the samples were completed in Solidworks software, the designs were saved in STL format. The designs in this format were transferred to the Materialise Magics software. Support structures have been added to the bottom of the designs so that the produced samples can be easily separated from the table.

### 2.2.2. Production of samples by additive manufacturing

The designed samples were produced by using Ti6Al4V alloy powder with electron beam melting in Additive Manufacturing Technologies Application and Research Center of Gazi University (EKTAM).



**Figure 2.3.** Arcam A2X Electron Beam Melting Machine



**Figure 2.4.** Manufactured Samples, a) top view, b) side view of samples

### 2.3. Determination of Porosity with Archimedes Method

Archimedes' principle is a method used to measure the density of particles. While the reference fluid used in this method is air, the second fluid can be selected as pure water, acetone and ethanol [7]. In this study pure water was used for density measurement. The weights of the samples in air and water were measured for Archimedes method with a Shimadzu brand and AUW320 model device located in the Powder Metallurgy Laboratory of Faculty of Engineering of Gazi University.





**Fig. 2.5.** Measurements of weight of the samples in air and water

After these measurements, densities of the samples were calculated using the equation 1.

$$\rho = \frac{W_a}{W_a - W_l} \rho_l \quad (1)$$

$W_a$  in the equation is the weight of the samples in air,  $W_l$  in water;  $\rho$  is the density of the samples and  $\rho_l$  is the density of the pure water. After calculation of densities, the porosity of the specimens were calculated by subtracting the manufactured volume of the specimen from the total volume of the specimen including the porosities. Then these porosity values were compared with the design porosity values obtained from Materialise Magics software.

#### 2.4. Microstructure Examination of Samples in Stereo Microscope

Microstructure of the samples were examined with Nikon brand and SMZ745T model stereo microscope in order to see the thickenings in the columns after production.



**Figure 2.6.** Nikon SMZ745T stereo microscope

### 3. RESULTS AND DISCUSSION

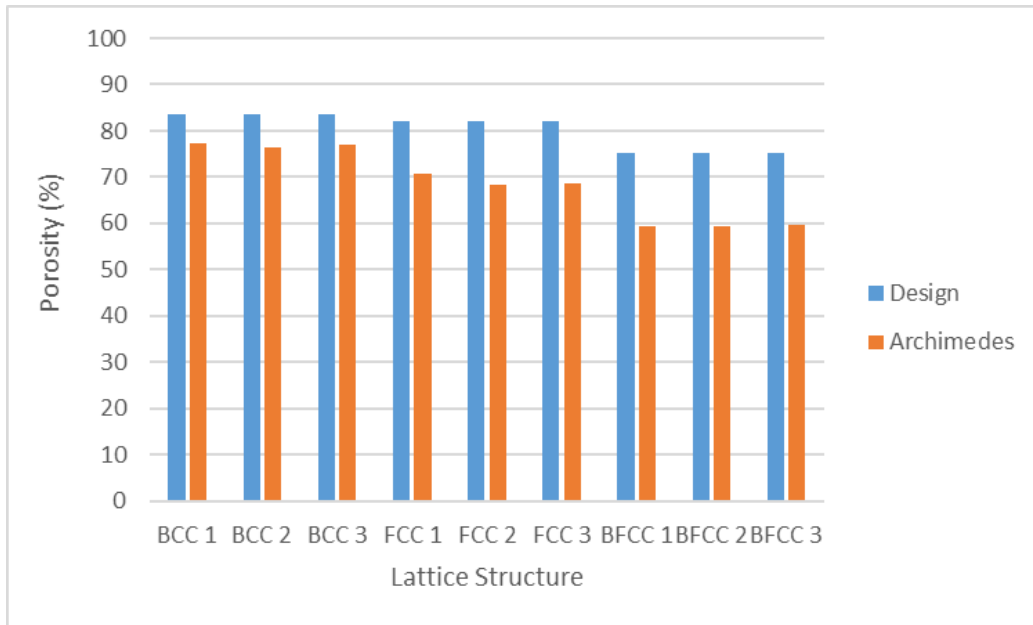
According to the results that seen in Table 3.1 obtained by the Archimedes method. It was observed that the deviation in the design and manufactured samples porosity occurred mostly in the BFCC hybrid unit cell structure, followed by the FCC unit cell structure and the least in the BCC unit cell structure. It was observed that as the porosity of the cells increased, the deviation in the porosity between design and manufactured samples also increased.



**Table 3.1.** Porosities and deviations between samples according to Archimedes method and the design

Sample Name	Porosity(%)		Design-Archimedes Deviation (%)
	Design	Archimedes	
BCC 1	83,554087	77,238155561	-7,56
BCC 2	83,554087	76,481219948	-8,47
BCC 3	83,554087	76,976460570	-7,87
FCC 1	81,992502	70,743516764	-13,72
FCC 2	81,992502	68,353913982	-16,63
FCC 3	81,992502	68,711286653	-16,20
BFCC 1	75,353043	59,504849155	-21,03
BFCC 2	75,353043	59,498715701	-21,04
BFCC 3	75,353043	59,565024480	-20,95

It is seen that there is a similarity between the data obtained by the design and Archimedes method in terms of geometries as seen in Figure 3.1. In other words, in the datas obtained by both design and Archimedes method, it was seen that lattice structures with BCC unit cell structure had the highest porosity, while lattice structures with BFCC hybrid unit cell structure had the least porosity.



**Figure 3.1.** Graphical representation of porosity percentage obtained by design and archimedes method

As seen in Figure 3.2, thickenings can be observed in the struts forming the unit cells. It has been also observed that this is the main reason for the porosity of the samples after production to be less than the design porosity. In addition, it was concluded that as the number of strut in the samples increased, the deviation between the design and porosity of the samples after production increased due to the thickening in the columns.



**Figure 3.2.** Microstructure examination image taken from stereo microscope

#### 4. CONCLUSION

Within the scope of the study, the lattice structures formed by the combination of BCC, FCC and hybrid BFCC cell structures were produced using Ti6Al4V powder by Electron Beam Melting method. First of all, the design porosities was obtained from the software in order to determine the changes that occurred after the production. Then it was compared and evaluated with the porosities by measuring porosities with Archimedes method. It has been observed that the formation of thickenings in the struts forming the unit cells during the production caused the porosity of the samples after production to be less than the porosity of design. In addition, it was concluded that as the number of struts in the samples increased, the deviation between the porosity of design and the porosity after production increased.

#### 5. RECOMMENDATION

The lattice structures with hybrid cells produced by Electron Beam Melting method and Ti6Al4V alloy can be used on structural parts to examine their mechanical behavior. In addition, the lattice type with hybrid cells can be produced using different additive manufacturing methods and materials.

#### 6. ACKNOWLEDGEMENT

This study supported by Scientific Research Projects Coordination Unit (BAP) of Gazi University.

We are also appreciated to Gazi University EKTAM for their support.

#### 7. REFERENCES

- [1] Wu, Y., Fang, J., Wu, C., Li, C., Sun, G., Li, Q. (2023). Additively Manufactured Materials and Structures: A State-of-the-Art Review on Their Mechanical Characteristics and Energy Absorption. *International Journal of Mechanical Sciences*. 246, 108102.
- [2] Murugan, P. D., Vijayananth, S., Natarajan, M. P., Jayabalakrishnan, D., Arul, K., Jayaseelan, V., Elanchezhian, J. (2022). A Current State of Metal Additive Manufacturing Methods: A Review. *Materials Today: Proceedings*. 59, 1277-1283.
- [3] Tyagi, S. A., M, M. (2023). Additive Manufacturing of Titanium-Based Lattice Structures for Medical Applications – A Review. *Bioprinting*. 30, e00267.
- [4] Sos, M., Meyer, G., Durst, K., Mittelstedt, C., Bruder, E. (2023). Microstructure and Mechanical Properties of Additively Manufactured AlSi10Mg Lattice Structures from Single Contour Exposure. *Materials & Design*. 227, 111796.
- [5] Yin, H., Zhang W., Zhu, L., Meng, F., Liu, J., Wen, G. (2023), Review on Lattice Structures for Energy Absorption Properties. *Composite Structures*. 304, 116397.



[6] Lei, H., Li, C., Zhang, X., Wang, P., Zhou, H., Zhao, Z., Fang, D. (2020). Deformation Behavior of Heterogeneous Multi-Morphology Lattice Core Hybrid Structures. Additive Manufacturing.

[7] Arvieu, C., Galy, C., Guen, E. L., Lacoste, E. (2020). Relative Density of SLM-Produced Aluminum Alloy Parts: Interpretation of Results. Journal of Manufacturing and Materials Processing. 19.



## KENT PLANLAMA KAPSAMINDA AFETE DUYARLILIĞIN ARAŞTIRILMASI: MENTEŞE İLÇESİ (MUĞLA) ÖRNEĞİ<sup>1</sup>

### INVESTIGATION OF DISASTER SUSCEPTIBILITY WITHIN THE SCOPE OF URBAN PLANNING: MENTEŞE DISTRICT (MUĞLA)

*Yüksek Şehir Plancısı Kübra ALĞIN DEMİR<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, İzmir, Türkiye.*

*Prof. Dr. Mercan EFE GÜNEY<sup>2</sup>*

<sup>2</sup>*Dokuz Eylül Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, İzmir, Türkiye.*

#### ÖZET

Türkiye, coğrafi konumu ve jeolojik yapısı nedeniyle sık sık afetlerin yaşandığı ülkeler arasında ilk sıralarda yer almaktadır. Dolayısıyla ülke sınırları içerisinde yer alan birçok şehir, meydana gelmesi olası afet sorunlarıyla karşı karşıya kalmaktadır. Nitekim son yıllarda yaşanan deprem, heyelan, su baskını ve yangın gibi felaketler söz konusu durumu kanıtlar niteliktedir.

Afetlerin büyüklüğünde; meydana geldikleri bölgelerde özellikle bölgenin şartları, yoğunluk (nüfus), jeolojik yapı unsurları, toprak ve bitki örtüsüne uygun bir yapılaşma nizamı gibi yönlendirici birçok unsur etkilidir. Dolayısıyla doğal yaşam unsurlarını sekteye uğratan, can ve mal kayıplarıyla toplum yapısında ciddi yıkımlara sebep olan afetlerin, insan yapımı tehlikeler ve bu tehlikelerin oluşturduğu riskler ile bir bağlantısı olup olmadığının önceden araştırılması ve bu doğrultuda önlemler alınması gerekmektedir.

Bu kapsamda çalışmanın amacı, afet sonrası bir çalışmanın yerine afete duyarlılığın, kent planlama kapsamında araştırılmasını ve planların, jeolojik etüt raporları ve ilgili analizler (Jeoloji ve fay haritası, deprem risk analizi, toprak analizi, kent makroformuna ilişkin analizler vb.) bağlamında karşılaştırmasını sunmaktır. Çalışma, ek olarak risk teşkil eden bölgelerin önceden saptanmasını sağlayarak olası felaketlerin önüne geçilmesi konusunda örnek olmaya çalışmaktadır. Çalışmada afete duyarlılığı, kent planlama eylem alanında Muğla ilinin merkez ilçesi olan Menteşe ilçesi üzerinden sınımlanmaktadır. Çalışma şehir planlama mesleğinde deprem öncesi irdelemelerin ne olması gerektiği ve sonuçların nasıl değerlendirilmesi gerektiği konusunda ilgili literatüre katkı koymaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Afet, afet riski, kent planlama, afet ve planlama ilişkisi, Menteşe.

#### ABSTRACT

Due to its geographical location and geological structure, Turkey is one of the countries where disasters occur frequently. Therefore, many cities located within the borders of the country are faced with possible disaster problems. As a matter of fact, disasters such as earthquakes, landslides, floods and fires experienced in recent years are evidence of this situation.

In the magnitude of disasters; in the regions where they occur, many guiding factors such as especially the conditions of the region, density (population), geological structure elements, a construction order suitable for soil and vegetation are effective. Therefore, it is necessary to investigate beforehand whether disasters that disrupt natural life elements, cause loss of life and property and serious destruction in the social structure, have a relationship with man-made hazards and the risks posed by these hazards, and measures should be taken in this direction.

<sup>1</sup> Bu çalışma Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Şehir ve Bölge Planlama Doktora Programında yer alan PLN 5022 Ekolojik Planlama Dersi kapsamında yapılan çalışmalardan üretilmiştir.

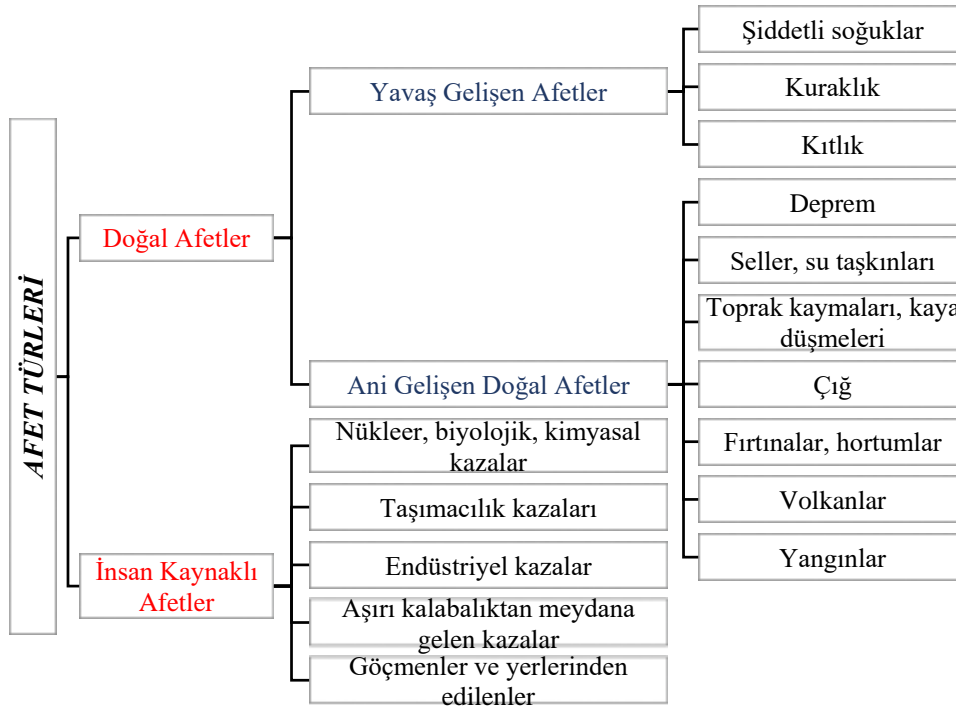
In this context, the purpose of the study is to investigate disaster sensitivity within the scope of urban planning instead of a post-disaster study and plans, geological survey reports and related analyses (Geology and fault map, earthquake risk analysis, soil analysis, urban macroform analyses, etc.) is to present the comparison in context. In addition, the study tries to be an example in preventing possible disasters by predetermining the risky areas. In the study, the sensitivity to disasters is tested through Menteşe district, which is the central district of Muğla province in the field of urban planning action. The study contributes to the relevant literature on what should be the pre-earthquake investigations in the city planning profession and how the results should be evaluated.

**Keywords:** Disaster, disaster risk, urban planning, disaster and planning relationship, Menteşe.

## GİRİŞ

Türkiye, jeo-stratejik konumu, jeolojik yapısı, sahip olduğu topografya ve iklim şartları nedeniyle afetlerin sıkça yaşandığı ülkeler arasında ön sıralarda yer almaktadır. Özellikle Türkiye'nin, yeryüzünün en aktif fay zonları üzerinde bulunması şiddetli depremlerin yaşanmasına sebep olmaktadır. Depremlere ek olarak kentleşme sorunu, son yıllarda afetleri tetikleyici bir unsur haline dönüşmektedir. Bu süreçte afetten etkilenme süresi de artarak ülke ekonomik ve fiziksel olarak etkilenirken aynı sorunlar toplumsal olarak görülmenin yanı sıra bireysel olarak yaşanmaktadır.

Türk Dil Kurumunun “Çeşitli doğa olaylarının sebep olduğu yıkım” olarak tanımladığı afet, can ve mal kayıpların yaşandığı, belli bir düzende süren yaşamsal faaliyetlerin bozulduğu, dış yardım gereksinimi doğuran felaketler ya da ekolojik olaylar olarak da tanımlanabilir. Hayatın doğal akışını kesintiye uğratan afet olgusu, farklı türde sınıflandırmalara tabii tutulsa da genel anlamıyla doğal kaynaklı afetler (deprem, sel, kaya düşmesi, çığ ve orman yangını) ve insan kaynaklı afetler olarak sınıflandırılmaktadır. Doğal kaynaklı afetler ise kendi içerisinde yavaş gelişen afetler ve ani gelişen afetler olarak ikiye ayrılmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Afet Türleri (Web 1 verileri kapsamında düzenlenmiştir)

Afetin etkisi, meydana geldikleri bölgelerde afetin büyüklüğüne göre değişmektedir. Ancak sonuçları itibarıyla afetlerin ortak özellikleri vardır. Bunları aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür (Erkan, 2010):

- Toplum ve yerleşmeler üzerinde ciddi yıkımlara sebep olması,



- Dış yardım gereksinimi doğurması,
- Bölgenin gelişmişlik koşullarına göre can ve mal kayıplarına neden olması,
- Bulaşıcı ve salgın hastalıklara neden olması,
- İnsan etkileşimlerini kesintiye uğratması,
- Sosyal ve teknik alt yapıyı tahrip etmesi.

Afetlerin etkileri ve sonuçları göz önünde bulundurularak afet mevzuatı oluşturulmuştur. Bu mevzuat, afet öncesi ve sonrasında yapılması gereken faaliyetleri ve bu alanda yetkili kurum ve kuruluşları yönlendirmek amacıyla oluşturulmuştur. Türkiye’de mevzuatın gelişim ve değişim süreci incelendiğinde yaşanan her afetten sonra özel bir yasa çıkarıldığı ve daha çok afet sonrası insanlara yardım etmek ve yaraları sarmak amacıyla müdahale ve yeniden inşa/iyileştirmeye yönelik tedbirlerin alındığı görülmektedir (Erkan, 2010).

Dolayısıyla “afet sonrasında sorun çözüme” yaklaşımından “afet öncesi önlemlerin eksiksiz yaşama geçirilmesi” anlayışına geçilmesi ve ‘*planlama*’ kurumunun da bu konuya toplumsal önem vermesi ve öncelikleri arasına alması gerekmektedir (Ersoy, 2001). Çünkü şehir planlama, bir bilim ve meslek alanı olarak, insan refahını artırıcı uzun veya kısa vadede insan-doğa etkileşimine uygun bir mekan/ortam yaratma çabasıdır. Bu temelde Türkiye’nin başta depremler olmak üzere doğal afetlerin sıkça yaşandığı bir ülke olma gerçeğinden hareketle kentlerin, afet riskini azaltıcı bir planlama anlayışıyla ele alınması önemlidir. Bu anlayış ve içerikte hazırlanan mevzuatla ve bu amaçla çalışan kurumlarla afet öncesi ve sonrası için koordinasyon sağlanırken afet sonrası yeniden inşa için gerekli olan ekonomik maliyet de azaltılmaktadır. Ayrıca afet öncesi müdahale ile risk oluşturan unsurları ortadan kaldırmak için de optimum fayda sağlanmaktadır.

Bu kapsamda çalışmanın amacı, yukarıda belirtilen gereklilikler doğrultusunda afet ve şehir planlama ilişkisi kapsamında yapılan çalışmalara katkı koymaktır. Çalışma afete duyarlılığın, kent planlama kapsamında araştırılmasını ve planların, jeolojik yapı unsurları ve ilgili analizler (Jeoloji ve fay haritası, deprem risk analizi, toprak analizi, kent makroformuna ilişkin analizler vb.) bağlamında karşılaştırmasını sunmaktadır. Ek olarak çalışma, risk oluşturan bölgelerin önceden tespit edilmesini sağlamaya yönelik değerlendirmelerde bulunmaktadır.

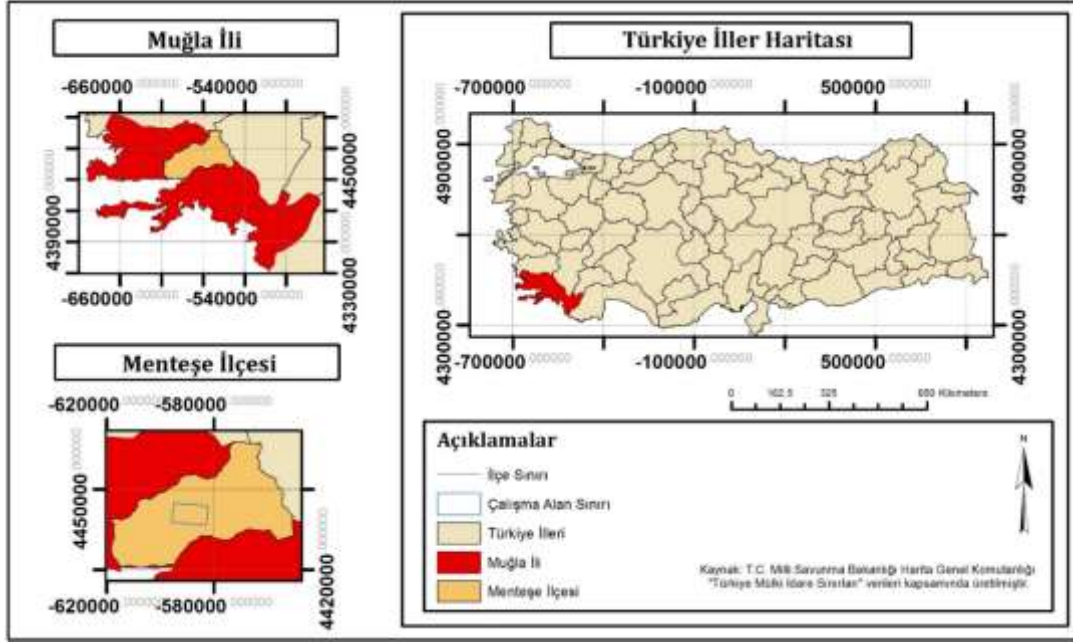
## METARYAL VE YÖNTEM

### Çalışma Alanı

Çalışma kapsamında afete duyarlılık, kent planlama ekseninde ele alınmıştır. Çalışma alanı olarak Türkiye’nin batısında yer alan Ege Bölgesi’nin Muğla ilinin merkez ilçesi olan Menteşe ilçesinin yerleşik alan sınırının bir bölümü seçilmiştir (Şekil 2).

Menteşe, 1972 yılında belediye statüsü olarak beldeye dönüşüncüye kadar Çardaklı Köyü olarak bilinmektedir (Web 2). 12 Kasım 2012’de 6360 sayılı “On Dört İilde Büyükşehir Belediyesi ve Yirmi Yedi İlçe Kurulması İle Bazı Kanun ve Kanun Hükmünde Kararnamelerde Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun” ile Muğla sınırları, il mülki sınırları olmak üzere büyükşehir belediyesine dönüştürülünce, Muğla merkez ilçe olarak Menteşe İlçesi ve Belediyesi kurulmuştur (Web 3).

İlçenin nüfusu 2022 yılı için 120.627 kişi olup yüz ölçümü ise yaklaşık 1652 km<sup>2</sup>’dir (Web 4).



Şekil 2. Çalışma Alanının Lokasyon Haritası

## Yöntem

Bu çalışmada afete duyarlı bir kentleşme için kent planlamanın önemli bir araç olduğu kabulüyle niteliksel ve niceliksel verilere dayalı olarak belgesel ve deneysel araştırma yöntemleri kullanılmıştır. Belgesel araştırma yöntemi kapsamında konuya ilişkin kurumlardan temin edilen kaynaklar, arşiv ve internet verileri, yazı veya resim olarak derlenmiştir. Deneysel araştırma kapsamında ise veriler, Muğla Valiliği Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğü ve Menteşe Belediyesinin yanı sıra Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü (MTA), Open Street Map (OSM), Google Earth Pro vb. veri tabanları aracılığıyla temin edilmiştir. Daha sonra bu veriler ArcGIS programı aracılığıyla jeoloji ve fay haritası, deprem risk analizi, toprak yapısı ve kent makroformuna ilişkin değerlendirmeler yapabilmek için altlık olarak kullanılmıştır.

Çalışma alanının deprem özelinde afete duyarlılığını değerlendirebilmek için yer seçim kriterleri ve yapılaşma kriterleri olmak üzere iki temel başlıkta aşağıdaki araştırma sorularına cevap aranmıştır.

### Yer seçim kriterleri bağlamında;

- Yerleşim alanlarının aktif fay hattına olan mesafesi ne kadardır?
- Deprem risk analizine göre yerleşme alanının deprem risk durumu nedir?
- Yerleşme alanları ile zemin yapısı arasındaki ilişki nedir?

### Yapılaşma kriterleri bağlamında;

- Deprem riski yüksek bölgelerde uygulama imar planındaki yapılaşma nizamı nedir (ayrık, blok ve bitişik nizam gibi)?
- Yüksek risk taşıyan bölgelerde kat adedi kaçtır?

## BULGULAR

### Çalışma Alanının Afete Duyarlılığı

Muğla ili, jeolojik yapısı ve iklim şartları nedeniyle deprem başta olmak üzere, meteorolojik ve iklimsel afetler, taşkın, sel, kaya düşmesi, heyelan, yangın ve acil durumlar nedeniyle afet riski yüksek bir bölgedir. Ayrıca kıyılarında tsunami tehlikesi bulunmaktadır (T.C. Muğla Valiliği İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü, 2021)



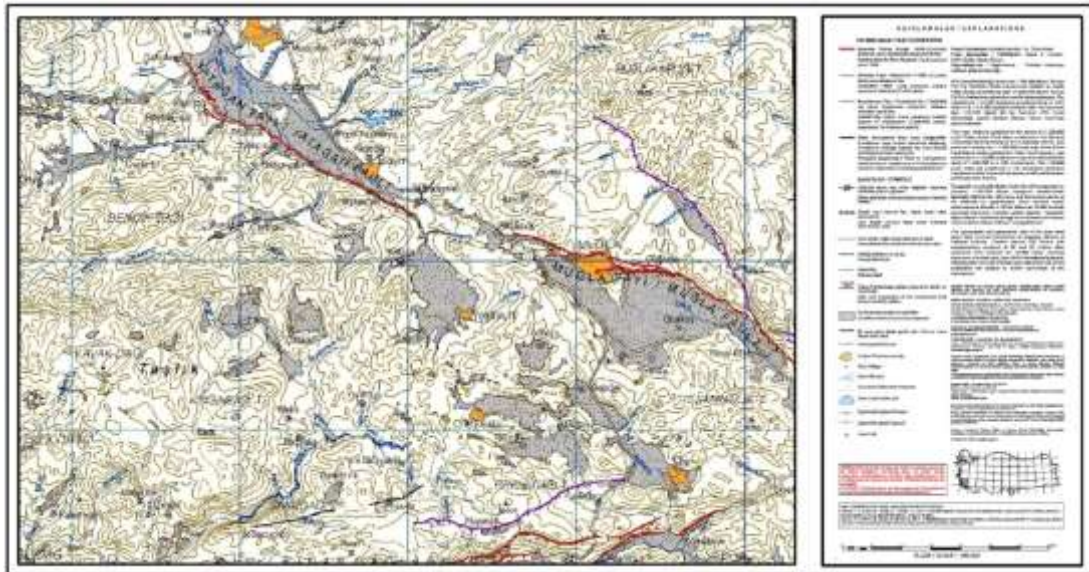
İlde Bakanlar Kurulu kararı ile alınmış 15 adet Afete Maruz Bölge Kararı (AMB) bulunmaktadır. Çalışma alan sınırları kapsamında incelendiğinde; sadece Muğla'nın Merkez ilçesinde yaşanan kaya düşmesi sebebiyle 29.06.1966 tarihinde ve Merkez ilçenin Kuzluk Mahallesinde meydana gelen heyelan sebebiyle 03.07.1981 tarihinde AMB kararı alındığı görülmektedir (Tablo 1).

**Tablo 1.** Muğla İlinin Kaya Düşmesi ve Heyelan Özelinde Afete Maruz Bölge Listesi (T.C. Muğla Valiliği İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü, 2021)

Sıra No	İli	İlçesi	Köyü/Beldesi	Afetin Türü	Rapor Tarihi	AMB Kararı (2.Madde)		AMB İptali (14. Madde)	
1	Muğla	Merkez	Merkez	Kaya Düşmesi		29.06.1966	6/6687		
2	Muğla	Merkez	Kuzluk	Heyelan	25.02.1981	03.07.1981	1981/3273		
3	Muğla	Yatağan	Bağyaka	Heyelan	25.02.1999	26.04.2000	2000/664		
4	Muğla	Fethiye	Dereköy	Heyelan	05.12.2011	05.11.2012	2012/3918	30.03.64	2865
5	Muğla	Fethiye	Bağlağaç	Heyelan	03.04.2012	05.11.2012	2012/3918	01.09.86	10984
6	Muğla	Ortaca	Gökbel	Heyelan	12.02.2012	05.11.2012	2012/3920		
7	Muğla	Köyceğiz	Yayla (AMB kararı 116 Ada 44 ve 45 parseller kaldırılmıştır)	Heyelan	13.05.2014 / 14.08.2017	20.10.2014	2014/6934	02.10.2017	2017/10880
8	Muğla	Milas		Kaya Düşmesi	10.02.2015	08.04.2015	2015/7575	03.03.1990	90/212
9	Muğla	Dalaman		Heyelan	20.04.2015	19.08.2015	2015/8079		
10	Muğla	Bodrum	Gündoğan	Kaya Düşmesi	25.07.2018	18.06.2019	2019/1152	29.06.2009	2009/15159
11	Muğla	Ula	Gökova	Kaya Düşmesi	23.10.2018	24.12.2019	2019/1867	03.03.1990	90/212
12	Muğla	Seydikemer	Çatak	Heyelan	10.12.2018	24.12.2019	2019/1867	20.08.1997	97/9895
13	Muğla	Seydikemer	Arsaköy	Heyelan	11.03.2019	24.12.2019	2019/1867	06.07.1981	1981/3289
14	Muğla	Kavaklıdere	Çayboyu	Heyelan	14.06.2019	24.12.2019	2019/1867	04.05.1998	98/11100
15	Muğla	Kavaklıdere	Menteşe	Heyelan	14.06.2019	24.12.2019	2019/1867	12.03.1997	97/9416

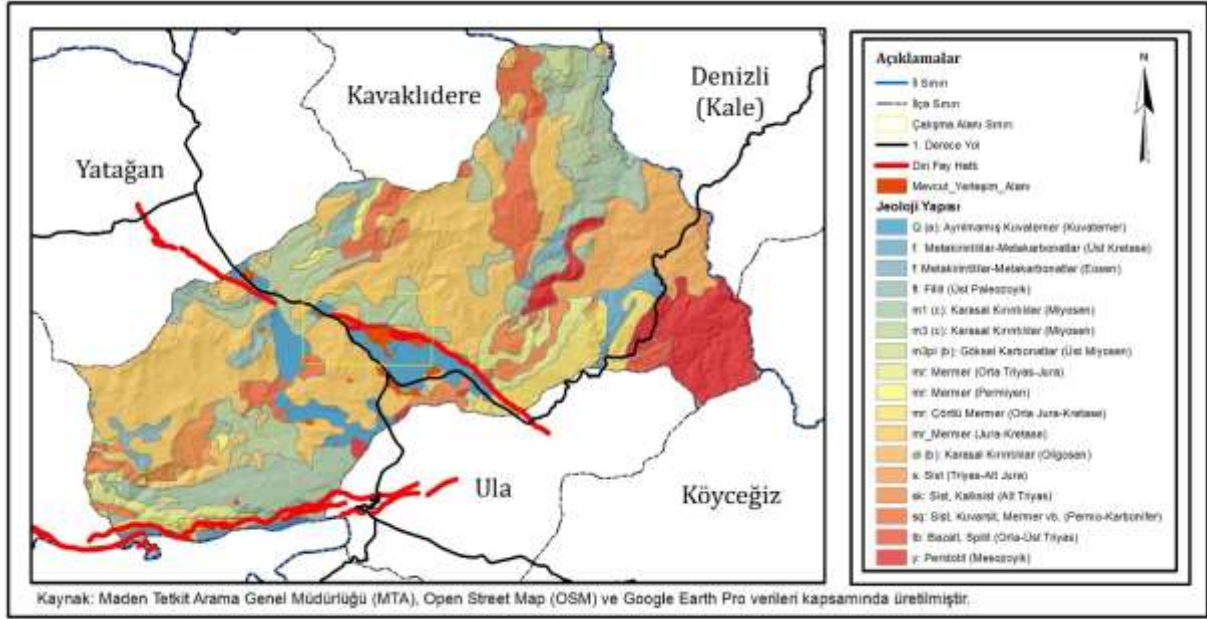
Muğla'da deprem başta olmak üzere kaya düşmesi, heyelan ve sel baskınları diğer afet türlerine kıyasla daha sık yaşanmaktadır.

Güneybatı Anadolu sınırları içerisinde yer alan Muğla İli, jeolojik açıdan Ege Genişleme Sistemini oluşturan fayların yoğun olduğu bir coğrafya üzerinde yer almaktadır. Kuzeybatısındaki bir dağ yamacının etrafında ve alüvyon zemin yapısına sahip ova üzerinde gelişim gösteren Muğla, şekil 3'te görüldüğü üzere özellikle ilin kuzeyinde yer alan yaşlı kayalar ile yamaç molozu ve alüvyonlar arasında çok kollu bir diri fay yapısına sahiptir (Jeoloji Mühendisleri Odası, 2021).



**Şekil 3.** Muğla İli Diri Fay Haritası (Web 5)

Çalışma kapsamında Menteşe ilçesine ait jeoloji ve fay haritası incelendiğinde, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odasının “Yeraltında bulunan ve hareket ettiklerinde depremlere sebep olan kırık düzlemler” olarak ifade ettiği diri fay hattının, çalışma örneklem alanı olarak belirlenen Menteşe ilçesinin yerleşik alan sınırları içerisinde geçtiği görülmektedir (Şekil.4).



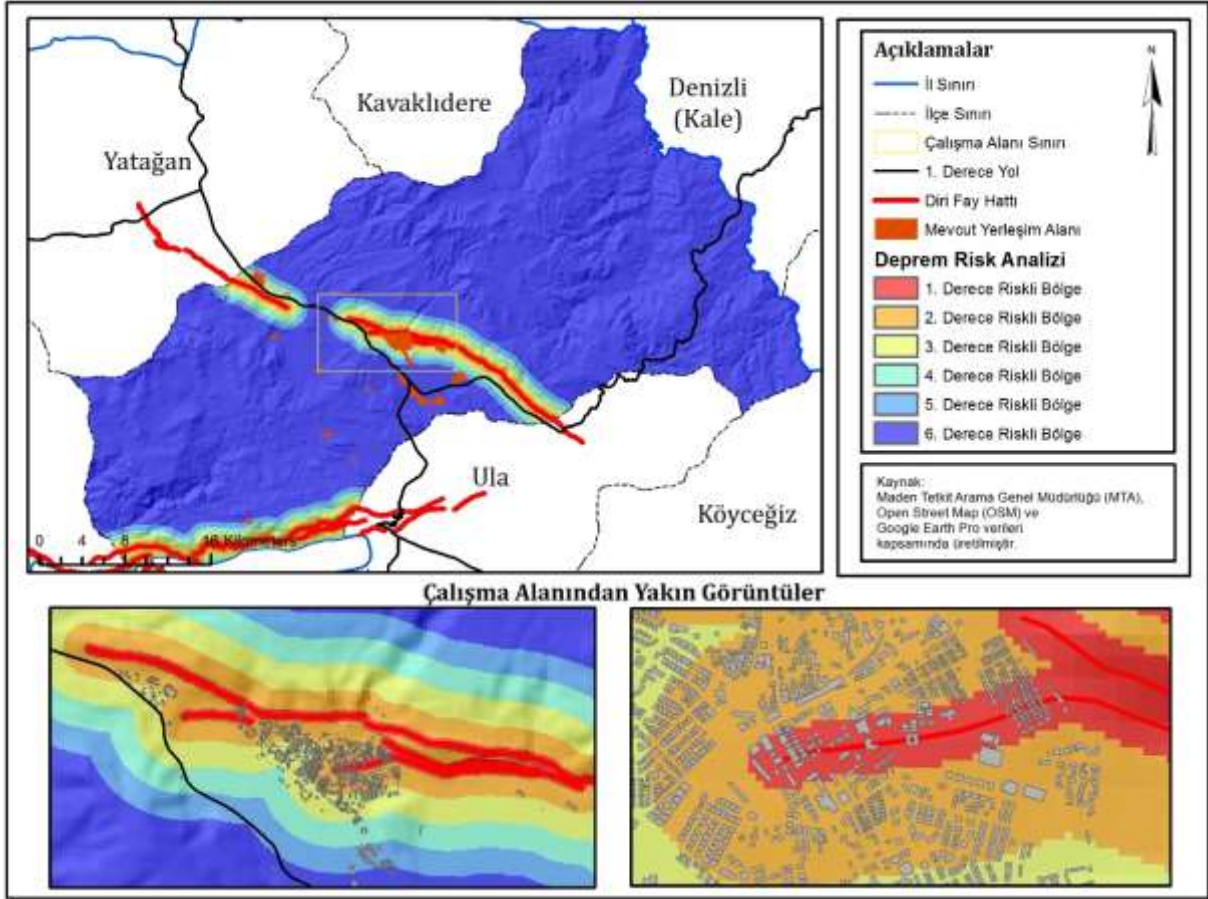
Şekil 4. Menteşe İlçesi Jeoloji ve Fay Haritası

Muğla kent merkezinin (Menteşe ilçesi) zemin yapısı çoğunlukla ayrılmamış kuvaterner/alüvyon toprak yapısına sahiptir. Bu durum, olası bir deprem anında depremin şiddetine de bağlı olarak oluşacak deprem dalgalarının yapılara iletilme gücünü artırmaktadır. Başka bir deyişle bu zemin yapısı depreme çok dayanıksızdır. Ayrıca yumuşak zemin yapısı, yapıların hasar görme olasılığını da artırmaktadır.

Muğla'nın yaşadığı depremler tarihsel süreç içerisinde incelendiğinde, 1850-1900 yılları arasında ağır hasara neden olan depremlerin yaşandığı görülmektedir. Özellikle 1862-1864, 1869-1872, 1886-1890 ve 1894-1899 yılları arasında depremlerin sıklığında da bir artış yaşanmıştır. İilde yaşanan depremlerden en çok etkilenen ilçeler ise Muğla merkez başta olmak üzere Marmaris ve Fethiye'dir (Satılmış, 2020: 178). 1990 yılından bugüne kadar Muğla'da yaşanan şiddetli depremler ise, 1926'da Datça'da, 1941'de Muğla'da, 1957'de Fethiye'de, 1959'da Köyceğiz'de, 1961'de Fethiye'de, 2014'de Ege Denizi açıklarında, 2017'de Bodrum'da (Gökova körfezi), 2017'de Ege Denizi açıklarında (iki kez), 2020'de Köyceğiz'de, 2020'de Marmaris'te ve 2020'de Ege Denizi açıklarında (iki kez) meydana gelen depremlerdir (Web 6).

Muğla'nın sık sık depremler yaşamasının nedeni olan birinci derece deprem bölgesinde olması başka depremlerin de yaşanmasının mümkün olduğunu göstermektedir.

Çalışma kapsamında faylara olan mesafe hesaplanmıştır. Mesafeler 100 m, 500 m., 1000 m., 1500 m. ve 2000 ve üzeri m. olmak üzere beş kategoride ArcGIS aracılığıyla hesaplanmış ve bu doğrultuda bir deprem risk analizi oluşturulmuştur. Menteşe ilçesine ait bu analiz ile yerleşik alan sınırlarının deprem riski yüksek bir bölge içerisinde kaldığı saptanmıştır (Şekil 5).



Şekil 5. Menteşe İlçesi Deprem Risk Analizi

Muğla'da yaşanan depremlerin, bölgede hâkim olan diri faylar ile doğrudan bağlantılı olduğu gerçeğinden hareketle; bölgede geçmişten günümüze yaşanan şiddetli depremlerin, depremin şiddetine göre can ve mal kayıplarına neden olması, Muğla için en tehlikeli afet türünün deprem olduğunun önemli bir göstergesidir. Aynı zamanda geçmişten günümüze sık sık yaşanan depremlerin, günümüzden geleceğe de aynı sıklıkla yaşanacağı yadsınamaz bir gerçektir.

#### Planlar Arası Geçişte Afete Duyarlılığın İncelenmesi

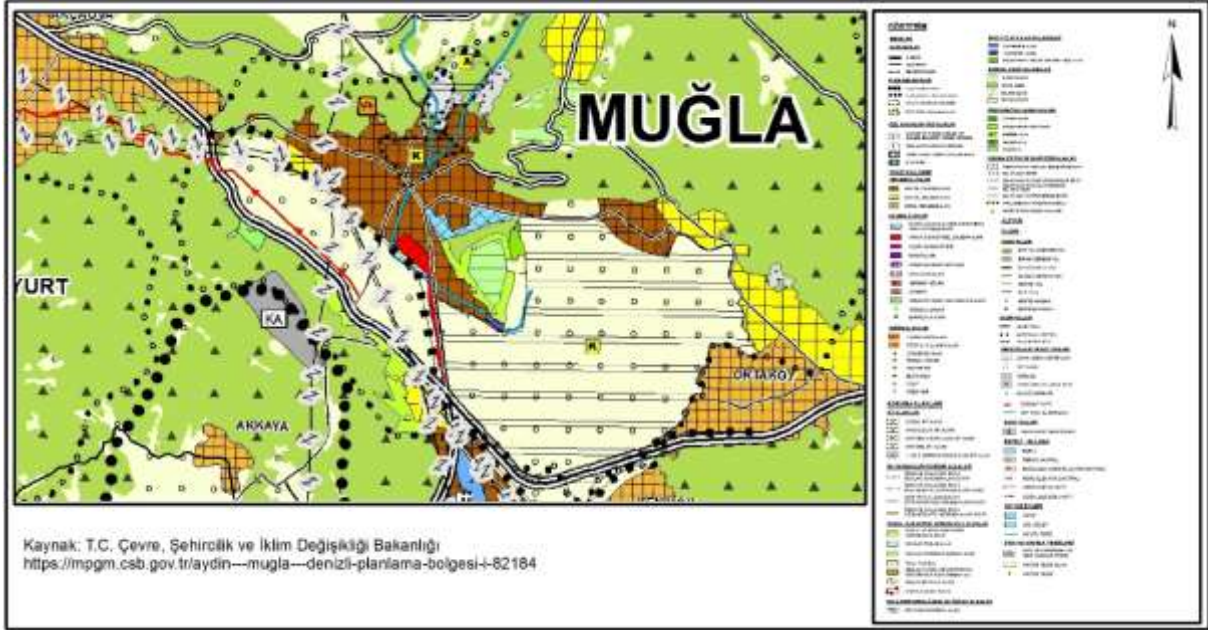
Etkin bir afet yönetiminde afet öncesi alınacak önlemlerde planlamanın süreç ve uygulama olarak önemi yadsınamaz bir gerçektir. Bu süreçte hazırlanan ülke planları, bölge planları, çevre düzeni planları, nazım imar planları ve uygulama imar planları, plan hiyerarşi sisteminde kademeli bir birliklilik oluşturmaktadır. Bir başka deyişle, planlama sistemi, üst ölçekten alt ölçeğe uygun bir yer seçimi ve yapılaşma kararı ile afet etkilerine duyarlı kentlerin oluşmasına ve etkin bir afet yönetimine katkı sağlayabilir.

Kalkınma planları, devlet tarafından hazırlanan, ülkenin ekonomik, fiziksel, sosyal ve kültürel açıdan kalkınmasına ve ülke kaynaklarının dengeli ve uyumlu bir şekilde kullanılmasına yönelik hedefleri olan bir plandır. Bölge planları ise kalkınma planlarının mekânsal karşılığıdır. Plan hiyerarşisi içinde kalkınma planları ve bölge planlarından sonra çevre düzeni planları gelmektedir. Ancak planlar arası geçişte bölge planlarının olmaması plan hiyerarşisindeki amaçlara ket vurmaktadır.

Muğla'nın da içinde bulunduğu bir bölge planı olmadığından bu çalışma, deprem özelinde afete duyarlılığı, Aydın Muğla Denizli Planlama Bölgesi 1/100.000 Ölçekli Çevre Düzeni Planı, Muğla İli Menteşe İlçesi 1/25.000 Ölçekli Nazım İmar Planı ve Muğla İli Menteşe İlçesi 1/1.000 Ölçekli Uygulama İmar Planı kapsamında incelemiştir.

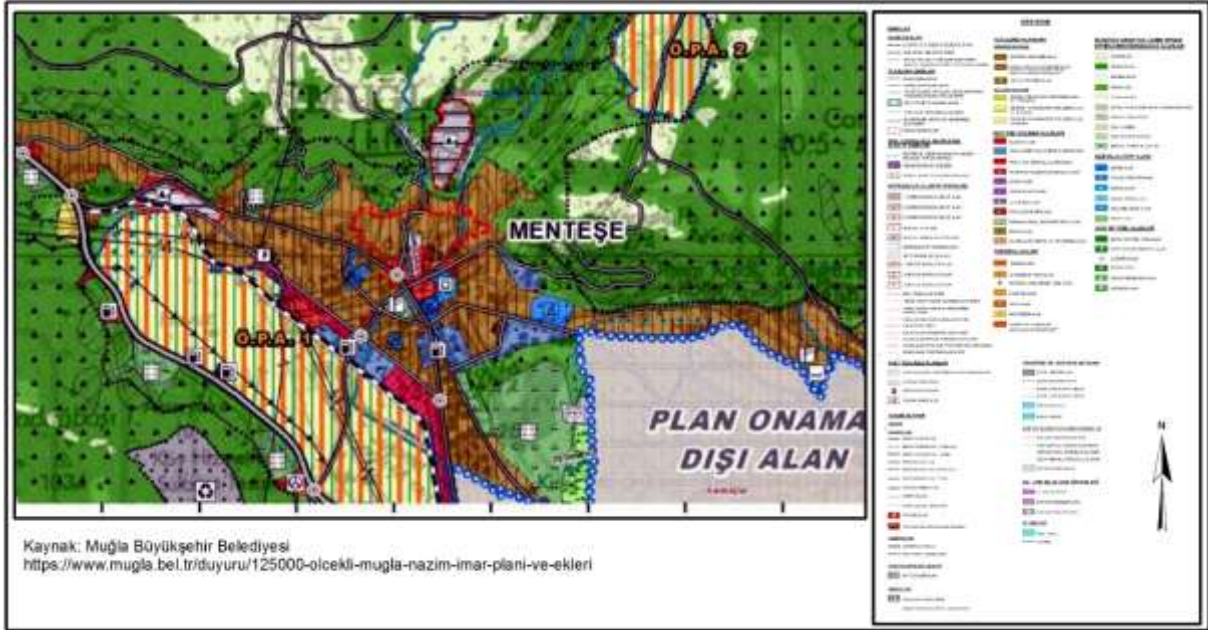
09.03.2011 tarihinde onaylanan ve yürürlükte olan Aydın Muğla Denizli Planlama Bölgesi 1/100.000 Ölçekli Çevre Düzeni Planı (ÇDP) ve plan açıklama raporunda diri fay hattının ve deprem konusunun plana işlenmediği görülmektedir (Şekil 6). Ancak ilgili ÇDP'nin Plan Hükümlerinde "Bu plan

kapsamında kalan alanlarda, deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik gereği alt ölçekli planların yapımı aşamasında jeolojik ve gerekli görülmesi halinde jeoteknik-jeofizik ve/veya mikrobölgeleme etütlerinin hazırlanması zorunludur” hükmü yer almaktadır (Web 7).



Şekil 6. Muğla İli Menteşe İlçesi 1/100.000 Ölçekli Çevre Düzeni Planı

10.03.2016 tarihinde Muğla Büyükşehir Belediyesi tarafından onaylanan, Muğla İli 1/25.0000 Ölçekli Nazım İmar Planına (Şekil 7) ait plan açıklama raporunda; “Muğla 1/25.000 Ölçekli Nazım İmar Planı’na esas olmak üzere il bütünü için hazırlanmış olan jeolojik etüt, Muğla İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü tarafından 13.01.2011 tarihinde onaylanmıştır” ibaresi yer almaktadır.



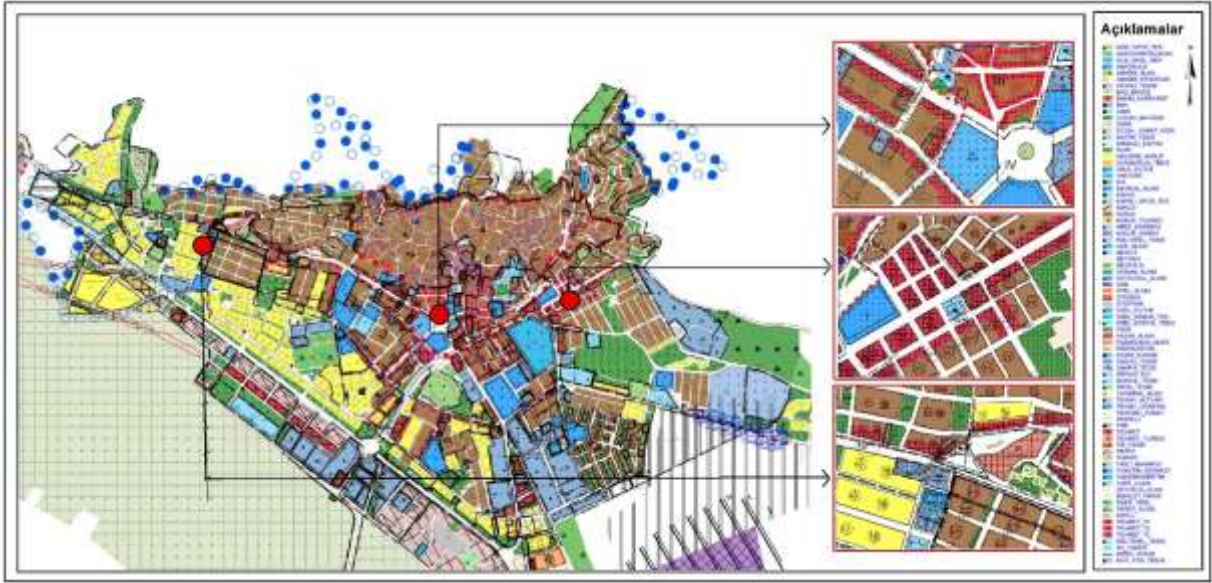
Şekil 7. Muğla İli Menteşe İlçesi 1/25.000 Ölçekli Nazım İmar Planı

Plan açıklama raporuna göre, “Afet Tehlikeli Alanlar” ana başlığı altında jeolojik açıdan yerleşime uygun olmayan alanlar, jeolojik açıdan önlemlenmeli alanlar, mikro-bölgeleme etütleri ve taşkına maruz alanlara ilişkin açıklamalar yapılmaktadır.

Muğla İli 1/25.000 Ölçekli Nazım İmar Plan Hükümlerinde ise, her türlü yapılaşmada “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik” ve “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik” ile “Muğla İli 1/25.000 Ölçekli Arazi Kullanımına Esas Jeolojik Etüt Raporu” ve bu raporun sonuç ve öneriler bölümünde belirtilen hususlara uyulacaktır”, hükmü yer almaktadır.

Muğla İli 1/25.000 Ölçekli Nazım İmar Plan açıklama raporuna referansla “Muğla ilinin 1.derece deprem bölgesi olması nedeniyle, bölgenin etkisi altında olduğu 4 ana fay grubuna yakın yerlerin depremsellik açısından alt ölçekli planlarda önlem alınması gereken yerler olarak belirtilmesi ve bu sınıf için 1\1.000 ve 1\5.000 alt ölçekli plan çalışmalarında tampon sınırların jeofizik çalışmalar sonucunda belirlenmesi” gerektiği de ifade edilmektedir.

Bu bağlamda Muğla İli Menteşe İlçesi 1/1000 Ölçekli Uygulama İmar Planı incelendiğinde, çalışma alanı için öngörülen yapılaşma koşullarının, çoğunlukla ayrık nizamda 4-5 katlı, blok nizamda 5 katlı ve serbest nizamda 2 katlı olduğu görülmektedir. Mevcut yerleşimin yanı sıra açılan yeni imar adalarında da söz konusu yapı nizamları kullanılmıştır. Ayrıca bölgede bitişik nizamda 3 ve 5 katlı yapıların varlığı da dikkat çekmektedir. Ancak çalışma alan sınırları içerisinde bitişik nizama ilişkin alınan yapılaşma koşulları, diğer yapılaşma koşullarına kıyasla daha azdır (Şekil 8).

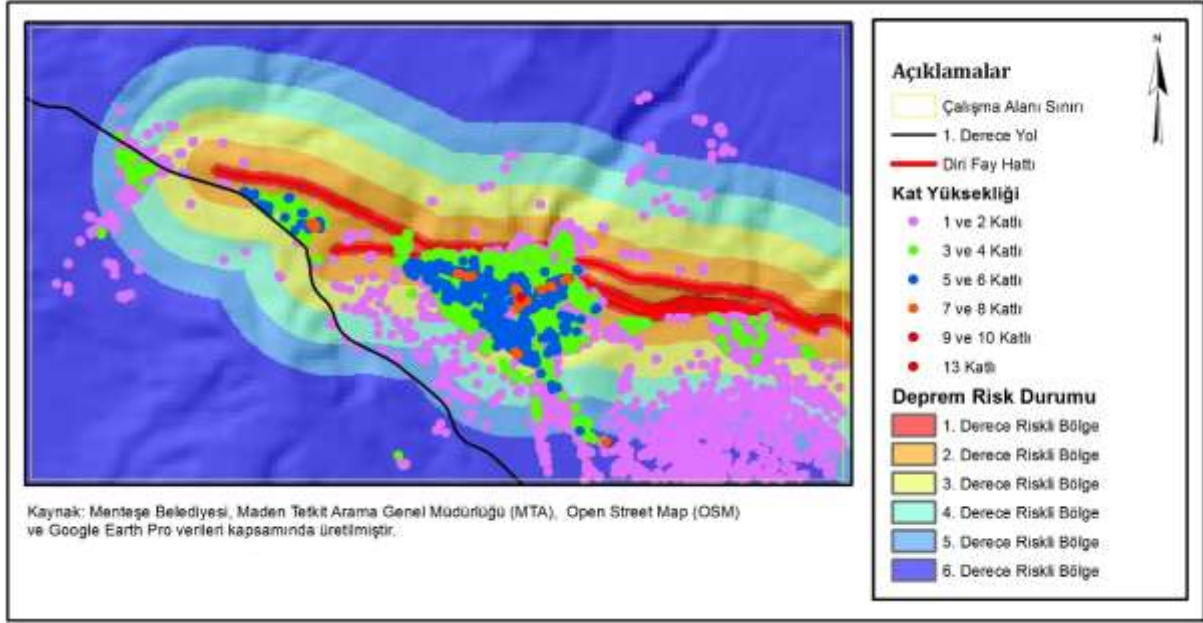


Şekil 8. Muğla İli Menteşe İlçesi 1/1.000 Ölçekli Uygulama İmar Planı (Menteşe Belediyesi, 2023)

Yapıların, bitişik nizamda olması veya aralarında çok az boşlukların bulunması olası bir deprem sonrası yapıların birbirine çekiçleme/çarpma etkisi yaratarak yıkılmasına sebep olmaktadır. Çarpışma sonucu meydana gelen hasarın büyüklüğü ise yapıların aynı döşeme ve/veya farklı döşeme seviyesinde olup olmaması gibi etkenlere bağlıdır. Nitekim bir yapının döşeme seviyesinden farklı bir yapıya uyguladığı çekiçleme/çarpışma kuvveti, yapının kolonlarının kırılmasına sebep olabilir (Pala ve Şaşmaz, 2019).

Çekiçleme/çarpma etkisi, binalar arası boşluk arttıkça azalmaktadır. Dolayısıyla yapıların ayrık nizamda olması, bitişik nizama göre daha güvenlidir. Özellikle deprem riski taşıyan bölgelerde yapıların ayrık nizamda ve eşit katlarda olması hayati önem taşımaktadır. Nitekim olası bir deprem anında her yapının birbirinde bağımsız hareket edebilme olanağına sahip olması ortaya çıkacak hasarı azaltmaktadır.

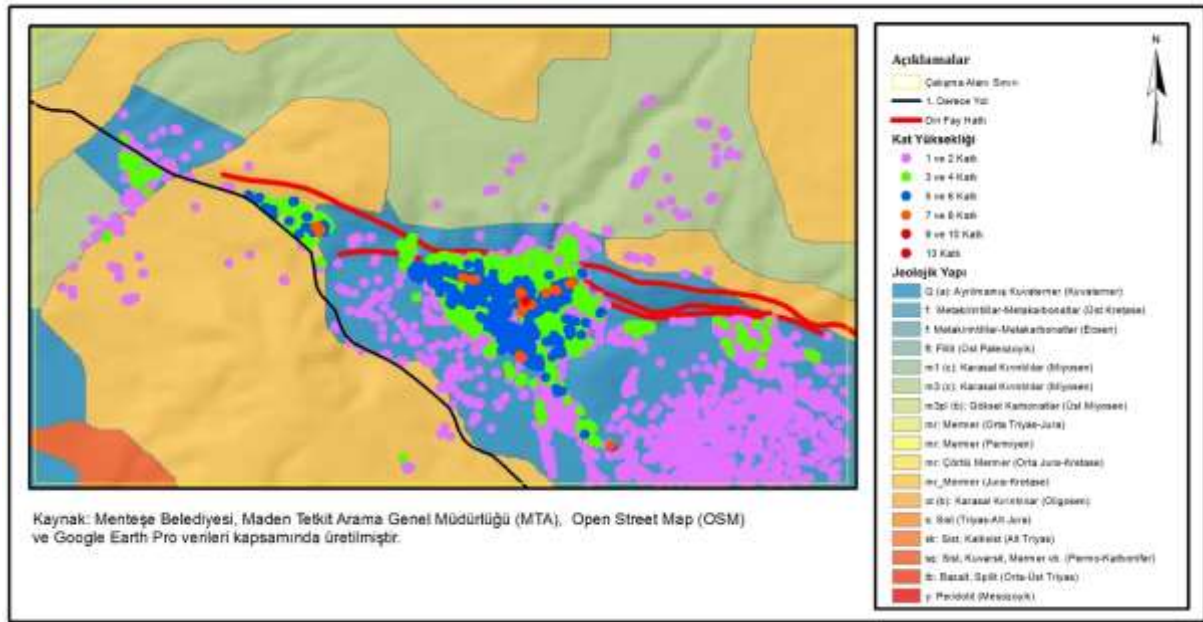
Menteşe kent merkezi için yapılan kat adetleri analizi incelendiğinde ise, alınan yapılaşma kararları kapsamında kat adetlerinin, merkezde çoğunlukla 3-4 ve 5-6 katlı olduğu tespit edilmiştir. En yüksek yapılaşma ise merkezde her biri tek yapı olmak üzere 9,10 ve 13 katlıdır (Şekil 9).



**Şekil 9.** Çalışma Alanının Deprem Risk Durumu ve Kat Yükseklikleri Arasındaki İlişki

Çalışma alanının deprem risk durumu ile mevcut kat adetleri karşılaştırıldığında, mevcut yerleşik alanın 1. Derece ve 2. Derece deprem riski taşıyan bölgelerde kaldığı görülmektedir. Yapılara ait kat adetlerinin ise özellikle merkezde yani yüksek risk taşıyan bölgelerde çoğunlukla 5-6 katlı yapılar olduğu; merkezin etrafında ise 3-4 katlı yapıların yer aldığı görülmektedir. Merkezden uzaklaştıkça 1-2 katlı yapıların artış gösterdiği gözlemlenmektedir. Ayrıca sayı olarak az da olsa merkezde 7-8 katlı, 9-10 ve 13 katlı yapıların varlığı da dikkat çekmektedir.

Çalışma alanının zemin yapısı ile mevcut kat adetleri karşılaştırıldığında; mevcut yerleşik alanların depreme çok dayanıksız olan ayrılmamış kuvaterner zemin üzerinde gelişim gösterdiği tespit edilmiştir. Kat adetlerinin ise bu zemin üzerinde en çok 5-6 katlı (merkezde) ve 1-2 katlı (çevresinde) olduğu; en az ise 9-10 katlı ve 13 katlı olduğu görülmektedir (Şekil 10).



**Şekil 10.** Çalışma Alanının Zemin Yapısı ve Kat Yükseklikleri Arasındaki İlişki



## DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Türkiye’de afet riski ve yönetimi üzerine yapılan çalışmalara referansla, afet ile ilgili yasa ve yönetmeliklerin iletişim, planlama, denetleme ve koordinasyon süreçlerinde yetersiz kaldığını söylemek mümkündür. Ayrıca afet öncesini konu alan çalışmaların aksine afet anı ve sonrası için yapılan çalışmalara daha fazla ağırlık verildiği tespit edilmiştir.

Çalışma kapsamında örneklem alanının deprem özelinde afete duyarlılığını değerlendirebilmek için yer seçim kriterleri ve yapılaşma kriterleri olmak üzere iki temel başlık altında yönetilen araştırma sorularına şu şekilde cevaplar bulunmuştur:

**-Yer seçim kriterleri bağlamında**, yerleşme alanlarının aktif fay hattına yakın olduğu, mevcut yerleşimin, deprem özelinde yüksek risk grubunda yer aldığı ve depreme dayanıksız bir zemin üzerinde gelişim gösterdiği tespit edilmiştir.

**-Yapılaşma kriterleri bağlamında** ise deprem riski yüksek bölgelerde yapılaşma nizamı olarak genel anlamda bir düzen söz konusu olsa dahi yer yer olası bir deprem sonrası çekiçleme veya çarpışma olasılığının fazla olması nedeniyle risk oluşturabilecek bir yapılaşma kararının (bitişik nizam) alındığı görülmektedir. Ayrıca yüksek risk taşıyan bölgelerde kat adetlerinin, kent merkezinde en çok 3-4 ve 5-6 katlı; en az ise 9-10 ve 13 katlı olduğu saptanmıştır.

Mekânsal gelişmelerin bir plan dâhilinde biçimlenmesi son derece önemlidir. Yer seçiminde, uygun ve güvenli bir yapılaşma için bölge, mekansal, ekonomik, sosyal ve fiziki koşulları doğal ve ekolojik unsurlar bağlamında değerlendirilmeli ve uygun bir yapılaşma ortamı için söz konusu durum göz ardı edilmemelidir. Bu bağlamda afet öncesi riskleri azaltmak için yapılan sakinim planlaması, fiziksel planlama için yönlendirici nitelikte olup son derece önemlidir.

Afet sonrası iyileşme ve yeniden inşa süreci için harcanan para ve zaman, afet öncesi yapılaşma ve denetim için alınacak önlemler ile azaltılabilir. Bu bağlamda yerleşik alan ve yerleşime açılacak alanlar için yapılaşmaya uygun bir bölgenin risk tespiti oldukça önemlidir. Uygun bir yer seçiminde, topografya, jeolojik yapı, zemin koşulları vb. birçok önemli unsur aktif rol oynamaktadır. Özellikle afet riski taşıyan bölgelerde zemin yapısı ile ilgili bir araştırma yapılarak yapı nizamı ve kat adetleri, bölgenin risk durumuna göre yeniden şekillenmeli ve alınacak yeni kararlarda söz konusu durum için daha hassasiyet gösterilmelidir. Çünkü yüksek risk taşıyan bölgelerde yoğun yapılaşma, yapı nizamında farklılık, yüksek kat adetleri ve kat yükseklikleri arası bir uyumsuzluk gibi unsurlar, yaşanan afetlerde afetin büyüklüğünü ve hasar görme olasılığını tetiklemektedir. Bu doğrultuda;

-Yeni bir yerleşim yeri seçiminde, ekonomik kaygılardan çok kamusal fayda gözetilmeli ve ilgili kurumların görüşleri doğrultusunda bölgeye ilişkin risk analizleri hassasiyetle yapılmalıdır.

-Yerleşik alanlar için ise risk teşkil eden bölgeler tespit edilmeli ve iyileştirme çalışmalarına ağırlık verilmelidir. Riskli alan olarak saptanan bölgelerde yapıların yapılış tarihleri, türleri, kat adetleri, kullanım amaçları ve riskli bölgeye yakınlıkları için bir veri tabanı oluşturulmalıdır. Çünkü Türkiye’de yapı stok bilgisine ilişkin verilerin temin edilebileceği yeterli ve amacına gerçek anlamda hizmet eden bir uygulama bulunmamaktadır.

Mevcut yerleşimi tehdit edici unsurların önceden saptanması afet riskini azaltmanın yanı sıra afet anı ve sonrası için yapılacak müdahaleler için de kolaylık sağlamaktadır.

Bütüncül bir planlama anlayışından hareketle, planlar arası geçişte afete duyarlılık, plan açıklama raporunda ve/veya plan hükümlerinde sözü edilen bir konu olmaktan çıkarılarak uygulanabilir biçimde planlara da işlenmelidir. Planlar arası geçişte düzenli bir denetim sağlanmalıdır.

Deprem özelinde afete duyarlılığın artırılması ve bu bağlamda güvenliğin sağlanabilmesi için sadece fay hattına olan mesafenin tespit edilmesi ve zemin yapısına uygun bir yapılaşma nizamı gibi etken planlama kararları yeterli değildir. Yaşanan afetlerin bina ölçeğinden ziyade geniş bir bölgede etkisini gösterdiği gerçeğinden hareketle şehir plancılarına düşen sorumluluk kadar alanında uzman farklı meslek gruplarının da sorumluluğu bulunmaktadır. Çünkü şehir planlama meslek alanı tüm alanlarda olduğu gibi deprem konusunda da disiplinler arası çalışma yaklaşımını içermelidir.



## KAYNAKLAR

Erkan, E.A. (2010). Afet Yönetiminde Risk Azaltma ve Türkiye’de Yaşanan Sorunlar. DPT-Uzmanlık Tezleri, Sosyal Sektörler ve Koordinasyon Genel Müdürlüğü, Ankara.

Ersoy, M. (2001). Fiziksel Planlama Sistemimiz ve Doğal Afetler. *Planlama*, 3, 16-23.

Genç, F.N. (2008). Doğal Afet Riskleri Açısında Türkiye’de Kentleşme. *Türk İdare Dergisi*, 80 (459), 81-100.

Giyik, C. Oyuç, R.A. Anıktar, S. (2022) Van İlinin Afetselliği ve Afet Konutlarında Yer Seçimi Uygulamaları. *Doğal Afetler ve Araştırma Dergisi*, 8(2), 178-195.

Kaya, M. Yılmaz, C. Bağcı, H.R. (2022) Afet Riski Olan Bölgelerde Yerleşim Yeri Seçiminin Önem: Ayancık Babaçay Köyü Örneği. *Ege Coğrafya Dergisi*, 3(1), 193-206.

Özmen, B. ve Özden, A.T. (2013) Türkiye’nin Afet Risk Yönetim Sistemine İlişkin Eleştirel Bir Değerlendirme. *İ.Ü. Siyasal Bilgiler Fakültesi Dergisi*, 49, 1-28.

Pala, M., Şaşmaz, Z. (2019). Kat Seviyeleri Farklı Bitişik Nizam Yapılarda Kat Kütlesinin Çarpışma Kuvvetine Etkisi. *Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 10(2019), 47-63ç

Jeoloji Mühendisleri Odası. (2021). Fay üzerinde Yaşayan İllerimiz: Muğla Raporu-14. [https://eski.jmo.org.tr/genel/bizden\\_detay.php?kod=14477&tipi=58&sube=0](https://eski.jmo.org.tr/genel/bizden_detay.php?kod=14477&tipi=58&sube=0) (E.T. 23.05.2023).

T.C. Muğla Valiliği İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü, (2021). İl Afet Risk Azaltma Planı (İRAP). <https://mugla.afad.gov.tr/il-planlari> (E.T. 23.05.2023).

Uzunçubuk, L. (2009) Doğal Afetlerin Kentsel ve Bölgesel Planlamada Yeri. *Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetim Dergisi*, 2(101), 18-27.

Yücel, G. ve Arun, G. (2010) Mevcut Yerleşimlerin Deprem için Fiziksel ve Sosyal Etkilenebilirliğinin Belirlenmesi: Avcılar Örneği. *MEGARON*, 5(1), 23-32.

### İnternet Kaynakları

**Web 1** Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı (AFAD). (2023). Erişim Adresi: <https://www.afad.gov.tr/afadem/insan-kaynakli-afetler>

**Web 2** Belediye Kurulmasına Dair Kararlar. (1972, 23 Mart). *Resmi Gazete* (Sayı: 14137). Erişim Adresi: <https://www.resmigazete.gov.tr/arsiv/14137.pdf>

**Web 3** On Üç İlde Büyükşehir Belediyesi ve Yirmi Altı İlçe Kurulması İle Bazı Kanun Ve Kanun Hükmünde Kararnamelerde Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun. (2012, 11 Kasım). *Resmi Gazete*. (Sayı: 28489). Erişim Adresi: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2012/12/20121206-1.htm>

**Web 4** Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), (2022). Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi Sonuçları. Erişim Adresi: <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=95&locale=tr>

**Web 5** Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA). (2023). Diri Fay Haritaları. Erişim Adresi: <https://www.mta.gov.tr/v3.0/hizmetler/yenilenmis-diri-fay-haritalari>

**Web 6** Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi (BDTİM), (2023). Erişim Adresi: <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/deprem-bilgileri/buyuk-depremler/>

**Web 7** Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, (2023). Erişim Adresi: <https://mpgm.csb.gov.tr/aydin---mugla---denizli-planlama-bolgesi-i-82184>





## INVESTIGATION OF THE MAGNETIC FIELD AND IT'S LINEARITY ON AN AXIS BETWEEN OF TWO CYLINDRICAL MAGNETS

**Beste Aydoğmuş<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Ege University, Engineering Faculty, Electrical and Electronics Engineering Department, Izmir.

<sup>1</sup>ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0009-3469-0525>

**Samed Gümüş<sup>1</sup>**

<sup>2</sup>Ege University, Engineering Faculty, Electrical and Electronics Engineering Department, Izmir.

<sup>1</sup>ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0009-3832-6691>

**Yavuz Öztürk<sup>2</sup>**

<sup>2</sup>Ege University, Engineering Faculty, Electrical and Electronics Engineering Department, Izmir, Türkiye.

<sup>2</sup>ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9650-6350>

### ABSTRACT

In this study, the magnetic field (magnetic flux density, B) of two cylindrical magnets, in a configuration of poles facing each other, are investigated in terms of maximum magnetic field amplitude and its linearity. These kinds of magnet sets are important for applications such as magnetic levitation, flow control, density measurement and several sensor applications. Magnet separation distance  $g$ , an important parameter which has influence on both linearity and total magnetic field, is investigated at the values of 5 mm, 10 mm, 15 mm. As other parameters the radius of the magnet investigated in the range of 1 mm to 15 mm with 1 mm steps. The length of the magnets and their magnetization are chosen as 10 mm and 1000 kA/m respectively. It is found to be that the increase of  $g$  has a negative influence on linearity. Decrease of radius has a positive effect on the magnetic field.

**Keywords:** Cylindrical Magnets, Linearity, Magnetic field

### ÖZET

Bu çalışmada; kutupları birbirine bakacak şekilde konfigüre edilmiş iki silindirik mıknatısın manyetik alanı (manyetik akı yoğunluğu, B), maksimum manyetik alan genliği ve doğrusallığı açısından incelenmiştir. Bu tür mıknatıs setleri, manyetik levitasyon, akış kontrolü, yoğunluk ölçümü ve çeşitli sensör uygulamaları için önemlidir. Hem doğrusallık hem de toplam manyetik alan üzerinde etkili olan önemli bir parametre olan mıknatıslar arası mesafe  $g$ , 5 mm, 10 mm, 15 mm değerlerinde incelenmiştir. Diğer parametrelerden mıknatısın yarıçapı  $R$  ise 1 mm'lik adımlarla 1 mm ila 15 mm aralığında incelenmiştir. Mıknatısların uzunlukları ve mıknatıslanmaları sırasıyla 10 mm ve 1000 kA/m olarak seçilmiştir. Mıknatıs hava aralığı uzunluğu  $g$ , artışının doğrusallık üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olduğu bulunmuştur. Yarıçapın azaltılmasının ise manyetik alan genliği üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Silindirik Mıknatıslar, Doğrusallık, Manyetik alan

### INTRODUCTION

Systems consisting of permanent magnets have been subject of many researches from biomedical and material technologies, such as density measurement, magnetic levitation applications, to sensor technologies such as tilt and displacement (Zhang et al., 2018; Luo & He, 2019; Delikoyun et al., 2021; Öztürk & Yarıçi, 2019; Öztürk & Yarıçi, 2023). In addition, these magnet systems can find new

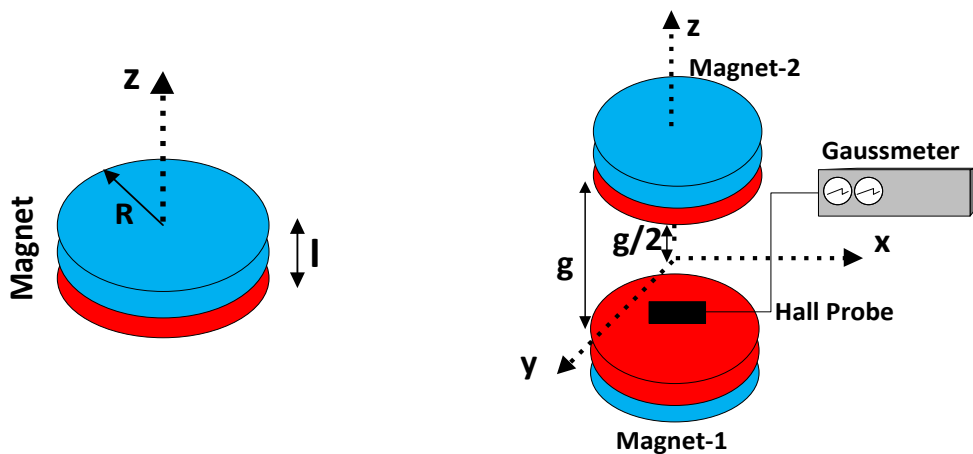
application areas by using it with many sensor systems. For this reason, the examination of the magnetic fields they create depending on their geometry and the interactions between magnet systems has been the subject of many researches (Camacho & Sosa 2013; Xiao-Fan, Yong & Xiao-Jing, 2004; Ravaud et al., 2008).

The magnetic field values of the structures whose magnet geometry is cylinder, sphere, ring, cone, rectangular prism can be calculated analytically in the whole space (Amokrane et al. 2017; Camacho & Sosa, 2013; Ravaud et al., 2008). In some studies, magnetic fields of magnets were investigated through numerical simulations (Gassner et al., 2009). There are many studies on these magnets, especially those in the form of cylinders (González, 2016; Zhang et al., 2018). One of these studies the magnetic fields created by different combinations of these magnets and the forces they exert on each other were examined (González, 2016; Zurek, 2022). In several application based studies, single or double combinations of these magnets were used, such as flow control (Xuan, 2019) and magnetic levitation (Luo & He, 2019).

In this study, different from the investigated other studies, the magnetic field were investigated between two cylindrical magnets with the same poles facing each other, on the axis in the center of the magnets. Linearity is very important aspect especially for magnetic levitation and sensor systems. Therefore linearity of magnetic field is investigated with respect to magnet parameters of radius and the distance between the magnets (air gap length). The results of this study can be used in many studies where the magnetic field linearity and magnetic field magnitude between two magnets are important.

### THEORY AND METHOD

For magnet systems with the same poles facing each other, which can be used in various applications, the linearity of the magnetic field in the air gap in space is important in terms of providing ease of calculation and measurement in the systems where it is used. The magnetic field of these systems varies according to the magnet parameters. Linear curve fitting methods can be used to examine the linearity of the magnetic field formed between the magnets used in these systems. In this study, the system in Figure 1b, which is established by using cylindrical magnets whose dimensional parameters are given in Figure 1a, is examined.



**Figure 1.** (a) Cylindrical magnet dimensions (b) Set of magnets with same poles facing each other and magnetic field measurement system.

In the system given in Figure 1b, the magnetic field function for the first magnet is given in equation 1.

$$B_1 = \frac{\mu_0 M}{2} \left( \frac{z - \frac{g}{2} + l}{\sqrt{R^2 + (z - \frac{g}{2} + l)^2}} - \frac{z - \frac{g}{2}}{\sqrt{R^2 + (z - \frac{g}{2})^2}} \right) \quad (1)$$

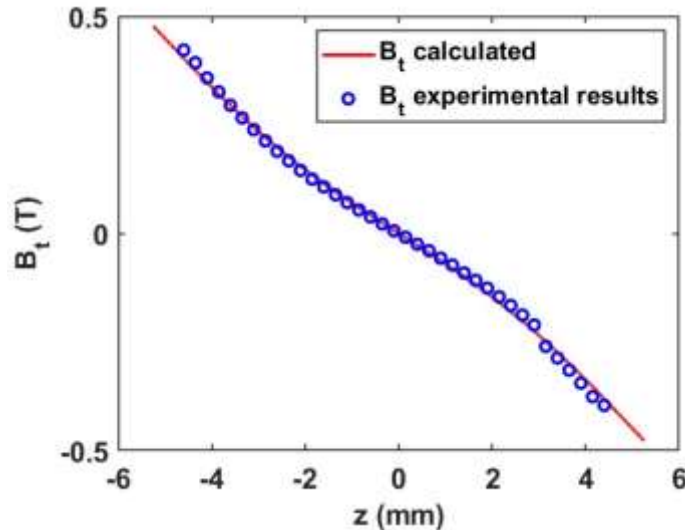
Here  $\mu_0$  is the magnetic permeability of the space,  $M$  is the magnetization value of the magnet (kA/m),  $g$  is the air gap,  $l$  is the magnet length and  $R$  is the radius of the magnet. Likewise, the magnetic field function for the second magnet is given in equation 2.

$$B_2 = \frac{\mu_0 M}{2} \left( \frac{z + \frac{g}{2} + l}{\sqrt{R^2 + (z + \frac{g}{2} + l)^2}} - \frac{z + g/2}{\sqrt{R^2 + (z + \frac{g}{2})^2}} \right) \quad (2)$$

The total magnetic field in the air gap on the z axis (Figure 1b) can be calculated as in Equation 3.

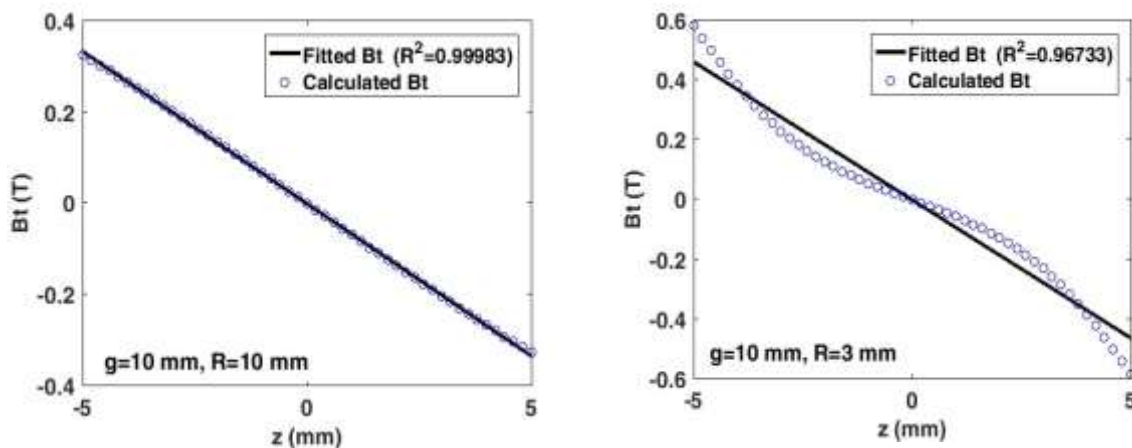
$$B_t = B_1 - B_2 \quad (3)$$

The magnetic field distribution on an axis in a magnet set with a radius of 5 mm, a length of 10 mm and an air gap of 10 mm was calculated by Equation 3. To compare measurements taken in the air gap using a hall sensor and calculated data, the  $B_t$  with respect to z axis is given in Figure 2. As can be seen theoretical result and experimental results are inline.



**Figure 2.** Calculated and measured  $B_t$  functions

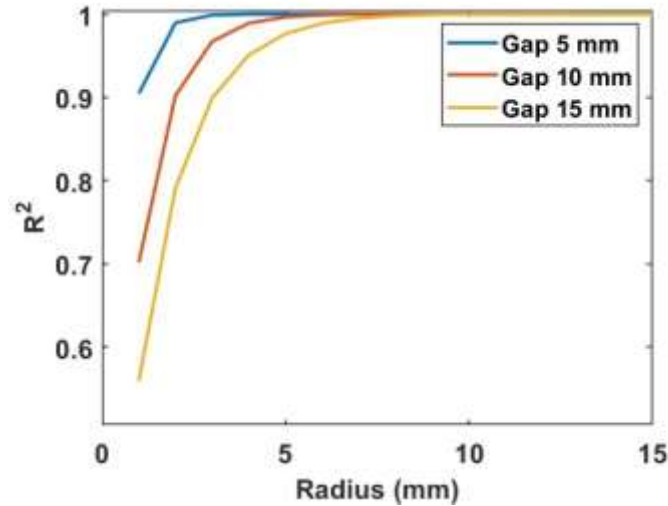
The magnetic field in the air gap can be analytically fitted to a linear function. In Figures 3a and 3b, the  $B_t$  values calculated in Equation 3 are fitted to a linear function and plotted. In Figure 3a, the air gap length is 10 mm and the radius of the magnets are 10 mm. As can be seen  $R^2$  value is less than 1 for both cases and this value is smaller in the case of less linear function as shown in Figure 3b. When the radius chosen around air gap length (10 mm) as in Figure 3a the  $B_t$  becomes more linear and  $R^2$  value is close to 1.



**Figure 3.** (a)  $B_t$  values calculated and fitted for  $g=10$  mm  $R=10$  mm, (b)  $B_t$  values calculated and fitted for  $g=10$  mm  $R=3$  mm

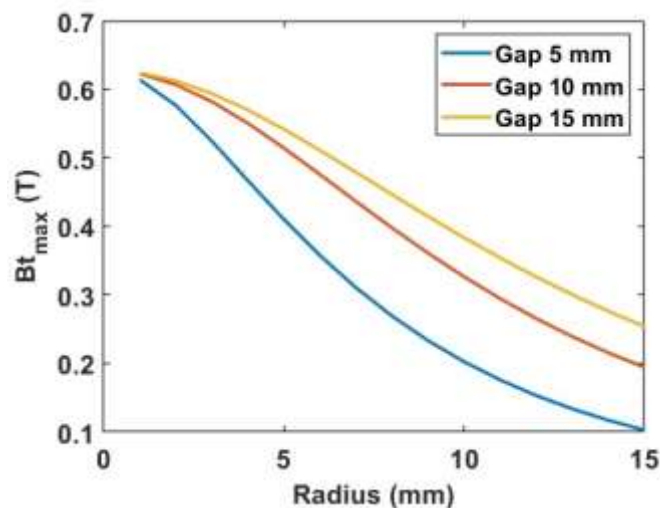
## RESULTS AND DISCUSSION

In order to investigate the  $B_t$  linearity calculated in Equation 3, the air gap was chosen as 5 mm, 10 mm and 15 mm. Each  $B_t$  data are calculated by increasing the radius of the magnets by 1 mm between 1 mm and 15 mm was fitted to a linear function. Fit results of  $R^2$  values are recorded. The recorded  $R^2$  values are shown in Figure 4 depending on the radius. As can be seen for a constant air gap length the linearity ( $R^2$ ) increases as radius of the magnets increase. And if the  $R$  value kept constant linearity decreases as air gap length increases.



**Figure 4.** Variation of  $R^2$  value with magnet radius at 5 mm, 10 mm and 15 mm air gap

The highest magnetic field value at the magnet boundaries was named  $B_{t_{max}}=B_t(g/2)$  (Figures 3a and 3b). The maximum values of the magnetic fields calculated with respect to the radius of the magnets are shown in Figure 5 for the air gap lengths of 5 mm, 10 mm and 15 mm. In all three air gap values, the maximum magnetic field values decrease as the radius of the magnets increases. And for constant radius as gap length increases  $B_{t_{max}}$  values increases as well. This result can be explained by negative influence of magnets on each other decreases as their separation increases.



**Figure 5.** Variation of the maximum  $B_t$  value according to the magnet radius in the air gap of 5 mm, 10 mm and 15 mm

When the results of both Figure 4 and Figure 5 are evaluated, working with magnets with suitable radius and air gap emerges as an optimization problem. Requirements of the applications must also be considered in the optimization process. If an application has high magnetic field and linearity necessity, it would be appropriate to choose the radius close to the air gap.



## CONCLUSION

In this study, magnetic field magnitude and magnetic field linearity were investigated in the central axis of the cylindrical magnet system with the same poles of the magnets are facing each other. It is shown that the theoretically calculated magnetic field and the measurement results are compatible. The magnetization  $M$  value of the magnet from the measurement results is determined to be around 920 kA/m. It is also observed that the linearity decreased as the spacing between the magnets increased. It has been observed that increasing the radius value of the permanent magnets increases the linearity but decreases the magnetic field.

## REFERENCES

- Amokrane, W., Belharet, K., Souissi, M., & Ferreira, A. (2017, July). Modeling and validation of a magnetic actuator based rectangular permanent magnets. In 2017 International Conference on Manipulation, Automation and Robotics at Small Scales (MARSS) (pp. 1-6). IEEE.
- Camacho, J. M., & Sosa, V. (2013). Alternative method to calculate the magnetic field of permanent magnets with azimuthal symmetry. *Revista mexicana de física E*, 59(1), 8-17.
- Delikoyun, K., Yaman, S., Yilmaz, E., Sarigil, O., Anil-Inevi, M., Telli, K., ... & Tekin, H. C. (2021). HologLev: A hybrid magnetic levitation platform integrated with lensless holographic microscopy for density-based cell analysis. *Acs Sensors*, 6(6), 2191-2201.
- Gassner, A. L., Abonnenc, M., Chen, H. X., Morandini, J., Josserand, J., Rossier, J. S., ... & Girault, H. H. (2009). Magnetic forces produced by rectangular permanent magnets in static microsystems. *Lab on a Chip*, 9(16), 2356-2363.
- González, M. I. (2016). Forces between permanent magnets: experiments and model. *European Journal of Physics*, 38(2), 025202.
- Luo, L., & He, Y. (2019). Magnetically induced flow focusing of non-magnetic microparticles in ferrofluids under inclined magnetic fields. *Micromachines*, 10(1), 56.
- Öztürk, Y., & Yariçi, I. (2023). A new approach to linear displacement measurements based on Hall effect sensors. *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, 31(1), 238-248.
- Öztürk, Y., & Yariçi, I. (2019). Research on a novel magnetic tilt sensor designed using Hall elements and ferrofluid. *Journal of Electrical Engineering*, 70(5), 406-411.
- Ravaud, R., Lemarquand, G., Lemarquand, V., & Depollier, C. (2008). Analytical calculation of the magnetic field created by permanent-magnet rings. *IEEE Transactions on Magnetics*, 44(8), 1982-1989.
- Ravaud, R., Lemarquand, G., Lemarquand, V., & Depollier, C. (2008). Analytical calculation of the magnetic field created by permanent-magnet rings. *IEEE Transactions on Magnetics*, 44(8), 1982-1989.
- Xiao-Fan, G., Yong, Y., & Xiao-Jing, Z. (2004). Analytic expression of magnetic field distribution of rectangular permanent magnets. *Applied mathematics and mechanics*, 25, 297-306.
- Xuan, X. (2019). Recent advances in continuous-flow particle manipulations using magnetic fluids. *Micromachines*, 10(11), 744.
- Zhang, C., Zhao, P., Wen, W., Xie, J., Xia, N., & Fu, J. (2018). Density measurement via magnetic levitation: Linear relationship investigation. *Polymer Testing*, 70, 520-525.
- Zurek, S. (2022). Performance of closed-form equations for force between cylindrical magnets over wide range of volume, aspect ratio, and force. *Journal of Electrical Engineering*, 73(6), 405-412.



## MEASURING MAGNETIC FIELD OF A MAGNET ON A PLANE BY USING THREE AXES HALL SENSOR OF A SMARTPHONE

### BİR AKILLI TELEFONUN ÜÇ EKSENLİ HALL SENSÖRÜNÜ KULLANARAK DÜZLEM ÜZERİNDEKİ BİR MIKNATISIN MANYETİK ALANININ ÖLÇÜLMESİ

*Mahshad Ramezanabady<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Ege University, Engineering Faculty, Electrical and Electronics Engineering Department, Izmir, Türkiye.*

<sup>1</sup>*ORCID ID: 0009-0004-4671-8429*

*Utku Can Sayın<sup>2</sup>*

<sup>2</sup>*Ege University, Engineering Faculty, Electrical and Electronics Engineering Department, Izmir, Türkiye.*

<sup>2</sup>*ORCID ID: 0009-0004-0981-6759*

*Erkan Zeki Engin<sup>3</sup>*

<sup>3</sup>*Ege University, Engineering Faculty, Electrical and Electronics Engineering Department, Izmir, Türkiye.*

<sup>3</sup>*ORCID ID: 0000-0002-2249-3139*

*Yavuz Öztürk<sup>4</sup>*

<sup>4</sup>*Ege University, Engineering Faculty, Electrical and Electronics Engineering Department, Izmir, Türkiye.*

<sup>4</sup>*ORCID ID: 0000-0002-9650-6350*

#### ABSTRACT

Measuring the magnetic field of magnets has an important place in technology, research, and education. There are many ways to measure the magnetic properties and magnetic field produced by permanent magnets, from VSMS such as versalite devices to low-cost miniature hall sensors. Many of these methods need analog or digital control and devices to convert measured voltage/current to magnetic fields. In the case of Hall sensors, many have only one axis measurement option, and their output is voltage. However, recent Android and iOS (MacOS) smartphones have three axis hall sensors, and it is very easy to measure magnetic fields in the order of the earth's magnetic fields (2-65  $\mu$ T). In this study, the magnetic field of a cylindrical magnet was measured in a plane perpendicular to the cylinder's principal axis by a smartphone (iPhone 11). Neodymium and ferrite magnets were used in this research. The height and diameter of the magnets were 10 mm and 18 mm, respectively. The plane and the phone distance was 12 cm, and the magnets moved with 1 cm steps on a 20 cm x 20 cm area. The magnetic field was converted from Cartesian coordinates to spherical coordinates, and the resulting data was presented. Also the position of the magnets with respect to the phone were predicted by using machine learning based regression methods. Then mean square errors between the predicted values and the original values were calculated. The results of this investigation have many applications in structural analysis, physics, energy transfer, and biomedical.

**Keywords:** Cylindrical magnet, magnetic field, smartphone, magnetic field sensor, three-axis Hall sensor, magnetic field on a plane.



## ÖZET

Mıknatısların manyetik alanının ölçülmesi teknoloji, araştırma ve eğitimde önemli bir yere sahiptir. VSM gibi karmaşık ve çok yönlü cihazlardan, düşük maliyetli ve minyatür Hall sensörlerine kadar kalıcı mıknatısların ürettiği manyetik özellikleri ve manyetik alanı ölçmenin birçok yolu vardır. Bu yöntemlerin çoğu, ölçülen gerilimi/akımı manyetik alanlara dönüştürmek için analog veya dijital kontrol ve cihazlara ihtiyaç duyar. Hall sensörleri söz konusu olduğunda, çoğunun yalnızca bir eksen ölçüm seçeneği vardır ve çıkışları gerilimdir. Bununla birlikte, son model Android ve iOS (MacOS) akıllı telefonlarda üç eksenli Hall sensörü bulunur ve bu sensörler, dünyanın manyetik alanı seviyesindeki (2-65  $\mu$ T) manyetik alanları ölçebilecek özelliklere sahiptir. Bu çalışmada, silindirik bir mıknatısın manyetik alanı, bir akıllı telefon (iPhone 11) ile silindirin ana eksenine dik bir düzlemde ölçülmüştür. Bu araştırmada neodimiyum ve ferrit mıknatısları kullanılmıştır. Mıknatısların yüksekliği ve çapı sırasıyla 10 mm ve 18 mm'dir. Düzlem ve telefon mesafesi 12 cm olup, mıknatıs 20 cm x 20 cm'lik bir alanda 1 cm'lik adımlarla hareket ettirilmiştir. Manyetik alan, Kartezyen koordinatlardan küresel koordinatlara dönüştürüldü ve elde edilen veriler sunuldu. Ayrıca makine öğrenmesi tabanlı regresyon yöntemleri kullanılarak mıknatısların telefona göre konumu tahmin edilmiştir. Daha sonra tahmin edilen değerler ile orijinal değerler arasındaki ortalama karesel hatalar hesaplandı. Bu araştırmanın sonuçları; yapısal analiz, fizik, enerji transferi ve biyomedikalde birçok uygulamaya sahiptir.

**Anahtar Kelimeler:** Silindirik mıknatıslar, manyetik alan, akıllı telefon, manyetik alan sensörü, üç eksenli Hall sensörü, düzlemdeki manyetik alan.

## INTRODUCTION

The measurement of magnetic fields has many applications, including technology, research, and education (Suksmono et al., 2017; Pili, Violanda, and Ceniza, 2018; Pili and Violanda, 2019; Öztürk and Yarıçı, 2023). As one of the magnetic field sources, permanent magnets are essential for various applications (Abdelnasser et al., 2016; Suksmono et al., 2017, Ferlini et al., 2021). So understanding their magnetic field pattern is important for many applications such as structural analysis, biomedical (Lacour et al., 2022), and teaching demonstrations (Arribas et al., 2015).

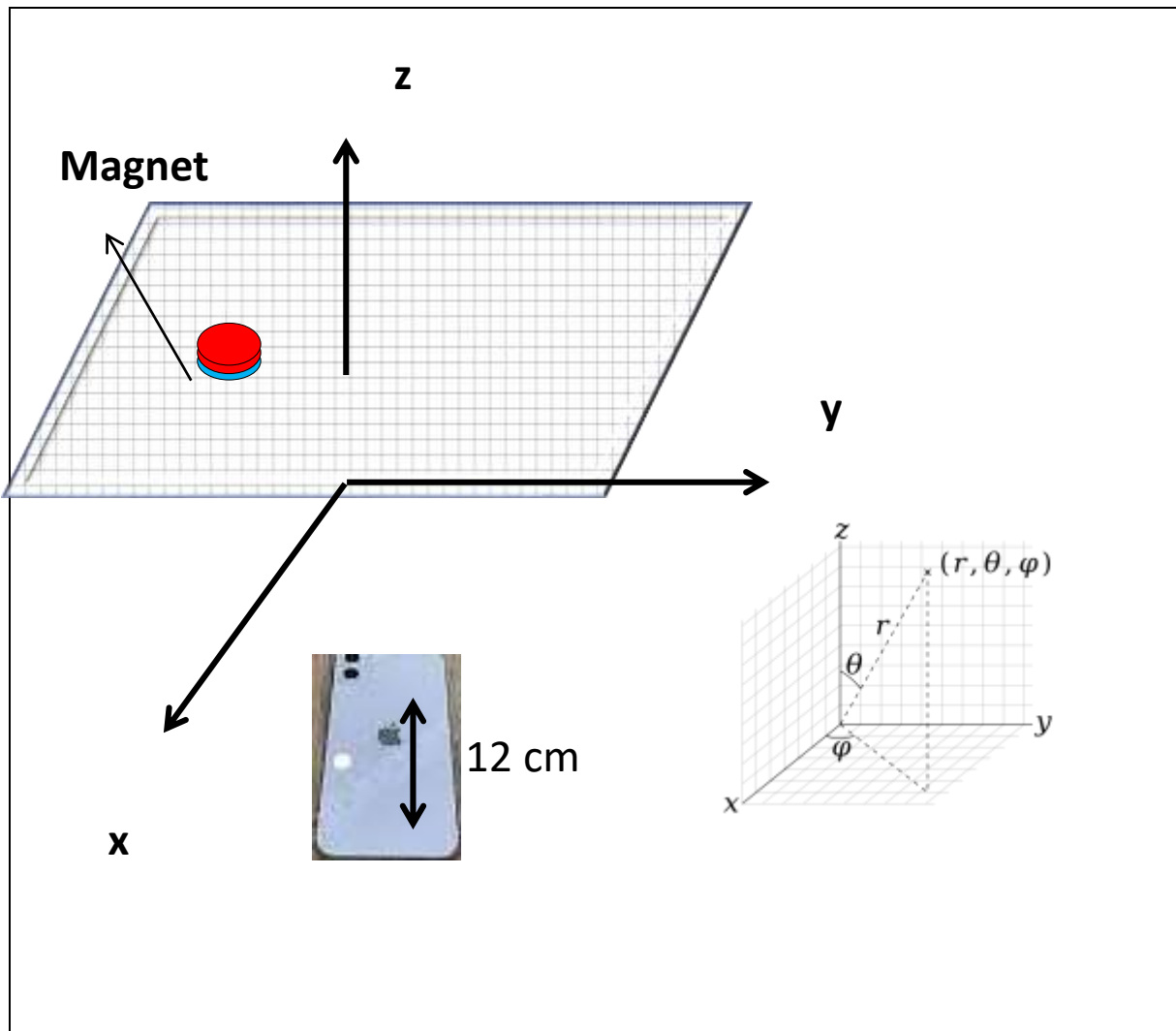
To measure magnetic properties, a wide range of measurement methods exist, ranging from sophisticated devices like VSMs (Vibrating Sample Magnetometer) to cost-effective miniature Hall sensors. Traditionally, Hall sensors have been widely used for magnetic field measurements, but they typically offer measurement options along a single axis and provide voltage outputs. So to be able to use Hall sensors, it is needed to convert measured voltage or current into magnetic field values. However, recent technological advancements have resulted in smartphones, particularly Android and iOS (MacOS) devices, being equipped with three-axis Hall sensors. This remarkable development allows for easy and convenient measurement of magnetic fields, including those generated by the Earth itself, which typically range from 2 to 65  $\mu$ T.

Measuring magnetic field on a line or axis has found many applications such as displacement sensor (Öztürk and Yarıçı, 2023) or analyzing a magnetic field sources as a teaching tool (Septianto, Suhendra, and Iskandar, 2016). Also it is possible to calculate magnetic field for the magnet geometries of known shapes cylinder, sphere, ring, cone, rectangular prism (Amokrane et al. 2017; Camacho & Sosa, 2013; Ravaud et al., 2008). Although the analytical calculation of magnetic field of a cylindrical magnet is relatively simple, this calculation becomes more complex for off axis points.

In the present study, our objective was to measure the magnetic field of two types of cylindrical magnets on a plane using a smartphone. The cylindrical magnets under investigation have a same height of 10 mm and a diameter of 18 mm. By converting the recorded Cartesian coordinates into spherical coordinates, it is aimed to give a comprehensive understanding of the magnetic field distribution. Moreover, our study delved into predicting the position of the magnet relative to the smartphone through the implementation of machine learning based regression methods. The outcomes of this investigation hold significance, as they offer valuable insights into structural analysis, physics education, and several related applications.

## THEORY AND METHODS

Magnetic field of a cylindrical magnet can be calculated analytically or simulated (Amokrane et al. 2017; Camacho & Sosa, 2013; Ravaud et al., 2008). Although this magnetic field equation is quite simple at the center axis, but at other points this calculation can be done with complex integral equations. So for simplicity, it is intended to measure and show the magnetic field of two types of magnet in a plane. The 3-axis sensor of a smartphone (iPhone 11) was used for magnetic field measurements. This phone was placed under a transparent plastic plane with grid on it. Magnet was moved on this plane as shown in Figure 1. Each magnet moved with 1 cm steps and the magnetic field values along x, y, and z directions  $B_x$ ,  $B_y$ ,  $B_z$  were recorded. It is worth to mention that a magnet can be placed under a plane and cell phone can be moved. But this method has a major disadvantage that Hall sensor axis can be rotated during the measurement and to prevent this error, the phone must be moved without rotating it.



**Figure 1.** (a) Cylindrical magnet dimensions, (b) Set of magnets with same poles facing each other and magnetic field measurement system.

To examine and analyze the magnetic field pattern, the recorded magnetic field values were then converted from Cartesian coordinates to spherical coordinates. Coordinate systems were shown in Figure 1. The transformations are listed in Equations 1-3.

$$Br = \sqrt{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2} \quad (1)$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{B_z}{\sqrt{B_x^2 + B_y^2}} \quad (2)$$





$$\varphi = \text{sgn}(B_y^2) \cos^{-1} \frac{B_x^2}{\sqrt{B_x^2 + B_y^2}} \quad (3)$$

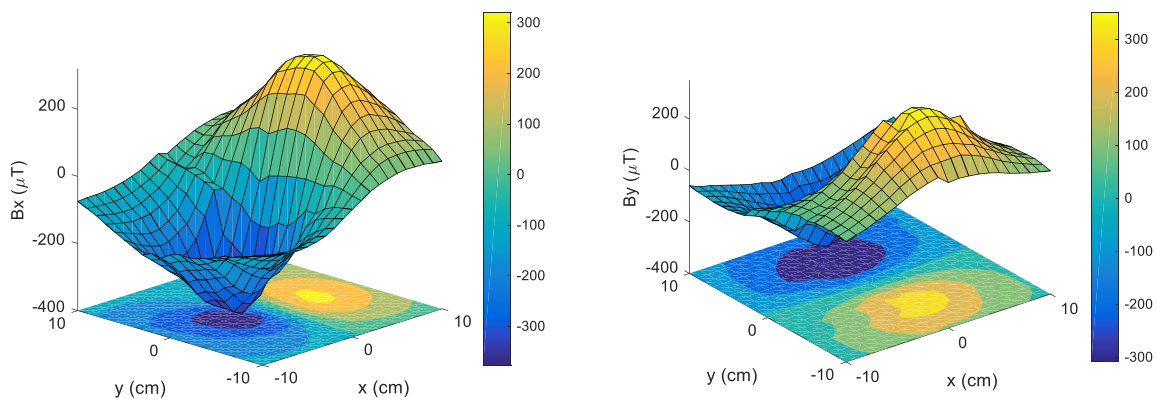
These conversions of  $B_x$ ,  $B_y$ ,  $B_z$  to the phi ( $\varphi$ ) and theta ( $\theta$ ) angles in spherical coordinates are crucial for determining the direction of the magnetic field and are used to fully understand the pattern of the magnetic field. The radial magnetic field  $B_r$  provides information about the magnitude of the magnetic field vector at each point. This approach provides a convenient and comprehensive method for studying the magnetic field properties in the given system. By combining the magnitude and orientation information obtained from the spherical coordinates, a complete understanding of the magnetic field distribution and its behavior within the studied system can be achieved.

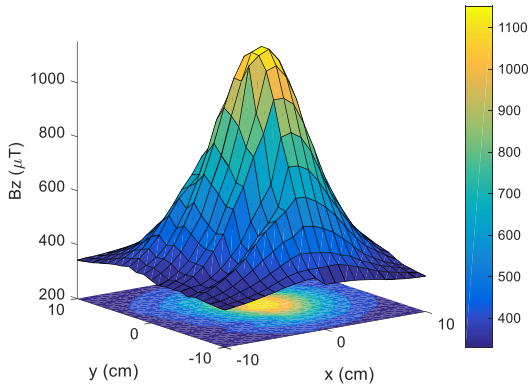
In the experiments a neodymium and ferrite type magnet were used. The magnet dimensions were height of 10 mm and radius of 18 mm. The plane and phone distance was taken as 12 cm and the phone moved with 1 cm steps on a grid of 20 cm x 20 cm area.

The position of the magnets with respect to the phone were predicted by using decision tree and k-neighbors based regression methods. The 80% of the data were used for training and 20% of the data were used for testing. Then Mean Square Errors (MSE) between the predicted values and the original values were calculated.

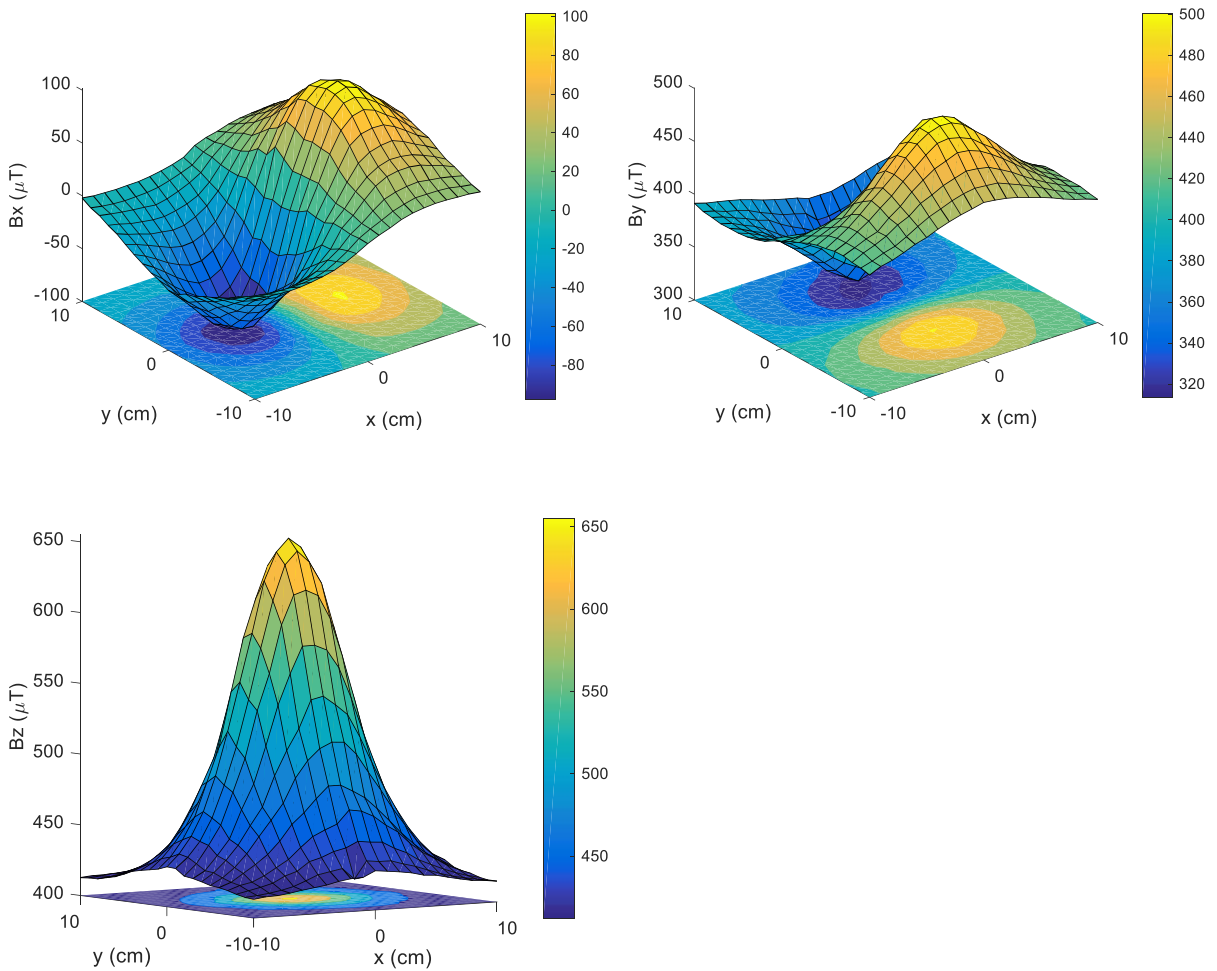
### RESULTS AND DISCUSSION

Measurement results of the ferrite and neodymium magnets in Cartesian coordinates were shown in Figure 2 and Figure 3 as contour and surface plots. As can be seen  $B_x$  and  $B_y$  are  $\pi/2$  rotated symmetric functions for both magnets. Since cylindrical magnet has symmetric magnetic field it is an expected result. All magnetic fields of neodymium magnet are higher in comparison to ferrite magnet. It is also an expected result since magnetization of neodymium magnet is relatively higher than magnetization of ferrite magnets.  $B_x$  values of magnets were observed to be close to each other, on the other hand  $B_y$  values were similar shape but quite different in values. This considered as measurement error of phone sensor and after this point  $B_y$  values of ferrite magnet taken as  $B_y = B_y - 400 \mu\text{T}$ . Earth magnetic field is around  $50 \mu\text{T}$  therefore only part of this error can be due to that. Also this error shifts the symmetry plane to around  $400 \mu\text{T}$  where it should be around 0.





**Figure 2.** Surface and contour plots of neodymium magnet's magnetic fields in Cartesian coordinates.



**Figure 3.** Surface and contour plots of ferrite magnet's magnetic fields in Cartesian coordinates.

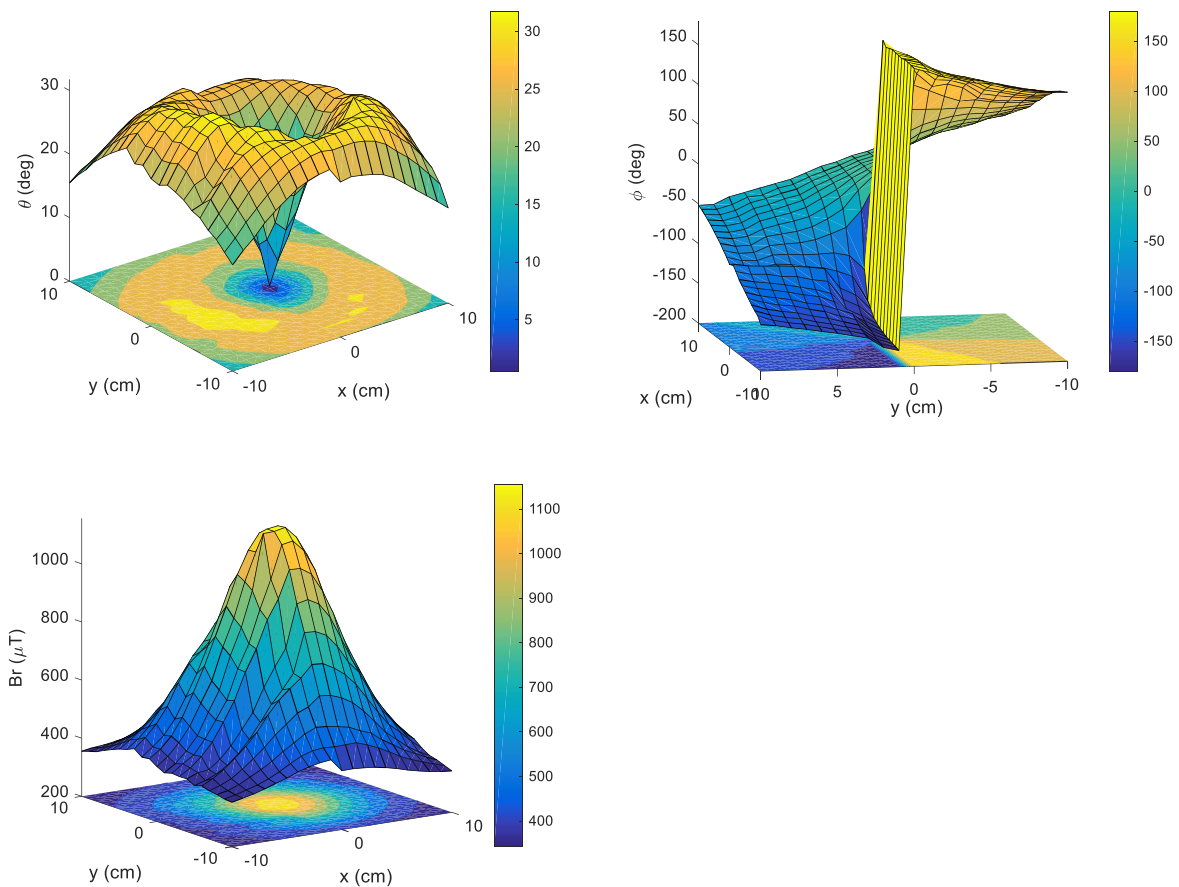
The calculated values of  $B_r$ ,  $\phi$  and  $\theta$  for the magnets were presented in Figure 4 and Figure 5. Both  $\phi$  and  $\theta$  values of the magnets are expected to be close. Since these values only depends on the direction of the magnetic field. As can be seen  $\phi$  angles which depends on  $B_x$  and  $B_y$  are identical for both magnets. Although the shapes of  $\theta$  angle results were similar, their values were different. This difference is mainly caused by the difference of  $B_z$  values. Neodymium magnet has around 2-7 times higher magnetization than the ferrite magnet. So  $B_z$  values of ferrite magnet should

also be smaller than neodymium magnet. But the  $B_z$  bias value of ferrite seems to be higher than neodymium magnet's bias value (minimum value). It is also possible to solve this error by shifting the  $B_z$  values of the ferrite magnet and obtain similar theta graph.  $B_r$  values of both magnets have similar symmetry, but  $B_r$  values were found to be around 3.2 times higher as expected neodymium magnets.

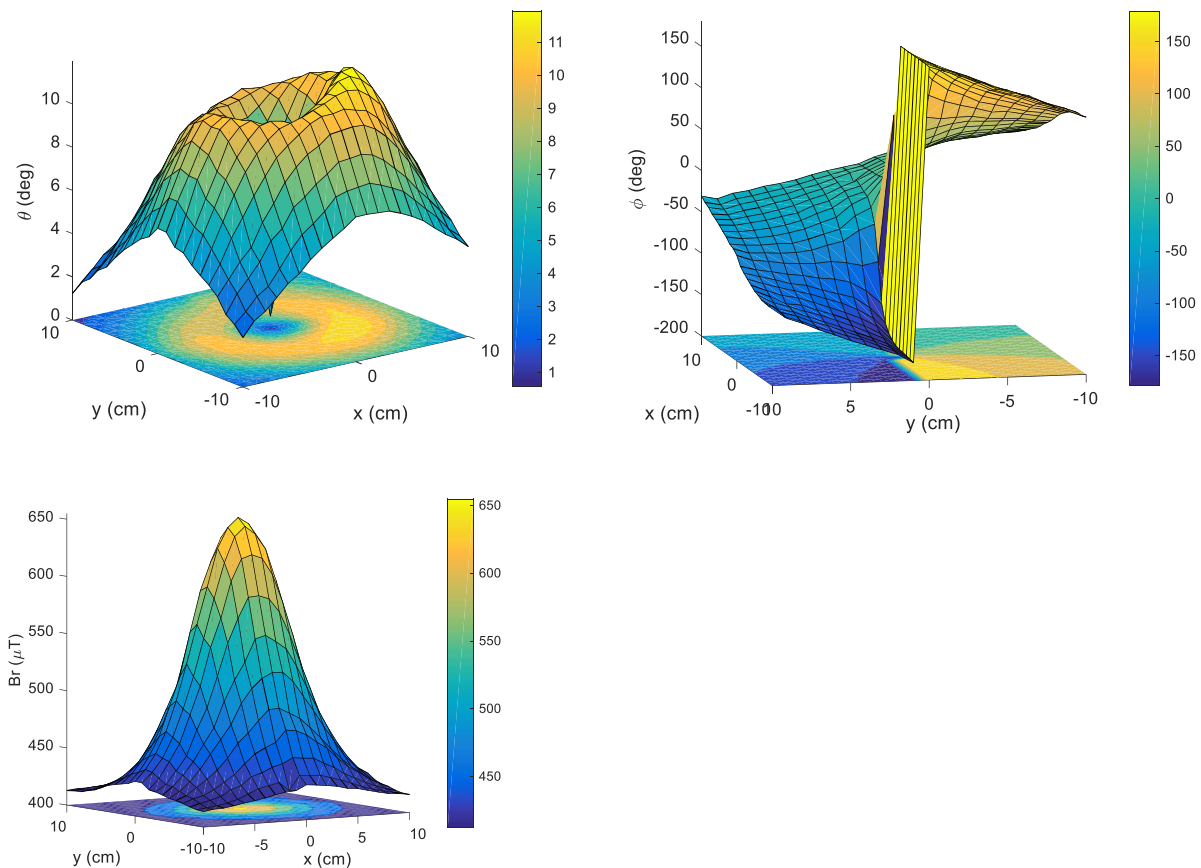
The position of the magnets with respect to the phone were predicted by using decision tree and k-neighbors based regression methods. Two different models were generated (trained and tested) for each magnet. The 80% of the data were used for training and 20% of the data were used for testing. Then Mean Square Errors (MSE) between the predicted values and the original values were calculated and given in Table 1.

**Table 1.** MSE values of regression models for the ferrite and neodymium magnets.

	MSE			
	Ferrite		Neodymium	
	x	y	x	y
<b>Decision Tree</b>	0	0	0	0
<b>K-neighbors</b>	3.57	3.57	773.26	1.83



**Figure 4.** Surface and contour plots of neodymium magnet's magnetic fields in spherical coordinates.



**Figure 5.** Surface and contour plots of ferrite magnet's magnetic fields in spherical coordinates.

## CONCLUSION

Magnetic field pattern of two similar shaped ferrite and neodymium magnet on a plane were investigated in spherical and Cartesian coordinates. The symmetry of magnetic fields was emphasized. Measurement errors were pointed out. Almost identical phi angle values were obtained for both magnets. It was also shown that the error of decision tree based regression model is close to zero. This result shows that it is possible to determine the position of magnets from theta and phi angles.

## REFERENCES

- Abdelnasser, H., Youssef, M., & Harras, K. A. (2016, June). Magboard: Magnetic-based ubiquitous homomorphic off-the-shelf keyboard. In 2016 13th Annual IEEE International Conference on Sensing, Communication, and Networking (SECON) (pp. 1-9). IEEE.
- Amokrane, W., Belharet, K., Souissi, M., & Ferreira, A. (2017, July). Modeling and validation of a magnetic actuator based rectangular permanent magnets. In 2017 International Conference on Manipulation, Automation and Robotics at Small Scales (MARSS) (pp. 1-6). IEEE.
- Arribas, E., Escobar, I., Suarez, C. P., Najera, A., & Beléndez, A. (2015). Measurement of the magnetic field of small magnets with a smartphone: a very economical laboratory practice for introductory physics courses. *European Journal of Physics*, 36(6), 065002.
- Camacho, J. M., & Sosa, V. (2013). Alternative method to calculate the magnetic field of permanent magnets with azimuthal symmetry. *Revista mexicana de fisica E*, 59(1), 8-17.
- Ferlini, A., Montanari, A., Grammenos, A., Harle, R., & Mascolo, C. (2021, March). Enabling in-ear magnetic sensing: Automatic and user transparent magnetometer calibration. In 2021 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom) (pp. 1-8). IEEE.



Lacour, P., Dang, P. L., Heinzl, F. R., Parwani, A. S., Bähr, F., Kucher, A., ... & Blaschke, F. (2022). Magnetic field-induced interactions between phones containing magnets and cardiovascular implantable electronic devices: Flip it to be safe?. *Heart rhythm*, 19(3), 372-380.

Öztürk, Y., & Yariçi, I. (2023). A new approach to linear displacement measurements based on Hall effect sensors. *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, 31(1), 238-248.

Pili, U., Violanda, R., & Ceniza, C. (2018). Measurement of g using a magnetic pendulum and a smartphone magnetometer. *The Physics Teacher*, 56(4), 258-259.

Pili, U., & Violanda, R. (2019). Measuring a spring constant with a smartphone magnetic field sensor. *The Physics Teacher*, 57(3), 198-199.

Ravaud, R., Lemarquand, G., Lemarquand, V., & Depollier, C. (2008). Analytical calculation of the magnetic field created by permanent-magnet rings. *IEEE Transactions on Magnetics*, 44(8), 1982-1989.

Septianto, R. D., Suhendra, D., & Iskandar, F. (2016). Utilisation of the magnetic sensor in a smartphone for facile magnetostatics experiment: magnetic field due to electrical current in straight and loop wires. *Physics Education*, 52(1), 015015.

Suksmono, A. B., Danudirdjo, D., Setiawan, A. D., & Rahmawati, D. (2017). Magnetic subsurface imaging systems in a smartphone based on the built-in magnetometer. *IEEE Transactions on Magnetics*, 53(11), 1-5.



## A CASE STUDY OF PHOTOACOUSTIC EFFECT FOR TWO DIFFERENT THERMAL CONDUCTIVE MATERIALS

*Damla Can Atıcı<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Ege University, Faculty of Engineering, Electrical and Department of Electronics Engineering, Izmir, Turkiye.

<sup>1</sup>ORCID ID: 0009-0005-4341-948X

*İbrahim Akkaya<sup>2</sup>*

<sup>2</sup>Ege University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering, Izmir, Turkiye.

<sup>2</sup>ORCID ID: 0000-0003-0605-7115

*Yavuz Öztürk<sup>3</sup>*

<sup>3</sup>Ege University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering, Izmir, Turkiye.

<sup>3</sup>ORCID ID: 0000-0002-9650-6350

### ABSTRACT

Photoacoustic (PA) effect is a well-known measurement technique and has many applications in biomedical imaging to material investigations. In this study, a single wavelength photoacoustic measurement setup with a modulation frequency ( $f$ ) measurement scanning option is designed. The setup is utilized to show thermal diffusion and thermo elastic behaviors of two thermally distinct materials. An 808 nm laser diode (LD) is used as an excitation source. A function generator and a laser diode driver are used to drive the LD with a square wave at a constant current amplitude and modulated between 1 Hz to 5 kHz. A piezoelectric microphone is connected to a lock-in amplifier for the measurements. All devices are controlled by a developed program that has a computer interface to enter the necessary parameters. A polyvinyl chloride (PVC) black tape (electrical isolation tape) as a low thermally conductive material (0.12 – 0.25 W/mK) and a pyrolytic graphite (PG) as a high thermally conductive (along surface: 1000-1200 W/mK, along thickness: 15-20 W/mK) are chosen for measurements. The samples are placed on the center of a brass side of the microphone and laser illuminated on them. The dominant frequency response of PA results for the PVC tape is  $1/f$  and for the pyrolytic graphite is  $1/f^{1.5}$ . Additionally, the resonance frequency of piezo microphone is determined as 3246 Hz for PVC and 3428 Hz for PG. It is found that both resonance frequency and amplitude depend on the thermal conductivity of material.

**Keywords:** Photoacoustic, low cost, thermal conductivity, NIR laser diode.

### INTRODUCTION

Optically generated acoustic waves as a result of the conversion of absorbed electromagnetic radiation energy to heat and thermal shape deformation is called as photoacoustic (PA). The PA effect was first observed by Graham Bell in 1880 while doing experiments on communication and acoustic (Bell, 1880). After the discovery of PA effect, this acoustic detection method due to the interaction of light and matter has been applied to many research areas such as material detection (Li et al., 2015), biomedical imaging (Lucero and Chan, 2021; Chue et al., 2023), material characterization (Somer et al., 2013), art (Tserevelakis et al., 2017), and so on.

The interaction of light and matter in the PA method has been known to be dependent on the optical, thermal, and mechanical properties of materials (Somer et al., 2013). Therefore, the measured PA signal can be used to determine these material properties. Different configurations of PA setups allow for solid,



liquid, and gas analysis. Some of these configurations require an acoustic cell design where materials are placed inside, while others involve direct placement of materials in front of modified microphones (Somer et al., 2013). Another method involves direct contact of the materials with a piezoelectric material (Jackson and Amer, 1980; Hu, Wang, and Xu, 1999; Lengenfelder B. et al., 2021). The approach of directly contacting the materials to piezoelectric microphone-type structures offers advantages in terms of simplicity and cost-effectiveness. The piezoelectric effect in these microphones is based on the conversion of mechanical energy into electrical energy. It is worth to mention that, PA and piezoelectric effects can also be utilized for direct measurement of light intensity and the investigation of the PA effect (Inan, Öztürk, and Özdemir, 2019; Keeratirawee and Hauser, 2021).

In this study, different from the studies examined before, the measurements were conducted on two materials such as isotropic low thermal conductivity and anisotropic high thermal conductivity. One of the materials is pyrolytic graphite (PG), which exhibits anisotropic high thermal conductivity; another one is well known black PVC electrical tape. The materials were brought into contact with a piezo microphone during the measurements. An 808 nm modulated laser was used to excite the materials. The measurement results were analyzed within the frequency range of 0-20 Hz and the modulation range of 2 kHz - 5 kHz.

### THEORY AND EXPERIMENTAL METHOD

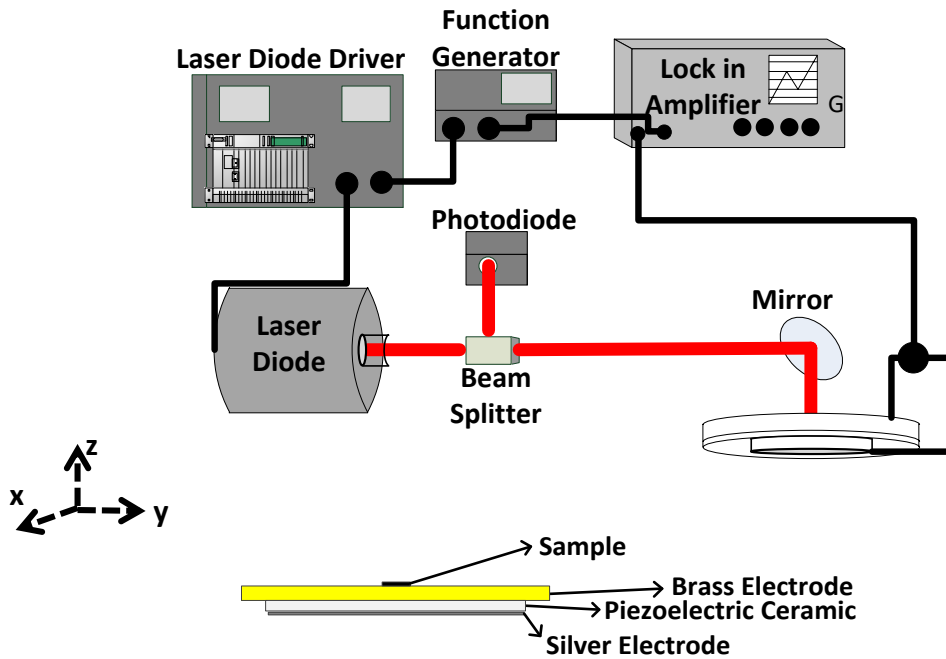
The PA effect occurs when a light with a time-varying intensity (intensity modulated), such as a laser pulse, is absorbed by a material which causes thermo-elastic expansion of the material. Resulting pressure change causes acoustic waves which propagate into the surroundings. In PA effect, thermal shape deformation is mainly caused by thermal expansion and contraction due to the temperature change in the matter. So, absorbed light energy is one of the important parameters for PA effect. Material parameters such as thermal expansion coefficient, thermal conductivity, and light penetration depth can also be considered for the PA effect and more detailed information can be found in several studies such as in the references Hu, Wang, and Xu, 1999, Somer et al., 2013, and Liu, 1982.

After PA waves generated, many factors come to play role for detection such as coupling of sensor and PA source, frequency response of almost all the elements in the system. For instance, the resonance frequency of the sensor is very important for high frequency applications (Sim et al., 2017). It is possible to derive the detected PA signal magnitude as (Somer et al., 2013)

$$V = k_1(f) \frac{P}{2f} + k_2(f) \frac{P}{2f^{3/2}} + C \quad (1)$$

In Equation (1),  $P$  is the optical power,  $f$  is the modulation frequency of light, and  $k_1(f)$  and  $k_2(f)$  are functions which depend on all the thermal, optical, elastic properties of the absorbing material and the frequency dependence of the system elements. In equation (1), the term  $P/2f$  is the energy of the incident light beam on the sample during each period of modulated light. So if  $k_1(f)$  and  $k_2(f)$  are taken as a constant, it is expected to observe PA signal intensity decrease with increasing frequency.

The schematic of designed experimental setup, the piezo microphone and samples are shown in Figure 1. All setup is controlled with custom developed computer interface. The square wave signals from the signal generator (Agilent 3310A) used for to set the modulation frequency and amplitude of laser diode via laser diode driver (Melles Griot 06-DLT-302). Also this output of signal generator connected to lock-in amplifier (LIA: SR830) as a reference input. When the laser was on, the power of the laser was measured as around 28 mW. The laser beam illuminated on the sample where placed on the piezo microphone. The modulation frequency was changed 1Hz to 5 kHz during the measurements. A photodiode (Thorlabs PDA100A-EC) and optical power meter (ILX Lightwave OMM-6810B) were used for measuring and tracking the light intensity and power.



**Figure 1.** The schematic presentation of the experimental setup.

Thermal properties of the samples were given in Table 1. As can be seen, the PG (EYGA091202DM) has high thermal conductivity along its surface but relatively low thermal conductivity along its thickness. An electrical isolation tape was used as a low thermal conductive material. This tape is very common and easy to find in any hardware store.

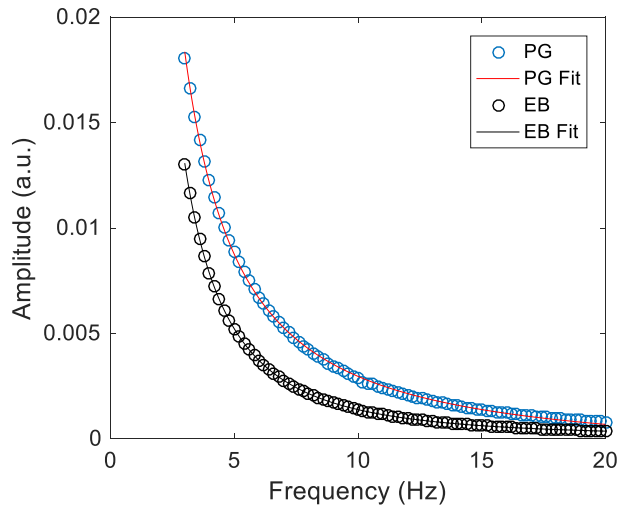
**Table 1.** Thermal conductivity of the samples

	Thermal conductivity along z direction (W/mK)	Thermal conductivity along x-y plane (W/mK)
Pyrolytic Graphite (PG)	15-20	1000-1200
PVC Electrical tape (EB)	0.12 – 0.25	0.12 – 0.25

## RESULTS AND DISCUSSION

The experimental results were taken by the system depicted in Figure 1. The samples were positioned on the center of piezo microphones brass side. The microphone was not fixed to not influence its resonance frequency. As a first step, the frequency dependence of PA signal was investigated between 1 Hz – 20 Hz range. The results were given in Figure 2. The blue circles represent the PG and the black circles represent the electrical tape results. The solid lines represent fitted functions of the Equation 1. As it can be seen, while frequency increases the PA signal amplitude decreases for both samples as expected. However, their dependences to the frequencies are different.





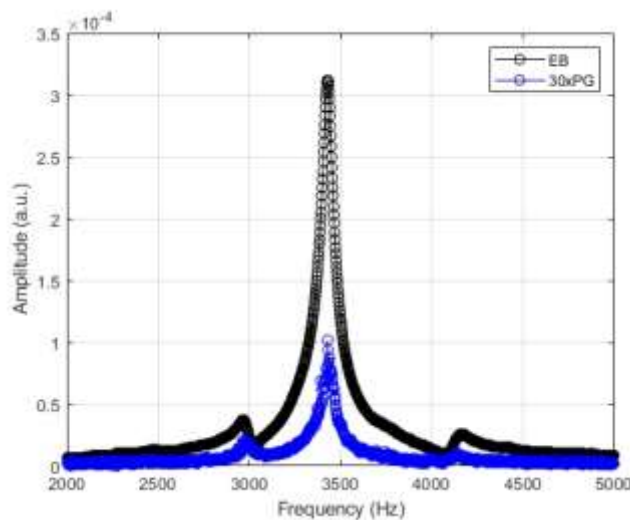
**Figure 2.** The experimental and theoretical PA signal results with respect to frequency. (Blue circle: PG measurement result, Black circle: EB measurement result and solid lines: fitted functions)

The coefficients of fitted functions are given in Table 2. As can be seen the EB sample has higher dependency than PG on  $1/f^{3/2}$ . On the other hand PG has higher dependency than EB on  $1/f$ . These EB (PVC) results found to be in line with the results of the study of Mansanares et al. (1991). They also found close to  $1/f$  dependency for PVC.

**Table 2.** Fitted function coefficients for the Equation 1 (within 95% confidence bounds)

Sample	$k_1$ (V/J)	$k_2$ (V/J)	C (V)
PG	0.01575	0.07289	-0.0009102
EB	-0.02284	0.1058	0.0003305

PA results were also investigated at the resonance frequency of the piezo microphone (contact microphone). For EB, it is very clear and high signal obtained at the resonance frequency at 3246 Hz. Nevertheless the PG has almost 96 times lower PA signal amplitude which can be presented in Figure 3. However, the resonance frequency is close to the EB and it is around 3428 Hz for the PG as well. This difference may be caused by high heat conduction of PG along to its surface and so less mechanical shape deformation or bending in comparison to the EB.



**Figure 3.** The PA signal results at the resonance frequency band for EB and PG samples.



## CONCLUSION

Photoacoustic (PA) effect is a well-known measurement technique used to measure two thermally different samples. The designed computer controlled experimental setup was used for measurements at the frequency range from 1 Hz to 5 kHz. The resonance frequency was around 3340 Hz responses were investigated. In low frequency regime PG has higher PA signal amplitude results but at the resonance frequency 96 times lower PA signal obtained. Also the resonance frequency of piezo microphone is determined as 3246 Hz for PVC and 3428 Hz for PG. We believe that especially the results at resonance frequency are promising for thermal conductivity characterizations for different material analysis.

## REFERENCES

- Bell, A. G. (1880). The photophone. *Science*, (11), 130-134.
- Chu, B., Chen, Z., Shi, H., Wu, X., Wang, H., Dong, F., & He, Y. (2023). Fluorescence, ultrasonic and photoacoustic imaging for analysis and diagnosis of diseases. *Chemical Communications*, 59(17), 2399-2412.
- Hu, H., Wang, X., & Xu, X. (1999). Generalized theory of the photoacoustic effect in a multilayer material. *Journal of Applied Physics*, 86(7), 3953-3958.
- Inan, I., Öztürk, Y., & Özdemir, İ. E. (2019, October). Optical power measurement by using piezo microphone. In *2019 Innovations in Intelligent Systems and Applications Conference (ASYU)* (pp. 1-4). IEEE.
- Jackson, W., & Amer, N. M. (1980). Piezoelectric photoacoustic detection: theory and experiment. *Journal of Applied Physics*, 51(6), 3343-3353.
- Keeratirawee, K., & Hauser, P. C. (2021). Piezoelectric tube as resonant transducer for gas-phase photoacoustics. *Analytica Chimica Acta*, 1147, 165-169.
- Lengenfelder, B., Hohmann, M., Späth, M., Scherbaum, D., Weiß, M., Rupitsch, S. J., ... & Klämpfl, F. (2021). Remote photoacoustic sensing using single speckle analysis by an ultra-fast four quadrant photo-detector. *Sensors*, 21(6), 2109.
- Li, J. S., Yu, B., Fischer, H., Chen, W., & Yalin, A. P. (2015). Contributed Review: Quantum cascade laser based photoacoustic detection of explosives. *Review of Scientific Instruments*, 86(3), 031501.
- Liu, G., "Theory of the photoacoustic effect in condensed matter" *Applied Optics*, 21(5), 955-960, 1982
- Lucero, M. Y., & Chan, J. (2021). Photoacoustic imaging of elevated glutathione in models of lung cancer for companion diagnostic applications. *Nature Chemistry*, 13(12), 1248–1256.
- Sim, J. Y., Ahn, C. G., Huh, C., Chung, K. H., Jeong, E. J., & Kim, B. K. (2017). Synergetic resonance matching of a microphone and a photoacoustic cell. *Sensors*, 17(4), 804
- Somer, A., Camilotti, F., Costa, G. F., Bonardi, C., Novatski, A., Andrade, A. V. C., ... & Cruz, G. K. (2013). The thermoelastic bending and thermal diffusion processes influence on photoacoustic signal generation using open photoacoustic cell technique. *Journal of Applied Physics*, 114(6).
- Tserevelakis, G. J., Vrouvaki, I., Siozos, P., Melessanaki, K., Hatzigiannakis, K., Fotakis, C., & Zacharakis, G. (2017). Photoacoustic imaging reveals hidden underdrawings in paintings. *Scientific reports*, 7(1), 747.
- Mansanares, A. M., Vargas, H., Galembeck, F., Buijs, J., & Bicanic, D. (1991). Photoacoustic characterization of a two-layer system. *Journal of applied physics*, 70(11), 7046-7050.



## ANTIOXIDANT PROPERTIES OF FIVE *LACTOBACILLUS PLANTARUM* STRAINS AS PROBIOTICS

*Sebouai manel*

*Laboratoire de Biotechnologie végétale et Ethnobotanique, Faculté de Sciences de la Nature et de la vie, University of Bejaia, 06000, Bejaia, Algeria*

### ABSTRACT

Consumers are increasingly looking for functional foods that offer health benefits above and beyond their basic nutritional purpose. Numerous clinical studies regarding their potential in the prevention of some diseases have been made public. As a result, the use of probiotic bacteria has increased significantly over the past two decades. Due to their numerous health benefits, some of which seem connected to their antioxidant properties, lactic acid bacteria (LAB) are the most commonly used probiotics in fermented foods and beverages and food supplements for humans or animals. Hydrogen peroxide (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) is a significant biologically active, non-radical reactive oxygen species, while it is not toxic on its own, it can be transformed into considerably more dangerous radicals. In the current study a speedy, low-cost, reproducible, specific, sensitive, and accurate method for detecting the anti-oxidant H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> scavenging activity of five lactobacillus plantarum strains isolated from poultry feces. We employed 1,10-phenanthroline and ferrous ammonium sulfate to test scavenging activity. AML3 strain showed the highest scavenging activity, with inhibition rates of 78.57%. AML3F, AML1, AML2 and AML5 showed also great activity 73.47 %, 69.39 %, 71.60 % and 74.90 % respectively. This study demonstrated that *L. plantarum* strains isolated from poultry could be considered a potential antioxidant for functional food.

**Keywords:** *Lactobacillus plantarum*, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, broiler, antioxidant activity.

### Introduction

Reactive oxygen metabolites (ROM), which are produced during normal bodily processes such as respiration in anaerobic organisms, can damage proteins, lead to DNA mutations, oxidize membrane phospholipids, and change low-density lipoproteins. An excessive amount of ROM can cause cellular damage, which in turn encourages the development of chronic diseases<sup>1</sup>. The existence of probiotics with antioxidant activity that reduce oxidative stress in the host is an innovative, pioneering strategy. Probiotics are live microbial feed supplements that benefit the host animal by improving the balance of its intestinal flora<sup>3</sup>. These benefits include the preservation of healthy gut microbiota as well as the prevention of gastrointestinal issues such as gastrointestinal infections, inflammatory bowel disease, and even cancer. Several studies have reported antimicrobial activity against pathogens and the potential use of lactic acid bacteria (LAB) isolated from animals as probiotics in animal feed<sup>4,5</sup>.

Various probiotics have been used in poultry so far. Lactobacillus strains, the most commonly used probiotic strains, have been discovered to be long-term residents of the intestinal tracts and to be beneficial additives for promoting poultry production performance<sup>6</sup>. They were discovered to play critical roles in gastrointestinal functions and the reduction of oxidative stress<sup>7</sup>. Lactobacillus increased the antioxidant capacity of the liver in broilers<sup>8</sup>. Therefore, this study aimed to investigate antioxidative capacity of five probiotics using a simple method.

### Material and Method

#### Inoculum preparation

The five *Lactobacillus plantarum* strains (AML3F, AML1, AML2, AML3, AML5) were cultured in sterile MRS broth at 37°C for 24 h in an aerobic environment, then the cell-free extracts (CFE) were prepared by centrifugation (10,000 rpm, for 10 min).



## Scavenging Activity Against Hydroxyl Radical.

The hydrogen peroxide scavenging potential of LAB is estimated using the method of Mukhopadhyay et al. (2016)<sup>9</sup>. 250  $\mu$ L of ferrous ammonium sulphate (2 mM) was added to 1.5 mL of CFE. The mixture was stirred vigorously, then 62.5  $\mu$ L of hydrogen peroxide (5 mM) was added and the mixture was stirred and allowed to stand at room temperature for 5 min. Then 1.5 mL of 1,10-phenanthroline (1 mM) was added to each tube. The mixture was incubated for 10 minutes at room temperature. Finally, the absorbance of the reaction medium was measured at 510 nm. The same procedure was repeated for ascorbic acid which is used as a standard.

The scavenging activity (%) =  $(A_{\text{sample}} - A_{\text{blank}}) / (A_0 - A_{\text{blank}}) * 100$ ,

where  $A_0$  was the absorbance of deionized water instead of  $H_2O_2$  and sample in the assay system. The blank was deionized water.

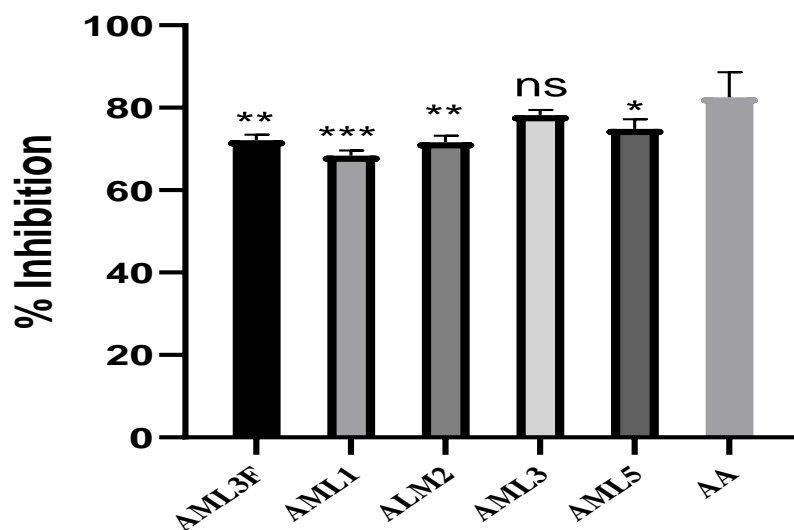
### Statistical Analysis

Statistical significance was determined by one way analysis of variance (ANOVA) using GraphPad Prism (version 8). Significant differences between means were determined by Tukey method and values with  $P < 0.05$  were considered significant.

### Result and discussion

Excessive production of free radicals contributes to oxidative stress, a harmful biological condition that results in broiler performance declines, deteriorated meat, and immunosuppression<sup>10</sup>. Probiotics are thought to be a natural way for animals and human to produce more antioxidant defenses against excess free radicals<sup>1</sup>. In this light, the selection of specific strains and evidence of their effectiveness in controlling reactive radicals can be used to develop novel probiotic feeds or supplements that can help prevent oxidative stress and related diseases.

In this study, the antioxidant capacity of five *plantarum* strains isolated from poultry feces was studied, the results are presented in Fig.1.



**Figure 1.**  $H_2O_2$  scavenging activity of prepared culture media fractions of AML3F, AML1, AML2, AML3, AML5 and ascorbic acid as control expressed as a percentage  $\pm$  SD

*Lactobacillus plantarum* AML3 exhibited maximum  $H_2O_2$  scavenging activity of 78.24%, which was greater ( $P < 0.05$ ) than the activities of other isolated *plantarum* strains. According to Amanatidou et al. (2001b)<sup>11</sup>, *Lactobacillus sake* inhibited hydrogen peroxide, and its cell-free extract demonstrated hydroxyl radical scavenging, ferrous ion chelation, and reducing activity. The *lactobacillus plantarum* strains in this study could be candidates for antioxidative strains. Such antioxidative strains with



desirable properties could be a promising material for applied microbiology as well as the scientific food and feed industry.

### Conclusion

The findings suggest that because of their antioxidant activity, *Lactobacillus* strains isolated from poultry feces are potential probiotic candidates. This trait may be useful if these strains are used as food and feed additives to improve both human and animal health. The characteristics of the chosen strains to be used as food and feed additives require additional and in-depth research.

### Reference

1. Amaretti A, Di Nunzio M, Pompei A, Raimondi S, Rossi M, Bordoni A. Antioxidant properties of potentially probiotic bacteria: In vitro and in vivo activities. *Appl Microbiol Biotechnol*. 2013;97(2):809-817. doi:10.1007/s00253-012-4241-7
2. Rg R. A Review. Published online 1989:365-378.
3. Abd El-Hack ME, El-Saadony MT, Shafi ME, et al. Probiotics in poultry feed: A comprehensive review. *J Anim Physiol Anim Nutr (Berl)*. 2020;104(6):1835-1850. doi:10.1111/jpn.13454
4. Chen YJ, Son KS, Min BJ, Cho JH, Kwon OS, Kim IH. Effects of dietary probiotic on growth performance, nutrients digestibility, blood characteristics and fecal noxious gas content in growing pigs. *Asian-Australasian J Anim Sci*. 2005;18(10):1464-1468. doi:10.5713/ajas.2005.1464
5. Dong X, Zhang N, Zhou M, Tu Y, Deng K, Diao Q. Effects of dietary probiotics on growth performance, faecal microbiota and serum profiles in weaned piglets. *Anim Prod Sci*. 2014;54(5):616-621. doi:10.1071/AN12372
6. Shen X, Yi D, Ni X, et al. Effects of *Lactobacillus plantarum* on production performance, immune characteristics, antioxidant status, and intestinal microflora of bursin-immunized broilers. *Can J Microbiol*. 2014;60(4):193-202. doi:10.1139/cjm-2013-0680
7. Yang X, Li L, Duan Y, Yang X. Antioxidant activity of *Lactobacillus plantarum* JM113 in vitro and its protective effect on broiler chickens challenged with deoxynivalenol 1. 2018;(May):837-846. doi:10.2527/jas2016.0789
8. Jahromi MF, Altaher YW, Shokryazdan P, et al. Dietary supplementation of a mixture of *Lactobacillus* strains enhances performance of broiler chickens raised under heat stress conditions. *Int J Biometeorol*. 2016;60(7):1099-1110. doi:10.1007/s00484-015-1103-x
9. Mukhopadhyay D, Dasgupta P, Sinha Roy D, et al. A Sensitive In vitro Spectrophotometric Hydrogen Peroxide Scavenging Assay using 1,10-Phenanthroline. *Free Radicals Antioxidants*. 2016;6(1):124-132. doi:10.5530/fra.2016.1.15
10. Wu Y, Wang B, Zeng Z, et al. Effects of probiotics *Lactobacillus plantarum* 16 and *Paenibacillus polymyxa* 10 on intestinal barrier function, antioxidative capacity, apoptosis, immune response, and biochemical parameters in broilers. *Poult Sci*. 2019;98(10):5028-5039. doi:10.3382/ps/pez226
11. Amanatidou A, Bennis MH, Gorris LG, Smid EJ. Superoxide dismutase plays an important role in the survival of *Lactobacillus sake* upon exposure to elevated oxygen. *Arch Microbiol*. 2001;176(1-2):79-88. doi:10.1007/s002030100297



## TWITTER VERİLERİ İLE DOĞAL DİL İŞLEME: BERT İLE DUYGU ANALİZİ NATURAL LANGUAGE PROCESSING VIA TWITTER DATA: SENTIMENT ANALYSIS WITH BERT

**Taner SEKMEN**

*Ege Üniversitesi, Fen fakültesi, İstatistik Bölümü, İzmir, TÜRKİYE.*

*ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0001-0044-3325>*

**Atakan BARIŞ**

*Ege Üniversitesi, Fen fakültesi, İstatistik Bölümü, İzmir, TÜRKİYE.*

*ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0006-9282-6556>*

**Büşra SAYIN**

*Ege Üniversitesi, Fen fakültesi, İstatistik Bölümü, İzmir, TÜRKİYE.*

*ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0008-8899-3524>*

**Dr. Elif KOZAN**

*Ege Üniversitesi, Fen fakültesi, İstatistik Bölümü, İzmir, TÜRKİYE.*

*ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8267-074X>*

### ÖZET

Doğal Dil İşleme (Natural Language Processing, NLP), son yıllarda hızla gelişerek birçok alanda kullanılmaya başlamıştır. NLP, insan dilinin bilgisayar tarafından anlaşılması ve işlenmesi ile ilgili bir disiplindir. İnsanların iletişim kurmak için kullandığı dilin, karmaşık ve çok katmanlı bir yapıya sahip olması, bu dilin otomatik olarak işlenmesini oldukça zorlaştırmaktadır. NLP, dil işleme konusunda ortaya çıkan bu zorluklara çözüm arayan ve insan dilinin anlaşılması, işlenmesi ve kullanımı için bilgisayar sistemleri geliştiren bir alandır. Doğal dil işlemenin alanlarından biri olan duygu analizi insanların belli olaylar, kişiler, markalar gibi durumlara sosyal medyada yaptıkları yorumların analizinde kullanılabilir. Sosyal medya platformlarında birçok olay hakkında kullanıcılar fikirlerini özgürce ifade edebilmektedir. Bu olaylar hakkında toplumun fikrini alma açısından verilerin incelenmesi önemlidir. Bundan dolayı günümüzde duygu analizi çalışmaları önem kazanmaktadır. Yapılan yorumları duygu analizi kullanarak pozitif (olumlu), nötr (tarafsız) ve negatif (olumsuz) olarak sınıflandırmak mümkündür. Bu çalışmada, üniversitelerin online /uzaktan eğitime geçmesiyle Twitter üzerinde yapılan yorumlar duygu analizi kullanılarak incelenecektir. Çalışmamızda metinlerin sayısal verilere dönüşümü kullanılarak insanların belli bir konuda negatif mi pozitif mi düşündükleri üzerine modelleme yapılmıştır. Twitter API'ı üzerinden toplanan tweetler Python programlama dili kullanılarak doğal dil işleme yöntemleri yardımıyla skorlanmıştır. Skorlama sonucu ilgili tweetin Negatif (-1) ve Pozitif (1) düşünce içerdiğine bağlı olarak etiketlenmiştir. Online eğitimin avantaj ve dezavantajlarını analiz etmek amacıyla yapılmış pek çok makine öğrenmesi çalışması bulunmaktadır (Remali vd., 2022; Smith & Johnson, 2018) Bu çalışmalarda duygu analizi için birçok farklı yöntem ve model kullanıldığı görülmektedir. Bizim çalışmamızda, duygu analizi için nöral ağ temeline dayanan BERT modeli kullanılmıştır. BERT modeli ile ilgili çalışma Türkçe dilinde oldukça azdır. BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers) modelleri yapısal olarak kullanılan kelimeler arasında çift taraflı model eğitimine imkân sağlanan derin öğrenme modelleridir. Çalışmanın sonucunda Tweetlerin hangi duygu ağırlıkta olduğunu belirlemek için yapılan BERT temelli duygu analizinde modelin doğruluk oranı ölçülmüştür. Online eğitime ilişkin yapılan yorumlara dair kurmuş olduğumuz modelde, metine dair; olumlu tweetlerin olumlu olarak tahminlenmesine ilişkin F1 skoru 0.73, olumsuz tweetlerin olumsuz olarak tahminlenmesi F1 skoru 0.87 olarak ölçülmüştür.



**Anahtar Kelimeler:** Doğal dil işleme, Makine öğrenmesi, Duygu analizi, BERT, Derin öğrenme, Twitter.

## ABSTRACT

Natural Language Processing (NLP) has rapidly developed in recent years and has been widely used in various fields. NLP is a discipline that deals with the understanding and processing of human language by computers. The complex and multi-layered structure of the language used by humans makes it challenging to automatically process it. NLP is an area that seeks solutions to the difficulties encountered in language processing and develops computer systems for understanding, processing, and utilizing human language. Sentiment analysis, which is one of the areas of NLP, can be used to analyze user comments on social media regarding specific events, individuals, brands, and other situations. Social media platforms allow users to freely express their opinions about various events. Analyzing the data related to these events is important for capturing public sentiment. Therefore, sentiment analysis studies have gained importance in today's world. It is possible to classify comments made by individuals as positive, neutral, or negative using sentiment analysis. In this study, we will analyze the comments made on Twitter regarding the transition of universities to online education using sentiment analysis. NLP methods convert texts into mathematical data and enable various analyses. Modeling was done based on whether people think negatively or positively about a particular subject using this data transformation. Tweets collected via the Twitter API were scored using natural language processing methods in Python. Based on the scoring results, tweets were labeled as Negative (-1) or Positive (1) depending on the thoughts expressed. There are many machine learning studies conducted to analyze the advantages and disadvantages of online education (Remali et al., 2022; Smith & Johnson, 2018 ). These studies use various methods and models for sentiment analysis. In our study, we used the BERT model, which is based on neural networks, for sentiment analysis. There are very few studies on BERT model in the Turkish language. BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers) models are deep learning models that allow bidirectional model training among the used words structurally. In the model we developed for comments related to online education, the F1 score for correctly predicting positive tweets as positive was measured as 0.73, and the F1 score for correctly predicting negative tweets as negative was measured as 0.87.

**Keywords:** Natural language processing, Machine learning, Sentiment analysis, BERT, Deep learning, Twitter.

## INTRODUCTION

Natural Language Processing (NLP) is used to enhance the performance of computers in interacting with natural language. The methods employed in this field encompass understanding the semantic structure of language, analyzing sentences, determining word meanings, text classification, machine translation, speech recognition, and synthesis, among many other processes. As a result, NLP systems have become powerful tools that can interact with humans in a more natural way and be utilized in language learning, text analysis, information extraction, and similar areas. The utilization of machine learning techniques for processing human language has gained significant popularity in recent years (Canım, 2019). Particularly, advancements in artificial intelligence and machine learning technologies have further expanded the application areas of NLP. The recent developments in this field are being used in language learning and teaching, virtual assistants, customer service, social media analysis, healthcare services, security, automotive, finance, and many other sectors (Noyan, 2019).

The use of NLP in analyzing comments on social media platforms is of great importance for promptly interpreting significant content for countries and the world. This study aims to investigate and develop a text prediction model regarding the subject of remote/online education, which has been intensely discussed in Turkey and worldwide in recent years. In this context, machine learning methods were utilized for sentiment analysis. The study employed 2000 lines of data shared on Twitter, which is a popular social networking platform, related to remote education. After data extraction, the study continued with 599 lines of data. The conversion of the text into numerical vectors was achieved,



followed by the classification of the text and the sharing of classification prediction performance in the results section. The study examined comments related to remote education using sentiment analysis, classified texts as positive or negative, and developed a new model capable of predicting the sentiment expressed in a given text.

## NATURAL LANGUAGE PROCESSING AND CLASSIFICATION

Natural Language Processing (NLP) involves the use of computers to understand, interpret, process, and generate data related to human language. Tokenization, also known as word segmentation, divides a text into smaller units to make it more analyzable. This process is used to convey the meaning of a word to an algorithm by breaking down the sentence. Each smaller unit is referred to as a token, which can be a word, character, or symbol (Khanna, 2021). There are primarily two types of tokenization methods. Sentence-level tokenization separates the text into sentences, while word-level tokenization divides the text into words. Both methods are commonly used in NLP applications. Stemming is a technique used in the field of NLP to determine word roots. The process of stemming attempts to obtain the root of a word by removing its inflected forms or derivatives. It is a preprocessing step performed on a word-by-word basis and is frequently utilized in NLP applications such as word analysis, text mining, and information retrieval. However, some issues may arise concerning the structure of languages. Words may be over-trimmed or under-trimmed, and non-affix structures may be mistaken for affixes (Yurtekin, 2022). Different algorithms can be employed or other NLP techniques (e.g., lemmatization) can be used to address these problems. Lemmatization determines the root of a word using grammatical rules. Stop words, also known as "function words," are commonly used but often meaningless words that are frequent in a sentence or document. As they are usually uninformative during text analysis or processing, they are often removed in NLP applications. This process can aid in breaking down the text into smaller, more meaningful words and improve word distribution. However, depending on a specific application or text type, it should be noted that some stop words may be useful. For example, words such as "and," "or," "but," "a," "two," "three," and "with" are considered stop words. Investigating the structures of parts of speech in natural language helps in better understanding and proper processing of texts. Understanding grammar rules and word structures facilitates understanding word meanings, relationships, and usage in natural language, enabling language models to operate more accurately and efficiently. For example, "Ağrı ili" (Ağrı province) and "ağrı hissi" (feeling of pain) are two cases that can be easily confused in Turkish. Therefore, it is necessary to clearly explain such situations to the algorithm in the project being worked on. Term Frequency (TF) and Inverse Document Frequency (IDF) are common methods of accessing information (Alupoai S., Cunningham P., 2013). TF-IDF is a feature vectorization method that reflects the importance of each term in a dataset. The TF-IDF method measures the value of a term in the entire dataset. It allows for comparing the occurrence frequency of a keyword across the entire dataset. By calculating the frequency of words in sentences and considering the occurrence frequencies in other documents, the TF-IDF method identifies the most important words for categories. TF is a measure that indicates how many times a term appears in a document. In longer documents, a term can be seen more frequently compared to shorter documents. Therefore, term frequency is often normalized by dividing the term frequency by the total number of terms in the document. IDF measures the importance of a term in a document. When calculating IDF, the importance of each term is considered equal. However, it is known that certain terms may have low importance in a document but occur more frequently. Such terms exist in every language and do not carry significant meaning on their own. For example, in Turkish, words like "ve" (and), "ama" (but), and "neden" (why) are considered stop words. Therefore, these words are removed during the text preprocessing step (Çalış vd., 2013). TF-IDF calculates the frequency of a term in a specific document (TF) and multiplies it with the inverse frequency of the term in all documents (IDF) to determine the importance of the document. This method reduces the importance of high-frequency terms within a document and increases the importance of terms that are infrequent within a specific document but have high overall frequency. TF-IDF is commonly used in text mining and information retrieval systems. It is particularly useful in tasks such as text classification and feature selection to determine the importance of documents. It can be mathematically expressed as:

$$TF - IDF(w, d) = TF(w, d) \times IDF(w)$$





Here,  $w$  represents a word and  $d$  represents a document. The term  $TF(w,d)$  denotes the frequency of a specific word in a specific document, while  $IDF(w,d)$  represents the inverse document frequency of a specific word across all documents. The result of the formula is used to determine the importance of a word. The higher the TF-IDF value, the more important the word is within that document.

Text classification and categorization is a natural language processing application that aims to assign a specific class or category to a text by analyzing its content. First, texts need to be transformed into meaningful numerical vectors (Eliöz, 2021). Classification is an algorithm that aims to divide a dataset into different classes based on various parameters. It is applied to problems that map input data to discrete output data, where the output data is of categorical type (Candan, 2021). For example, a spam filter uses a classification algorithm to determine whether an email is spam or not. Emails are divided into two different categories: spam or not spam, and the algorithm assigns the email to a category based on specific features (e.g., keywords, sender, subject, etc.). To assess the performance of classification predictions, various performance metrics are employed. These metrics include Accuracy, Precision, Recall and F1 score (Filiz, 2019). Metrics are calculated based on the correct/incorrect performance of the predictions. Here, when the prediction is positive and correctly predicted as positive, it is referred to as TP (True Positive); when it is negative and correctly predicted as negative, it is referred to as TN (True Negative); when it is actually positive but incorrectly predicted as negative, it is referred to as FN (False Negative); and when it is actually negative but incorrectly predicted as positive, it is referred to as FP (False Positive).

Accuracy is a commonly used metric to measure the performance of classification algorithms. Accuracy is obtained by dividing the number of correctly classified samples by the total number of samples. Mathematically, accuracy is calculated as follows:

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + FP + TN + FN}$$

Besides accuracy, there are other performance metrics used as well. Precision is another performance metric. It measures the ratio of true positives among the predicted positives and is a good measure when we want to limit false positive results (Behesti, 2022). For example, if a classification algorithm is used to detect individuals with a certain disease, the precision value represents the ratio of correctly diagnosed patients to the total number of diagnosed patients. In other words, the higher the precision value of an algorithm, the fewer false positive results (healthy individuals classified as diseased) there are. The mathematical expression of precision is as follows:

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP}$$

The precision value, along with other performance parameters such as recall (sensitivity) and F1 score (harmonic mean), helps in a more detailed evaluation of the performance of classification algorithms.

Recall, also known as sensitivity, is a performance metric used in machine learning and statistical classification problems. Recall represents the ratio of true positives to the sum of true positives and false negatives. This metric measures the ability of a model to capture positives. It is expressed as follows:

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN}$$

A classification model may correctly classify some positive examples as true positives, but it can also miss some positive examples (false negatives). Recall represents the number of these missed positive examples. In other words, the higher the recall, the lower the probability of the model missing positives, indicating a greater ability to correctly detect true positives (Smith J., Johnson E., 2018). This metric is particularly important in cases where false negatives are unacceptable. For example, in a medical diagnosis application, missing true positives can have serious consequences. Therefore, in such cases, it is important to maintain a high recall value to minimize potential false negatives. The recall metric is used to evaluate and optimize model performance. However, increasing recall often leads to a decrease in precision. In other words, high recall may increase the number of false positives. Therefore, it is important to strike a balance between precision and recall and may require selecting an appropriate threshold value to optimize the model.



The recall value, along with other performance parameters such as precision and F1 score, helps in a more detailed evaluation of the performance of classification algorithms. F1 score is defined as the harmonic mean of both precision and recall values. It is calculated as follows:

$$F1\ Score = \frac{2}{\frac{1}{Precision} + \frac{1}{Recall}}$$

#### **APPLICATION of NLP via TWITTER DATA: SENTIMENT ANALYSIS with BERT**

Material used and applied methods in this study are explained in this section. The implementations in this study were carried out using the object-oriented and high-level programming language Python, along with Visual Studio Code, and made available on the GitHub platform. The Python programming language version 3.10 was used in this study. For data preprocessing steps, the libraries provided by the Python programming language, such as Scikit-learn, Pandas, and Numpy, were used for traditional machine learning classification algorithms, while the Transformers and PyTorch libraries, which are part of HuggingFace, were used for the algorithm. The Tweepy library was used to collect the dataset.

In the first step, the dataset was collected using Python through the Twitter API. The consumer key, consumer secret, access token, and access token secret information were obtained by creating a Twitter application to access the Twitter API through the Twitter developer site. These obtained key and token information were used in the authentication process for accessing the Twitter API using the Tweepy library. After the authentication process was completed, authorization to fetch data from Twitter was obtained. These processes were performed using the Tweepy framework. A total of 2000 lines of data were reduced to 599 lines after cleaning. Classification was performed based on whether the data contained the predefined keywords for labeling the data. If it carried a positive meaning, a class value of 1 was assigned, and if it carried a negative meaning, a class value of 0 was assigned. The number of positively labeled tweets is 217, and the number of negatively labeled tweets is 382. As part of the preprocessing work, all data was first converted to lowercase and unnecessary spaces were removed.

In the second stage, the texts in the dataset were organized and cleaned using the NLTK library. In machine learning methods, the evaluation of classification models often involves dividing the data into two groups: training data and test data. In the third step, the dataset was initially divided into 70% for training and 30% for testing. The training process was performed at this stage. Such division of the dataset allows the model to learn from the data during the training phase and then evaluate its performance on the test data.

In the fourth step, since the dataset was in string format, it was transformed into a vectorized structure using Python functions. In the fifth stage, the TF-IDF method was used to select the most important vectors that have an impact on the model. In this paper, the TF-IDF vectorization was used to generate feature vectors on the dataset. In this method, the impact of frequently occurring terms in the dataset was reduced by weighting the term frequency with inverse document frequency. The words obtained using N-grams (Unigram and Bigram) were collected in an ordered manner and used as features with their weights calculated using TF-IDF. The "*TfidfVectorizer*" function from the Scikit-learn library, which performs the TF-IDF method, was used in this study.

In the sixth stage, the BERT model was invoked through the Transformers library and used in both the Tokenizer and model structure. Huggingface is an open-source software library used in the field of NLP (Natural Language Processing). It provides a framework for performing NLP tasks such as text classification using advanced modeling techniques and pretrained language models. The library is particularly effective in implementing Transformer-based models and can be used for processing large datasets and fine-tuning language models. Huggingface has been widely adopted by researchers, application developers, and machine learning experts, forming the basis of many projects and applications in the NLP field. In this study, the "*BertForSequenceClassification*" function was used. The parameter values that affect the performance used within the BertForSequenceClassification function are determined as follows:



*vocab\_size*: The vocabulary size of the BERT model. It defines the number of different tokens that can be represented by the *inputs\_ids* passed when calling BertModel. This parameter is set to 500.

*num\_hidden\_layers*: The number of hidden layers. It is a parameter that determines how many hidden layers the model will have during training. The parameter value is set to 3.

## CONCLUSION

In this study, an original research was conducted to develop a model that examines how remote education is perceived in society. The aim was to develop a model that can distinguish the comments made by individuals on the subject as positive/negative and predict the sentiment of a large text with an accuracy rate of 0.82 (BERT). The prediction performance values of the model are provided in Table 1.

Table 1. Performance metrics of the BERT algorithm.

	Accuracy	Precision	Recall	F1-score
0	0,82	0,83	0,91	0,87
1	0,82	0,81	0,67	0,73
Macro avg	0,82	0,82	0,79	0,80
Weighted avg	0,82	0,82	0,82	0,82

Our study aimed to assess the performance of the developed model in classifying comments related to online education. The F1 score for correctly predicting positive tweets as positive was determined as 0.73, while the F1 score for accurately identifying negative tweets as negative was measured at 0.87. Additionally, all the algorithms used during the study have been shared on the platform <https://github.com/nlp-thesis/thesis-project>. In the continuation of this study, it is planned to work on creating the model with other machine learning algorithms and determining the best-performing model.

## REFERENCES

- Alupoae S., Cunningham P. (2013). Using tf-idf as an edge weighting scheme in user-object bipartite networks, arXiv preprint arXiv:1308.6118.
- Behesti N. (2022). Guido to Confusion Matrices & Classification Performance Metrics, <https://towardsdatascience.com/guide-to-confusion-matrices-classification-performance-metrics-a0ebfc08408e>, (Erişim Tarihi: 13.06.2023).
- Candan, H. (2021). Adım Adım Makine Öğrenmesi Bölüm 2: Denetimli Öğrenme Nedir? <https://medium.com/machine-learning-t%C3%BCrkiye/ad%C4%B1m-ad%C4%B1m-makine-%C3%B6%C4%9Frenmesi-b%C3%B6l%C3%BCm-2-denetimli-%C3%B6%C4%9Frenme-nedir-80ffb1322e4f>, (Erişim Tarihi 20 Mart 2023), Machine Learning Türkiye.
- Canım, M. (2019). Using NLP Methods for the Discovery of Semantic Similarities between Words in Old Turkish Language, GÜFBED/GUSTIJ (2019) 9 (3): 537s.
- Çalış K., Gazdağı O., Yıldız, O. (2013). Reklam İçerikli Epostaların Metin Madenciliğı Yöntemleri ile Otomatik Tespiti, Bilişim Teknolojileri Dergisi, 6(1), 1-7.
- Eliöz, R. (2021). NLP ile Metin Sınıflandırma, <https://eliozrumeysa.medium.com/nlp-ile-metin-s%C4%B1n%C4%B1fland%C4%B1rma-a615530bdb16>, (Erişim Tarihi 25 Mart 2023).
- Filiz, E. (2019). Makine Öğrenmesi Yöntemleri ve Eğitim Verisi Üzerine Bir Uygulama: Uluslararası Matematik ve Fen Eğilimleri Araştırması 2015 Türkiye Örneğı. Doktora Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü: İstanbul.
- Khanna, C. (2021). Word, Subword, and Character-Based Tokenization: Know the Difference, <https://towardsdatascience.com/word-subword-and-character-based-tokenization-know-the-difference-ea0976b64e17>, Towards Data Science, (Erişim Tarihi: 28 Mart 2023).



Noyan, M. (2019). Doğal Dil İşleme (Natural Language Processing), <https://merveenoyan.medium.com/do%C4%9Fal-dil-i%CC%87%C5%9Flleme-natural-language-processing-2d7c72daf245>, (Erişim Tarihi: 17 Mart 2023).

Remali, N. A. S. Shamsuddin M. R. and Abdul-Rahman S. (2022). Sentiment Analysis on Online Learning for Higher Education During Covid-19. *2022 3rd International Conference on Artificial Intelligence and Data Sciences (AiDAS)*, pp. 142-147, doi: 10.1109/AiDAS56890.2022.9918788, IPOH, Malaysia.

Smith, J., Johnson E. (2018). LSTM-Based Sentiment Analysis for Social Media Texts. Proceedings of the Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics. ACL Anthology.

Yurtekin, Ş. A. (2022). Doğal Dil İşlemede Temel Kavramlara Hızlı Bir Bakış, <https://www.miuul.com/not-defteri/dogal-dil-islemede-temel-kavramlara-hizli-bir-bakis>, (Erişim Tarihi: 2 Mayıs 2023).



## NUMERICAL SOLUTION OF VOLTERRA INTEGRO-DIFFERENTIAL EQUATIONS USING BERNSTEIN POLYNOMIALS

OLUWASEUN BIODUN ONUOHA<sup>1</sup>, EMMANUEL ADEWALE ADENIPEKUN<sup>2</sup>, ZUBAIR OBASHOLA RAFIU<sup>3</sup>, IBRAHIM SALIHU<sup>4</sup>, ABDULLAHI MUHAMMED AYINDE<sup>5</sup>, TAIYE OYEDEPO<sup>6\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Mathematics, Adekunle Ajasin University, Akungba-Akoko, Nigeria

<sup>2</sup>Department of Mathematics and Statistics, Federal Polytechnic Ede, Odun, Nigeria

<sup>3</sup>Department of Mathematics and Statistics, Kwara State Polytechnic, Ilorin, Nigeria

<sup>4,5</sup>Department of Mathematics, University Abuja, Abuja, Nigeria

<sup>6\*</sup>Corresponding Author: Department of Applied Sciences, Federal College of Dental Technology and Therapy, Enugu, Nigeria

### ABSTRACT

This study gears toward finding the numerical solution of Volterra Integro-Differential Equations (IDEs) using Bernstein polynomials as basis functions. The method assumed an approximate solution by means of Bernstein polynomial, which is then substituted into the problem considered and thereafter converted into a linear algebraic system of equations, after which the matrix inversion is employed to solve the algebraic equations. Numerical examples were examined, and the approach was found to be both accurate and efficient. Additionally, tables are used to illustrate the results.

**Keywords:** Bernstein polynomials, Integro-differential equations, approximate solution, matrix inversion

### 1. Introduction

In recent years, there has been a growing interest in integro-differential equation. The integro-differential equations have been an important branch of modern mathematics. It arises frequently in many applied areas, which include engineering, electrostatics, mechanics, the theory of elasticity, and mathematical physics. See (Ahmed *et al.*, 2019) and the references cited therein for additional information. The general form of the class of problem considered in this work is given as:

$$\sum_{i=0}^n \mu_i(z) \xi^i(z) = f(z) + \int_0^z k(z,t) \xi(t) dt \quad (1)$$

With the initial conditions

$$\xi^i(0) = \xi_i, i = 0, 1, 2, \dots, n-1, \quad (2)$$

Where  $k(z,t)$ ,  $f(z)$  and  $\mu_i(z)$ ,  $i = 0, 1, 2, \dots, n$  with  $\xi_i(z) \neq 0$  are known functions, and  $\xi(z)$  is the unknown function to be determined. Recently, a lot of researchers have concentrated on the development of numerical and analytical methods for Integro-Differential Equations (IDEs). Below are the works of these researchers: (Ali, 2013) introduced Runge-Kutta- Verner method for solving numerical non-linear Volterra IDEs. Least squares method was used by (Mahdy and Mohamed, 2016) to approximate the solution of fractional integro-differential equations. For the solution of initial value problem, (Al-Shimmery, 2016) employed Runge-Kutta sixth order method, also, for solving Volterra IDEs, (Al-Shimmery, *et al.*, 2021) applied Runge-Kutta sixth order method. (Yuzbas, 2016) examined the use of Bernstein polynomials and collocation method for solving nonlinear Fredholm-Volterra IDEs. Solving Volterra IDEs, (Faranak, *et al.* 2017) employed fifth order improved Runge-Kutta method. Chebyshev collocation method was used by (Mishra, *et al.*, 2017) for Volterra-Fredholm IDEs. For linear Fredholm-Volterra IDEs, (Acar and Daşçolu, 2019) presented a projection approach. (Ayinde *et al.* 2022) introduced a new numerical approach using Chebyshev's third kind polynomial for solving IDEs of



higher order among others. In this work, we concentrated on the numerical approximation of Voltarra IDEs using Bernstein polynomials as basis functions.

## 2. Some relevant basic definitions

### Definition 1

Bernstein basis polynomials: A Bernstein polynomial [Grant, (2014)] of degree  $N$  is defined by

$$B_{i,n}(z) = \binom{n}{i} z^i (1-z)^{n-i} a_i, \quad i = 0, 1, \dots, n, \quad (3)$$

where  $\binom{n}{i} = \frac{n!}{i!(n-i)!}$

and  $a_i, i = 0, 1, 2, \dots$  are constants

The first few Bernstein basis polynomials are:

when  $n = 0, B_{i,0}(z) = 1$

when  $n = 1, B_{i,1}(z) = a_0(1-z) + a_1z$

when  $n = 2, B_{i,2}(z) = a_0(1-2z+z^2) + a_1(2z-2z^2) + a_2z^2$

**Definition 2:** We defined absolute error as follows in this study: Absolute Error =  $|w(z) - \xi(z)|$ ;  $0 \leq z \leq 1$ , where  $\xi(z)$  is the exact solution and  $w(z)$  is the approximate solution.

### 3. Proposed method

The method assumed an approximate solution by means of the Bernstein polynomial in the form:

$$\xi(z) = \sum_{i=0}^n B_{i,n}(z) a_i \quad (4)$$

Where,  $a_i, i = 0(1)n$  are to be determined.

Thus, substituting Eq. (4) into Eq. (1) gives

$$\sum_{i=0}^n \mu_i(z) \sum_{i=0}^n B^i_{i,n}(z) a_i = f(z) + \int_0^z k(z,r) \sum_{i=0}^n B_{i,n}(t) a_i dt \quad (5)$$

Let  $p(z) = \sum_{i=0}^n \mu_i(z) \sum_{i=0}^n B^i_{i,n}(z) a_i$  and  $q(z) = \int_0^z k(z,t) \sum_{i=0}^n B_{i,n}(t) a_i dt$

Thus, Eq. (5) becomes

$$p(z) - q(z) = f(z) \quad (6)$$

The linear algebraic system of equations in  $(n+1)$  unknown constants  $a_i$ 's is obtained by collocating Eq. (6) at  $z_i = a + \frac{(b-a)i}{n}, (i = 0(1)n)$ . Additional equations are obtained from Eq. (2), which are represented in matrix form:

$$\begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} & A_{14} & \dots & A_{1n} \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} & A_{24} & \dots & A_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ A_{m1} & A_{m2} & A_{m3} & A_{m4} & \dots & A_{mn} \\ A_{11}^0 & A_{12}^0 & A_{13}^0 & A_{14}^0 & \dots & A_{1n}^0 \\ A_{21}^1 & A_{22}^1 & A_{23}^1 & A_{24}^1 & \dots & A_{2n}^0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ A_{m1}^{n-1} & A_{m2}^{n-1} & A_{m3}^{n-1} & A_{m4}^{n-1} & \dots & A_{mn}^{n-1} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ \vdots \\ \vdots \\ a_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} G_{11} \\ G_{21} \\ \vdots \\ \vdots \\ G_{mn} \\ G_{11}^0 \\ G_{22}^1 \\ \vdots \\ \vdots \\ G_{mn}^{n-1} \end{pmatrix} \quad (7)$$

where  $A_i$ 's and  $A_i^0$ 's are the coefficients of  $a_i$ 's and  $G_i$ 's are values of  $f(z_i)$ .



The matrix inversion approach is then used to solve the system of equations in order to obtain the unknown constants.

$$\begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ a_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} & A_{14} & \dots & A_{1n} \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} & A_{24} & \dots & A_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ A_{m1} & A_{m2} & A_{m3} & A_{m4} & \dots & A_{mn} \\ A_{11}^0 & A_{12}^0 & A_{13}^0 & A_{14}^0 & \dots & A_{1n}^0 \\ A_{21}^1 & A_{22}^1 & A_{23}^1 & A_{24}^1 & \dots & A_{2n}^0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ A_{m1}^{n-1} & A_{m2}^{n-1} & A_{m3}^{n-1} & A_{m4}^{n-1} & \dots & A_{mn}^{n-1} \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} G_{11} \\ G_{21} \\ \vdots \\ \vdots \\ G_{mn} \\ G_{11}^0 \\ G_{22}^1 \\ \vdots \\ \vdots \\ G_{mn}^{n-1} \end{pmatrix} \quad (8)$$

The required approximate solution is obtained by solving Eq. (8) and then substituting the unknown constant values into the assumed approximate solution

#### 4. Numerical examples

Example 1 [(Ayinde *et al.*, 2022)]: Consider the second-order Fredholm integro- differential equation

$$\xi^{(ii)}(z) = 2 - 2z \sin z - \int_0^z (z - t)\xi(t)dt$$

Subject to the initial conditions

$$\xi(0) = 0, \xi'(0) = 0$$

The exact solution is  $\xi(z) = z \sin z$

**Table 1 Shows comparison of the absolute errors for example 4.1**

x	Exact Solution	Absolute Error for n=6	Absolute Error for n=7	Absolute Error for n=8
0.0	0.0000000000000000	0.000e+00	7.141e-12	5.640e-14
0.2	0.03973386616000	1.096e-06	1.013e-07	2.442e-09
0.4	0.15576733690000	2.842e-06	1.884e-07	4.241e-09
0.6	0.33878548400000	3.223e-06	2.918e-07	6.691e-09
0.8	0.57388487270000	4.943e-06	4.067e-07	6.565e-09
1.0	0.84147098480000	5.972e-06	5.088e-07	4.600e-09

Example 4.2 [(Ayinde *et al.*, 2022)]: Consider the fourth-order Fredholm integro- differential equation

$$\xi^{(iv)}(z) = -1 + z + \int_0^z (z - t)\xi(t)dt$$

Subject to the initial conditions

$$\xi(0) = -1, \xi'(0) = 1, \xi''(0) = 1, \xi'''(0) = 1$$

The exact solution is  $\xi(z) = \sin z - \cos z$



**Table 2 Shows comparison of the absolute errors for example 4.2**

x	Exact Solution	Absolute Error for n=6	Absolute Error for n=7	Absolute Error for n=8
0.0	1.0000000000000000	1.124e-07	9.000e-10	0.000e+00
0.2	1.4214027580000000	3.612e-05	7.380e-09	3.822e-10
0.4	1.8918246980000000	7.521e-05	1.111e-07	1.165e-08
0.6	2.4221188000000000	1.089e-04	5.090e-07	5.042e-08
0.8	3.0255409280000000	1.236e-04	1.307e-06	1.212e-07
1.0	3.7182818280000000	1.110e-04	2.542e-06	2.419e-07

## 5. Conclusion

In this work, the collocation approach has been successfully employed to obtain the approximate solutions of Volterra integro-differential equations via Bernstein polynomials. Two test problems were examined, the results obtained show that this approach is very efficient and convenient and can be adapted to fit a larger class of problems. As can be seen from the table of results, as the value of n increase, the error becomes smaller. On the basis of this, we recommend using the suggested approach while considering other integro-differential equations.

## 6. REFERENCES

- Acar N.I. & Daşcıoğlu A. 2019. A projection method for linear Fredholm–Volterra integro- differential equations. *Journal of Taibah University for Science*, 13(1), 644-650.
- Ali F. 2013. Numerical Solution of a non-linear Volterra integro-differential Equation via Runge-Kutta- Verner Method. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 3(9), 1-8.
- Al-Shimmary, A. F. A. (2017). Solving initial value problem using Runge-Kutta 6th order method, ARPN. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 12(13), 3953-3961.
- AL-Shimmary, A. F., Hussain, A.K. & Radhi, S.K. 2021. Numerical Solution of Volterra Integro–Differential Equation using 6<sup>th</sup> Order Runge-Kutta Method. *Journal of Physics*, 1818, 1-10.
- Ahmed A.H. 2019. Solving Integro-Differential Equations by Using Numerical Techniques *International Journal of Applied Engineering Research*, 14(14), 3219-3225.
- Ayinde A.M., James A.A., Ishaq A.A. & Oyedepo T., A new numerical approach using Chebyshev third kind polynomial for solving integro-differential equations of higher Order. *Gazi University Journal of Science*, Part A, 9(3)(2022), 259-266.
- Faranak, R. ,Nafsiah M. ,Fatin A. & ,Rashidi, M.M. (2017). Numerical Solution of Volterra Integro-Differential Equations using Fifth Order Improved Runge-Kutta Method. *International Journal of Management and Applied Science (IJMAS)*, 3(4), 104-107.
- Grant, T. (2014). Math 336 Approximating Continuous Functions and Curves using Bernstein Polynomials.
- Mahdy A. M. S. & Mohamed E. M. H. (2016). Numerical studies for solving system of linear Fractional integro-differential equations by using least squares method and shifted Chebyshev polynomials. *Journal of Abstract and Computational Mathematics*, 1(24), 24-32.
- Mishra V.N., Marasi H.R., Shabanian H. & Sahlan, M.N. (2017). Solution of Volterra –Fredholm integro-differential equations using Chebyshev collocation method. *Global Journal Technology and Optimization*, 1 (2017), 1-4.
- Yüzbaş S. 2016. A collocation method based on Bernstein polynomials to solve nonlinear Fredholm–Volterra integro-differential equations, *Applied. Mathematics Computation*, 273, 142–154.





## AKILLI BAĞLANTILI ARAÇLAR İÇİN YEŞİL IŞIK OPTİMUM HIZ DANIŞMANLIĞI (GLOSA) SİSTEMİ

### GREEN LIGHT OPTIMAL SPEED ADVISORY (GLOSA) SYSTEM FOR INTELLIGENT CONNECTED VEHICLES

**Şahap Okan KISA**

*Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü,  
Merkez, Isparta.*

ORCID ID: 0000-0003-3828-606X

**Dr. Öğr. Üyesi Esin YAVUZ**

*Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü,  
Merkez, Isparta.*

ORCID ID: 0000-0002-8077-5353

#### ÖZET

Sinyalizasyon sistemleri; yakıt tüketimini, gaz emisyonlarını ve seyahat süresini etkilemede önemli bir rol oynamaktadır. Akıllı Ulaşım Sistemleri (Intelligent Transport Systems), trafik yoğunluğunun her geçen gün daha da arttığı günümüzde, bu faktörlerin çevre ve sürücülerin konforu üzerindeki etkisini azaltmak için önerilmektedir. Kooperatif Akıllı Ulaşım Sistemleri (Cooperative Intelligent Transport Systems), iki veya daha fazla akıllı ulaşım sistemine ait alt bileşenlerin (yaya, araç, yol kenarı ve merkezi) arasındaki iş birliğini daha iyi kalitede ve daha gelişmiş bir hizmet seviyesi ile sunan akıllı ulaşım sistemleri hizmetlerini mümkün kılar. Araçların trafikte sürücüden bağımsız bir şekilde veri toplayıp, bu verileri analiz etmesi, bu kapsamda yapılan çalışmaların temelini oluşturmaktadır. Araçtan araca (V2V) ve araçtan altyapıya (V2I) iletişim, yalnızca otonom araçlara doğru ilerlemeyi hızlandırma potansiyeline sahip olmakla kalmaz, aynı zamanda daha uygun sürücü davranış kalıplarının elde edilmesini kolaylaştırma ve böylece trafiği daha verimli ve çevresel hale getirme potansiyeline sahiptir. Bu çalışma, trafik koşullarını iyileştirmek için trafik ortamlarında bir Araçların İnterneti (IOV) çözümü olarak uygulanabilecek Yeşil Işık Optimum Hız Danışmanlığı (GLOSA) sisteminin kullanımına dayanan ve trafik akış özellikleri üzerindeki etkisini değerlendiren, trafik ışıklarına yaklaşan araçlar için bir sürüş tavsiye sistemi sunar. GLOSA; yakıt tüketimini, kavşaklardan geçerken bekleme süresini, havaya salınan karbonmonoksit gazını ve kavşaklarda meydana gelen kaza sayısını azaltabilen trafik verimliliği hizmetlerinden biridir. Trafik ışığı ile araç arasında haberleşmenin kurulduğu bu sistemde, trafik ışığının yeşil yandığı süre aralığında kavşağa ulaşmak için sürücüye tavsiye edilen bir optimum hız konusunda araçlar bilgilendirilir. Bu optimum hızla araçlar, istikametinde bulunan trafik ışıklarındaki yeşil ışığın yandığı zaman diliminde durmadan kavşaktan geçebilir. Çalışmada, sistem performansının değerlendirilmesi için güncel veriler ışığında trafik simülasyonları incelenmiştir. Trafik simülasyonları için açık kaynak kodlu SUMO (Simulation of Urban Mobility) yazılımı kullanılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Yeşil Işık Optimum Hız Danışmanlığı, GLOSA, Akıllı Ulaşım Sistemleri, Sinyalizasyon.

#### ABSTRACT

Signaling systems play an important role in influencing fuel consumption, gas emissions and travel time. Intelligent Transportation Systems (ITS) are recommended to reduce the impact of these factors on the environment and the comfort of drivers, as the traffic density is increasing day by day. Cooperative Intelligent Transport Systems (C-ITS) enable intelligent transportation systems services that present cooperation between two or more intelligent transportation systems sub-components (pedestrian, vehicle, roadside and central) with better quality and a more advanced service level. The fact that



vehicles collect and analyze data independently of the driver in traffic forms the basis of the studies carried out in this context. Vehicle-to-vehicle (V2V) and vehicle-to-infrastructure (V2I) communication not only has the potential to accelerate progress towards autonomous vehicles, but also has potential to facilitate the acquisition of more appropriate driver behavior patterns and thereby making traffic more efficient and is environmentally friendly. This study presents a driving advisory system for vehicles approaching traffic lights, based on the use of a Green Light Optimum Speed Advisor (GLOSA) system that can be implemented as an Internet of Vehicles (IOV) solution in traffic environments to improve traffic conditions and evaluate its impact on traffic flow characteristics. GLOSA is one of the traffic efficiency services that can reduce fuel consumption, waiting time when passing through intersections, carbon monoxide gas released into the air and the number of accidents that occur at intersections. In this system, where communication is established between the traffic light and the vehicle, vehicles are informed about a recommended optimum speed to reach the intersection during the period when the traffic light is green. With this optimum speed, vehicles pass through the intersection without stopping during the time when the green light on the traffic lights in their direction is on. In the study, traffic simulations were examined in the light of current data to evaluate the system performance. Open source software SUMO (Simulation of Urban Mobility) is used for traffic simulations.

**Keywords:** GLOSA, Intelligent Transportation Systems, Signalization.

## GİRİŞ

Her geçen gün trafikte araç sayısı artmaktadır. Trafik tıkanıklığı ve buna bağlı olarak trafikteki araçların saatlerce yollarda beklemeleri, şehirler için önemli bir problemdir. Bu problem, ekonomik kayıplara, hava kirliliğine ve yaşam kalitesinin düşmesine sebep olmaktadır. Bu trafik problemini gidermek için, ilave yollar ve köprüler gibi daha fazla altyapı yatırımları yapılabilir. Ancak şehirlerdeki plansız yapılaşma, alan eksikliği, çevresel zararlar ve yüksek maliyet daha fazla altyapı oluşturmaya engel bir durum oluşturmaktadır. Bu yüzden araç yoğunluğuna göre süre olarak ayarlanabilen akıllı sinyalizasyon sistemleri hem zaman hem enerji sarfiyatı açısından önerilmektedir. Karayolu trafiğinin kontrol edilmesinde öncelikli amaç, yaya ve taşıt emniyetinin tesis edilmesi ve trafik kazalarının önlenmesidir. Bunun yanı sıra, gecikmelerin azaltılması, ortalama ulaşım hızının artırılması ve yakıt tüketiminin azaltılması gibi faydaları da amaçlanabilir. Bütün bu amaçlara ulaşmak, trafiğin kontrolü ile elde edilmek istenen faydaları maksimum seviyeye çıkarılması anlamına gelmektedir.

Kaydedilen verilere dayanılarak geliştirilen geleneksel denetleyiciler, zamana göre değişen trafik hacimlerine ve yolda artan araç sayısına bağlı olarak trafik kavşaklarına artık çözüm olamamaktadır (Harb, Durdu ve Terzioğlu, 2019).

Yapılan bütün çalışmalar akıllı ulaşım sistemleri alanındaki yenilikçi yaklaşımların temelini oluşturmuştur. Gelişmekte olan haberleşme sistemleri, kablosuz ağ teknolojileri ve sensör teknolojileri de bu çalışmalara hız kazandırmıştır. Genel olarak yeni nesil algılayıcılar veya kamera sistemleri ile toplanan araç sayısı, cinsi, yoğunluğu gibi parametreler kullanılarak ulaşım da kullanılan sistemlerin iyileştirmesi veya optimizasyonu üzerinde çalışılmaktadır (Zhou, Cao, Zeng ve Wu, 2010).

Enerji tüketiminden toplu yaşama, ulaştırmadan sağlığa kadar birçok alanda trafik sorunları şehir yöneticileri tarafından tartışılmaktadır. Akıllı şehir teknolojileri alanında yapılan araştırma ve geliştirmelerin tamamı bu sorunların çözümüne odaklanmaktadır. Gelişen teknolojiler ile ulaşım anlamında karayollarında sensörlerden kamera algılayıcılara kadar birçok gelişme uzaktan kontrollü trafik sistemlerinin yaygınlaşmasına katkı sağlamaktadır (Armağan, 2019).

Şehir içi trafiği düzenleyici kontrollerin başında sinyalizasyon kavşakları ve trafik ışıkları gelmektedir. Şehir içi trafiğindeki taşıtlar, yetersiz trafik ışığı kontrolü nedeniyle uzun seyahat süreleri yaşayabilmektedirler. Yaşanabilecek bu yoğunluklar birden fazla kavşağı veya geçiş güzergahını etkileyebilir. Trafik ışıklarının gelişmiş sensörler ve akıllı optimizasyon algoritmaları kullanılarak optimum kontrolü bu nedenle çok faydalı olabilir. Trafik ışığı sürelerinin optimizasyonu, yol kapasitesini ve trafik akışını artırır ve trafik sıkışıklığını önleyebilir (Çakıcı ve Murat, 2015).

## Akıllı Ulaşım Sistemleri

Bilgi ve iletişim teknolojilerinin kullanımıyla oluşturulan Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS), yeni nesil mobil genişbant teknolojileri, IoT (Nesnelerin İnterneti – Internet of Things), M2M (Makinalar Arası İletişim – Machine to Machine Communication), V2X (Vehicle to Everything – Araçtan Her Şeye) teknolojileri, bulut bilişim ve araçlardaki gelişmeler ile birlikte gelişim göstermektedir. AUS, farklı ulaşım modlarında trafik yönetimine yönelik yenilikçi hizmetler sunan, ulaşım ağlarının, daha güvenli, daha koordineli ve daha akıllı bir şekilde kullanılmasını ve çeşitli kullanıcıların daha iyi bilgilendirilmesini sağlayan gelişmiş uygulamalardır (Avrupa Birliği, 2011). AUS, gerçek zamanlı, hassas, verimli ulaşım kontrolü ve yönetimi sağlamak üzere bilgi ve iletişim teknolojileri, kontrol sistemleri ve diğer güncel sistem ve teknolojileri kullanmaktadır. Bu sayede AUS, ulaşım ve ulaşımına dâhil bütün etkenler (yol, altyapı, araç, kullanıcı) arasında gerekli olan haberleşmeyi, uygulamaları ve servisleri kullanıcıların hizmetine sunmaktadır.

## Sinyalizasyon Sistemleri

Trafik sinyalizasyon sistemleri motorlu taşıtlar ve yayaların ışıklı ikazlar ile uyarılması ve geçiş üstünlüklerinin tanzim edilmesini sağlayan sistemlerdir. Akıllı Ulaşım Sistemleri'nin önemli bir parçası olan Trafik Sinyalizasyon Sistemleri; planlama, tasarım, entegrasyon, bakım ve işletme gibi parametrelerin kullanılarak trafiğin etkin, güvenli ve akıcı bir şekilde yönetilmesini sağlar. Trafik ışıkları veya sinyalizasyon sistemlerinin bir kavşağa kurulmasıyla orada daha güvenli bir performans elde edilir. Araştırmalar, trafik sinyallerinin düzgün bir şekilde kurulması ve çalıştırılmasının trafik kazalarını azaltabileceğini göstermektedir. Bununla birlikte, gereksiz veya uygun olmayan bir şekilde tasarlanmış sinyal süreleri trafik ve güvenliği olumsuz yönde etkilemektedir. Bu yüzden, yerleşimlerine, tasarımlarına ve zamanlamasına çok dikkat edilmesi gerekir. Bazı durumlarda çok iyi optimizasyon araç talebini artırdığından aynı güzergahtaki farklı noktalarda yoğunlukların oluşmasına da sebebiyet verebilir. Bu yüzden çoğu senaryolarda öncelik olarak güvenliğin sağlanması amaçlandığından artan ve değişen talepleri karşılamak için, bir durumdan diğer bir durumdaki iyileşmeyi sağlaması adına vazgeçilmesi veya tekrar değerlendirilmesi gerekebilir. Trafik sinyallerinin çalışma yöntemlerinin olası bütün koşullar için incelenmesi oldukça önemlidir.

Trafik sinyalizasyonunun kurulumu, trafik hacmi verileri, çarpışma geçmişi, yol geometrisi ve alan koşullarının analiz edilmesiyle belirlenmektedir. Planlamacılar, tasarımcılar ve trafik mühendisleri, koşulların kurulum için uygun olup olmadığını belirlemek için birlikte çalışır. Bu koşullar her yeni trafik ışığı kurulumunda yaya ve taşıt güvenliği için göz önünde bulundurulmaktadır. Bir sinyalizasyon kavşağındaki trafik ışıkları; yol durumuna, taşıt yoğunluğuna veya bağlantı kollarına göre birden fazla çalışma prensibine sahip olabilir. Sinyal çalışma prensipleri önceden zamanlanmış sabit süreli, yarı trafik uyarımalı, tam trafik uyarımalı, adaptif veya trafiğe duyarlı olarak farklı operasyon şekillerine ayrılmaktadır.



Şekil 1. Sinyalizasyon Sistemleri

Sinyalizasyon Sistemleri; Kavşak Kontrol Cihazı, Araç Algılama Sistemleri (Kamera ve Dedektörler), Trafik Sinyal Vericileri (Gruplar) ve NYY Kablolardan oluşmaktadır. Sinyalizasyon sistemlerinin çalışmasını sağlayan cihaz Kavşak Kontrol Cihazı olarak adlandırılır. Sinyalizasyon sistemlerinde bulunan sinyal lambalarının kırmızı, sarı ve yeşil renklerinin istenilen zaman ve sürelerde yanmasını sağlayarak kavşakta güvenli bir trafik akışını oluşturan cihazdır. Araç algılama sistemleri üzerine en yaygın olarak kullanılan uygulamalar sensör uygulamalarıdır. Bunlar; Mikrodalga radar sensörü,



Bluetooth sensörü, Loop sensörü, Kablosuz araç algılama sensörü ve Video dedektör (kamera) bu uygulamalardandır. Radar Tabanlı Mikrodalga Sensörleri, trafik algılama uygulaması için özel tasarlanan trafik ölçüm dedektörlerindedir. Mikrodalga ışınlarının alanına giren nesnelere olan uzaklığı ölçer. Menzil aralığı sayesinde bu dedektörler; her türlü hava koşullarında yolda duran ve hareket halindeki araçları, belirlenen bölgelerde tespit eder. Konumlandırıldığı noktadaki anlık trafik akış bilgisini elde eder. Bluetooth özelliği açık ve görülebilir durumda olan, sensöre 100 metreye kadar uzaklıktan geçen taşıtlarda bulunan cep telefonu, kulaklık, navigasyon cihazı, araç kiti gibi cihazlardan yayılan bluetooth sinyallerini, taşıtların hızının azami 150 km/saat olması halinde dahi algılayabilen sensörlerdir. Trafik taşıtlarının varlık yokluk bilgisini ve sayısını tespit ederek bu bilgileri kavşak cihazlarına iletmek amacıyla kullanılan sensörlerdir. Loop sensör kablosu, yol kaplaması içerisinde 5-10 mm genişliğinde ve 60-110 mm derinliğinde açılacak yarıklara şerit başına en az bir loop döşenir. Trafik akışının olduğu yolda asfaltın içine yerleştirilen ve üzerinden geçen metal cisimleri (araçları) algılayabilen ve bu bilgileri kablosuz olarak iletebilen sensördür. Ortamdaki manyetik alan değişimini ölçer. Bir araç bu manyetik alanı değiştirdiğinde, sensör bu değişiklikleri algılar. Kameralı Akıllı Kavşak Yönetim Sistemi, görüntü işleme teknolojisi üzerine kurulu, tek veya çok kameralı ve gerçek zamanlı bir trafik kontrol çözümüdür. İçerdiği teknoloji sayesinde kavşağın tamamına hakim olan sistem; araçların kavşağa giriş çıkış kolları, araç sayıları ve sınıfları, ortalama hız gibi sistemde üretilen tüm verileri toplar, analiz eder ve kavşağa gerçek zamanlı müdahale ederek trafik akışını hızlandırırken trafik etüt çalışmaları için gerekli verileri oluşturur. Gelişime açık ve hızla gelişmektedir. Birkaç kamerayla bir kavşağı tamamen algılamak mümkün hale gelmektedir.

### **Kooperatif Akıllı Ulaşım Sistemleri**

Akıllı ulaşım alanındaki çalışmalar neticesinde, araçların birbirleri, altyapı veya ulaşım ekosistemindeki diğer bileşenler ile iletişim kurabildiği, Kooperatif Akıllı Ulaşım Sistemleri (K-AUS) ortaya çıkmıştır. K-AUS'nin en temel hedefi, ulaşım ekosistemi elemanlarını daha akıllı bir hale getirerek ulaşımın daha verimli, daha güvenli ve daha çevreci bir şekilde entegre ve birlikte çalışabilir nitelikte karşılanmasının sağlanmasıdır.

Ulaşım ekosisteminde yer alan elemanların birbiriyle bağlantılı hale gelerek işbirliği içerisinde çalışması, uygulamaların niteliğine bağlı olarak trafik güvenliğini artırmak ve ulaşım sisteminin genel verimliliği ile çevresel performansını iyileştirmek için büyük bir potansiyel sunmaktadır. K-AUS uygulamalarına yönelik gerçekleştirilen test çalışmalarında ve yapılan araştırmalar neticesinde K-AUS ile birlikte kaza sayılarının ve çevresel etkilerin azaltılabileceği, hareketliliğin artabileceği görülmektedir. K-AUS'nin, güvenlik, çevre ve hareketliliğin yanı sıra bilgi ve iletişim sektöründeki gelişmelerin ulaşım ekosisteminde etkili kullanımı, internet üzerinden verilen hizmetlerin ve internet trafiğinin artması ile birlikte telekomünikasyon sektörüne de fayda sağlayacağı düşünülmektedir. K-AUS ile birlikte ortaya yeni iş sektörlerinin çıkması ve yeni iş olanaklarının sunulması da beklenmektedir.

Kooperatif AUS, araçların diğer araçlarla (V2V: Vehicle to Vehicle – Araç-Araç Haberleşme Sistemleri), karayolu altyapısıyla (V2I: Vehicle to Infrastructure – Araç-Altyapı Haberleşme Sistemleri), yayalarla (V2P: Vehicle to Pedestrian – Araç-Yaya Haberleşme Sistemleri), yol kenarı üniteleriyle (V2R: Vehicle to Road Side Unit – Araç-yol kenarı üniteleri Haberleşme Sistemleri) ve şebekeyle (V2N: Vehicle to Network – Araç-Şebeke Haberleşme Sistemleri) iletişim kurmasını sağlayan teknolojileri kullanmaktadır. V2V hizmetleri, birbirine yakın iki araç arasında veri alışverişini tanımlamaktadır. V2I hizmetleri, araç ve yol kenarı istasyonları veya bir araç ve bir uygulama sunucusu ile arasındaki veri alışverişini tanımlamaktadır. V2I hizmetleri araçlara doğrudan bilgi sağlamaktadır. V2P hizmetleri, yaya ve araç arasındaki veri alışverişini tanımlamaktadır. V2N hizmetleri, araç ve uygulama sunucusu arasındaki veri alışverişini tanımlamaktadır.



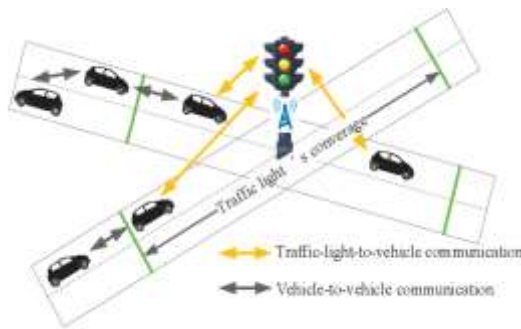
Şekil 2. Kooperatif Akıllı Ulaşım Sistemleri

### GLOSA (YEŞİL IŞIK OPTİMUM HIZ DANIŞMANLIĞI)

Kooperatif Akıllı Ulaşım Sistemlerinin bir bileşeni olan ve V2I (araç – altyapı) haberleşmesine dayanan Yeşil Işık Optimum Hız Danışmanlığı (GLOSA) sistemleri, sürücülere yolda trafik ışıklarının yeşil yandığı aralıkta kavşaktan geçmelerine olanak tanıyan hız tavsiyeleri sağlar (Şekil 3). GLOSA; sürdürülebilir, çevresel faydalar sağlayan bir enerji verimliliği kapsamında sürücülerin trafik nedeniyle durmak zorunda kalmamak için sinyalize bir kavşağa yaklaşırken uygulamaları gereken en iyi hız hakkında araç içi bilgilere sahip olmalarını sağlayan bir sistemdir. Araç, gereksiz durma ve hız değişikliklerinden kaçınmak amacıyla yeşil ışıkta geçmek için tavsiye edilen hızı hesaplar.

Bu sistemde araç ile altyapı (kavşak kontrol cihazı) haberleşmektedir. Bu sistem sayesinde sürücünün; bir kırmızı ışıkta durmak yerine optimum bir hız yakalamak suretiyle ilerlemesi, yakıt tüketiminin azaltılması ve sürüş konforunun artırılması hedeflenmiştir. GLOSA sistemi sayesinde;

- Trafik akışı hızlanacaktır.
- Araçların karayollarındaki bekleme süreleri en aza inecektir.
- Trafikteki bekleme süresi azalacağından dolayı, sürücülerin trafik kurallarına uymama eğilimi azalmakta ve bu sayede trafik kazası olma olasılığı düşecektir.
- Araç egzozlarından çevreye salınan karbondioksit ve diğer zehirli gazların emisyon miktarları azaltılarak çevre kirliliği en aza inecektir.
- Araçlar trafikte daha az yakıt tüketecek ve bu durum ülke ekonomisine büyük katkı sağlayacaktır.



Şekil 3. GLOSA (Nguyen vd, 2016)

### ARAŞTIRMA VE BULGULAR

GLOSA sisteminin verimliliğini ölçmek için Sumo (Simulation of Urban Mobility) yazılımı kullanılmıştır. Sumo, ücretsiz ve açık kaynak kodlu bir trafik simülasyon programıdır. Trafik

simülasyonları, trafik ağları ve sistemlerinin planlanması ve geliştirilmesinde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir.

Sumo, trafik akışını modeller ve çok modlu trafik simülasyon deneylerinin gözlemlenmesini sağlar. Sumo ile;

- Bir trafik ağı oluşturularak, rotalar belirlenebilir. Trafik ağı manuel olarak ya da OSM (Open Street Map) gibi harici kaynaklar kullanılarak oluşturulabilir.
- Kalkış ve varış noktaları belli bir ağda farklı hızda ve tipteki araçlar (araba, otobüs vb.) için trafik simüle edilebilir ve analiz edilebilir.
- Trafik ışıklarının performansı değerlendirilebilir.
- Trafikteki araçların sürüş stratejileri seyrek ve yoğun saat koşullarında incelenebilir.
- Dengeli bir yakıt tüketimi ve yolculuk süresi oranı ile en iyi yol planlama stratejisini sunar.

Open Street Map (OSM), tüm dünyada ücretsiz olarak kullanılabilen ve düzenlenebilen bir harita uygulamasıdır. OSM; yollar, kavşaklar, tren istasyonları ve çok daha fazlası hakkında veri sağlayan ve bunları koruyan bir haritacılar topluluğu tarafından oluşturulmuştur. (<https://www.openstreetmap.org/about>)

Bu çalışmada, Open Street Map uygulamasından alınan Şekil 4'deki Isparta ili haritasından faydalanılarak, SUMO yazılımı ile bir trafik ağı oluşturulmuştur. Bu trafik ağında araç sayısı, araç türü, yaya sayısı gibi birçok veri girişi sonucunda, istenilen saniye sıklığında, araç hız verisi, araçların emisyon değerleri, şerit değiştirme bilgileri gibi çok çeşitli alanlarda kullanılacak çıktı verileri üretebilmektedir.



Şekil 4. Isparta haritası

Sumonun, TraCI (Traffic Control Interface) modülü ile Python programlama dili kullanılarak simülasyon içerisinde tüm bileşenlere müdahale edebilmektedir. Bu sayede çeşitlendirilebilmesi diğer simülasyon programlarına göre çok daha kolaydır.

Oluşturulan trafik akışı senaryosunda GLOSA'nın sabit hızda giden bir aracın yeşil ışıkta geçip, geçemeyeceğini ya da hangi hızda ilerlemesi gerektiğini hesaplaması için mesafe ve süre gibi gerekli değişkenler ayarlanmalıdır. Ayarlanan değişkenler sonucu araç tipine ve davranışlarına dayalı olarak yakıt kullanımı ve emisyon verileri incelenebilmektedir.

## TARTIŞMA VE SONUÇ

Ulaşım sistemleri daha karmaşık ve sıkışık hale geldikçe trafik simülasyonları giderek daha fazla kullanılmaktadır. Trafik simülatörleri, bir şehrin dijital versiyonunun modellenmesine, otoyollardaki gerçek harekete karşılık gelen bir trafik modeli oluşturulmasına izin verir. Trafik akışlarının modellenmesi, ortaya çıkan tüm sorunların izlenmesini ve bunları çözmek için kararlar alınmasını sağlayan, yoldaki araçların sanal hareketine sahip dinamik bir sistemdir.



Bu çalışmada, SUMO yazılımı ile farklı ağ simülasyonları oluşturularak, trafik analizleri yapılmıştır. Trafik ağı oluşturulurken; araç yörüngeleri (konumlar ve hızlar), modellenmiş dedektörlerden toplanan trafik verileri, trafik ışığı verileri, caddeler, kavşaklar, yaya geçitleri, şeritler gibi düğümler, araç tipleri (araba, kamyon, vb.), hız limitleri, yoldaki şerit sayıları, araç öncelikleri (düşük öncelikli kenardaki araçlar, yüksek öncelikli kenardaki araçlar kavşağı geçene kadar beklemek zorundadır), ek altyapı (otobüs duraklar vb.) gibi parametreler kullanılmaktadır.

Oluşturulan trafik ağı üzerinde, V2I (araç – altyapı) iletişimini kullanan GLOSA sisteminin verimliliği incelenmiştir. GLOSA sistemi ile akıllı bağlantılı araçlar için gerekli olan optimum hız belirlenerek, daha konforlu bir sürüş sağlanabilmektedir. GLOSA sisteminin, araçların gitmekte oldukları istikamete daha kısa sürede, daha düşük yakıt tüketimi ve emisyon oranlarıyla gitmelerini sağladığı görülmüştür.

## KAYNAKLAR

Armağan, K., "The New Technological Advances in Highway Pavements: A Review" Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 2019, S. 1092-1096

Balta, M., Özçelik, I., "Traffic Signaling Optimization for Intelligent and Green Transportation in Smart Cities," 2018 International Conference on Smart City and Emerging Technology (ICSCET), Mumbai, 2018, pp. 1-6

Çakıcı, Z., Murat, Y.S., "Sinyalize Dönel Kavşakların Performanslarının Farklı Senaryolar Altında İncelenmesi" 11. Ulaştırma Kongresi, 27-29 Mayıs 2015, İstanbul-Türkiye, S. 105-116.

Güçlü, E., "Van Kent İçi Ulaşımında Akıllı Kavşak Yönetimi İçin Bir Planlama Çalışması" Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kentsel Sistemler Ve Ulaştırma Yönetimi, İstanbul, 2016

Gülgeç, Y.N., "Sinyalize Kavşaklarda Trafik Akım Etkileşimleri ve Bulanık Mantık ile Değerlendirilmesi Balıkesir Örneği" Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Eylül 2019

Güneş, F., Bayraklı, S., Zaim, A.H., "Sinyalize Bir Kavşakta Oluşan Trafik Akımının Kuyruk Teorisi ile Performansının İncelenmesi" Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, Ağustos 2020, S. 56-65

Harb, A.A.M., Durdu, A., Terzioğlu, H., "Kavşak Trafik Sinyalizasyon Kontrolü için Bulanık Mantık Yöntemi ile Gerçek Zamanlı Sistemin Tasarımı ve Uygulanması" Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, Ekim 2019, S. 490-497

<https://www.intetra.com.tr/k-aus-kooperatif-akilli-ulasim-sistemleri/>. Erişim Tarihi: 15.06.2023

<https://www.isbak.istanbul/wp-content/uploads/2021/08/1%CC%87SBAK-2021-Katalog-Dijital.pdf>. Erişim Tarihi: 15.06.2023

<https://www.openstreetmap.org/about>, Erişim Tarihi: 01.06.2023

Hussein, S.K., Omar, D.H., "Evaluation of Signalized Intersections in Erbil City" 2019 International Engineering Conference (IEC), Erbil, Iraq, 2019, pp. 17-21

Namazi, E., Li, J., Lu, C., "Intelligent Intersection Management Systems Considering Autonomous Vehicles: A Systematic Literature Review," in IEEE Access, 2019, vol. 7, pp. 91946-91965

Nguyen, V., Kim, O.T.T., Tri, N.D., Moon, S., Hong, C.S., "An efficient and reliable Green Light Optimal Speed Advisory system for autonomous cars." 2016 18th Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium (APNOMS) (2016): 1-4.

Niels, T., Mitrovic, N., Bogenberger, K., Stevanovic, A., Bertini, R.L., "Smart Intersection Management for Connected and Automated Vehicles and Pedestrians," 2019 6th International Conference on Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems (MT-ITS), Cracow, Poland, 2019, pp. 1-10

Pehlivan, M., "Sakarya Kentiçi Ulaşım Sisteminde Sinyalize Kavşaklar İçin Trafik Uyarmalı Bir Kontrol Sisteminin Geliştirilmesi" Bahçeşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kentsel Sistemler Ve Ulaştırma Yönetimi , İstanbul, 2014



Raiyn, J., "Road Intersection Intelligent Traffic Management Based on V2V Wireless Communication," 2019 IEEE International Conference on Electrical, Computer and Communication Technologies (ICECCT), Coimbatore, India, 2019, pp. 1-6

Sutharsan, M., Rajakaruna, S., Jayaweera, S.Y., Jayaweera, J.A.C.M, Thayaparan, S., "Vision-Based Adaptive Traffic Light Controller for Single Intersection," 2020 5th International Conference on Information Technology Research (ICITR), Moratuwa, Sri Lanka, 2020, pp. 1-6

Şimşir, F., Özkaynak, E., Ekmekçi, D., "Kavşaklarda Trafik Sinyalizasyon Sisteminin Modellemesi ve Benzetimi" Akademik Bilişim 2013 – XV. Akademik Bilişim Konferansı Bildirileri, 23-25 Ocak 2013 – Akdeniz Üniversitesi, Antalya

Yiğit, H.İ., "Koordine Sinyalize Kavşaklarda Gecikme Modellemesi: Ulus Bulvarı Örneği, Denizli" Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Haziran 2019

Zhou, B., Cao, J., Zeng, X., Wu, H., "Adaptive Traffic Light Control in Wireless Sensor Network-Based Intelligent Transportation System" IEEE 72nd Vehicular Technology Conference- Fall, Ottawa, ON, 2010, pp. 1-5





## NEW MODULATOR SURFACE DESIGN WITH FLUORESCENT LAMP ARRAY AS CURRENT CONTROLLED PLASMA REFLECTOR

*Samed Gümüş<sup>1</sup>*

<sup>2</sup>Ege University, Engineering Faculty, Electrical and Electronics Engineering Department, Izmir.

<sup>1</sup>ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0009-3832-6691>

*Yavuz Öztürk<sup>2</sup>*

<sup>2</sup>Ege University, Engineering Faculty, Electrical and Electronics Engineering Department, Izmir, Türkiye.

<sup>2</sup>ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9650-6350>

### ABSTRACT

In this study, use of a fluorescent lamp array as a current controlled RF modulator was investigated. The series connected fluorescent lamp array, which is a plasma source, was driven by a variac and a transformer. Output current of this 50Hz high voltage source is arranged between 5-25 mA. The lamp array placed between receiver and transmitter working at 10.5 GHz frequency. Corresponding transmission curves were recorded and analyzed. For 5 mA around 98% transmissions were obtained. The transmission is decreased by the increase of the current and minimum transmission around 2% is observed for 25 mA.

**Keywords:** Fluorescent array, Microwave, RF modulator

### ÖZET

Bu çalışmada, bir floresan lamba dizisinin akım kontrollü bir RF modülatörü olarak kullanımı incelenmiştir. Seri bağlı floresan lamba dizisi, bir varyak ve bir transformatör tarafından kontrol edilmiş bir plazma kaynağıdır. Bu 50 Hz yüksek gerilim kaynağının çıkış akımı 5-25 mA arasında düzenlenmiştir. 10.5 GHz frekansında çalışan alıcı ve verici arasına lamba dizisi yerleştirilmiştir. Buna bağlı iletim eğrileri kaydedilmiş ve analiz edilmiştir. 5 mA için yaklaşık %98 iletim elde edilmiştir. Akımın artmasıyla iletim azalmış ve 25 mA için minimum %2 iletim gözlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Floresan dizisi, Mikrodalgalar, RF modülatör

### INTRODUCTION

Fluorescent lamps consist of a filament enclosed within a low-pressure gas containing mercury vapor and argon. The surfaces of these filaments are coated with fluorescent materials. When electrons are emitted from the filaments, they accelerate under the applied electric field, ionizing the mercury atoms and creating a plasma structure, which generates light in the ultraviolet range. The ultraviolet light then interacts with the fluorescent material, depending on the type of fluorescent material used, resulting in visible and near-infrared emissions. Due to these characteristics, fluorescent lamps exhibit a readily accessible plasma structure. Studies have been conducted in the literature on the interaction between electromagnetic wave and single plasma-type structures (Keržar, and Weissglas, 1965; Hagelaar, Hassouni and Gicquel, 2004; Malika and Aria, 2010). In these studies, the interaction between microwave radiation and plasma generated within fluorescent lamp-type structures has been investigated within waveguide or cavity-type structures (Keržar and Weissglas, 1965; Hagelaar, Hassouni and Gicquel, 2004; Malik and Aria, 2010).

In recent years, research has focused on the interaction between microwave radiation and plasma structures arranged in a matrix form (Sakai et al., 2005; Sakai et al., 2007; Li-Mei et al., 2010;



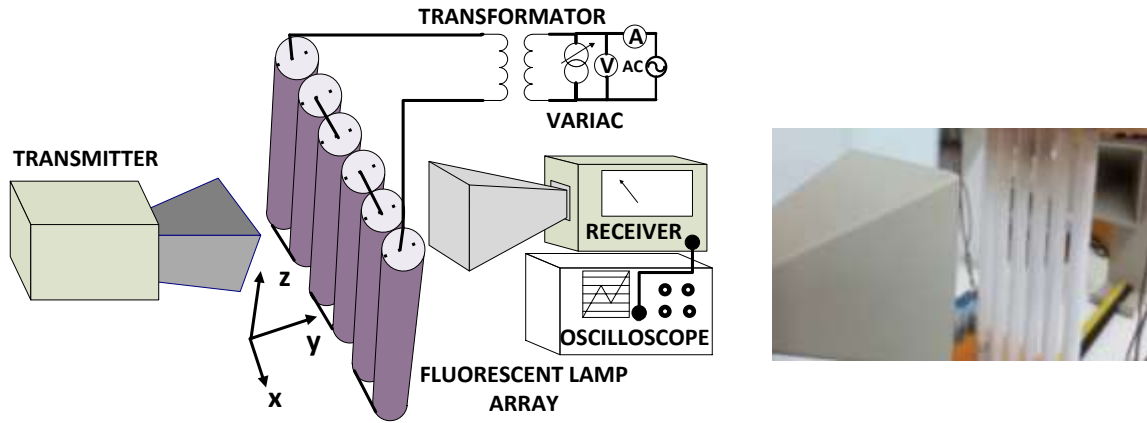
Yamamoto and Kobayashi, 2014; Wang et al., 2023). These studies have examined the cases of two-dimensional plasma structures exhibiting photonic bandgap properties for electromagnetic waves using theoretical, simulation, and experimental methods (Sakai et al., 2007; Li-Mei et al., 2010; Wang and Cappelli, 2015).

In addition, fluorescent lamps can be utilized for beam shaping of antennas, as studies in the literature have indicated its potential feasibility. Therefore, fluorescent reflectors have gained importance in RF-scale research (Yamamoto and Kobayashi, 2014; Wang et al., 2023). Compared to other reconfigurable antennas, the installation of these methods is relatively simpler. However, they require rapid switching operations, making them less resistant to thermal effects, which can result in decreased efficiency. Nevertheless, these types of fluorescent reflectors can still be produced at a lower cost compared to RF devices. Therefore, fluorescent lamp arrays can be used to reconfigure antennas for various applications (Wang et al., 2023) Modulation of electromagnetic waves also active research area focuses on controlling waves by material or designed metamaterials applying external fields (Savo et al. 2014; Liu et al., 2018).

In this study, interactions between electromagnetic wave and modulated fluorescent lamp array are investigated in terms of transmission and reflectivity properties of fluorescent lamp array. The interaction was examined at a frequency of 10.5 GHz using the Pasco Sci. undergraduate and graduate laboratory kit. The readily available fluorescent lamp array commonly used for illumination purposes was used as the plasma source. The major advantage of using fluorescent lamps is their ability to generate plasma when a sufficient electric field is applied. Based on our literature review, we believe that this study will contribute to the understanding of plasma-microwave interactions. Additionally, we propose that the suggested plasma structure can be developed as a modulator.

#### **EXPERIMENTAL METHOD**

The WA-9314C model Pasco Science microwave experiment kit was utilized in this study. Microwave transmitter WA-9801, operating at approximately 10.5 GHz frequency and 15 mW power, and microwave receiver antennas equipped with an adjustable amplifier (WA-980 model) were employed. In fluorescent lamps, mercury ions and electrons create a plasma structure under the applied external electric field. It is worth to mention that the laboratory manual published by the experimental kit manufacturer states that there may be differences from the theoretical results due to the nonlinear characteristics exhibited by the receiver. A series of fluorescent lamp structures was constructed as shown in Figure 1 to investigate the linearly polarized microwave interaction with a plasma array. The prepared lamp array consisted of six white light-emitting fluorescent lamps (Global T5/6W, RPC), each with a power rating of 6 W. The used lamps have a diameter of 16 mm, a length of 225 mm, and a glass thickness of 0.8 mm. The distance between the lamps was set to 5 mm.



**Figure 1.** Designed fluorescent lamp array placed between the transmitter and receiver.

In this system, all the lamps are connected in series and linked to a transformer and variac system. The mains voltage at a frequency of 50 Hz can be adjusted within the range of 0-220 V rms using the variac. The voltage at the output of the variac is increased by the transformer to provide the necessary voltage for plasma formation in the lamps. The transformer primary has 500 turns, while the secondary has 10,000 turns, ensuring a 20-fold voltage increase between the primary terminals. The lamp array was positioned in the measurement setup, with a distance of 40 cm from the transmitter antenna end and 16 cm from the receiver antenna end. By adjusting the current values between the ends of the array, the amplitude intensities of the emitted light from the fluorescent lamps were observed using an oscilloscope. Since the voltage is applied to the ends of the lamps, the electric field that creates the plasma will be in the  $\pm z$ -direction (Figure 1 (a)). In the experiments, an electromagnetic wave polarized in the  $\hat{y}$ -direction was used. It is known that the absorption value in plasma-microwave interactions depends on the plasma frequency. Using the Drude model, the plasma frequency is given by Equation 1.

$$f_p = \frac{1}{2\pi} \left( \frac{ne^2}{m_e \epsilon_0} \right)^{1/2} \quad (1)$$

In this equation;  $n$  is electron density,  $e$  is the charge of an electron,  $m_e$  is the mass of an electron, and  $\epsilon_0$  is the dielectric constant of vacuum. The plasma frequency theoretically determines the electron oscillation frequency with respect to ions. This frequency can be used for calculation of complex refractive index by Drude model which can be utilized to predict electromagnetic wave plasma interaction. Using Equation 1, the calculation reveals that for a plasma frequency of 10.5 GHz, the electron density needs to be approximately  $1.37 \times 10^{18} \text{ m}^{-3}$ . This value falls within the range of electron densities calculated in studies involving structures containing mercury and argon. These values have been measured to be approximately in the range of  $3.5 \times 10^{16}$  to  $3 \times 10^{18} \text{ m}^{-3}$  (McColl, Brooks and Brake, 1993; Motta et al., 2001; Howlader, Yang and Roth, 2005)

Also, electron density can be evaluated with equation 2 (Wang et al., 2023).

$$n = \frac{Im_e f_{eff}}{e^2 ES} \quad (2)$$

Here,  $E$  represents the applied electric field,  $I$  denotes the current passing through the fluorescent lamp,  $f_{eff}$  electron collision frequency and  $S$  represents the surface area.

## RESULTS AND DISCUSSIONS

As first step, transmission of the microwave through the unenergized fluorescent lamp array measured. The microwave transmitter and receiver were positioned as shown in Figure 1. The ratio of receiver



measurements taken with and without the fluorescent array was calculated to be 0.95. Afterwards the array is energized with the system depicted in experimental methods section. The osciloscop data of measurements is saved for different current values 5 mA to 25 mA. These results are normalized with respect to unenergized array value and presented in Figure 2. Since the negative and positive alternance of the applied voltage can cause plasma, the modulation frequency is 100 Hz, which is double of that of the mains. the transmitted wave intensity is decreasing as the plasma current is increasing. It is an expected result because the current is proportional to the electron density  $n$  and this density directly influence on the plasma frequency as given in Equation 1. So as plasma frequency  $f_p$  approaches to the 10.5 GHz the reflectivity of the system is expected to increase. Also, according to the Drude model, when  $f_p$  higher than the 10.5 GHz the lamp array behaves like conductor and full reflectivity (no transmission) is expected as well. Although many parameters such as possible scattering effects are not considered, the results are in accordance with the Drude model.

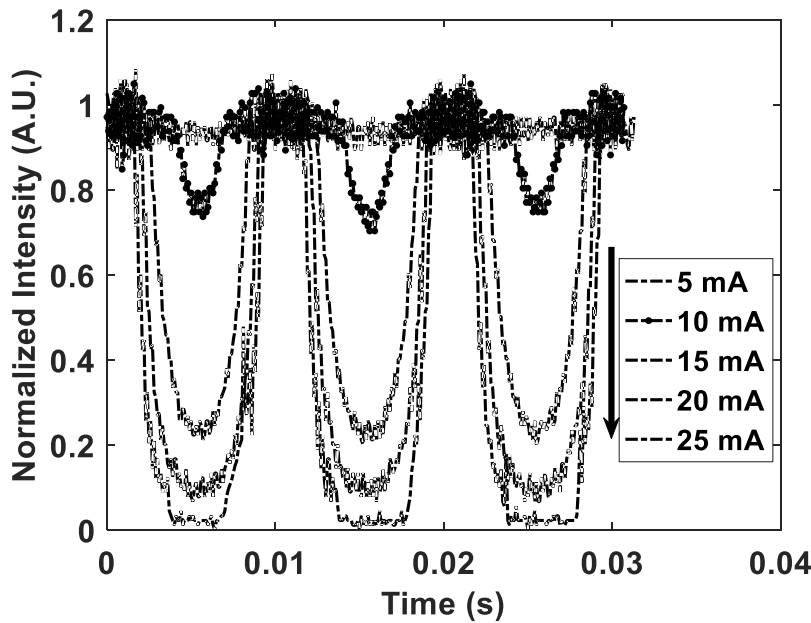
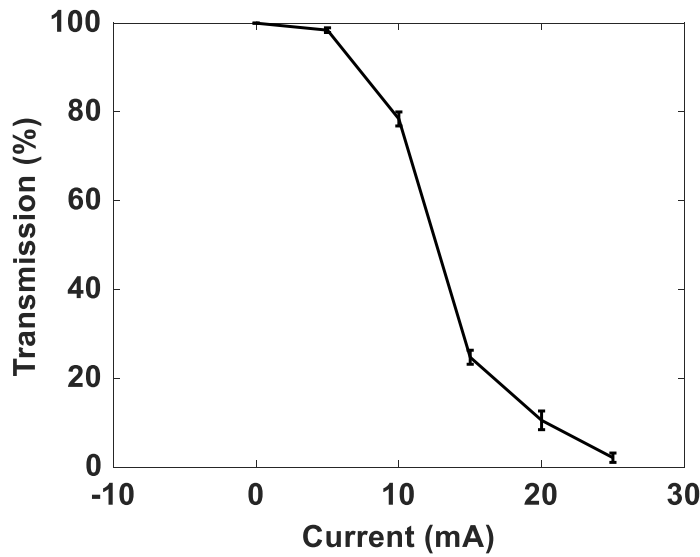


Figure 2. Normalized intensity with respect to time.

The measurement result and the transmission rate at the optimum values of the current are presented in Table 1 and Figure 3. In the experiments the wavelength of wave is around  $\lambda=28.6$  mm and the separation of lamps of 5 mm is lower than  $\lambda/2$ . As can be seen from the results, transmission decreases and reflection increases by increasing the current. In reflection calculation, as a ideal case, it is assumed that the entire wave reflected from the plasma and possible scattering due to the refractive index change of the plasma are ignored.

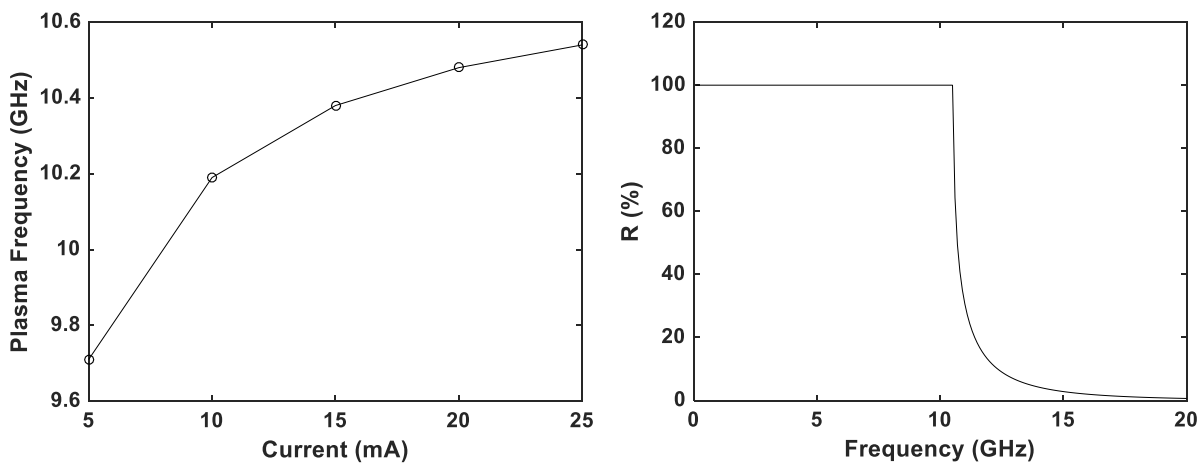
Table 1. Receiver Measurements and Calculated Transmission, Refleciton Results.

Transformer Current (mA)	Minimum value of normalized receiver voltage(mV)	Maximum value of normalized receiver voltage (mV)	Transmission rate (T) %	Ideal Reflection rate (100-T) %
5	0.93	0.95	97.89474	2.10526
10	0.75	0.95	78.94737	21.05263
15	0.23	0.95	24.21053	75.78947
20	0.1	0.95	10.52632	89.47368
25	0.02	0.95	2.105263	97.89474



**Figure 3.** Transmission values due to the applied current.

The plasma frequencies calculated by substituting the electron densities, obtained by assuming a constant collision frequency of  $7 \times 10^{11}$  Hz (Wang et al, 2023). Modulation of electromagnetic waves also active research area focuses on controlling waves by material or designed metamaterials applying external fields], into Equation 1 and 2 are presented in Figure 4a. As the current value increases, the electron density ( $n$ ) increases as well. The increase of  $n$  results in a shift of the plasma frequency towards higher frequencies. The electron density value of  $n = 1.38 \times 10^{18} \text{ m}^{-3}$  is obtained for the current of 25 mA, and the corresponding reflectivity ( $R$ ) for low-loss medium is shown in Figure 4b. The calculated full reflection is expected at 10.5 GHz, which is consistent with the experimental results.



**Figure 4.** (a) Plasma frequency with respect to current and therotically calculated reflectivity ( $R$ ) with respect to frequency ( $n=1.38 \times 10^{18} \text{ m}^{-3}$ ) (b).

## CONCLUSIONS

In this study, the interaction between an electromagnetic wave at a frequency of 10.5 GHz and a plasma structure created by a fluorescent lamp array was investigated. The system was driven by alternating field resulting varius current values from 5 to 25 mA at 50 Hz. When these current values increase, the transmission of electromagnetic wave decreases. As transmission decreases it is assumed that reflection of the electromagnetic wave increases as well according to the Drude model. Therefore, when the fluorescent lamp arrays are energized, they can be easily used to reflect elctromagnetic radiations and



also to modulate transmitted wave. The results of this study show that the fluorescence lamps as plasma sources have potential for developing applications such as plasma modulators or current controlled reflector.

## REFERENCES

- Hagelaar, G. J. M., & Hassouni, K., & Gicquel A. (2004) Interaction between the electromagnetic fields and the plasma in a microwave plasma reactor. *Journal of Applied Physics*, vol. 96, no. 4, pp. 1819-1828.
- Howlander, M. K., & Yang, Y., & Roth, J. R. (2005). Time-resolved measurements of electron number density and collision frequency for a fluorescent lamp plasma using microwave diagnostics. *IEEE Transactions on Plasma Science*, vol. 33, no. 3, pp. 1093-1099.
- Keržar, B., & Weissglas, P. (1965). Plasma microwave interaction. *Journal of Applied Physics*, vol. 36, no. 8, pp. 2479-2484.
- Li-Mei, Q., & Zi-Qiang, Y., & Feng, L., & Xi, G., & Da-Zhi, L. (2010). Dispersion characteristics of twodimensional unmagnetized dielectric plasma photonic crystal. *Chin. Phys. B*, vol. 19, no. 3.
- Malik, H. K., & Aria A. K. (2010). Microwave and plasma interaction in a rectangular waveguide: Effect of ponderomotive force. *Journal of Applied Physics*, vol. 108, no. 1.
- McColl, W., & Brooks, C., & Brake, M. (1993). Electron density and collision frequency of microwaveresonant-cavity-produced discharges. *Journal of Applied Physics*, vol. 74, no. 6, pp. 3724–3735.
- Motta, C., & Fonseca, A., & Gomes G., & Maciel, H. (2001). Electron number density and collision frequency measurements in a microwave surface wave discharge. *IEEE Conf. Pulsed Power Plasma Sci. Conf. (PPPS)*, 2001, pp. 1304–1307, Las Vegas NVUSA, doi:10.1109/PPPS.2001.1001789.
- Sakai, O., & Sakaguchi, T., & Ito, Y., & Tachibana, K. (2005). Interaction and control of millimeter-waves with microplasma arrays. *Plasma Phys. Controlled Fusion*, vol. 47, pp. 617–627.
- Sakai, O., & Sakaguchi, T., & Ito, Y., & Tachibana, K. (2007). Photonic bands in two dimensional microplasma arrays I. Theoretical derivation of band structures of electromagnetic waves. *Journal of Applied Physics*, vol. 101.
- Savo S., & Shrekenhamer D., & Padilla W.J. (2014) Liquid crystal metamaterial absorber spatial light modulator for THz applications. *Adv. Opt. Mater.* 2, pp. 275– 279
- Wang, B., & Cappelli, M. A. (2015) A tunable microwave plasma photonic crystal filter. *Applied Physics Letters*, vol. 107, no. 17.
- Wang, H., & Lyu, X., & Yao, J., & Astafiev, A. M., & Li, H. P. (2023). Study of the Radiation Pattern and Frequency Response of a Short Linear Antenna Surrounded by Discharge Tubes for the Development of Rapidly Adjustable Wideband Antenna Systems. *Electronics*, 12(6), 1277
- Yamamoto, T., & Kobayashi, T. (2014, December). In 2014 International Symposium on Antennas and Propagation Conference Proceedings (pp. 89-90). IEEE.



## BULUD TEXNOLOGİYALARINDA TƏHLÜKƏSİZLİK MƏSƏLƏLƏRİ SECURITY ISSUES IN CLOUD TECHNOLOGIES

*Rəqsanə Həmidova*

*Bakı Mühəndislik Universiteti*

### ÖZET

Bulud texnologiyaları günümüzdə böyük müəssisələrdən tutmuş kiçik müəssisələrə qədər tətbiq edilməyə başlamışdır. Bulud texnologiyaları məlumatların müəssisə daxilində sərt disklərdə saxlanılmasından daha təhlükəsizdir. Təbiət hadisəsi, oğurluq və s kimi bir çox hallarda məlumat itkisi baş verə bilər. Ancaq bulud texnologiyasının tətbiqi bu kimi problemlərin bir çoxunu həll etdir. Bulud texnologiyalarının bir çox üstünlüyü olsa da, onların da bir çox təhlükəsizlik məsələləri vardır. Bulud texnologiyaları günümüzdə də istər istifadəçi interfeysi, istər təhlükəsizliyi cəhətdən inkişaf etdirilir. Bulud texnologiyalarının təhlükəsizliyini təmin etmək üçün bir çox təhlükəsizlik qrupları müəssisənin həcminə əsasən ayrılıqda və ya bircə işləyir. Bu qruplar böyük müəssisələrdə ayrıca qruplar kimi işləyir. Çünki hər bir təhlükəsizlik məsələsi ayrıca böyük məsələdir. Bulud texnologiyaları gün keçdikcə daha çox inkişaf edir və bununla bərabər ondan istifadə edən müəssisələrin də böyüməsinə şərait yaradır.

**Açar sözlər:** bulud texnologiyası, kompüter, informasiya, təhlükəsizlik, proqram, şəbəkə, standart.

### Abstract

Today, cloud technologies have started to be applied from large enterprises to small enterprises. Cloud technologies are more secure than storing data on hard drives inside the enterprise. Data loss can occur in many cases such as natural events, theft, etc. However, the application of cloud technology can solve many of these problems. Although cloud technologies have many advantages, they also have many security issues. Cloud technologies are being developed today, both in terms of user interface and security. In order to ensure the security of cloud technologies, many security groups work separately or in one place depending on the size of the enterprise. These groups work as separate groups in large enterprises. Because each security issue is a separate big issue. Cloud technologies are developing day by day, and at the same time, they are enabling the growth of businesses that use it.

**Keywords:** cloud technology, computer, information, security, software, network, standard.

Ən sadə dillə desək, bulud hesablamaları dedikdə, server, saxlama, verilənlər bazası, şəbəkə, proqram təminatı, analiz kimi informasiya emalı dediyimiz sektorun əsas xidmətlərinin internet üzərindən təqdim edilməsi, daha sürətli inkişafı, çevik və asan həyata keçirilməsi nəzərdə tutulur. Resurslardan və bəzi iqtisadi qiymətlərdən istifadə edən çevik və istifadəsi asan infrastruktur, şəbəkə əsaslı memarlıq yanaşması və asan əlçatanlığı sayəsində bulud hesablamaları hər ölçüdə şirkət və qurumlar kimi bir çox təşkilat tərəfindən getdikcə daha çox istifadə olunur. Bundan əlavə, bulud hesablama sistemləri şəxsi məlumatlar kimi həssas məlumatların saxlanması üçün gələcək üçün ən vacib saxlama vahidləri olaraq görülür. Bulud hesablama texnologiyası bütün təbəqələr üçün müxtəlif xidmətlər təklif etdiyindən, hər bir təbəqədə istifadə olunan texnologiyalar da fərqlidir. Bulud hesablamalarının təməli əslində virtuallaşdırma texnologiyasına əsaslanır. Bu yolla hər cür məlumatı istifadəçilərə çatdırıla bilər. Bu üstünlüklərin səbəb ola biləcəyi təhlükəsizlik problemləri bulud hesablama xidmətləri ilə əlaqədardır. Ümumiyyətlə, qurumlar tərəfindən üçüncü tərəf proqram təminatının istifadəsi və bu xidmətlərin şəbəkə trafik vasitəsilə daxil olması nəticəsində yaranan təhlükəsizlik zəifliyi kimi bunlarla bağlı bir çox risklər yarada bilər. Bu cür çatışmazlıqlar üçün bulud hesablama sistemləri tərəfindən istifadə edilən təhlükəsizlik üsulları da var.



Digər tərəfdən, bulud hesablama sistemlərində ən mühüm narahatlıqlar arasında bu sistemlərdən istifadə edən fərdlərin və ya qurumların məlumatlarının etibarlı qorunmasıdır. Bu məqamda məlumatların məxfiliyi və etibarlılığı məsələsi bulud hesablama texnologiyaları üçün daha çox əhəmiyyət kəsb edir. Bulud hesablamalarında bu problemlər üçün çoxlu hücumlar, təhdidlər və zəifliklər mövcuddur. Bununla belə, bulud hesablamaları bizə bunlar üçün bəzi həllər təklif edir. Bu həllər istifadəçilər və qurumlar üçün getdikcə genişlənən və böyüyən bulud hesablama sistemlərindən istifadə etmək üçün çox vacibdir.

## BULUD TEXNOLOGİYALARINDA TƏHLÜKƏSİZLİK MƏSƏLƏLƏRİ

Bulud hesablama sistemləri ümumiyyətlə çevikdir, qənaətcildir, istənilən yerdən daxil olmağa imkan verir, idarəetmə, hesabat vermə, texniki xidmət və təmir işlərini asanlaşdırır, fəvqəladə hallarda məlumatların itməsinin qarşısını almaq üçün bir neçə fərqli yerdə yüksək təhlükəsizliklə saxlanılır, ehtiyat nüsxəsinə malikdir. Mexanizmi və miqyaslı xüsusiyyətləri ilə insanların və qurumların son dövrlərdə tez-tez istifadə etdiyi və sistemlərini bu infraqurumla köçürməyə başladığı əhəmiyyətli bir texnologiyadır.

Bulud hesablamalarının bir çox üstünlükləri ilə yanaşı, mənfi cəhətləri də var. Bu çatışmazlıqlar bulud istifadəçilərini əsas narahat edən təhlükəsizlik məsələləridir. Bulud infraqurumundan istifadə edən bir qurumun ən çox düşündüyü şeylərdən biri, şübhəsiz ki, məlumatlarının saxlanma üsulu və bulud provayderinin bununla bağlı gördüyü tədbirlərdir. Bulud hesablamasında nəzarət tamamilə bulud istifadəçisində olmadığı üçün məlumatların harada və necə saxlanması vacib sual işarəsinə çevrilir.

Bulud hesablama sistemlərində məlumatların ehtiyat nüsxəsi prosesi quruma yaxın coğrafi yerlərdə saxlanılmaq əvəzinə buludda həyata keçirilir. Bəzi müəssisələr hələ də özlərinə məxsus disklərdə ehtiyat nüsxəsini çıxarır və ya məlumat ehtiyat nüsxələrini yaxınlıqdakı kənar yerdə saxlamağa çalışırlar. Yanğın və ya zəlzələ kimi fəvqəladə fəlakətlər zamanı bu üsul məlumatların da itməsinə səbəb ola bilər. Bulud sistemlərində məlumatlar uzaq yerlərdə saxlanılır. Bu yolla məlumat itkisi probleminin qarşısı alınır və mümkün məlumat itkisi təhlükəsi aradan qaldırılır. Lakin bu metodun əsas problemi məlumatların necə saxlandığı və məlumatların kimlər tərəfindən əldə edildiyinin dəqiq bilinməməsidir.

**Bulud Texnologiyasının Təhlükəsizlik Sinfləri:**Bulud hesablamasında təhlükəsizlik şəxsiyyət və girişin idarə edilməsi, infraqurum təhlükəsizliyi, proqram təminatı, şəbəkə təhlükəsizliyi və informasiya təhlükəsizliyi kimi kateqoriyalara bölünür.

**Şəbəkə Təhlükəsizliyi:**Təşkilatlar öz şəbəkələrini şirkət içərisindən buludlara köçürür. Bu o deməkdir ki, məlumatlar artıq evdə deyil, üçüncü tərəf bulud provayderi tərəfindən təmin edilən buludda saxlanılacaq və bu məlumatlar hər nöqtədə qorunmalıdır. Bununla belə, bulud hesablamaları təhlükəsizliyi çətinləşdirə biləcək yeni problemlər gətirir. Ən mühüm problemlərdən biri bulud mühitində təmin edilməli olan şəbəkə təhlükəsizliyi.

Şəbəkə təhlükəsizliyi dedikdə, əsas şəbəkə infraqurumunu icazəsiz girişdən, sui-istifadədən, nasazlıqdan, modifikasiyadan, məhv edilmədən və ya qeyri-düzgün açıqlamadan qorumaq üçün fiziki və proqram təminatı tədbirlərinin görülməsi və bununla da kompüterlər, istifadəçilər və proqramlar üçün verilmiş sistem daxilində icazə verilən kritik əməliyyatları yerinə yetirmək üçün təhlükəsiz platforma yaradılmasını təmin edən komponent kimi müəyyən edilir.

Bu cür hücumların qarşısını almaq üçün bəzi tədbirlər görülməlidir. Xidmət olaraq infraqurum üçün şəbəkə seqmentasiyası konfigurasiya edilməli və şəbəkə monitorinqi Hücumun Aşkarlanması Sistemləri (IDS) və Hücumun Qarşısının Alınması Sistemləri (IPS) daxil olan struktura keçməlidir. Bundan əlavə, zərərli proqramların aşkarlanması və qorunması veb saytın qarşısında virtual firewall yerləşdirməklə təmin edilir.

İkincisi, platforma kimi proqram təminatında xidmət təminatçısı müştəriyə proqramlar yaratmağa imkan verən platformanı təmin edir, bulud provayderi isə infraqurumu yaradır və ona xidmət göstərir. Bununla belə, burada təhlükəsizlik IP məhdudyyətləri və giriş vasitəsilə əldə edilə bilər. Bundan əlavə, paylanmış API Gateways və siyasətlərə nəzarət edən Bulud Giriş Təhlükəsizliyi Brokeri (CASB) sistemin digər vacib elementləridir.





Nəhayət, bir xidmət olaraq proqram təminatı üçün platformada və xidmət olaraq infrastrukturda tədbirlər görülməlidir və ayrıca alına biləcək heç bir tədbir yoxdur. Çünki proqram-xidmət kimi sistemlərdə nəzarət provayderdə olur və təhlükəsizlik mexanizmləri provayder tərəfindən təmin edilir.

**İnfrastrukturun Təhlükəsizliyi:** Yeni və müasir texnologiyaların mənimsənilməsi və onlara keçidi qurumların böyüməsinə şərait yaradır. Bununla belə, bu, təhlükəsizlik problemlərini və məlumat pozuntularını da gətirir. Bulud texnologiyasını qəbul edərkən bulud infrastrukturunun təhlükəsizliyi ən vacib vəzifələrdən biri kimi qarşıya çıxır. Bu problemlərin hələ də davam etdiyi və bu sistemlərə keçidlə bağlı qərarlı olan bir çox müəssisələr var. Məsələn, bir onlayn kazino qrupu tərəfindən 108 milyondan çox mərc qeydləri sızdırılıb. Sızdırılan məlumatlar əmanətlərin və pul vəsaitlərinin çıxarılmasının təfərrüatlarını, həmçinin müştərilərin şəxsi məlumatlarını ehtiva edir. Həmçinin, 770 milyondan çox unikal e-poçt ünvanı və 21 milyon unikal paroldan ibarət məlumat toplusunu əhatə edən kütləvi məlumat pozuntusu baş verib, bunların hamısı bulud saxlama xidməti olan MEGA-da saxlanılıb. Məşhur qida çatdırılması xidməti provayderi istehlakçılar və çatdırılma işçiləri də daxil olmaqla 4,9 milyon istifadəçinin məlumatlarını oğurlayıb, nəticədə məlumat sızması və pozuntular baş verib. Bu verilmiş nümunələrbulud hesablamada infrastrukturunun təhlükəsizliyinin nə qədər vacib olduğunu ortaya qoyur.

Bulud hesablamalarında infrastruktur təhlükəsizliyi bir neçə hissədə idarə oluna bilər. Onlardan biri infrastrukturda şəbəkə təhlükəsizliyidir. Bu hissədə şəxsi bulud istifadəçiləri üçün heç bir risk yoxdur. Məlumatlar artıq qurum daxilində saxlandığı üçün kənar şəbəkəyə qapalıdır və lazımı ehtiyat tədbirlərinin görülməsi bu yaxşı nəticəyə gətirib çıxarır. Bununla belə, ictimai bulud istifadəçiləri üçün bəzi risklər var və bəzi yerlərdə bəzi dəyişikliklərə ehtiyac var. Mövcud şəbəkə topologiyasının bulud provayderinin şəbəkə topologiyası ilə qarşılıqlı əlaqəsi nəzərə alınmalıdır. Bundan əlavə, ictimai bulud istifadəsində, infrastruktur təhlükəsizliyi üçün istifadə edilən resurslara müvafiq giriş nəzarətinin (autentifikasiya, avtorizasiya və audit) təmin edilməsi, ictimai bulud provayderləri tərəfindən təşkilatə təyin edilmiş internet yönümlü resursların mövcudluğunun təmin edilməsi, quraşdırılmış şəbəkə regionlarının və təbəqələrinin dəyişdirilməsi domenlərlə modelləşdirmə və tələb olunan məlumatların məxfiliyini və bütövlüyünü təmin etmək. Digər tərəfdən, risklər qiymətləndirilərkən host təhlükəsizliyi, bütün bulud növləri və paylama modelləri ayrıca nəzərə alınmalıdır. Platformada xidmət kimi proqram təminatı və host təhlükəsizliyi üçün məsuliyyət bulud provayderinin üzərinə düşsə də, xidmət kimi infrastruktur üçün məsuliyyət bulud istehlakçısıdır.

İnfrastruktur təhlükəsizliyində digər əsas məsələlərdən biri virtual maşın təhlükəsizliyidir. Virtual maşın təhlükəsizliyinin missiyası əməliyyat sistemlərini və iş yüklərini ənənəvi fiziki serverlərə təsir edən ümumi təhlükəsizlik təhdidlərindən (zərərli proqram və viruslar kimi) qorumaq üçün bulud mərkəzli təhlükəsizlik həllərindən istifadə etməkdir və bu, bulud istehlakçılarının məsuliyyətidir. Başqa bir problem virtual maşın şəkillərinin repozitoriyasının təhlükəsizliyidir. Fiziki serverlərdən fərqli olaraq, virtual maşınlar oflayn olduqda belə risk altındadır. Virtual maşın şəkillərinə zərərli kodu virtual maşın fayllarına daxil etməklə və ya virtual maşın fayllarının özlərini oğurlamaqla təhlükə altına düşmək təhlükəsi var. Təhlükəsiz VM şəkillər anbarı bulud provayderlərinin məsuliyyətidir. Digər əsas məsələ SM sərhədlərini təmin etməkdir. Fiziki server sərhədləri ilə müqayisədə VM-lərin virtual sərhədləri var. Eyni fiziki serverdəki VM-lər eyni prosessoru, yaddaşı və bütün digər mümkün resursları paylaşır.

**Proqram təminatının təhlükəsizliyi:** Proqram təminatının təhlükəsizliyi bulud hesablamalarında ən narahatedici təhlükəsizlik problemlərindən biridir. Bu gün tərtibatçılar hər bir proqram təminatını öz komandaları arasında istehsal etdikləri ideyalarla yazır və müxtəlif proqramlaşdırma dillərindən, proqramlaşdırma çərçivələrindən və kitabxanalardan istifadə edirlər. Bu proqram təminatları milyonlarla kod sətirindən ibarət ola bilər. Bu, təhlükəsizlik qruplarının proqram təminatında təhlükəsizliyi ölçməsinə çətinləşdirir. Tərtibatçı proqram təminatını müəyyən etdiyi təhlükəsizlik qaydalarına uyğun inkişaf etdirsə də, tək bir xəta və ya açıq məlumat pozuntusu mühüm problem yarada bilər.

Bulud istehlakçısı internet üzərindən infrastrukture və xidmət kimi proqram təminatına daxil olur. İstifadəçi interfeysi istifadə ediləcək xidmətlərin idarə edilməsi və monitorinqi kimi funksiyaları ehtiva edir. İstifadəçinin sistemdəki icazəsinə uyğun olaraq ön tərəfdə fərqli interfeyslər görünür.



Məsələn, sistemdə "admin" kimi qeydiyyatdan keçmiş şəxsin interfeysdəki bütün səhifələrə və xüsusilə də idarəetmə interfeysinə daxil olmaq hüququ olsa da, yalnız istifadəçinin müəyyən edilmiş avtorizasiya mexanizmlərinə uyğun olaraq səlahiyyətli olduğu səhifələr müəyyəndir və giriş inzibətçisi interfeyslərə məhdudiyət qoyur. İnterfeys bulud mühitində standart olaraq internet üzərindən əldə edilən şlüz hesab olunur. Təcavüzkarın hücumlarını həyata keçirmək üçün istifadə etdiyi bu interfeys, istəklərini yerinə yetirə biləcəkləri buluda daxil olmaq istəyən zərərli istifadəçilər üçün əhəmiyyətli bir yerdir. Bu interfeyslərin proqram təminatında edilən qüsurlu konfigurasiyalar, çatışmayan proqram təminatı, icazəsiz giriş və sistemə maskalı kodların yeridilməsi sistemin təhlükəsizlik divarlarını sıradan çıxaran mühüm problemlərdir.

Xidmət olaraq platforma bulud proqramlarının paylanması üçün paylaşma əsaslı platforma təqdim edir və proqramların işlənilməsində istifadə olunacaq bir çox proqram dilini dəstəkləyir. Bununla belə, təklif olunan bu platformalar mənbə ölçmə, platforma izolyasiyası problem kimi i bəzi təhlükəsizlik problemləri var.

Bulud hesablama proqramlarında baş verə biləcək təhlükəsizlik təhdidləri proqram quraşdırılmasının yanlış konfigurasiyası, icazəsiz giriş, təhlükəli API-lər və hesabın oğurlanmasıdır.

Tətbiq quraşdırılmasında hər hansı yanlış konfigurasiya bulud təhlükəsizliyi üçün ən böyük təhlükədir. Çünki məlumat pozuntuları xidmətlər ictimai internetə məruz qaldıqda baş verən hadisələrdir. Vebsayta, serverə, xidmətə və ya digər sistemə icazəsiz daxil olmaq ciddi bir məsələdir. İcazəsiz istifadəçilərin sistemdə icazəsi olmayandan sonra nə edəcəyini proqnozlaşdırmaq mümkün deyil. Təhlükəsiz API və interfeyslər təcavüzkarlara sistemləri pozmaq üçün asan imkanlar təmin edir, çünki onlar ictimai IP ünvanı olan korporativ şərhəldərdən kənarında olan yeganə qurumlardır. Nəhayət, hesabın oğurlanması adi haldır, çünki bir çox həssas məlumat və resurslar bir çox müxtəlif istifadəçilər tərəfindən paylaşılan cihazlarda saxlanılır və bu məlumatlar hesab oğurlanması zamanı çox pis istifadə olunması qaçınılmazdır.

**İnformasiya Təhlükəsizliyi:** Bulud hesablamalarında informasiya təhlükəsizliyi termini hər sahədə olduğu kimi məxfiliyi, bütövlüyünü və istifadəyə yararlılığını təmin etmək məqsədi ilə məlumat və informasiya sistemlərini icazəsiz girişdən, icazəsiz istifadədən, məlumatın açıqlanmasından, məlumatda hər hansı kəsilmədən, dəyişdirilmədən və ya məhv edilməsindən qorumaq deməkdir.

İnformasiya təhlükəsizliyində bütövlük məlumatın düzgün dəyişdirilməməsi, əlavə edilməsi, silinməsi və ya məhv edilməsindən qorunması deməkdir və məlumatın rədd edilməməsini və orijinallığını itirməməsini təmin edir. Məxfilik, digər tərəfdən, mülkiyyət və mülkiyyət məlumatlarını qorumaq üçün alətlər də daxil olmaqla, açıqlama və əldə etmək üçün icazə verilmiş məhdudiyətlərin saxlanması deməkdir. Məsələn, bulud mühitində saxlanılan məlumatlara daxil ola bilən şəxslər və ya qurumlar konkret olmalı və hər birinə ayrıca giriş hüququ verilməlidir. Ölçətanlıq məlumatın vaxtında və etibarlı şəkildə əldə edilməsini və istifadəsini təmin etmək deməkdir.

Bulud hesablama, xərclərə qənaət və davamlılıq kimi təmin etdiyi üstünlüklərlə daxili infrastruktura ehtiyac olmadan tələb üzrə hesablama və saxlama resurslarını təmin edir. Texnoloji irəliləyişlər sürətləndikcə və bulud hesablama populyarlaşdıqca, korporativ və ya şəxsi məxfi məlumatların məxfiliyini, mövcudluğunu və bütövlüyünü daim qorumaq və təmin etmək üçün əlavə bulud hesablama təhlükəsizlik tədbirləri tələb olunur.

Bundan əlavə, məlumat əldə etmək üçün RSA sertifikatları və SSH əsaslı tunel mexanizmləri kimi təhlükəsiz giriş mexanizmləri təmin edilməlidir.

**Qanuna uyğunluq və standartlar:** Bulud uyğunluğu buluddan istifadə üçün tətbiq olunan qanun və qaydalara riayət etməklə əldə edilir. Qurumlar bəzi qanun maddələrinə görə buluda keçməkdə tərəddüd edir, lakin konstitusiya və qanunlar buludun qurumlar tərəfindən mənimsənilməsinə maneə olacaq element deyil. Bulud istehlakçıları məlumatların harada işlənəcəyi, hansı qanunların tətbiq ediləcəyi, bulud sistemlərinə köçürərkən hansı təsirlərin olacağı barədə məlumatlandırılmalı və sonra bunlara əməl etmək üçün riskə əsaslanan metoda əməl etməlidir.

Bulud hesablamalarından istifadə etmək üçün qurumlar və təşkilatlar bir çox qlobal qaydalara əməl etməlidirlər. HIPAA, PCI DSS, GDPR, ISO/IEC 27001, NIST, NERC, Sarbanes-Oxley (SOX) kimi qaydalar hüquqi uyğunluq və qaydaların ön sıralarındadır. Bu məsələyə ictimai buludlar baxımından



baxsaq, üst bulud provayderlərinin ISO 27001, PCI DSS, HIPAA, FedRAMP kimi bir çox beynəlxalq uyğunluq tələblərinə cavab verən bir çox sertifikatları var. Bununla belə, bulud uyğunluğu yalnız bulud provayderləri üçün bir vəzifə deyil. Amazon Web Services (AWS) və Azure kimi sənayenin aparıcı bulud provayderləri müəssisə və təşkilatlara təhlükəsizlik nəzarətləri üzərində nəzarət imkanı verir. Təşkilatlar bütün hibrid və çox buludlu şəbəkələrin uyğunluğunu təmin etmək üçün orta q məsuliyyət daşıyırlar.

Bulud təhlükəsizliyində mühüm mövzulardan biri olan qanuna uyğunluq və qaydalar həm bulud provayderləri, həm də bulud istehlakçıları üçün mühüm məsələdir və bundan sonra da olacaq. Yuxarıda göstərilən qaydalar arasında, məsələn, səhiyyə sektoru üçün HIPAA adlı bir sıra qanunlar, müəyyən xəstə məlumatları üçün ciddi qaydalar və təhlükəsizlik protokollarını təmin edir.

### ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

- [1] Thomas Bittman, D.C., Daryl Plummer, Tom Austin, David Smith, Cloud Computing: Defining and Describing an Emerging Phenomenon. 2008.
- [2] Mcfedries, P. The Cloud Is The Computer. 2008 [cited 2021 16 Nisan]; Available from: <https://spectrum.ieee.org/the-cloud-is-the-computer>.
- [3] Microsoft. What is cloud computing? [cited 2021 15 Nisan]; Available from: <https://azure.microsoft.com/enus/overview/what-is-cloud-computing/>.
- [4] Solutions, I. Cloud computing. [cited 2021 19 Mayıs]; Available from: <https://icwaresolutions.com/cloud-computing/>.
- [5] Upadhyay I., 15 Important PaaS Example In 2021. 2021 [cited 2021 22 Mayıs]; Available from: <https://www.jigsawacademy.com/blogs/cloud-computing/paas-examples/>.
- [6] SailPoint. 8 Types of Password Attacks. 2021 [cited 2021 21 Eylül]; Available from: <https://www.sailpoint.com/identity-library/8-types-of-password-attacks/>.
- [7] Marchioro C. C., Data Security in Cloud Computing. 2019.



## ENERJİ VERİMLİ RTOS TASARIMLARI VE GÜÇ YÖNETİMİ STRATEJİLERİ ENERGY-EFFICIENT RTOS DESIGNS AND POWER MANAGEMENT STRATEGIES

*Hüseyin Cem KOÇ<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mekatronik Mühendisliği, İzmir, Türkiye.*

*<sup>1</sup>ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1090-3348>*

*Mustafa Engin<sup>2</sup>*

*<sup>2</sup>Dr. Öğr. Üyesi, Ege Üniversitesi, Ege Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, İzmir, Türkiye.*

*<sup>2</sup>ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7247-4545>*

### ÖZET

Bu çalışmada, gerçek zamanlı işletim sistemi kullanan enerji verimli gömülü sistemler tasarımında güç yönetim algoritması önerilmiştir. Enerji verimliliği günümüzde üretilen her cihazda büyük önem taşımaktadır. Özellikle taşınabilir cihazlarda bataryanın kullanım süresindeki kısıtlamalar var olan batarya kapasitesinin en verimli şekilde yönetilmesini zorunlu kılmaktadır. Gömülü sistem tasarımında gerçek zamanlı işletim sistemi kullanmak sistemlerin enerji tüketimini optimize etmek için kullanılan birçok yöntem sunmaktadır. İşlemcilerin enerji verimliliğini artıran düşük güç modları, görevlerin dinamik önceliklendirilmesi ve zamanlama stratejileri gibi yöntemler bu tasarımların temel unsurlarıdır. Ayrıca, uyku modu ve işlemci frekansının dinamik olarak ayarlanması gibi teknikler de enerji tüketimini optimize etmeye yardımcı olmaktadır. Doğru belirlenen güç yönetimi algoritması, cihazların enerji tasarrufu yapmasını ve verimli bir şekilde çalışmasını sağlar. Bu çalışmada önerilen algoritma, dinamik voltaj ve frekans ölçeklendirme, işlemci çekirdeklerinin uyku moduna geçirilmesi, bellek yönetimi ve görev zamanlaması optimizasyonunu içermektedir. Ayrıca, bu tasarımların gerçek zamanlı sistem performansı üzerindeki etkileri ve enerji tüketimi ile performans arasındaki dengeyi sağlamak için yapılan optimizasyonların açıklanmıştır. Sonuç olarak, bu çalışma, enerji verimli RTOS tasarımları ve güç yönetimi stratejilerinin, elektronik sistemlerin enerji tüketimini azaltmada ve pil ömrünü uzatmada önemli bir rol oynadığını ortaya koymaktadır. Enerji verimli RTOS tasarımları ve güç yönetimi stratejileri, gömülü sistemlerin daha uzun pil ömrüne sahip olmasını sağlayarak, enerji maliyetlerini azaltmaya ve çevresel etkiyi en aza indirmeye yardımcı olmaktadır. Bu alanda yapılan ilerlemeler, gelecekte daha verimli ve sürdürülebilir elektronik cihazlar için büyük bir potansiyel sunmaktadır.

**Anahtar kelimeler:** Gerçek zamanlı sistemler, enerji verimli RTOS, güç yönetimi stratejileri, gömülü sistem.

### ABSTRACT

In this study, a power management algorithm is proposed in the design of energy efficient embedded systems using real-time operating system. Energy efficiency is of great importance in every device produced today. Especially in portable devices, the limitations on the usage time of the battery necessitate the most efficient management of the existing battery capacity. Using real-time operating system in embedded system design offers many methods to optimize energy consumption of systems. Methods such as low-power modes that increase the energy efficiency of processors, dynamic prioritization of tasks and scheduling strategies are key elements of these designs. In addition, techniques such as sleep mode and dynamically adjusting the processor frequency also help optimize energy consumption. Correctly determined power management algorithm ensures that devices save energy and operate efficiently. The algorithm proposed in this study includes dynamic voltage and frequency scaling, sleep mode of processor cores, memory management and task scheduling optimization. In addition, the effects of these designs on real-time system performance and the optimizations made to



balance energy consumption and performance are explained. In conclusion, this study reveals that energy efficient RTOS designs and power management strategies play an important role in reducing energy consumption of electronic systems and extending battery life. Energy efficient RTOS designs and power management strategies enable embedded systems to have longer battery life, helping to reduce energy costs and minimize environmental impact. Advances in this area offer great potential for more efficient and sustainable electronic devices in the future.

**Keywords:** Real time system, energy-efficient RTOS, power management strategies, embedded system

## 1. GİRİŞ

Günümüzde, gömülü sistemlerin yaygın kullanımı, enerji verimliliği ve güç yönetimi stratejilerinin önemini artırmıştır. Özellikle gerçek zamanlı işletim sistemleri (RTOS), karmaşık görevlerin eşzamanlı olarak çalıştırılmasını sağlamak için kullanılan temel bir araç haline gelmiştir. RTOS'lar, endüstriyel otomasyon, sağlık teknolojisi, otomotiv, akıllı ev sistemleri ve daha birçok alanda kullanılan gömülü sistemlerin temelini oluşturur [1]. Enerji verimliliği, gömülü sistemlerde uzun pil ömrü, daha düşük enerji tüketimi ve daha az ısı üretimi gibi avantajlar sağlar [2]. Bunun yanı sıra, enerji verimli tasarımlar, çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine katkıda bulunur ve enerji maliyetlerini azaltır [3].

Gömülü sistemlerin yaygın kullanımı, enerji verimliliği ve güç yönetimi stratejilerinin giderek artan bir önem kazanmasına neden olmuştur. Bu sistemler, elektronik cihazlarımızın ve endüstriyel uygulamaların temelini oluştururken, mobil cihazlar, sağlık teknolojisi, otomotiv sektörü, akıllı ev sistemleri ve daha birçok alanda da yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Ancak, bu gömülü sistemlerin enerji tüketimi, sürdürülebilirlik hedeflerine ve enerji maliyetlerinin azaltılmasına yönelik küresel çabalarla uyumlu değildir [4].

Bu nedenle, enerji verimli RTOS tasarımları ve güç yönetimi algoritması üzerine yapılan araştırmalar, büyük bir öneme sahiptir. Enerji verimliliği, gömülü sistemlerdeki pil ömrünü uzatma, enerji tüketimini azaltma ve ısı üretimini kontrol etme gibi çeşitli avantajlar sunar [1]. Özellikle taşınabilir cihazlar ve kablosuz sensör ağları gibi enerji kaynaklarının kısıtlı olduğu uygulamalarda, enerji verimliliği kritik bir gereklilik haline gelir [5-7]. Gömülü sistemlerde enerji verimliliği, gerçek zamanlı işletim sistemlerinin tasarımında önemli bir rol oynamaktadır. RTOS'lar, karmaşık görevleri eşzamanlı olarak yönetme olanağı sağlar, ancak enerji tüketimi açısından optimize edilmesi gerekmektedir [1]. Bu, tasarımcıların enerji verimli RTOS tasarımları ve güç yönetimi stratejilerine odaklanmalarını gerektirir.

Bu araştırmanın temel motivasyonu, gömülü sistem tasarımcılarına enerji verimliliği odaklı RTOS tasarımları ve güç yönetimi stratejileri hakkında rehberlik sağlamaktır. Enerji verimliliği ile ilgili yeni yöntemlerin ve stratejilerin geliştirilmesi, pil ömrünün uzatılması ve enerji maliyetlerinin azaltılması gibi önemli avantajları beraberinde getirecektir. Ayrıca, enerji kaynaklarının verimli kullanımı, çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine katkıda bulunacak ve enerji tüketimiyle ilişkili olumsuz etkileri azaltacaktır.

Çalışmamızın amacı, RTOS tasarımcılarına ve gömülü sistem geliştiricilerine enerji verimliliği odaklı tasarım ilkeleri ve güç yönetimi stratejileri hakkında bir rehber sunmaktır. İlk olarak, RTOS kavramını ve kullanım alanları tanıtılacaktır. Ardından, enerji verimli RTOS tasarımının gereksinimlerini ve yöntemlerini açıklanacaktır. Güç yönetimi stratejileri, düşük güç modları ve enerji verimliliği ile performans dengesini sağlama yöntemleri açıklanacaktır. Ayrıca, örnek uygulamalar ve sonuçlarla enerji verimliliği potansiyelinin değerlendirilmesini sunulmuştur.

## ENERJİ VERİMLİLİĞİ VE GÜÇ YÖNETİMİ

Gömülü sistemlerin yaygın kullanımı, enerji verimliliği ve güç yönetimi stratejilerinin önemini artırmıştır. Enerji verimliliği, elektronik cihazların ve sistemlerin enerji kaynaklarını verimli bir şekilde kullanması anlamına gelir. Bunun yanı sıra, güç yönetimi stratejileri, enerji tüketiminin kontrol altında tutulması ve enerji kaynaklarının verimli bir şekilde yönetilmesi için çeşitli teknikleri içerir.

Enerji verimliliği ve güç yönetimi, birçok önemli avantaj sağlar. İlk olarak, enerji verimli tasarımlar, gömülü sistemlerin pil ömrünü uzatabilir. Özellikle taşınabilir cihazlar ve kablosuz sensör ağları gibi enerji kaynaklarının sınırlı olduğu uygulamalarda, uzun pil ömrü kritik bir gereklilik haline gelir [5-7].



Enerji verimli tasarımlar, kullanıcıların pil değişimi veya şarj sürelerini azaltarak kullanılabilirlik ve kullanıcı deneyimini artırır. İkinci olarak, enerji verimliliği çevresel sürdürülebilirlik açısından büyük bir öneme sahiptir [3]. Artan enerji talebi ve kaynakların sınırlı olması, enerji verimliliğinin daha da önem kazanmasını sağlamıştır. Enerji verimli tasarımlar, fosil yakıt kullanımını azaltarak karbondioksit emisyonlarını düşürür ve çevresel etkileri azaltır [8]. Bu da gezegenimizin sürdürülebilirliği ve gelecek nesillerin yaşam kalitesi için önemli bir faktördür. Üçüncü olarak, enerji verimliliği ve güç yönetimi, maliyet tasarrufu sağlar. Enerji tüketiminin azaltılması, enerji faturalarının düşürülmesine ve işletim maliyetlerinin azalmasına yol açar [4]. Özellikle büyük ölçekli gömülü sistemlerde, enerji verimliliği optimizasyonu önemli tasarruflar sağlayabilir ve işletmelerin rekabetçiliğini artırabilir.

Son olarak, enerji verimliliği ve güç yönetimi, ısı üretimini kontrol etmeye yardımcı olur [2]. Gömülü sistemlerde artan ısı üretimi, performans düşüşlerine, termal sorunlara ve hatta sistem arızalarına neden olabilir. Enerji verimli tasarımlar, daha düşük güç tüketimiyle birlikte daha az ısı üretimini hedefler, sistemlerin daha istikrarlı ve güvenilir bir şekilde çalışmasını sağlar.

### **GERÇEK ZAMANLI İŞLETİM SİSTEMLERİ (RTOS)**

RTOS (Gerçek Zamanlı İşletim Sistemi), gömülü sistemlerde gerçek zamanlı uygulamaların yönetimi için özel olarak tasarlanmış bir işletim sistemidir. Bu sistemlerde, belirli bir zaman dilimi içinde doğru sonuçlar üretmesi gereken uygulamaları yönetmek için kullanılır. RTOS'lar, birden çok görevi eşzamanlı olarak çalıştırabilir ve görevler arasında geçiş yaparak zamanlama ve öncelik yönetimini sağlar [9].

Gerçek zamanlı işletim sistemlerinin temel özellikleri şunlardır:

- Kesinti Yönetimi: RTOS'lar, dış kaynaklardan gelen kesintilere hızlı bir şekilde yanıt verebilme yeteneği sağlar. Bu, sensör verileri gibi önemli olaylara hızlı bir şekilde tepki verebilme olanağı sağlar [10].
- Zamanlama ve Öncelik Yönetimi: RTOS'lar, görevler arasında zamanlama ve öncelik yönetimi yaparak gerçek zamanlı gereksinimleri karşılar. Öncelikli görevlerin zamanında ve doğru bir şekilde gerçekleştirilmesini sağlar [10].
- Çoklu Görev Yönetimi: RTOS'lar, birden fazla görevi eşzamanlı olarak yönetir. Her görev, işlemci zamanını paylaşır ve önceliklerine göre zaman dilimleri tahsis edilir. Bu, farklı görevlerin aynı anda çalışabilmesini sağlar [10].
- Hafıza Yönetimi: RTOS'lar, hafıza kaynaklarının tahsisini ve yönetimini sağlar. Görevler arasında hafıza kaynaklarının kullanımını ve serbest bırakılmasını yönetir [10].
- İşlemci ve Kaynak Optimizasyonu: RTOS'lar, işlemci zamanını ve kaynakları etkin bir şekilde kullanmayı hedefler. Görevler arasındaki geçişlerin ve zamanlamaların optimize edilmesiyle enerji tüketimi azaltılabilir ve sistem performansı artırılabilir [10].

Gerçek zamanlı işletim sistemleri (RTOS), birçok alanda yaygın olarak kullanılır. Endüstriyel otomasyon, tıbbi cihazlar, otomotiv sistemleri, telekomünikasyon ekipmanları gibi birçok alanda RTOS kullanımı önemlidir. Bu sistemlerde, doğru ve zamanında sonuçların elde edilmesi, güvenilirlik, performans ve enerji verimliliği gibi faktörler kritiktir [7].

### **RTOS Kullanım Alanları ve Örnek Uygulamalar**

Gerçek Zamanlı İşletim Sistemleri (RTOS), birçok farklı alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sistemler, gerçek zamanlı gereksinimleri karşılamak, yüksek performans ve güvenilirlik sağlamak amacıyla özel olarak tasarlanmıştır. İşte RTOS'ların yaygın kullanım alanlarından bazıları ve örnek uygulamaları:

- Endüstriyel Otomasyon: Fabrika otomasyonu, robotik kontrol, proses kontrolü gibi endüstriyel uygulamalar, RTOS kullanımına ihtiyaç duyar. Bu sistemler, hassas zaman gereksinimlerine sahip gerçek zamanlı uygulamaları içerir ve yüksek güvenilirlik ve performans gerektirir [7].



- Tıbbi Cihazlar: Tıbbi cihazlar, gerçek zamanlı işletim sistemlerine ihtiyaç duyar. EKG monitörleri, MR cihazları, implant cihazları gibi cihazlar, doğru ve hızlı sonuçlar elde etmek için zaman kısıtlamalarına uymalı ve verileri güvenilir bir şekilde işlemelidir [1].
- Otomotiv Sistemleri: Otomotiv sektöründe, birçok farklı alanda RTOS kullanılır. Araç içi bilgi-eğlence sistemleri, sürüş yardımı, motor kontrolü, güvenlik sistemleri gibi sistemler, gerçek zamanlı işletim sistemlerine ihtiyaç duyar [1].
- Telekomünikasyon Ekipmanları: Haberleşme ağlarının yönetimi ve veri iletimi gibi görevlerde RTOS kullanılır. Bu sistemler, yüksek bant genişliği, düşük gecikme süresi ve kesintisiz veri aktarımı gibi gerçek zamanlı gereksinimlere sahiptir [1].
- Havacılık ve Uzay: Havacılık ve uzay endüstrisinde, güvenlik ve performans açısından kritik olan sistemler vardır. RTOS, uçaklardaki uçuş kontrol sistemleri, roketlerdeki navigasyon sistemleri, uydu iletişimi ve görev kontrolü gibi havacılık ve uzay uygulamalarında kullanılır [1]. Yüksek güvenilirlik, kesinti yönetimi ve hızlı tepki süreleri, bu tür sistemlerin başarıyla çalışmasını sağlar.
- Akıllı Ev ve IoT: Akıllı ev sistemleri ve Internet of Things (IoT) uygulamaları, RTOS kullanımını gerektiren alanlardır. Ev otomasyonu, enerji yönetimi, akıllı cihazlar ve sensör ağları gibi uygulamalar, RTOS'in güçlü görev yönetimi, veri işleme ve iletişim yeteneklerinden faydalanır [7]. Eş zamanlı çalışma, veri güvenliği ve enerji verimliliği, bu tür uygulamaların temel gereksinimleridir.

RTOS'in kullanım alanları oldukça çeşitlidir ve birçok endüstrinin ihtiyaçlarını karşılamaktadır. Bu alanlardan sadece bazıları yukarıda belirtilmiştir. RTOS, güvenilirlik, performans ve zamanlama gereksinimleri olan sistemlerin başarılı bir şekilde çalışmasını sağlayan önemli bir teknolojidir.

### **ENERJİ VERİMLİ RTOS TASARIMI**

Enerji verimli RTOS tasarımları, günümüzde önemli bir hedef haline gelmiştir. Bu tasarımlar, sistemin enerji tüketimini optimize ederek pil ömrünü uzatmayı, enerji maliyetlerini düşürmeyi ve çevresel sürdürülebilirliği artırmayı hedefler. Aşağıda enerji verimli RTOS tasarımları için kullanılan bazı stratejiler ve yöntemler ele alınmaktadır:

- Uyku Modu Yönetimi: Sistemin bileşenlerinin enerji tüketimini azaltmak için uyku modu kullanılır. Uyku modu yönetimi stratejileri, bileşenlerin uyku moduna geçişini ve uyanmasını kontrol ederek enerji tüketimini minimuma indirir [10,15-18].
- Dinamik Frekans ve Gerilim Ayarlama: İşlemcinin frekans ve gerilim ayarlamalarının dinamik olarak yapıldığı stratejiler kullanılır. İşlemci, ihtiyaç duyulan iş yüküne göre frekans ve gerilimini ayarlayarak enerji tüketimini optimize eder [10-16].
- Görev Önceliklendirme ve Zamanlama: Görevlerin öncelik sırasına göre zamanlanması enerji verimliliği için önemlidir. Kritik görevlere yüksek öncelik verilirken düşük öncelikli görevlerin enerji tüketimi minimize edilir [10,16].
- Verimli Kaynak Yönetimi: Kaynakların verimli bir şekilde kullanılması enerji verimliliği açısından kritik bir rol oynar. Bellek yönetimi, giriş/çıkış portları, sensörler ve diğer sistem kaynakları için optimizasyon stratejileri kullanılarak enerji tüketimi minimize edilir [10,17].
- Hata Yönetimi ve Kurtarma: Hata yönetimi ve kurtarma mekanizmaları enerji verimli RTOS tasarımlarında dikkate alınır. Sistemde oluşabilecek hatalara hızlı bir şekilde tepki verilir ve enerji tüketimi açısından verimli bir şekilde kurtarma işlemleri gerçekleştirilir [10].

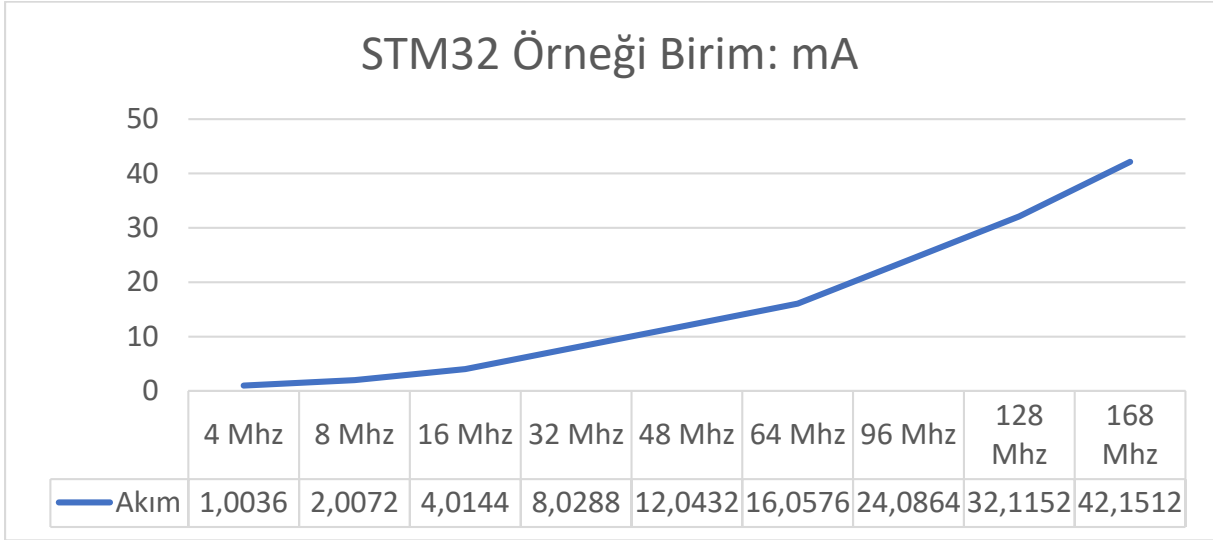
Enerji verimli RTOS tasarımları, akıllı cihazlar ve gömülü sistemler gibi çeşitli uygulamalarda avantajlar sağlar. Bu tasarımlar, enerji tüketimini optimize ederek pil ömrünü uzatır, enerji maliyetlerini düşürür ve çevresel sürdürülebilirliği artırır.

### **DENEYSSEL ÇALIŞMA**

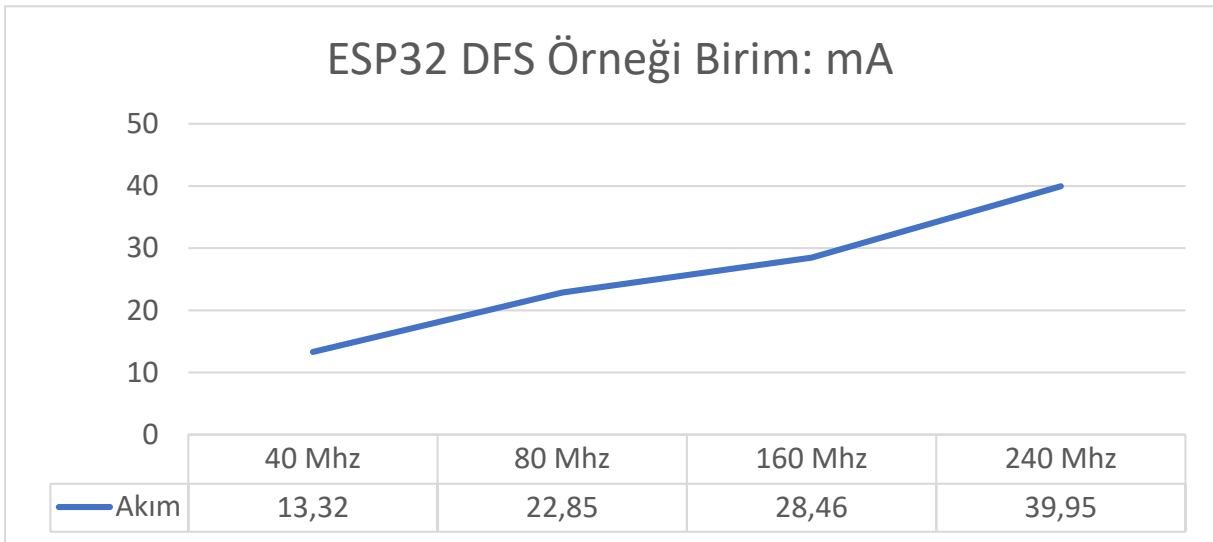
Enerji verimli RTOS tasarımlarının etkinliğini değerlendirmek için birkaç örnek uygulama gerçekleştirilmiştir.



Bunlardan ilki frekans değişimindeki güç tüketimini gözlemlemek amaçlı yapılmıştır. İkincisi ise uyku modu kullanımındaki performansını gözlemlemek amaçlı yapılmıştır.



Grafik 1. STM32F103 üzerinde frekansın güç tüketimine etkisi örneği

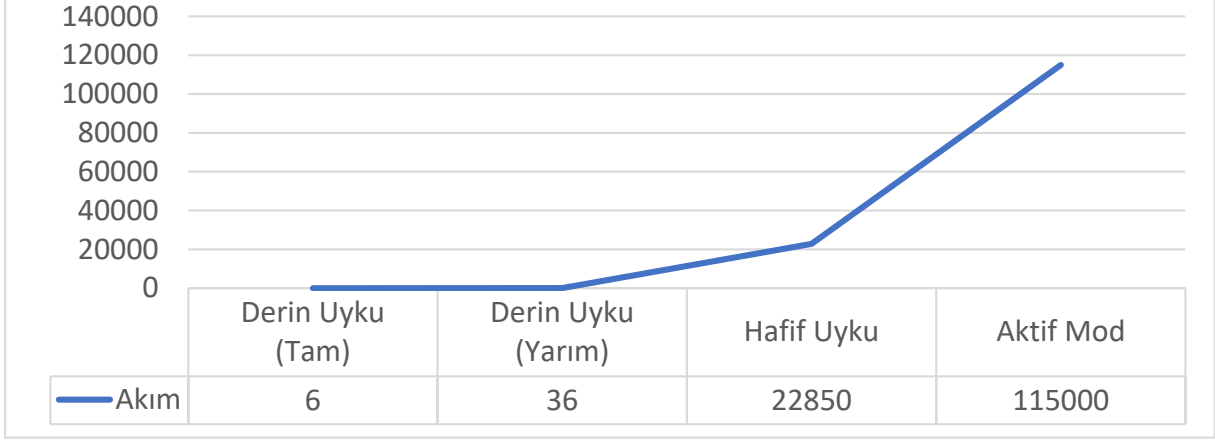


Grafik 2. ESP32 üzerinde DFS senaryosunun frekansa göre güç tüketimi etkisi örneği





### ESP32 Örneği Birim: $\mu\text{A}$



Grafik 3. ESP32 üzerinde uyku modlarının güç tüketimine etkisi örneği

Grafiklerden de anlaşılacağı gibi frekansın sabit şekilde düşük tutulması güç tasarrufunu arttırmaktadır. Diğer yandan Dinamik olarak frekansın değiştirilmesi de güç tasarrufuna olumlu etki yapmaktadır. Etkinlik olarak en belirgin sonuç ise uyku modlarının kullanımında çıkmıştır. Sonuç olarak, enerji verimli RTOS tasarımları ve güç yönetimi stratejileri, gömülü sistemlerde enerji tasarrufunu ve sistem performansını optimize etmeyi sağlar. Bu örnek uygulama, enerji verimliliği ve performans dengesini başarılı bir şekilde sağladığını ve güç yönetimi stratejilerinin etkinliğini göstermektedir.

### TARTIŞMA VE GELECEKTEKİ ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, enerji verimli RTOS tasarımları ve güç yönetimi stratejileri üzerine bir inceleme gerçekleştirilmiştir. Araştırmanın amacı, gömülü sistemlerde enerji verimliliğini artırmak ve performansı optimize etmek için kullanılan yaklaşımları incelemek ve bu alanda gelecekteki çalışmalar için bir temel oluşturmaktır. Enerji verimliliği hem enerji maliyetlerini düşürmekte hem de çevresel etkileri azaltmaktadır. RTOS kullanımının yaygınlaştığı alanlarda, enerji verimliliğini artırmak için özellikle işlemci güç yönetimi stratejileri, görev planlaması ve uyku modları gibi yöntemlerin etkin bir şekilde kullanılması gerekmektedir.

Gelecekteki çalışmalar açısından, enerji verimli RTOS tasarımlarının daha da geliştirilmesi ve optimize edilmesi önemlidir. Özellikle ölçeklenebilirlik üzerinde odaklanan çalışmalar, büyük ölçekli gömülü sistemlerde enerji verimliliğini artırma potansiyelini taşımaktadır. Ayrıca, yeni nesil bileşenlerin ve teknolojilerin enerji verimliliği üzerindeki etkilerinin araştırılması ve entegrasyonu da gelecekteki çalışmalarda önemli bir adımdır. Diğer bir araştırma alanı ise enerji verimliliği ile performans dengesi arasındaki ilişkinin daha iyi anlaşılmasıdır. Enerji tasarrufu sağlamak için yapılan optimizasyonların sistem performansına etkisi ve bu dengeyi koruma yöntemleri üzerinde yapılan çalışmalar, gömülü sistem tasarımcılarına değerli bir rehberlik sağlayacaktır.

Sonuç olarak, enerji verimli RTOS tasarımları ve güç yönetimi stratejileri, gömülü sistemlerde enerji tasarrufunu sağlamak ve performansı optimize etmek için önemli bir rol oynamaktadır. Gelecekteki çalışmalar, enerji verimliliği ve performans arasındaki dengeyi daha da iyileştirmek ve yeni teknolojilerin entegrasyonunu sağlamak üzerine odaklanmalıdır. Bu çalışmalar, gömülü sistemlerin enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik açısından daha ileriye gitmesine katkı sağlayacaktır.

### SONUÇ

Bu çalışmada, enerji verimli RTOS tasarımları ve güç yönetimi stratejilerinin önemi üzerine odaklandık. RTOS kavramının temel prensiplerini ve kullanım alanlarını inceledik. Ayrıca, enerji verimliliği ve güç yönetiminin önemini vurgulayarak gömülü sistemlerdeki rolünü açıkladık. Enerji verimli RTOS tasarımı, gömülü sistemlerde önemli bir faktör olarak ortaya çıkmıştır. Bu tasarımlar, enerji tasarrufu



sağlamak için donanım ve yazılım düzeyinde optimize edilmiş stratejiler kullanır. Enerji verimliliği ile performans arasındaki dengeyi sağlamak önemli bir zorluktur ve bu dengeyi koruyarak sistemin performansını artırırken enerji tasarrufu sağlamak gerekmektedir.

Tartışma ve gelecekteki çalışmalarda, enerji verimliliği sınırlamalarını aşmak ve enerji verimliliğini daha da optimize etmek için yeni yöntemler ve geliştirmeler üzerinde odaklanılmalıdır. Ayrıca, donanım ve yazılım entegrasyonunu artırmak, gelişmiş güç yönetimi algoritmaları geliştirmek ve yeni enerji verimli donanım teknolojileri araştırmak da önemlidir. Bu şekilde, gömülü sistemlerde enerji verimliliği ve performans dengesi daha iyi bir şekilde sağlanabilir. Sonuç olarak, enerji verimli RTOS tasarımları ve güç yönetimi stratejileri, gömülü sistemlerde enerji tasarrufu sağlama potansiyelini artırırken performansı optimize etmeyi hedefler. Bu çalışmaların, daha sürdürülebilir, verimli ve güçlü gömülü sistemlerin geliştirilmesine katkıda bulunacağına inanıyoruz. Gelecekteki araştırmalar ve geliştirmeler, bu alandaki ilerlemeleri destekleyerek daha da ileriye taşıyacaktır.

## KAYNAKLAR

1. Abbas, M. F. (2011). RTOS-based power management in embedded systems. doi:10.32657/10356/46307.
2. Crooijmans, S. (2021). Reducing the Power Consumption of IoT Devices in Task-Oriented Programming. Radboud University.
3. Stavrinides, G. L., & Karatza, H. D. (2019). An energy-efficient, QoS-aware and cost-effective scheduling approach for real-time workflow applications in cloud computing systems utilizing DVFS and approximate computations. *Future Generation Computer Systems*, 96, 216-226. ISSN 0167-739X. doi:10.1016/j.future.2019.02.019.
4. Mittal, S. (2014). A survey of techniques for improving energy efficiency in embedded computing systems. *International Journal of Computer Aided Engineering and Technology*, 6(4), 440-459. ISSN 1757-2657. doi:10.1504/IJCAET.2014.065419.
5. Hakim, Galang & Hajar, Muhammad & Firdausi, Ahmad & Ramadhan, Eko. (2022). Benchmarking In Microcontroller Development Board Power Consumption For Low Power Iot Wsn Application. *Jurnal Teknologi Elektro*. 13. 25. 10.22441/jte.2022.v13i1.005.
6. Stangaciu, Cristina & Micea, Mihai & Cretu, Vladimir. (2013). Energy efficiency in real-time systems: A brief overview. 275-280. 10.13140/2.1.4765.7927.
7. Mekki, Kais & Bajic, Eddy & Chaxel, Frédéric & Meyer, Fernand. (2019). Concept and Hardware Considerations for Product-Service System Achievement in Internet of Things. 10.1109/WITS.2019.8723755.
8. Javadpour, A., Sangaiah, A. K., Pinto, P., Ja'fari, F., Zhang, W., Abadi, A. M. H., & Ahmadi, H. (2023). An Energy-optimized Embedded load balancing using DVFS computing in Cloud Data centers. *Computer Communications*, 197, 255-266. ISSN 0140-3664. doi:10.1016/j.comcom.2022.10.019.
9. Agarwal, Ankur & Rajput, Saeed & Pandya, Abhijit. (2006). Power Management System for Embedded RTOS: An Object Oriented Approach. *Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering*. 2305 - 2309. 10.1109/CCECE.2006.277310.
10. Lethaby, N. (2017). RTOS power management: Essential for connected MCU-based IoT nodes. *IoT Ecosystem Manager, Connected MCU*, Texas Instruments.
11. Shuai Li and Florian Broekaert. 2014. Low-power scheduling with DVFS for common RTOS on multicore platforms. *SIGBED Rev.* 11, 1 (February 2014), 32–37. <https://doi.org/10.1145/2597457.2597461>.
12. El Sayed, M.A.; Saad, E.S.M.; Aly, R.F.; Habashy, S.M. Energy-Efficient Task Partitioning for Real-Time Scheduling on Multi-Core Platforms. *Computers* 2021, 10, 10. <https://doi.org/10.3390/computers10010010>.



13. Wu, H.; Chen, C.; Weng, K. An Energy-Efficient Strategy for Microcontrollers. *Appl. Sci.* **2021**, *11*, 2581. <https://doi.org/10.3390/app11062581>.
14. Ramegowda, D., & Lin, M. (2022). Energy efficient mixed task handling on real-time embedded systems using FreeRTOS. *Journal of Systems Architecture*, 131, 102708. ISSN 1383-7621. doi:10.1016/j.sysarc.2022.102708.
15. Zhang, Y.-W. (2023). DVFS-based energy-aware scheduling of imprecise mixed-criticality real-time tasks. *Journal of Systems Architecture*, 137, 102849. ISSN 1383-7621. doi:10.1016/j.sysarc.2023.102849.
16. Mario Bambagini, Mauro Marinoni, Hakan Aydin, and Giorgio Buttazzo. 2016. Energy-Aware Scheduling for Real-Time Systems: A Survey. *ACM Trans. Embed. Comput. Syst.* 15, 1, Article 7 (February 2016), 34 pages. <https://doi.org/10.1145/2808231>.
17. STMicroelectronics. (n.d.). AN4538: Power consumption optimization with STM32F3xx microcontrollers [Application note] [https://www.st.com/resource/en/application\\_note/an4538-power-consumption-optimization-with-stm32f3xx-microcontrollers-stmicroelectronics.pdf](https://www.st.com/resource/en/application_note/an4538-power-consumption-optimization-with-stm32f3xx-microcontrollers-stmicroelectronics.pdf).
18. STMicroelectronics. (n.d.). AN4777: STM32 power mode examples [Application note] [https://www.st.com/resource/en/application\\_note/an4777-stm32-power-mode-examples-stmicroelectronics.pdf](https://www.st.com/resource/en/application_note/an4777-stm32-power-mode-examples-stmicroelectronics.pdf).



## DİNAMİK ORTAMDA ÇALIŞAN ÇOKLU MOBİL ROBOTLAR İÇİN GÖRÜNTÜ İŞLEME TABANLI GEZİNME VE KONUMLANDIRMA

### IMAGE-BASED NAVIGATION AND LOCALIZATION FOR MOBILE MULTI-ROBOTS IN DYNAMIC ENVIRONMENT

<sup>1</sup>*Öğr. Gör. Serkan PINAR*

*Ege Üniversitesi, Ege Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, İzmir, Türkiye.*

<sup>2</sup>*Dr. Öğr. Üyesi Dilşad ENGİN*

*Ege Üniversitesi, Ege Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, İzmir, Türkiye.*

#### ÖZET

Bu çalışmada, birden fazla otonom mobil robotların depolar, hastaneler ve dış ortamlar gibi dinamik ortamlarda etkin çalışabilmeleri için robotların algılama, konum belirleme, planlama ve karar verme gibi çeşitli yeteneklerini kullanarak kendi aralarındaki iş yoğunluğunu koordine ederek iş istasyonlarında verilen görevleri yapabilmesi amacıyla bir algoritma geliştirilmiştir. Geliştirilen algoritma FESTO firmasının iki Robotino mobil robotu için programlanmış olup dinamik ortamlarda kendi aralarındaki iş yoğunluğunu koordine ederek iş istasyonlarında verilen görevleri yerine getirmesi amacıyla Robotino View programı ile simülasyon yapılmış ve deneysel çalışmalar yapılmıştır. Robotino üzerindeki dokuz kızılötesi sensörlerden alınan analog sinyal bilgisi ile cisme ne kadar yaklaştığı belirlenmiştir. Enkoderden gelen tekerlerin dönüş bilgileri odometri bloğu ile ölçülmüştür. İvmeölçerler, robotun hızını ve ivmesini ölçerken jiroskoplar, robotun dönme hareketlerini algılar. Bu sensörler, robotun konumunu ve hareketini belirlemesine yardımcı olur. Çok sayıdaki iş istasyonu arasındaki gezinmede robot lokalizasyonu için hedefler renkli etiketlerle etiketlenmiş ve iş istasyonlarının konumları robot üzerindeki RGB kamera ile Robotino View program arayüzündeki renk aralığı bulucu bloğu kullanılarak renk tabanlı görüntü işleme sağlanmıştır. İki Robotino arasındaki haberleşme de ESP32 mikrodenetleyicinin dâhili Wi-Fi modülü ile gerçekleştirilerek atanan görevlerin sistemin başarımını artırması sağlanmıştır. Laboratuvar ortamında, Robotino mobil robotun ileri ve geri hareketleri 500mm ve 1000mm mesafelerinde gözlemlenirken x, y konumları ve phi açıları arasındaki değişimleri incelenmiştir. Robotino mobil robot için geliştirilen algoritma Robotino View simülasyon ortamında sorunsuz çalışmıştır. Ancak deneysel çalışmalar sonucunda mobil robotun tanımlanan koordinatlara gidip geri döndüğü noktalarda kaçıklık değerleri odometriden ölçülmüştür. Odometri bloğu pozisyon bilgisi kullanılarak 500mm mesafelerde x ekseninde en fazla 3mm y ekseninde 0.67mm, 1000mm mesafelerde en fazla 3.16mm, y ekseninde ise 0.54mm kaçıklık hatası olduğu belirlenmiştir. Bu sorunu ortadan kaldırmak için Robotino üzerindeki sensörlerden ve odometriden alınan verileri kullanarak Kalman filtresi ile veriler optimize edilecektir. Kaçıklık oranları en aza indirilerek Robotino robotun istenilen noktaya hatasız gitmesinin sağlanması için hat izleme ile gidilen koordinat sürekli iyileştirilecektir.

**Anahtar Kelimeler:** Mobil robot, navigasyon, lokalizasyon, görüntü işleme, çoklu otonom robotlar, dinamik ortamda navigasyon ve lokalizasyon

#### ABSTRACT

In this study, an algorithm has been developed to enable multiple autonomous mobile robots to work effectively in dynamic environments such as warehouses, hospitals, and outdoor environment. In this study, an algorithm has been developed to perform the tasks given at workstations by coordinating the workload among themselves by using various capabilities of robots such as sensing, localization, planning, and decision making. The developed algorithm was programmed for two Robotino mobile robots of FESTO company and simulated with the Robotino View program to perform the tasks given at the workstations by coordinating the work intensity among themselves in dynamic environments and



applications were accomplished in the experimental environment. With the analog signal information received from nine infrared sensors on the Robotino, it was determined how close it got to the object. The rotation information of the wheels from the encoder was measured with the odometry block. Accelerometers measure the robot's speed and acceleration, while gyroscopes detect the robot's rotational movements. These sensors help the robot to determine its position and movement. In navigation between multiple workstations, targets are labeled with colored labels for robot placement, and the positions of workstations are provided with color-based image processing using the RGB camera on the robot and the color range finder block in the Robotino View program interface. The communication between the two Robotinos was realized with the built-in Wi-Fi module of the ESP32 microcontroller, ensuring that the assigned tasks increase the performance of the system. Using the odometry block position information, it was determined that at 500mm distances, the maximum misalignment error was  $\pm 3$ mm on the x-axis and  $\pm 0.67$ mm on the y-axis, and at 1000mm distances, the maximum misalignment error was  $\pm 3.16$ mm and  $\pm 0.54$ mm on the y-axis. To eliminate this problem, the data will be optimized with a Kalman filter using data from sensors and odometry on Robotino. The future goal of the study is to continuously improve the coordinate with line tracking to ensure that the Robotino robot goes to the desired point by minimizing the drift rates.

**Keywords:** mobile robot, navigation, localization, image processing, multiple autonomous robots, navigation and localization in dynamic environment

## GİRİŞ

Robotlar endüstriyel ve mobil olarak iki ana kategoride tanımlanabilir. Endüstriyel robotlar, eklem yapılarına ve işlevlerine göre sınıflandırılmıştır. Endüstriyel robotlar, bir üretim veya üretim ortamında tekrar eden görevleri gerçekleştirmek için tasarlanmıştır. Genellikle sabittirler ve ürünleri birleştirmek, boyamak, kaynak yapmak veya diğer görevleri gerçekleştirmek için kullanılırlar. Yani programlanan çerçevede aynı işleri yapmak için tasarlanmışlardır. Mobil robotlar ise evler, ofisler, hastaneler veya endüstrideki dinamik ortamlarda çevrelerinde hareket etmek ve gezinmek için tasarlanmıştır. Mobil robotlar tipik olarak otonomdur ve kendi başlarına karar verebilirler. Çalışma ilkelerine, sayılarına ve uygulama alanlarına göre insansı robotlar, sürü robotlar, çoklu robotlar, işbirlikçi ve etkileşimli robotlar, mikro-nano robotlar, biyo-ilhamlı robotlar ve haptik sistemler ile sınıflandırılmaktadır.

Otonom mobil robotlar depolar, hastaneler ve dış ortamlar gibi koşulların sürekli değiştiği ortamlarda giderek daha fazla kullanılmaktadır. Bu koşullarda etkin bir şekilde çalışabilmek için robotların algılama, konum belirleme, planlama ve karar verme gibi çeşitli yeteneklerle donatılması gerekmektedir. Dinamik ortamlar için otonom mobil robotların geliştirilmesindeki en önemli zorluklar lokalizasyon ve sağlam algılama yeteneklerini sağlamaktır. Lokalizasyon, mobil otonom robotlar özelinde bakıldığında planlama, navigasyon ve görevlerin yürütülmesi için önemli bir konudur. Bu ortamlarda robotların çevrelerindeki engeller, dinamik nesnelere ve yapılandırılmamış ortamlar gibi değişikliklerle başa çıkmaları gerekir. Bu zorlukların üstesinden gelmek için bulanık mantık, semantik segmentasyon (Long et al., 2015), nesne algılama (Redmon and Farhadi, 2017) ve monoküler derinlik tahmini (Godard et al., 2017) gibi çeşitli bilgisayarla görme tabanlı algılama yöntemleri kullanılmıştır. Hangi yöntem kullanılırsa kullanılsın gerçek ortamda çalışmalar yapıldığında kullanılan sensör verilerini algoritmalar aracılığıyla işleyerek düzeltimler yapılmak zorundadır.

Dinamik ortamlar için otonom mobil robotların geliştirilmesi, sağlam algılama, konum belirleme, planlama ve karar verme yetenekleri gerektiren zorlu bir problemdir. Bu ortamlarda karşılaşılan zorluk da robotu ortam içinde doğru bir şekilde konumlandırma ve yönlendirme zorluğudur. Zorlukların kaynakları; sensör hassasiyeti, ortam gürültüsü, robotun yürüyeceği yüzey alandaki pürüzler, robot tekerlek uzunluk ve çaplarındaki farklılıklardan kaynaklı tekerlerinin kalkış, duruş ve dönüş gerçekleştirdiğindeki odometri kaçıklıkları, robot sisteminin mekaniksel belirsizlikleri gibi kısıtlamalardan kaynaklanmaktadır. Bu zorlukları aşmak için donanımsal ve yazılımsal yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden bazıları görsel odometri (Scaramuzza and Fraundorfer, 2011), eşzamanlı lokalizasyon ve haritalama (SLAM- simultaneous localization and mapping) (Durrant-Whyte and Bailey, 2006) ve parçacık filtreleme (Doucet et al., 2001) gibi çeşitli sensör tabanlı lokalizasyon yöntemleridir.

Bu çalışmada Robotino mobil robot, Robotino View program arayüzündeki bloklar kullanılarak algoritması yazılıp simülasyon testi başarı ile gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen algoritma, laboratuvar ortamında Robotino mobil robotlar kullanarak uygulaması yapılmıştır. Bu deneyler sonucunda mobil robotun simülasyonda istenilen koordinatlara gittiği görülmekle birlikte laboratuvar ortamında yapılan denemelerde lokalizasyon problemiyle karşılaşmıştır.

## ARAŞTIRMA VE BULGULAR

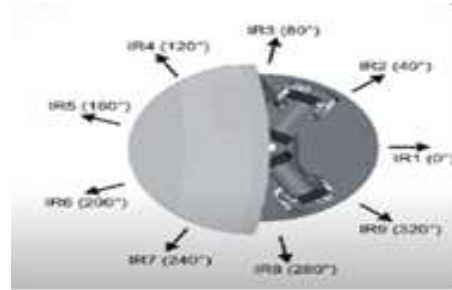
### Robotino Mobil Robot

Festo Robotino robotu bir mobil robot platformudur ve özelleştirilmiş bir PC tarafından kontrol edilir. Platform, güçlü bir işlemci (Intel Atom Çift Çekirdekli İşlemci) ile birçok sensör ve aktüatör içermektedir. İşlemci, gerçek zamanlı işletim sistemi üzerinde çalışır ve platformda bulunan sensör ve aktüatörler arasında güçlü bir haberleşme hattı vardır. Bu mobil robot, birbirinden 120° uzaklıkta bulunan üç adet çok yönlü tekerlek ile donatılmıştır ve tüm yönlerde serbestçe dolaşabilir. Bunun yanında harici modüller de ekleyerek işlevselliği genişletilebilmektedir. Robotino, açık kaynak bir robottur ve kendi programlama yazılımı kullanılarak programlanabilir ve C, C++, Java, .Net, MATLAB, LabVIEW ve Microsoft Robotics Developer Studio ile geniş bir dil yelpazesi ile yazılım geliştirilebilmektedir. Bunun yanında Robot Operating System (ROS) desteği de vardır. Robotino ve harici bir PC arasında bir WLAN ağı kurulabilir, böylece tüm sensör verilerine erişilebilir ve aynı zamanda kontrolör komutları Robotino'ya gönderilebilir. Festo Robotino, mobil robot araştırmaları için uygun bir platform olarak tasarlanmıştır ve hem akademik hem de endüstriyel uygulamalar için uygun bir ortam sunmaktadır. Şekil 1'de Robotino'nun genel görünümü yer almaktadır.

Robotino robotun dâhili bilgisayarına ve diğer işlemlere erişim sağlayan bir ekran ile donatılmıştır. Ekran ünitesinin altında kontrolör kartı bulunur ve bu kart bir giriş/çıkış arayüz kartına bağlıdır. Her tekerlek, artımlı bir enkoder ile donatılmış bağımsız bir motor tarafından tahrik edilir. Ayrıca Şekil 2'de görüldüğü gibi Robotino'nun çevresinde dokuz adet IR1-IR9 kızılötesi mesafe sensörleri, bunlar birbirlerinden 40° aralıklı olarak monte edilmiştir. Ayrıca, harici bir kamera ile de görüntü işleme sağlanmaktadır (Festo Robotino manual).



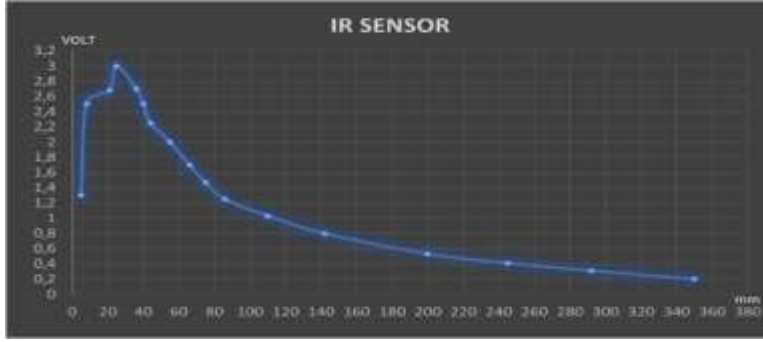
Şekil 1 Robotino Mobil Robot Önden Görünümü



Şekil 2 Robotino IR Sensör Yerleşimi

Kızılötesi sensörler, uzaklığı veya nesnenin yerini ölçmek için kızılötesi ışık dalgalarını kullanır. Bu sensörler genellikle IR LED'ler ile çalışır ve yansıyan ışığı algılar. Kızılötesi sensörler, hareket takibi, mesafe ölçme, nesne tanıma ve evrensel olarak birçok robotik uygulamalarda kullanılır. Festo Robotino platformunda, kızılötesi sensörler mobil robotların çevresindeki nesnelere ve engellere karşı uyarı vermelerine yardımcı olup ve robotun yolunu takip etmesini sağlarlar.

Robotino IR1 sensör önüne yerleştirilen engel ile 5 - 350mm arası mesafelerdeki gerilim ölçümleri yapılmıştır. Buna göre mesafe-gerilim ilişkisi Şekil 3'te verilmiştir. Şekil 3 incelendiğinde maksimum gerilim 3V ve bu gerilimdeki mesafe 25mm'dir. Mesafe arttıkça IR sensörün gerilimi de azalmaktadır.



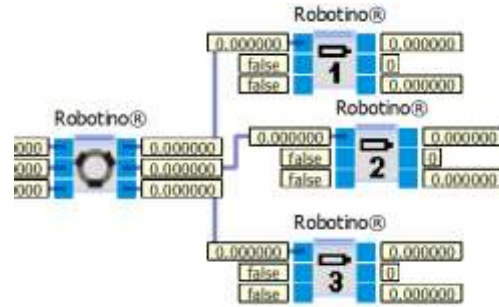
Şekil 3 IR sensör mesafe gerilim ilişkisi grafiği

Robotino 3'te toplamda 8 adet dijital giriş bulunur. Bu girişler, robotun butonlara, sensörlere veya diğer basit girişlere bağlanmasını sağlar. Dijital çıkışlar, robotun başka cihazları kontrol etmesini sağlar. Sekiz adet analog giriş, robotun sıcaklık, ışık, basınç veya diğer çevresel değişkenlerden gelen ölçümleri okumasını sağlar. Analog çıkışlar ise robotun motorlarını veya başka cihazları kontrol etmek için analog sinyaller gönderebilir.

Robotino, Festo Didactic firmasının geliştirdiği Robotino View programıyla programlanabilmektedir. Robotino View programlama ile fonksiyonlar halinde grafik programlama dili ile yazılım geliştirme yapılmaktadır. Robotino View programında hazırlanan yazılımlar, fazladan bir donanıma gerek olmadan Robotino Sim programında simüle edilebilmektedir (Festo Didactic, bilgi portalı).

#### Robotino View Programında Kullanılan Bloklar

**Sürücü Sistemi:** Sürücü sisteminde omnidrive, motor 1, 2 ve 3'ün hız ayar noktalarını  $v_x$ ,  $v_y$  ve omega ayar hızlarına göre hesaplar ve her bir motora erişim sağlar. Motor hızları devir/dakika cinsindedir. Şekil 4'te Robotino View programından alıntı yapılan sürücü sistemi görülmektedir.



Şekil 4 Robotino sürücü sistemi

**Kilometre Sayacı (Odometri):** Odometri, robotun başlangıç konumunu ve yönelimini bilerek, her tekerleğin dönüşlerini ve mesafelerini takip ederek robotun konumunu günceller.

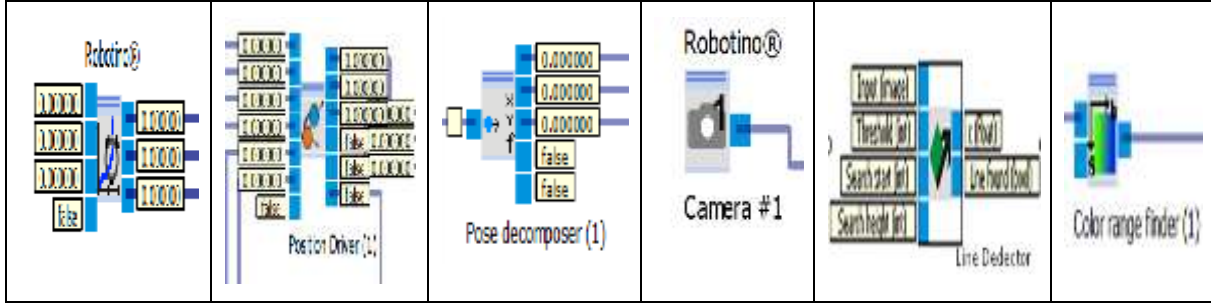
**Konum Sürücüsü (Position Drive):** Konum sürücüsü, robotun pozisyonunu (konumunu) hedeflenen konumla karşılaştırarak bir hedef konum ile mevcut konum arasındaki farkı belirler. Bu farka göre robotun hareket etmesi gereken yolu ve yönü hesaplar.

**Pozisyon Ayrıştırıcı (Pose decomposer):** Pose decomposer, bir robot veya nesnenin pozisyonunu ve yönelimini (pose) ayrıştırmak için kullanılan bir yöntemdir. Vektörel olarak gelen x, y ve açı (derece veya radyan) bilgilerini ayrıştırıp konum sürücüsüne gönderir.

**Kamera:** Robotino'nun RGB kamerası, görüntü işleme ve görüntü tabanlı algılama görevleri için kullanılır. Bu, nesne tanıma, engel algılama, çizgi takibi, renk algılama gibi görevleri gerçekleştirmek için görüntü bilgisini kullanmasını sağlar.

**Hat Dedektörü (Line Detector):** Bu sensör, robotun çevresindeki zemin üzerindeki çizgileri algılamak ve takip etmek için kullanılır. Şekil 5'te soldan sağa doğru odometri, konum sürücüsü, pozisyon ayrıştırıcısı, kamera ve hat dedektörü blokları verilmiştir.

**Renk aralığı bulucu (Color range finder):** Bir renk aralığının belirlenmesi ve bu renk aralığına uyan piksellerin veya nesnelerin tespiti için kullanılan bir araçtır. Bu teknoloji, görüntü işleme ve renk analizi konularında önemli bir rol oynar ve birçok uygulama için değerli bir araç olarak kabul edilir.



Şekil 5 Robotino View programında kullanılan bloklar

### Festo Robotino PC Haberleşmesi

Robotino, kendi WLAN sunucusuna sahiptir. Robotino ile çalışabilmek için WLAN bağlantısı kurabilen bir PC'ye ihtiyaç vardır. Birden fazla Robotino aynı anda kontrol edilecekse Robotino WLAN sunucusu erişim noktası (AccessPoint, AP) modunda çalıştırılır. Robotino'ların her biri kendi ağını oluşturduğu için aynı IP adresi üzerinden her PC'den ayrı Robotino robota erişmek mümkün olmaktadır.

Şekil 6'daki ESP32 mikrodenetleyici Wi-Fi Kartı ile, Robotino'lar arası ve PLC'ler arasında iletişim sağlanması hedeflenmiştir. ESP32 Wi-Fi kartı, uzaktan veri toplama ve kablosuz veri aktarımı için uygun bir çözüm olduğu için bu çalışmada kullanılmıştır.

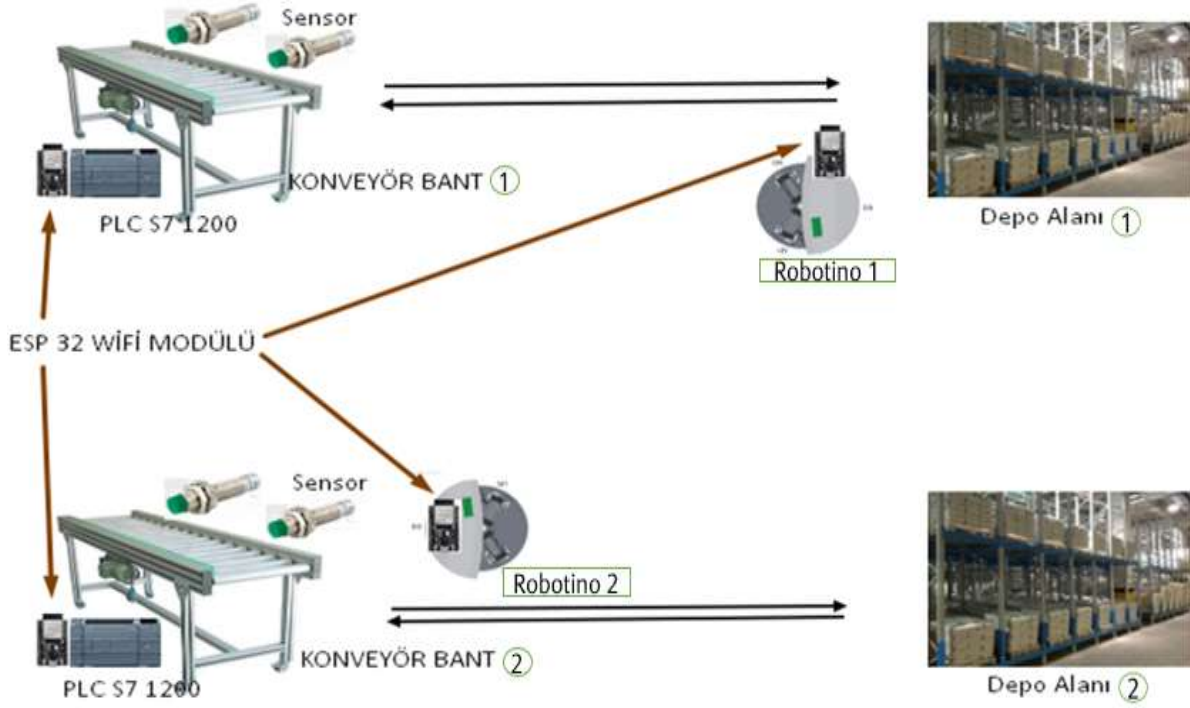


Şekil 6 ESP32 Mikrodenetleyici Wi-Fi Kartı

### Çalışmanın İşleyiş Yapısı

Şekil 7'de çalışmanın işleyiş yapısı gösterilmiştir. "Robotino 1", konveyör bant üzerine gelen ürünü alıp "depo 1" alanına götürecektir. Aynı şekilde "Robotino 2", "konveyör bant 2"den aldığı ürünü "depo 2" alanına götürecektir. Belirlenen sayıdan daha fazla ürün "konveyör 1"de birikmiş olduğunda ise "Robotino 2", "konveyör bant 1"e yardıma gelerek ürünü alıp "depo 1"e götürecektir. Yine aynı şekilde, "konveyör bant 2"de belirlenen miktarda üründen fazla ürün birikimi olduğunda, "Robotino 1" "konveyör bant 2"ye gelerek ürünü alıp "depo 2" alanına götürecektir. Konveyör bantlardaki ürünler belirlenen sayının altına indiğinde ise tüm Robotino'lar kendi alanında çalışmaya devam edecek şekilde tasarlanmıştır.





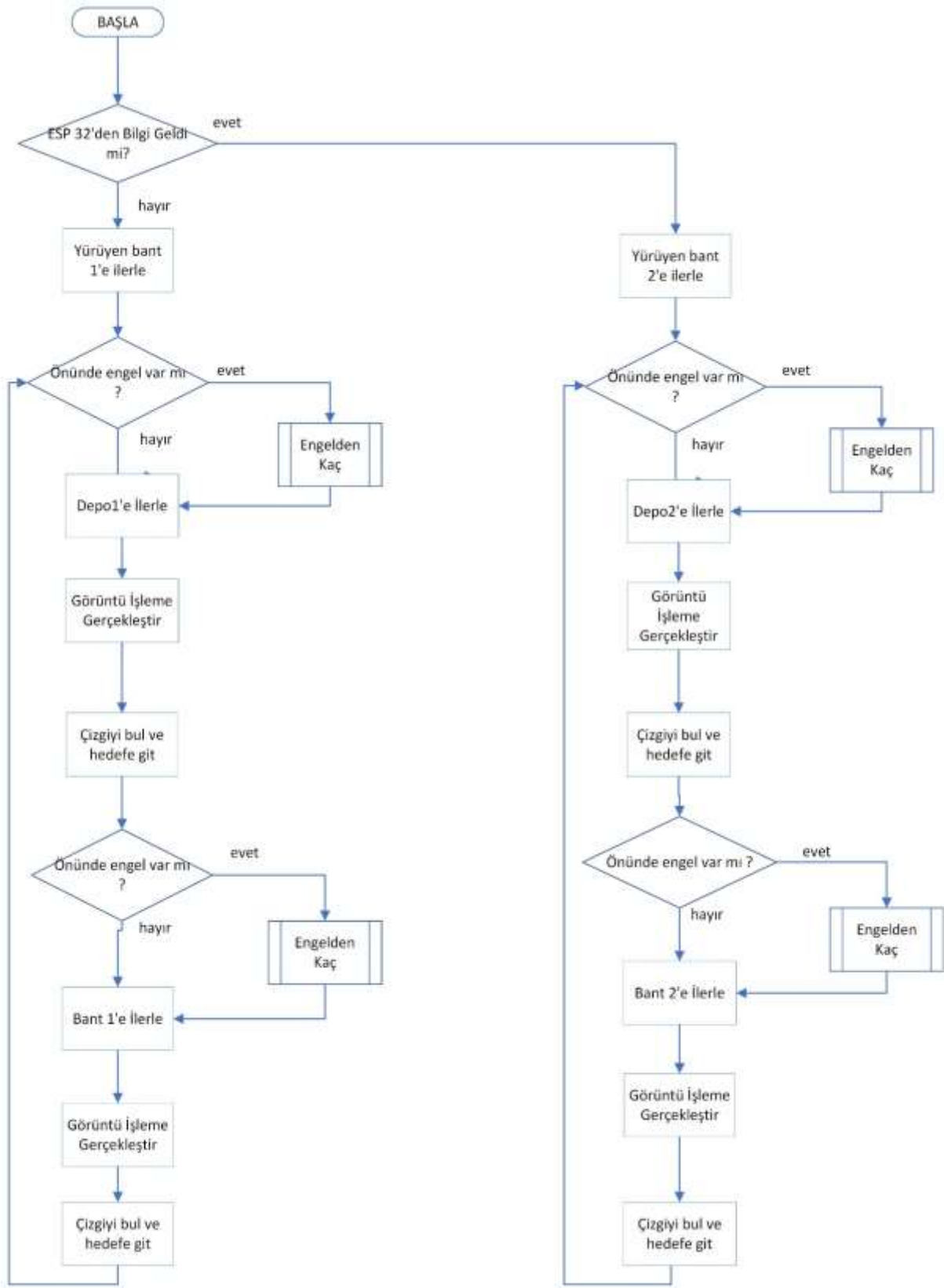
Şekil 7 Çalışmanın işleyiş yapısı

ESP32'ler arasında Wi-Fi iletişimi sağlamak için her ESP32 mikrodenetleyicisi bir Wi-Fi ağına bağlanarak ve IP adresini alır. Bir ESP32 mikrodenetleyicisi, diğer üç ESP32 mikrodenetleyicisine TCP/IP protokolünü kullanarak bağlanarak veri gönderecek bir sunucu olarak hareket etmektedir. Diğer üç ESP32 mikrodenetleyicisi, sunucu ESP32'ye TCP/IP protokolünü kullanarak bağlanarak veri alışverişini yapacaklardır. Bu işlemi gerçekleştirmek için bu çalışmada Arduino IDE 1.8.19 versiyonu kullanıldı. ESP32 için yaygın olarak kullanılan Arduino IDE, Wi-Fi ve TCP/IP kütüphaneleri içerir, böylece bu işlemi gerçekleştirmek daha kolay gerçekleştirilir. 4 adet ESP32'nin Wi-Fi modülleri ile TCP/IP protokolü kullanarak iletişimi sağlandı.

Bu çalışmada S7-1200 PLC ile istenilen çalışmayı gerçekleştirmek için TIA Portal V13 yazılımını kullanarak program yazılmıştır. S7-1200 PLC, üzerindeki ESP32 mikrodenetleyici ile Festo Robotino mobil robotların üzerindeki ESP32 mikrodenetleyici arasında iletişim kurarak sensörlerden gelen veriler okunmuştur.

### Algoritma

Şekil 8'de görülen algoritma sadece Robotino 1 için geliştirilmiştir. Aynı algoritma Robotino 2 için de geçerlidir. Algoritmada, önce ESP32 mikrodenetleyici Wi-Fi kartındaki bilgi denetlenir. Gelen bilgiye göre, Robotino'lar hangi istikamette hareket edeceklerine karar verip, eyleme geçerek üstlenilen görevler istikametine ilerlerler.



Şekil 8 Çalışmanın işleyiş algoritması

Robotino1 ve Robotino2 iş yoğunluğuna göre iş paylaşımı yaparken aynı zamanda algoritmada da görüldüğü gibi durağan ve dinamik engellerden kaçacak şekilde tasarlanmıştır.

### Laboratuvar Ortamında Robotino Odometri Hatalarının Belirlenmesi

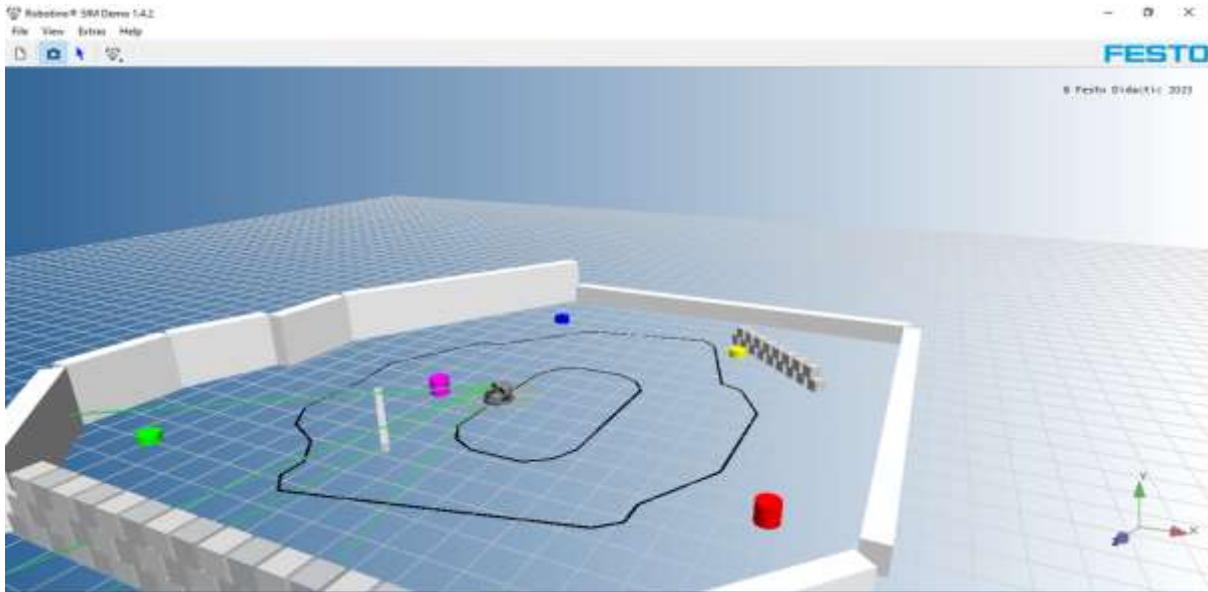
Mobil otonom robotlarda en çok karşılaşılan problem, konumlandırma problemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Varol, (2009), birden fazla mobil robottan oluşan bir sistemin hareket kontrolü için iki aşamalı bir yol izlemiştir. İlk aşamada A\* algoritmasını geliştirmiş her robot için arı ayrı yörüngeler oluşturmuş, ikinci aşamada ise doğrusal bir denetleyici kullanılarak oluşturulan yörüngeleri takip edilmesini sağlamıştır. Oltean et al. (2010), çok yönlü bir mobil robot için bulanık mantık kullanarak konum kontrolünün tasarımını MATLAB ortamını da kullanarak uygulanmasını gerçekleştirmiştir.

Revelo et al. (2014), iç mekânlarda konumlandırma için stereoskopik görüş, odometri ve Kalman filtresi tekniklerinin birleştirmişlerdir. İç mekânlarda algılamanın sınırlandırılmasını artırmak için stereoskopik görüş ve odometri verileri kullanılarak ve Kalman filtresi bu verileri optimize etmek için kullanılmıştır. Bu yaklaşım, iç mekânlarda mobil robotların daha doğru görünmesini sağlamayı hedeflemiştir. Tang and Eberhard (2014), Robotino lokasyonu ve konum kontrolü için sensör verilerinin problemini ele almıştır. Bunu için Robotino içindeki iç odometrisini düzeltmek için ve harici Kuzey Yıldızı sensörü sinyallerine bağlı dağıtılmış bir genişletilmiş Kalman filtresi ile bu sorun ortadan kaldırılmaya çalışılmıştır.

Dönmez ve Kocamaz (2019), yaptıkları çalışmada birden fazla robot ile çok sayıda hedefin gezilmesi için görev paylaşımı ve yük dengeleme sistemi (YDS) geliştirilmiştir. Hedef ve robotlar renkli etiketler ile etiketlenmiş ve nesnelerin konumları renk tabanlı niceleme ve eşikleme yöntemleri ile hesaplanmıştır.

Festo Robotino ile yapılan çalışmalar incelendiğinde, robot üzerindeki motorlara bağlı olan enkoderlerden alınan konumlandırma bilgileri odometri tarafından okunduğunda x , y ve açı bilgilerinde kaçıklıklar olduğu görülmüştür. Ve bu kaçıklıkları sonradan eklenen sensörler ve kalman filtresi uygulayarak çözüm bulunmaya çalışılmıştır.

Festo Robotino View 3 programı ile oluşturulan algoritma Şekil 9'da görüldüğü gibi, simülasyon ortamında işletildiğinde Robotino'lar istenilen koordinatlara giderken, laboratuvar ortamında belirlenen koordinatlara gidişlerde kaçıklıklar olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 9 Robotino 3 simülasyon programı

Bu koordinat kaçıklıkları, Robotino'nun harekete başlama, durma ve dönüşlerindeki OmniWheel tekerleklerinden kaynaklanan mekaniksel hatalar olduğu gibi yerdeki tozlardan veya tekerlerin hareket

ettiği yüzey özelliklerinden de kaynaklanabilmektedir. Şekil 9’da Robotino 3 mobil otonom robotun tekerlek yapısı görülmektedir.

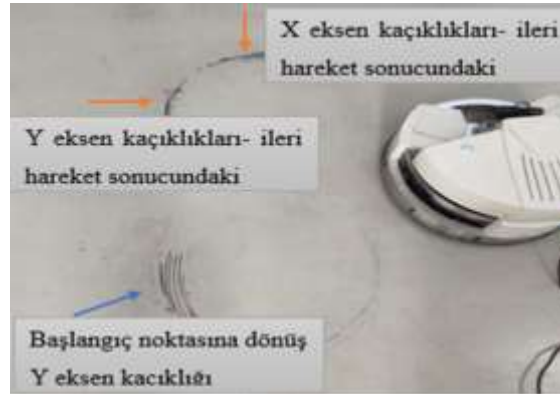


Şekil 10 Robotino 3 mobil otonom robotun OmniWheel tekerlek yapısı

## SONUÇ

Robotino View arayüzünde yazılan algoritma simülasyon ortamında istenilen şekilde çalışırken bu algoritma laboratuvar ortamında gerçek Robotino mobil robot ile çalıştırıldığında istenilen koordinatlara gidemediği ve odometriden izlediğimiz  $x$ ,  $y$  ve  $\phi$  (derece) değerlerinde de kaçıklıklar olduğu gözlemlenmiştir. Bu kaçıklıklar, Robotino’nun harekete başlama, durma ve dönüşlerindeki OmniWheel tekerleklerinden kaynaklanan mekaniksel hatalar olduğu gibi yerdeki tozlardan veya tekerlerin hareket ettiği yüzey özelliklerinden de kaynaklanabilmektedir. Robotino mobil robotun, Robotino View program arayüzündeki pozisyon ayrıştırıcı bloğuna girilen koordinatlara gidememesinin sebeplerinden birkaçı bunlardır.

Bu kaçıklıkların sistematik olup olmadığını anlamak için, ilk önce Robotino mobil robotun dönüş yaptırılmadan sadece ileri geri hareketleri gözlemlendi. Laboratuvarında, başlangıç ve bitiş noktaları belirlendi. İlk önce başlangıç noktası koordinatları  $x$ ,  $y$  ve  $\phi$  değerlerini 0,0,0 olarak girildi ve bitiş noktası olarak ise  $x$ ,  $y$  ve  $\phi$  değerleri 500,0,0 olarak girildi.  $X$  koordinatındaki 500 yazan rakam 500mm’lik ileri doğru hareketi belirtir.



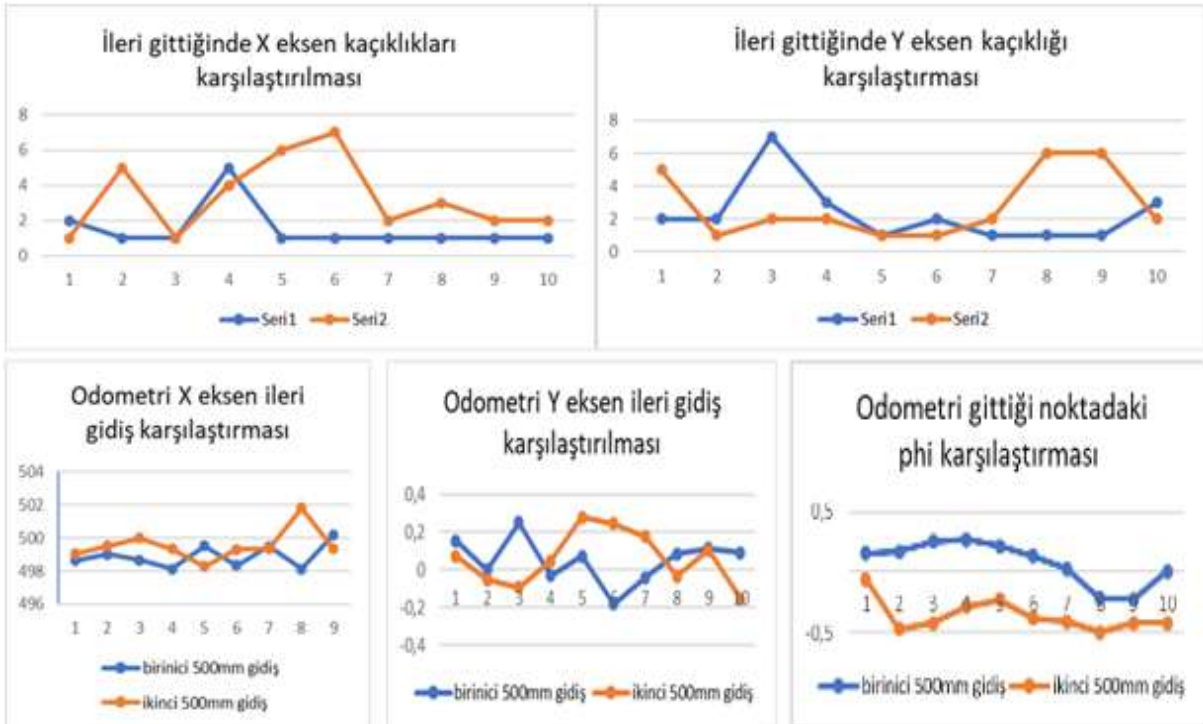
Şekil 11 Robotino mobil robotun eksenlerdeki kaçıklık noktaları

İlk kaçıklık hata denemesinde toplamda 10 kez 500mm’lik ileri ve geri gidiş dönüş hareketleri gözlemlendi. Bu deneme 10’ar defadan 2 kez tekrarlandı. İleri gittiği her defasında ve geriye yani başlangıç noktasına vardığı her nokta işaretlendi. Aynı zamanda, Robotino View programındaki odometriden ise  $x$ ,  $y$  ve  $\phi$  değerleri kaydedildi. Şekil 11’de başlangıç ve bitiş noktalarındaki ileri-geri hareketindeki kaçıklıklar sonucunda istenilen eksenlerdeki kaçıklık noktaları gösterilmiştir. Şekil 12’de  $X$  ekseninde yapılan 500mm uzaklığındaki eksen kaçıklığı denemeleri gösterilmiştir.



Şekil 12 Robotino 500mm X eksen hareketi kaçıklık deneyi

İkinci deneme sonucundaki x, y ve phi ileri gidiş ve başlangıç noktasına dönüş noktalarındaki odyometriden alınan açıklık hataları verileri kaydedilmiştir. Her iki denemelerden elde ettiğimiz sonuçları birleştirerek karşılaştırdığımızda sistematik bir hata olmadığı daha belirgin şekilde görülmektedir. Odometri bloğu pozisyon bilgisi kullanılarak 500mm mesafelerde X ekseninde en fazla  $\pm 3\text{mm}$ , y ekseninde ise  $\pm 0.67\text{mm}$  kaçıklıklar tespit edilmiştir. Şekil 13'te odometriden alınan x, y ve phi verilerinin karşılaştırılması ve başlangıç noktası y eksen, ileri gidiş x ve y eksen kaçıklıklarının karşılaştırılmış ve grafikleri verilmiştir.

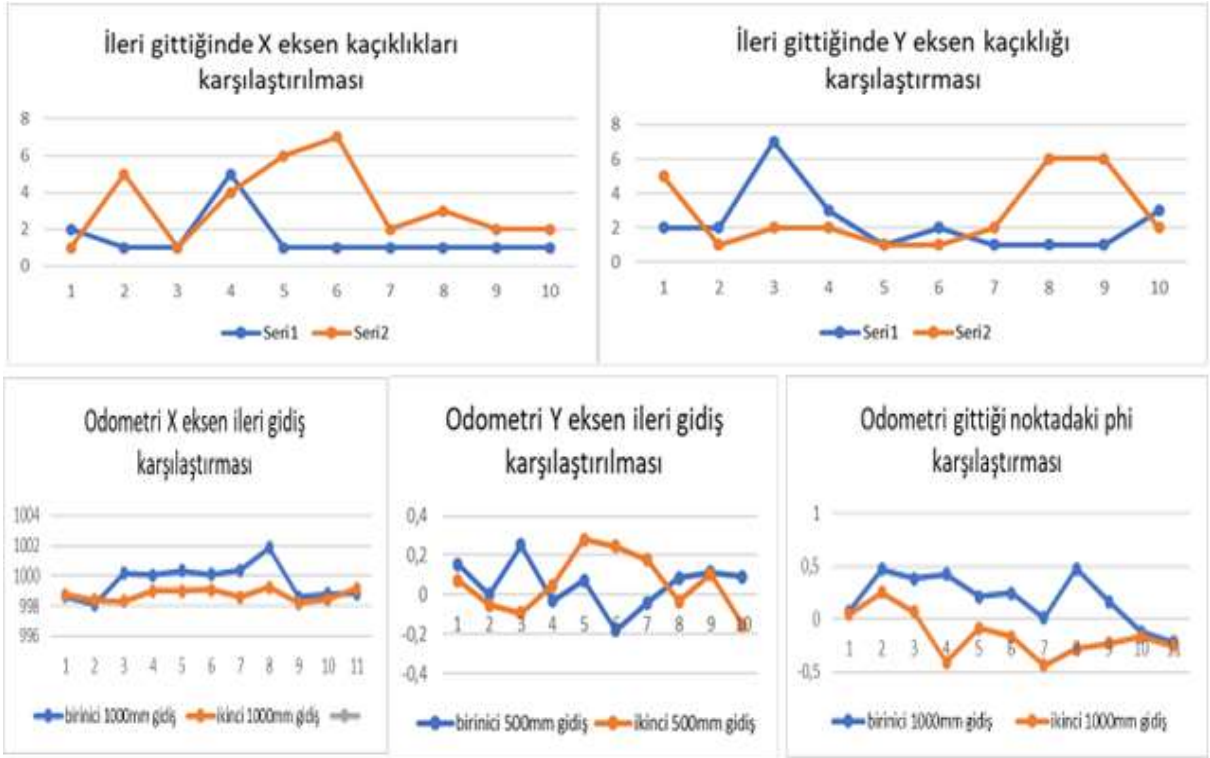


Bundan sonraki aşamada başlangıç noktası koordinatları x, y ve phi değerlerini 0,0,0 olarak girildi ve bitiş noktası olarak ise x, y ve phi değerleri 1000,0,0 olarak girildi. X koordinatındaki 1000 yazan rakam 1000mm'lik ileri doğru hareketi belirtir. Bu kaçıklık hata denemesinde toplamda on defa 1000mm'lik ileri ve geri hareketleri gözlemlendi. Bu deneme 10'ar defadan iki kez tekrarlandı. İleri gittiği her defasında ve geriye yani başlangıç noktasına vardığı her nokta işaretlendi. Yine sistematik bir hata yoktur. Şekil 14'te Robotino 1000mm X eksen hareketi kaçıklık deneyi görülmektedir.



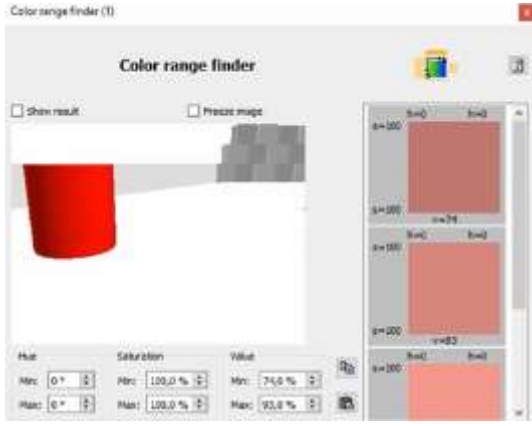
Şekil 14 Robotino 1000mm X eksen hareketi kaçıklık deneyi

Odometri bloğu pozisyon bilgisi kullanılarak 1000mm mesafelerde en fazla  $\pm 3,16$ mm kaçıklık hatası olduğu belirlenmiştir. Kaçıklık değerleri y ekseninde en fazla  $\pm 0,54$ mm olmuştur. Grafikler ve ölçüm sonuçları incelendiğinde sistematik bir hataya rastlanmamıştır. Aşağıdaki Şekil 15'te X eksen 1000mm için odometriden alınan x, y ve phi verilerinin karşılaştırılması ve başlangıç noktası y eksen, ileri gidış x ve y eksen kaçıklıklarının karşılaştırılmış ve grafikleri verilmiştir.

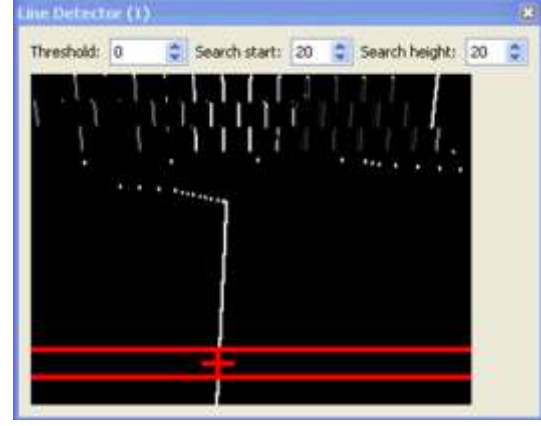


Şekil 15 X eksen 500mm denemeleri karşılaştırma tabloları

Sadece x eksen üzerinden yapılan deneysel çalışmalar sonucunda Robotino mobil robotun gidilecek olan koordinatlarda kaçıklık hataları yaptığı görülmüştür. Bu hatalar, açılı dönüşlerde ve dinamik engeller de göz önüne alındığında artacaktır. Kaçıklık hatalarını düzeltmek için Kalman filtresi uygulayarak x, y eksenleri ve açı veri hataları sürekli iyileştirilerek kaçıklıklar en aza indirilmesi hedeflenmektedir.



Şekil 16 Robotino kamerası simülasyon görüntüsü  
simülasyon görüntüsü



Şekil 17 Robotino hat izleme

Eksenlerdeki iyileştirmeler gerçekleştirildikten sonra belirlenen koordinatlara kaçıklıklarla birlikte giden Robotino mobil robotun, üzerinde harici olarak takılmış olan RGB kamerası (Şekil 16) ile renk işlemeye ek olarak son noktadaki koordinata tam olarak gidebilmesi için Şekil 17'deki görüldüğü gibi çizgi izleme fonksiyonu eklenerek konumlandırma problemi çözüme ulaştırılmış olacaktır.

#### KAYNAKLAR

Long, J., Shelhamer, E. and Darrell, T., 2015, Fully convolutional networks for semantic segmentation. In: Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2015 p.

Redmon, J. and Farhadi, A., 2017, YOLO9000: Better, faster, stronger. In: Proceedings - 30th IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, CVPR 2017. 2017 p.

Godard, C., Mac Aodha, O. and Brostow, G.J., 2017, Unsupervised monocular depth estimation with left-right consistency. In: Proceedings - 30th IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, CVPR 2017. 2017 p.

Scaramuzza, D. and Fraundorfer, F., 2011, Tutorial: Visual odometry, IEEE Robotics and Automation Magazine.

Durrant-Whyte, H. and Bailey, T., 2006, Simultaneous localization and mapping (SLAM): part I The Essential Algorithms, Robotics & Automation Magazine.

Doucet, A., De Freitas, N., Gordon, N.J. and others, 2001, Sequential Monte Carlo methods in practice. Springer.

[https://ip.festo-didactic.com/InfoPortal/DataSheets/INT/8029256\\_8029346\\_deen\\_v2.0\\_LP8029476\\_Robotino\\_Manual.pdf](https://ip.festo-didactic.com/InfoPortal/DataSheets/INT/8029256_8029346_deen_v2.0_LP8029476_Robotino_Manual.pdf)

<https://ip.festo-didactic.com/InfoPortal/Robotino3/Software/Simulation/EN/index.html>

Varol, Ö.F., 2009, Kooperatif gezgin robotlarda kontrol tabanlı sezgisel hareket planlama.

Revelo, C., Trujillo, M., Rosales, A. and Pozo, D., 2014, Indoor localization by using stereoscopic vision, odometry, and the Kalman Filter.

Dönmez, E. ve Kocamaz, A.F., 2019, Çoklu Hedeflerin Çoklu Robotlara Paylaştırılması İçin Bir Yük Dengeleme Sistemi, Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi,.

Tang, Q. and Eberhard, P., 2014, Relative observation for multi-robot collaborative localisation based on multi-source signals, Journal of Experimental and Theoretical Artificial Intelligence.



Oltean, S.E., Dulau, M. and Puskas, R., 2010, Position control of Robotino mobile robot using fuzzy logic. In: 2010 IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics, AQTR 2010 - Proceedings. 2010 p.





## INVESTIGATING THE EFFECTIVENESS OF CRUMB RUBBER AND RICE HUSK ASH IN SUBGRADE SOIL STABILIZATION

*Sikander Khan<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*University of Wah, Wah Engineering College, Civil Engineering Department, Taxila, Pakistan.*

<sup>1</sup>*ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0002-7214-7426>*

*Amir Nawaz Khan<sup>2</sup>*

<sup>2</sup>*University of Engineering and Technology Taxila, Faculty of Civil Engineering, Transportation Engineering Department, Taxila, Pakistan.*

<sup>2</sup>*ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5625-6943>*

### ABSTRACT

In this study, rice husk ash and discarded tire crumb rubber, readily accessible waste materials are investigated as a sustainable and cost-effective way to stabilize subgrade soil. Various proportions of rubber crumbs and rice husk ash were added to the virgin soil by weight separately: 5%, 10%, and 15%. In terms of performance parameters, CBR and FSI were evaluated using a CBR testing machine and FSI apparatus respectively. Compaction tests for OMC, MDD were conducted using standard proctor apparatus. Samples were prepared and tested for liquid limit and plastic limit using Casagrande's apparatus. The study concluded that the CBR, FSI increased and decreased respectively at different proportions of stabilizers. In addition, the liquid limit and plastic limit of the soil decrease as the concentration increases for RHA unlikely for CRP these value tend to decrease as the concentration increases. The decrease in liquid limit and plastic limit may be due to the removing the fine particles by CRP. With the addition of 15% rice husk ash (RHA), the soil's CBR value increased from 3.56% to 7.08%, significantly higher than that of virgin soil. A decrease in the swelling characteristics of soil was observed with an increase in rice husk ash (RHA) and crumb rubber (CRP) concentration. The maximum reduction in soil swelling was observed at 15% for both RHA and CRP. Notably, the swelling was significantly reduced from 52% to 34.69%, specifically when 15% RHA was added to the soil. The significant reduction in soil swelling and the improved bearing capacity observed with the incorporation of RHA and CRP indicate that this approach can be considered a favorable option for effectively stabilizing the subgrade soil.

**Keywords;** rice husk ash, crumb rubber, subgrade, stabilization, CBR, soil

### Introduction

Road pavements are constructed using multiple layers of materials to evenly distribute traffic loads, provide a smooth driving experience, and prevent structural failures. The layers of road pavement are typically composed of a subgrade, base course, and surface course. The subgrade is the natural soil that underlies the pavement and must be stable enough to support the weight of the pavement and traffic loads [1]. The strength of soil varies significantly due to variations in geological profiles, resulting in a wide range of soil strength, from weak to strong. Understanding and assessing the strength characteristics of the soil at a particular site is crucial for construction projects.

The rapid progress of civil engineering has led to an increasing trend of utilizing construction projects in the area that poses significant engineering and geotechnical challenges such as the presence of weak soil and challenging water condition that were previously considered less suitable due to their soil properties [2]. Problematic soils, including peats and soft clayey soils, are characterized by weak geotechnical and physical properties. These unfavorable soil conditions cause setbacks when considering their use as pavement subgrades. Consequently, the stabilization of these problematic deposits becomes a critical aspect of civil engineering, especially for road pavement projects [3].



Nowadays different soil stabilization techniques have been introduced to increase its properties. In general, various solid wastes such as fly ash, blast furnace slag, lime, fibers, plastic, rice husk, and shredded tire crumb rubber are commonly employed as part of ground improvement techniques for treating problematic soils in subgrade applications [4, 5, 6, 7]. Similarly, the incorporation of glass fiber reinforcement offers considerable potential for subgrade applications. Singh and Patel carried out the study research that focused on examining the influence of varying fiber content on the compaction parameters of the soil, as well as the impact of different soaking durations (ranging from 4 to 40 days) on the CBR strength. The results revealed a significant improvement in the CBR strength of the soil up to an optimal fiber content of 0.75% but decreased with an increase in soaking time at any given fiber content [8]. Mechanical properties of the soil can also be improved with the use of plastic waste in the form of polyamide powder. Sivapriya S.V et. al combines polyamide powder (PA-12) with clayey soil. With the addition of PA-12 concentration plastic index decreases and increases the shear strength, durability, and cohesion properties while the optimum percentage for increased shear strength and durability was 6% [9].

Recently researchers were drawn to the usage of crumb rubber from tire waste produced by the automotive industry to improve soil properties. This practice has demonstrated promising outcomes by enhancing the strength parameters of the soil, including the unconfined compressive strength and CBR values, and has shown effective performance when used in inorganic soil [6, 10]. Moreover, the addition of an optimal percentage of 15% crumb rubber to inorganic clay results in enhanced shear strength of the soil, while simultaneously reducing the required thickness of the pavement [11]. The use of tire waste rubber in clayey soil reduced maximum dry density upto 14% with a decrease in optimum water by 30% when 20% of tire rubber is used [12].

Rice husk ash (RHA) is a by-product that is obtained during the milling process of rice. Remarkably, it constitutes approximately 20% of the rice, making it a significant component of the overall production. With an annual global rice production of 300 million tons, rice husk is abundantly available for utilization as a construction material [13]. This is the reason for using it for soil stabilization solely or in combination with lime or other material. According to Okafor and Okonkwo, CBR increased from 22.0 to 80.14% with an increase in RHA content from 0 to 10%, but it started to decline when the RHA level exceeded 10%. The CaOH present in the soil could not mobilize the surplus RHA due to which RHA-CaOH bond weakened [13]. Ashwani et al. investigated the impact of RHA (Rice Husk Ash) on the compression properties of high-plasticity clay using compaction and consolidation tests. Their findings revealed that the inclusion of RHA led to a reduction in the clay compression index, resulting in decreased soil consolidation and settlement. The time needed to reach a particular degree of consolidation under the same effective stress decreased as the RHA content increased [14]. By incorporating cement and RHA decrease the plasticity of residual soil and enhances its engineering properties. This includes improvements in UCS resistance to soaking and CBR. The optimal combination of cement and RHA for achieving these benefits is typically around 6-8% cement content and 10-15% RHA content [15]. The utilization of agricultural and tire wastes for pavement applications promotes responsible waste management practices by diverting these materials from being disposed of or discarded, which can lead to environmental pollution. Instead, incorporating these waste materials into pavement construction allows for appropriate storage, recycling, and reuse, effectively reducing the accumulation of waste heaps and minimizing the need for additional landfills or refuse dumping sites [16].

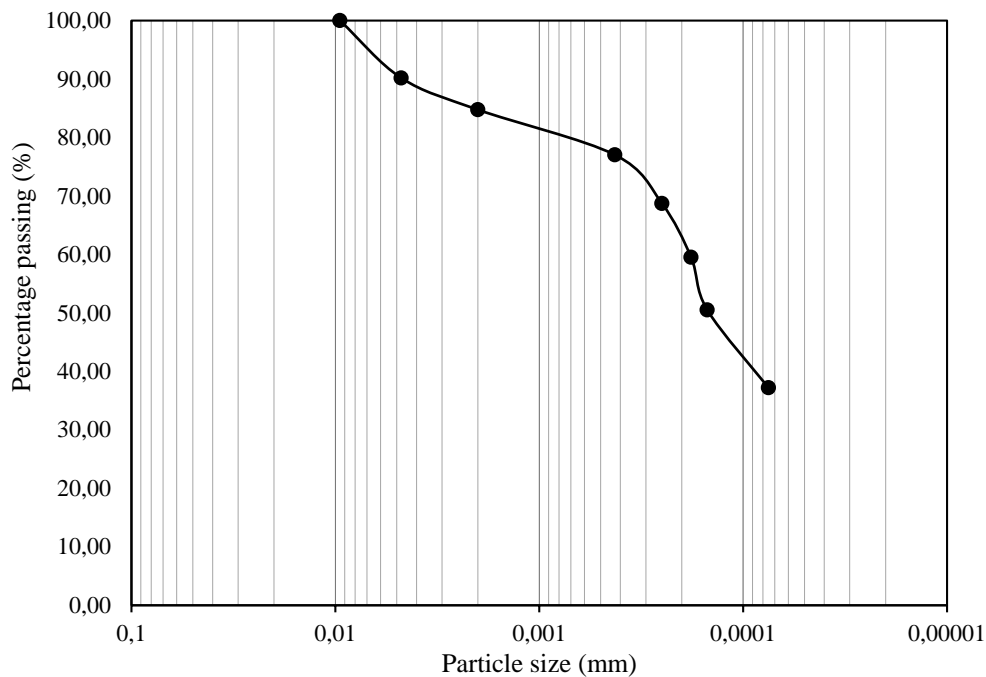
This study aimed to enhance soil properties by incorporating rice husk ash (RHA) and crumb rubber from tires. Various proportions of RHA and crumb rubber (5%, 10%, and 15%) were individually introduced to assess the impact on soil characteristics. Parameters such as maximum dry density (MDD), optimum moisture content (OPD), atterberg's limits, free swell index (FSI), and CBR values were measured. And then compared with the parent soil's properties. The objective was to evaluate the effectiveness of RHA, crumb rubber in improving the engineering properties of the soil, and determine the optimal proportion for achieving desired outcomes.



## 2. Material and Methods

### 2.1. Soil

In this study, the soil was taken from the road base construction site Haripur bypass road KPK, Pakistan. The soil was classified as A-6 soil, which falls into the category of poorly graded soil according to the AASHTO Classification system. The figure 1 shows the particle size distribution curve of the soil. The soil contains 9.82% of fine gravel, 53.97% fine sand, 22.91% clay, and 14.3% silt. This composition of the soil makes it low plasticity soil. The other properties such MDD, OMC, CBR and Index properties such as free swell index, plastic Index, Plastic Limit and Liquid limit of the soil are presented in the table 1.



**Figure 1.** Particle size Distribution Curve

**Table 1.** Physical properties of the Soil

S. No	Description	Value
1	Specific gravity	2.66
2	Liquid limit (%)	28.49
3	Plastic limit (%)	16.66
4	Plasticity index (%)	11.83
5	Free Swell index (%)	52
6	AASHTO Classification	A-6
7	Optimum moisture content (%)	18
8	Maximum dry unit weight (kN/m <sup>3</sup> )	1.108
9	California Bearing Ratio (%)	3.56

### 2.2. Rice husk ash

Rice husk ash (RHA) is a primarily siliceous material that is obtained through the combustion of rice husk in a boiler or an open fire. RHA used in this study as a stabilizer was procured from the Barkat Rice Mills, Islamabad, Pakistan. Table 2 shows the chemical composition of RHA reported by M.A Rahghozar et al. The presence of SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, and Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> in combination results in significant pozzolanic properties.



**Table 2** Chemical Composition of RHA (M.A. Rahghozar et al)

S. No	Components	Contents % by weight
1	SiO <sub>2</sub>	73.36
2	CaO	1.73
3	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.26
4	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.96
5	MgO	0.54
6	K <sub>2</sub> O	6.2
7	SO <sub>3</sub>	0.69
8	Na <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.12
9	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.65
10	MnO	0.01
11	Other	0.035
12	Loss on ignition	13.02

### 2.3. Crumb rubber

Crumb Rubber (CRP) is obtained from cars and truck scrap tires, where steel and tire cord (fluff) were removed during the recycling process, leaving tire rubber with a granular consistency. The crumb rubber used in the study was sourced from a local tire recycling industry located in Taxila, Pakistan. Prior to utilization, the crumb rubber underwent meticulous sieving to ensure its uniformity. It was sieved with precision, allowing it to pass through Sieve #30 while being retained on Sieve #50.

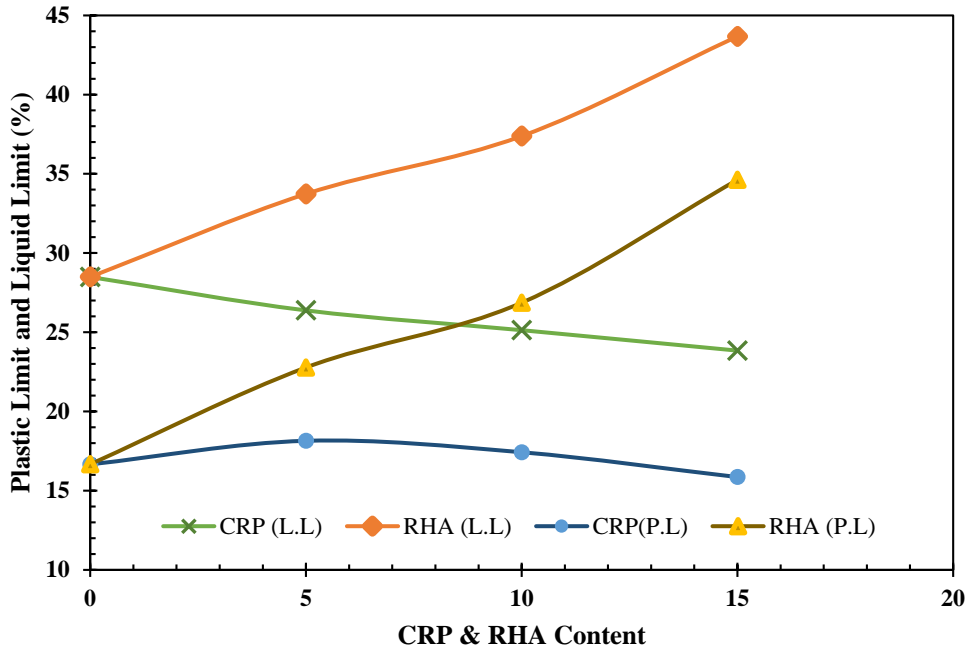
### 3. Result and Discussion

Three samples were prepared for each percentage (0%, 5%, 10%, 15%) of both rice husk ash (RHA) and crumb rubber (CRP) content, for all the conducted tests. The soil was first oven dried and then RHA and CRP content for each percentage of the samples were determined regarding the dry weight of the soil. Mixing of these proportions were done manually with hands and carry out to perform the tests according to the specific test standards.

#### 3.1. Effect of CRP and RHA on Atterberg Limit

The Atterberg limit of the modified soil and virgin soil was determined according to the ASTM D 4318. The liquid limit and plastic limit of the virgin soil, CRP modified soil and RHA modified soil are shown in figure 2. The incorporation of rice husk ash (RHA) into the soil leads to an increase in both the liquid limit (LL) and plastic limit (PL). However, the rate of increase in LL is significantly higher compared to the rate of increase in PL, resulting in a reduction of the plasticity index (PI). By adding RHA, the soil's ability to retain and absorb water increases, causing a rise in the LL. This can be due to the flocculation of RHA particles with the soil particles, leading to improved cohesion. As a result, the soil requires a higher water content to flow. At the same time, the changes in the soil's composition due to RHA may slightly affect the PL, but to a lesser extent [16].

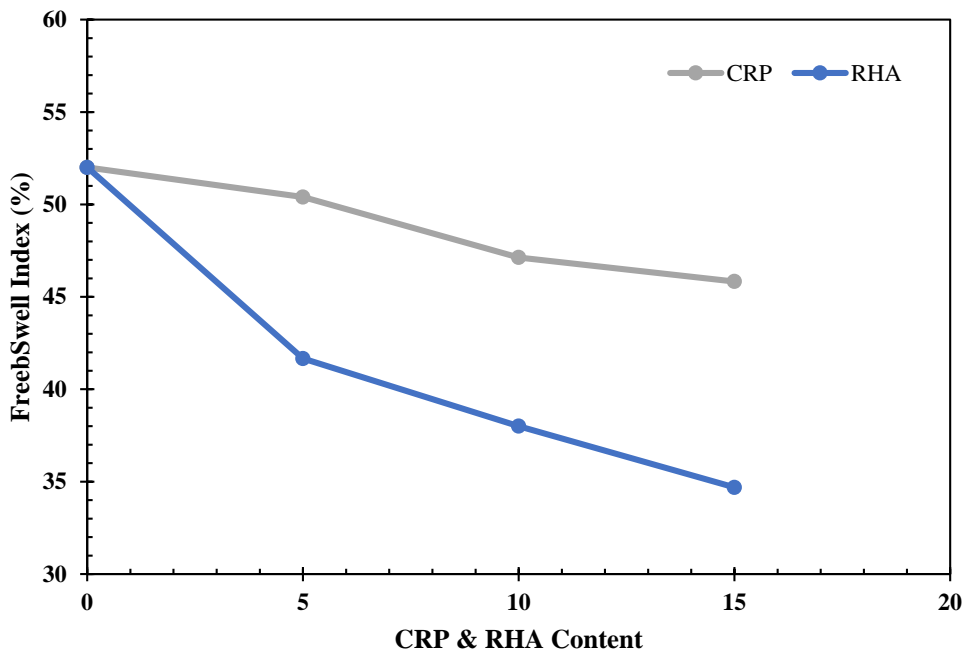
The inclusion of crumb rubber (CRP) results a decrease in the liquid limit and plastic limit of the soil. This is likely due to the lower water absorption capacity of CRP compared to the soil, as more soil particles are replaced by CRP particles, resulting in reduced water absorption [17]. The results of the study demonstrate that the inclusion of crumb rubber and rice husk ash as additives had a positive impact on the soil's consistency with varying moisture content levels.



**Figure 2.** Liquid limit and plastic limit of the CRP and RHA modified soil

### 3.2. Effect of CRP and RHA on swelling property

The potential for volume change or swelling of the soil, when it is exposed to water, was determined according to ASTM D 4546. Figure 3 presents the Free Swell Index (FSI) values for both the virgin soil and the soil modified with CRP and RHA. The FSI of the virgin soil was initially determined to be 52% and decreased as the concentrations of CRP and RHA increased. Specifically, at a 15% concentration, the FSI decreased to 37.13% for RHA and 11.86% for CRP. These results indicate that the incorporation of CRP and RHA has the potential to mitigate soil swelling upon exposure to water.



**Figure 3.** Free swell index of the virgin and modified soil

### 3.3. Effect of CRP and RHA on the compaction characteristics

The soil upon compaction reduces its voids and increases its density. The water content at which the soil achieves maximum compaction or density is known as optimum water content (OMC) and the



corresponding density is termed as maximum dry density (MDD). OMC and MDD are very important in determining construction quality, enhancing stability, and predicting the performance of soil in engineering applications. Figure 4 and 5 show the OMC and MDD curve for CRP and RHA, respectively. It can be seen that MDD decreases from 1.108 g/cm<sup>3</sup> to 0.916 g/cm<sup>3</sup> as the concentration of CRP increase from 0 to 15%, but in the case of OMC, it first decreases to 14.2% from 18% and then follow an upward trend. The decrease in MDD due to CRP can be attributed to lightweight particles of the CRP than the soil particle and to the flexible nature of the CRP particle that reduces the compaction efficiency of the hammer during Compaction [18]. When RHA is introduced in the soil, the MDD decreases from 1.108 to 0.826g/cm<sup>3</sup> while the OMC increases from 18 to 31%. This could be due to the porous nature and lightweight of the RHA particle that replaced soil denser particles. Moreover, the pozzolanic activity of the RHA particle that form CaOH with CaO in the Soil, increases the water holding capacity of the soil thus increased the OMC of the RHA modified soil [16, 19].

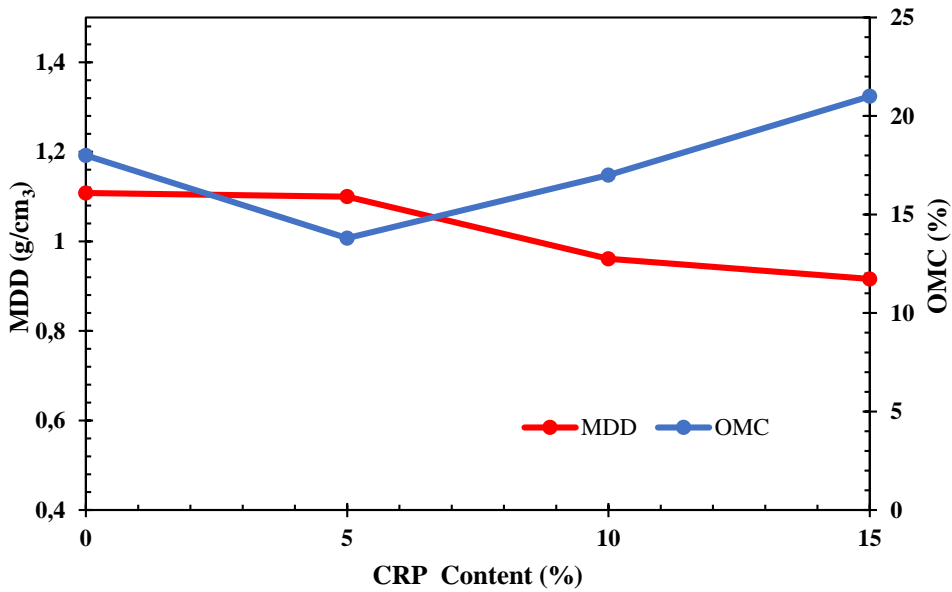


Figure 4. Effect of CRP on MDD and OMC of the soil

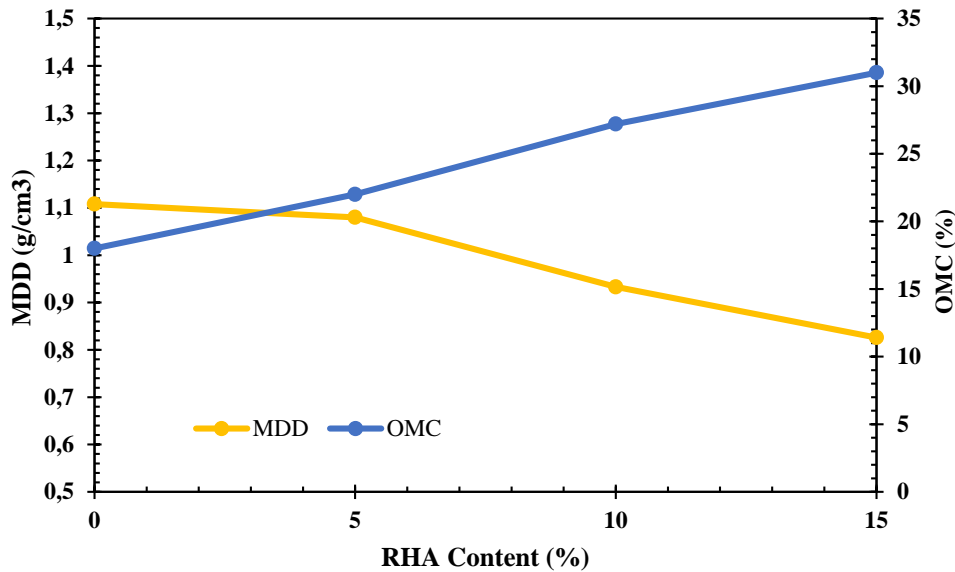


Figure 5. Effect of RHA on MDD and OMC of the Soil



### 3.4. Effect of CRP and RHA on CBR

CBR tests are performed on soil samples to assess the strength of the subgrade material relative to a standard dense graded aggregate. The CBR (California Bearing Ratio) value is an important parameter in pavement design to determine the appropriate pavement thickness. To evaluate the impact of crumb rubber powder (CRP) and rice husk ash (RHA) on soil properties, CBR tests were conducted following the guidelines outlined in ASTM D 1883. Figure 6 illustrates the CBR values of the untreated soil and the soil treated with CRP and RHA. It can be seen that CBR value of the CRP and RHA treated soil increase as the percentages of the CRP and RHA increases. With the use CRP, CBR value of the soil increases up to 80.89%, similarly with the inclusion of RHA it increases up to 2.27 times than that of the untreated soil. These highest values were obtained at 15% concentration of both CRP and RHA. The increase in CBR value of RHA treated soil may be due to formation of additional binding compound such as calcium silicate hydrate (C-S-H) gel that hold the soil particle together which contribute to improved strength and cohesion [20]. Moreover, the increase in the CBR of CRP treated soil can be attributed to the irregular shapes of rubber powder that interlock with soil particle and create additional frictional resistance, resulting in an increased shear strength and improved CBR value [11, 21].

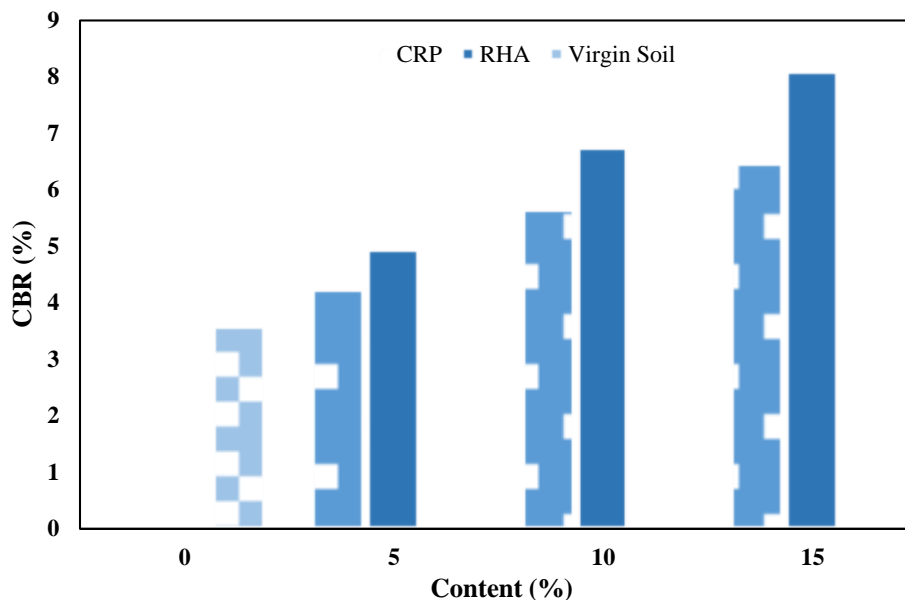


Figure 6. Effect of CRP and RHA on CBR

### 4. Conclusion

In this study, soil modification was done through the inclusion RHA and CRP. The modified soil physical and mechanical properties were evaluated through a series of liquid limit, plastic limit, free swell index, maximum dry density, optimum moisture content and CBR tests. Three samples were prepared for 0%, 5%, 10% and 15% to carry out the tests for both CRP and RHA content. The following conclusions were drawn from analysis of the obtained results.

- The liquid limit and plastic limit of the RHA-modified soil increased as the concentration of RHA increased. In contrast, the liquid limit and plastic limit of the CRP-modified soil decreased with increasing CRP content.
- The use of both CRP and RHA resulted in a decrease in the free swell index, indicating a reduced potential for volume change or swelling of the soil when exposed to water.
- The MDD and OMC decreased with the addition of CRP, while the MDD decreased with an increase in OMC for RHA-modified soil.
- The CBR value showed an increase for both CRP and RHA content. The optimum concentration for achieving the maximum CBR value was found to be 15%. At this



concentration, the CBR value increased by up to 80% for CRP-modified soil and 2.27 times for RHA-modified soil compared to the virgin soil.

Overall, the results demonstrate that the inclusion of CRP and RHA can effectively modify the soil properties and improve its engineering characteristics.

### Acknowledgment

Overall, the results demonstrate that the inclusion of CRP and RHA can effectively modify the soil properties and improve its engineering characteristics.

### References

1. Dhir R.K., de Brito J., Silva R.V., Lye C.Q (2019). Use of recycled aggregates in road pavement applications. *Sustainable Construction Materials*, pp. 451–494. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100985-7.00012-1>
2. Iwona CHMIELEWSKA, Wojciech GOSK (2022). Sustainable soil stabilization: the use of waste materials to improve the engineering properties of soft soils. *Inżynieria Bezpieczeństwa Obiektów Antropogenicznych* 3 (2022) 34-41. <https://dx.doi.org/10.37105/iboa.148>
3. Cheshomi, A., Eshaghi, A., & Hassanpour, J. (2017). Effect of lime and fly ash on swelling percentage and Atterberg limits of sulfate-bearing clay. *Applied Clay Science*, 135, 190–198. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2016.09.019>.
4. Sart Sukprasert, Menglim Hoy, Suksun Horpibulsuk, Arul Arulrajah, Ahmad Safuan A. Rashid & Ramli Nazir (2019). Fly ash based geopolymer stabilisation of silty clay/blast furnace slag for subgrade applications. *Road Materials and Pavement Design*, <https://doi.org/10.1080/14680629.2019.1621190>
5. Ruifeng Chen a , Surya Sarat Chandra Congress b , Guojun Cai a,† , Wei Duan a , Songyu Liu (2021). Sustainable utilization of biomass waste-rice husk ash as a new solidified material of soil in geotechnical engineering: A review. *Construction and Building Materials*, 292 (2021) 123219, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123219>.
6. S.V. Sivapriya and N. Charumathy (2018), “Effect of crumb rubber on inorganic and high compressible clay,” in *Advances in Materials and Metallurgy. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer Singapore*, pp. 67-73. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-981-13-1780-4\\_8](https://doi.org/10.1007/978-981-13-1780-4_8).
7. Sart Sukprasert, Menglim Hoy, Suksun Horpibulsuk, Arul Arulrajah, Ahmad Safuan A. Rashid & Ramli Nazir (2019). Fly ash based geopolymer stabilisation of silty clay/blast furnace slag for subgrade applications. *Road Materials and Pavement Design*, <https://doi.org/10.1080/14680629.2019.1621190>.
8. Suchit Kumar Patel and Baleshwar Singh (2019), “Investigation of glass fibre reinforcement effect on the CBR strength of Cohesive soil,” in *Ground Improvement Techniques and Geosynthetics, Lecture Notes in Civil Engineering, Springer Singapore*, pp 85-94. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-981-13-0559-7\\_8](https://doi.org/10.1007/978-981-13-0559-7_8).
9. Sivapriya S.V, Gokul Krishnan J, Bijivemula Sruthi Reddy, Roshan R, Syed Mohammed (2021). Experimental study on properties of mechanical resistance of polyamide in clay soil, *ITECKNE*, 18(1), 2021 pp. 39 -45. DOI: <https://doi.org/10.15332/iteckne.v18i1.2538>.
10. J.S. Yadav and S.K. Tiwari (2018). Evaluation of the strength characteristics of cement-stabilized clay – crumb rubber mixtures for its sustainable use in geotechnical applications, *Environment, Development and Sustainability*, vol 20, pp. 1961–1985, oct. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10668-017-9972-2>.
11. Vijayasimhan, S. (2018). Stress-strain and penetration characteristics of clay modified with crumb rubber. *Revista Facultad De Ingeniería*, 27(49), 65–75, DOI: <https://doi.org/10.19053/01211129.v28-n49.2018.8745>.
12. Azam, M. S., Sharma, A. K., Agarwal, A., Verma, R., Singh, L., Jee, N. (2020). Altering the geotechnical properties of clayey soil by using scrap rubber. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 9(7), 199–203.





13. Alabi, A. B., Olutaiwo, A. O., & Adeboje, A. O. (2015). Evaluation of rice husk ash stabilized lateritic soil as sub-base in road construction. *British Journal of Applied Science and Technology*, 9(4), 374–382.
14. Ashwani Jain, Nitish Puri (2013), Consolidation Characteristics of Highly Plastic Clay Stabilized With Rice Husk Ash, *International Journal of Soft Computing and Engineering*, 2 (6) (2013) 413–418.
15. E.A. Basha, R. Hashim, H.B. Mahmud, et al., Stabilization of residual soil with rice husk ash and cement. *Construction & Building Materials*, 19 (6) (2005) 448–453.
16. Okafor, F. O., & Okonkwo, U. N. (2009). Effects of rice husk ash on some geotechnical properties of lateritic soil. *Nigerian Journal of Technology*, 28(1), 46–52.
17. Adeboje, A. O., Kupolati, W. K., Sadiku, E. R., Ndambuki, J. M., & Kambole, C. (2020). Experimental investigation of modified bentonite clay-crumb rubber concrete. *Construction and Building Materials*, 233, 117187.
18. Akbarimehr D, Eslami A, Aflaki E, Geotechnical behaviour of clay soil mixed with rubber waste, *Journal of Cleaner Production*, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122632>.
19. Mazahir M.M. Taha, Cheng-Pei Feng and Sara H. S. Ahmad, Modification of Mechanical Properties of Expansive Soil from North China by Using Rice Husk Ash, *Material (Basel)* 2021 Jun; 14(11). DOI: [10.3390/ma14112789](https://doi.org/10.3390/ma14112789)
20. Yu. Li Lihua, Xiao Henglin Xiaoting, Mechanical properties of reinforcement about rice husk ash mixed soil, *Rock and Soil Mechanics* 03 (2020) 1–11. <https://doi.org/10.16285/j.rsm.2019.0219>.
21. Nurain Asrin Saparudin , Norhidayu Kasim et al. , Improvement of problematic soil using crum rubber tyre, *IJUM Engineering Journal*, Vol. 23, No. 2, 2022, <https://doi.org/10.31436/iiumej.v23i2.2293>



## SPATIO-TEMPORAL ANALYSIS OF LANDSCAPE DYNAMICS: THE CASE OF SELCUK, IZMIR, TURKIYE

**Kübra KURTŞAN**

*PhD Candidate, Ege University, Natural and Applied Sciences, Division of Landscape Architecture, Izmir, TURKIYE.*

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1212-3369>

**Can SAYGINER**

*Asst. Prof., Izmir Democracy University, Faculty of Economics and Administrative Sciences, Department of Management Information Systems, Izmir, TURKIYE.*

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1680-392X>

**Diba ŞENAY**

*Res. Asst., Ege University, Faculty of Agriculture, Department of Landscape Architecture, Izmir, TURKIYE.*

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3008-9408>

**Engin NURLU**

*Prof. Dr., Ege University, Faculty of Agriculture, Department of Landscape Architecture, Izmir, TURKIYE.*

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5458-7749>

### ABSTRACT

The change in land use/land cover (LU/LC) serves as a significant indicator in detecting and understanding landscape transformations due to its influence on the complex and dynamic processes within natural and social systems at a global scale. Consequently, there is a need to describe and quantify landscape characteristics in order to effectively analyze landscape dynamics. In this context, the aim of this study is to spatio-temporal analysis of landscape dynamics between the years of 1990-2020 in Izmir province of Selcuk district using landscape metrics. The study employed satellite images from Landsat 5 TM (1990) and Landsat 8 OLI (2020) to generate land use/land cover (LU/LC) maps. LU/LC maps, including six LU/LC types-forest land, cropland, grassland, wetlands, settlements, and other land, were created using pixel-based classification. To analyze the spatio-temporal changes in landscape dynamics, the *landscapemetrics* package in R was employed to calculate eight landscape metrics for the categorical landscape patterns in the study area. These metrics included Class Area (CA), Percentage of Landscape (PLAND), Number of Patches (NP), Mean Patch Area (AREA\_MN), Edge Density (ED), Largest Patch Index (LPI), Effective Mesh Size (MESH), and Mean Euclidean Nearest Neighbor Distance (ENN\_MN). It is observed that the changes predominantly occur in natural and semi-natural areas and has been found that these changes are primarily influenced by increased agricultural activities, leading to transitions towards croplands. The study contributes to future land management and planning efforts by providing insights into the dynamics of LU/LC changes in the Selcuk district of Izmir province by informing sustainable land use practices and conservation strategies for the region in the coming years.

**Keywords:** Landscape metrics, land use/land cover, spatio-temporal analysis, *landscapemetrics* package, R programming language

### INTRODUCTION

Changes in landscapes, which consist of different components with unique dynamics, occur at different speeds and sizes. In addition to natural processes, the human effect also plays a role in the change of



landscapes. Research on landscape change offers credible information for characterizing the spatial organization of landscapes, the patterns of ecological processes, and the impacts of human activities on the environment. In order to understand landscape change, it is important to examine the land use/land cover (LU/LC) changes (Fu et al., 2007; Liu et al., 2014; Laux et al., 2017). LU/LC change is one of the fundamental measures for understanding ecological processes and is widely used to understand the consequences to biodiversity and ecosystem services. It results from both human activities and natural climate and geomorphic processes.

The definition of a landscape does not solely depend on its size but rather on the spatial heterogeneity of an area that is relevant to the specific phenomenon being examined, regardless of the scale. Landscape metrics provide a straightforward approach to depicting the composition and configuration of the landscape. They are algorithms that quantify the spatial structure of patterns within a defined geographic area (Zaragozí et al., 2012; Frazier and Kedron, 2017; Frazier, 2019). By utilizing landscape metrics, numerical information about landscape composition and configuration such as the number, amount, size, shape and spatial arrangement and distribution of the different LU/LC classes is obtained, providing a better understanding of both landscape structure and landscape change processes (Leitão and Ahern, 2002; Leitão et al., 2006; Deng et al., 2009; Aguilera et al., 2011; Barnoaiea, 2011; McGarigal et al., 2012; Zaragozí et al., 2012; Hesselbarth et al., 2019; Hesselbarth et al., 2021).

For over three decades, landscape metrics have played a crucial role in the analysis of spatial patterns in landscape ecology. Their utilization has led to remarkable advancements in both ecological theory and practical applications (Frazier and Kedron, 2017). With the development of GIS and RS technologies and programming languages (C, C++, Python, R, etc.), many landscape metrics and software tools have been developed to analyze landscape patterns in categorical maps. Fragstats (McGarigal and Marks, 1995; McGarigal et al., 2012), V-Late (Lang and Tiede, 2003), r.le (Baker and Cai, 1992), r.li (Porta and Spano, 2008), R packages *SDMTools* (VanDerWal et al., 2019), and *landscapemetrics* (Hesselbarth et al., 2019; Hesselbarth et al., 2021) are landscape metric tools which are calculating landscape metrics both stand-alone software and integrated modules in GIS desktop software such as ArcGIS, IDRISI, GRASS (Zaragozí et al., 2012; Hesselbarth et al., 2019).

In this study, we used the R package *landscapemetrics*, written in the R programming language (Hesselbarth et al., 2019; Hesselbarth et al., 2021). It encompasses widely utilized metrics known as Fragstat-style metrics, which are applicable at patch, class, and landscape levels for the examination of discrete land cover maps. It operates using raster data as input, enabling preprocessing of land cover maps and facilitating statistical analysis within a single software environment. Moreover, it offers numerous utility functions for visualizing, extracting, and sampling landscape metrics (Hesselbarth et al., 2019).

This study aims to analyze spatio-temporal changes in landscape dynamics between the years of 1990-2020 in the Selcuk district of the Izmir province employing area and edge, and aggregation landscape metrics at class level. The method of the study consists of classifying the satellite images of 1990 and 2020 with the pixel-based classification method and calculating landscape metrics for categorical landscape patterns on created LU/LC maps.

## STUDY AREA

The district of Selcuk, chosen as the study area, is located in the western part of Izmir province in Turkey's Aegean Region, is adjacent to the south and east by Aydın province and to the west by the Aegean Sea (Figure 1). It is located in the Kucuk Menderes Basin, including wetlands such as Kucuk Menderes River and its delta, Gebekirse and Belevi lakes and also protected areas such as Meryemana Natural Park and Gebekirse Lake Wildlife Development Area (Anonymous, 2022). It covers approximately 337 km<sup>2</sup>. According to the results of the 1990 Census, while it was 27.353 people, it increased to 37.386 people in 2020. According to the results of the 2021 Census, its population reached 38.151 people (TUİK, 2023). The economy of the study area is mainly on tourism and agriculture. The dominant LU/LC classes of the study area are cropland and grassland. They were respectively followed by forest land, settlements, wetlands and other lands. In the study area, where the Mediterranean climate is observed, the winters are warm and rainy, and the summers are hot and dry.

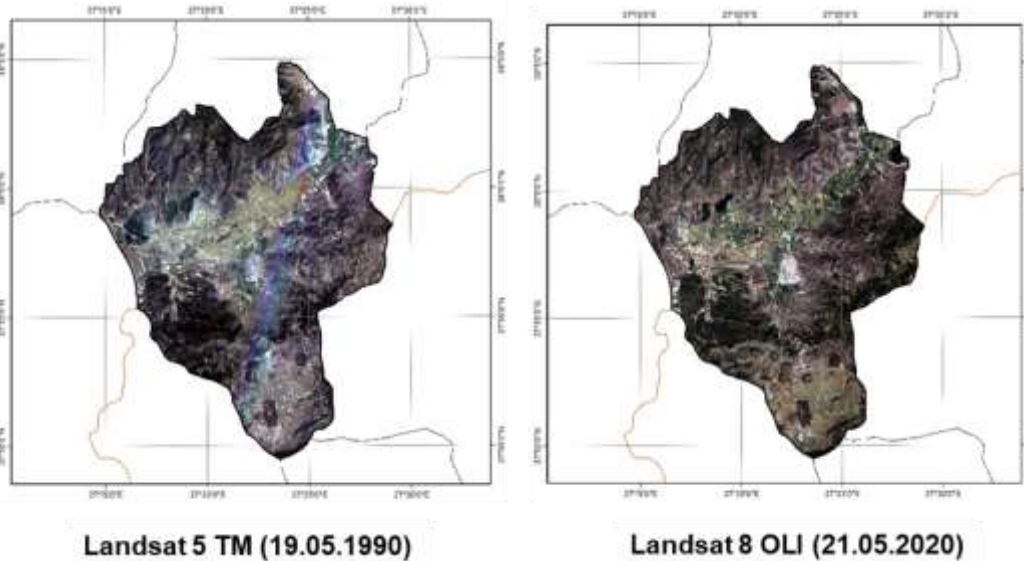


**Figure 1.** Location of the study area.

## MATERIALS AND METHOD

### Materials

For the land use/land cover (LU/LC) classification of the study area, the Landsat 5 TM satellite image from May 19, 1990, and the Landsat 8 OLI satellite image from May 21, 2020, were utilized. These images had a spatial resolution of 30 meters. The images were obtained from the United States Geological Survey (USGS) web portal (USGS, 2022). The classification process in this study involved using Band 1 (blue), Band 2 (green), Band 3 (red), Band 4 (Near-Infrared/NIR), Band 5 (Short-Wave Infrared 1/SWIR 1), and Band 7 (Short-Wave Infrared 2/SWIR 2) of the Landsat 5 TM satellite image from 1990. Similarly, for the classification, Band 1 (coastal aerosol), Band 2 (blue), Band 3 (green), Band 4 (red), Band 5 (NIR), Band 6 (SWIR 1), and Band 7 (SWIR 2) of the Landsat 8 OLI satellite image from 2020 were used. The selection of these satellite images took into consideration the temporal range, reflectance values, and dates close to each other to minimize seasonal differences, aiming to detect visible changes that occurred over time.



**Figure 2.** Satellite images in the study.



Semi-Automatic Classification Plugin (SCP) for QGIS (Congedo, 2021; QGIS Development Team, 2021) was utilized to preprocess the images. For pixel-based image classification, the software ENVI 5.4 (L3Harris Geospatial, 2016) was employed. The accuracy assessment of the LU/LC maps was conducted using the software ArcGIS 10.7 (ESRI, 2019). Furthermore, landscape metrics for categorical landscape patterns were calculated using the open-source R package, *landscapemetrics* v2.0.0 (Hesselbarth et al., 2019; Hesselbarth et al., 2021).

## Method

The method of the study consists of classifying the satellite images of 1990 and 2020 using the pixel-based classification method and calculating landscape metrics for categorical landscape patterns on created LU/LC maps.

### *Land Use/Land Cover Classification*

Before conducting image classification, the obtained images underwent atmospheric correction using the Semi-Automatic Classification Plugin (SCP) for QGIS. For the LU/LC classification of the study area, a pixel-based classification method was employed. This involved selecting representative sampling points from the satellite images of the years 1990 (May 19, 1990) and 2020 (May 21, 2020) for each land cover class. The process of LU/LC classification involved three main steps: sample point selection, Maximum Likelihood classification, and accuracy assessment. The satellite images were categorized into distinct classes based on the IPCC land use categories (IPCC, 2006), which included Forest Land (FL), Cropland (CL), Grassland (GL), Wetlands (WL), Settlements (SL), and Other Land (OL).

Landsat 5 TM of 1990 and Landsat 8 OLI of 2020 satellite images were classified using the pixel-based classification method-Maximum Likelihood algorithm by selecting sampling points belonging to each class (Richards and Jia, 1999; L3Harris Geospatial, 2016; Ersoy Tonyaloğlu et al., 2021; L3Harris Geospatial, 2022). According to this method, first of all, statistical probability values of the sampling regions for each LU/LC class were calculated and each unknown pixel was assigned to the class with which it was the most similar. ArcGIS 10.7 software was utilized to conduct accuracy assessments in order to evaluate the classification accuracy of the images. The accuracy assessments involved comparing reference points with the different LU/LC categories obtained from the generated LU/LC maps. A total of 300 random points, proportionally distributed based on the size of each thematic LU/LC class, were used for the assessment. The results were analyzed and presented in an error matrix, which provides information on overall accuracy, user accuracy, and producer accuracy. Additionally, the kappa ( $\kappa$ ) coefficient was calculated to determine the reliability and accuracy of the classification by comparing the classification results with the reference data (Cohen, 1960; Congalton and Green, 1999; Foody, 2002). The kappa coefficient offers a robust assessment of the accuracy of the entire classification process by considering all elements in the error matrix.

### *Quantifying landscape patterns using landscape metrics*

Landscape metrics are quantifiable indicators that describe and quantify the composition and configuration of the landscape. They enable the characterization and measurement of spatial patterns and ecological processes over time and space (Turner et al., 2001; Turner, 2005). They provide information about the proportion of each existing LU/LC types, their size, shape, and other spatial relationships between landscape elements. This information contributes to the creation of sustainable planning goals by providing a better understanding of both the structure of the landscape and the processes of landscape change (Botequilha Leitão et al., 2006). In this study, eight landscape metrics at the class level were used to calculate landscape metrics for categorical landscape patterns of the study area (McGarigal et al., 2023). The landscape metrics used in this study include Class Area (CA), Percentage of Landscape (PLAND), Number of Patches (NP), Mean Patch Area (AREA\_MN), Edge Density (ED), Largest Patch Index (LPI), Effective Mesh Size (MESH), and Mean Euclidean Nearest Neighbor Distance (ENN\_MN). These metrics were categorized based on different aspects of landscape pattern, specific area and edge-related metrics (CA, PLAND, AREA\_MN, LPI, and ED), as well as aggregation-related metrics (NP, MESH, and ENN\_MN).

*landscapemetrics* v2.0.0, an open-source R package was used to calculate the selected landscape metrics for categorical landscape patterns on raster-based LU/LC maps of the study area, (Nowosad and



Stepinski, 2019; Hesselbarth et al., 2019; Hesselbarth et al., 2021; McGarigal et al., 2023). It is written in the R programming language.

The landscape metrics calculation functions in the *landscapemetrics* package follow a consistent naming convention. Each function is prefixed with 'lsm\_', followed by an abbreviation indicating the level of analysis ('p' for patch-level, 'c' for class-level, and 'l' for landscape-level), and finally, the specific metric name (Hesselbarth et al., 2019). In this study, the selected landscape metrics for each LU/LC class were calculated using the function 'lsm\_c\_"metric"()' at the class level, as indicated in Table 1.

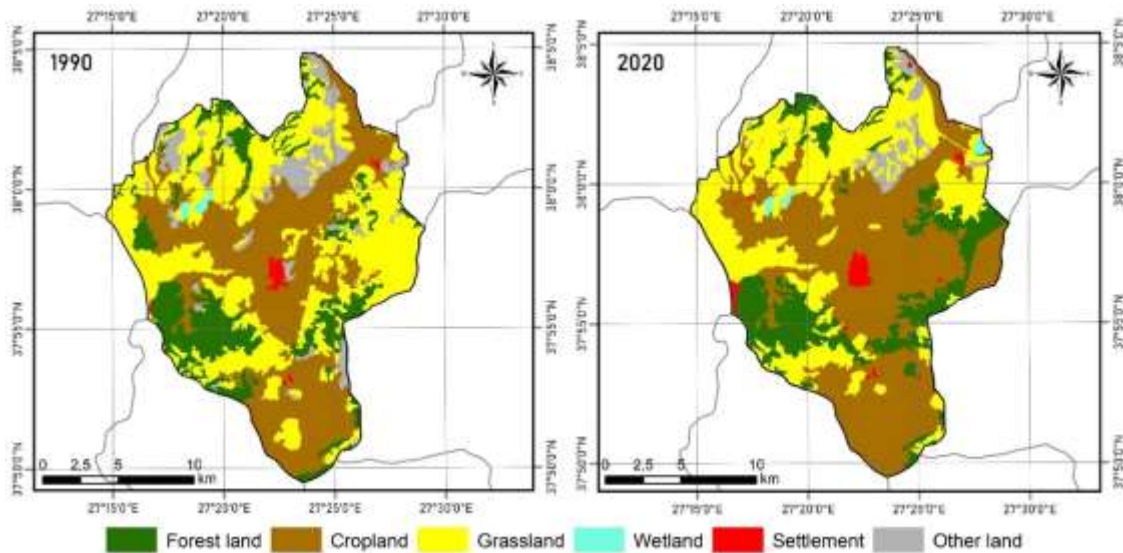
**Table 1.** Landscape metrics of the study area with *landscapemetrics* functions.

LANDSCAPE METRICS						
Level	Type	Abbreviation	Function names			
class		ca	total class area	lsm_c_ca (Selcuk1990) lsm_c_ca (Selcuk2020)		
		pland	percent of landscape	lsm_c_pland (Selcuk1990) lsm_c_pland (Selcuk2020)		
	area and edge	area_mn	mean patch area	lsm_c_area_mn (Selcuk1990) lsm_c_area_mn (Selcuk2020)		
				lpi	largest patch index	lsm_c_lpi (Selcuk1990) lsm_c_lpi (Selcuk2020)
						ed
	aggregation	mesh	effective mesh size	lsm_c_np (Selcuk1990) lsm_c_np (Selcuk2020)		
				enn_mn	euclidean nearest neighbor distance	lsm_c_mesh (Selcuk1990) lsm_c_mesh (Selcuk2020)
						lsm_c_enn_mn (Selcuk1990) lsm_c_enn_mn (Selcuk2020)

## RESULTS

The LU/LC maps of the study area were obtained by classifying the Landsat 5 TM satellite image for 1990 and the Landsat 8 OLI satellite image for 2020 by pixel-based classification method. As a result of the accuracy assessment of the controlled classification used in the creation of LU/LC maps, the accuracy rate between the reference data and the classified data was determined. The overall accuracy values were 90,6% for the year 1990 and 90,4% for the year 2020. The kappa ( $\kappa$ ) coefficients were 0,86 for the year 1990 and 0,85 for the year 2020. These values indicate that the classification accuracy is acceptable in terms of the level of classification process with the reference data.

When the findings were examined; it was determined that the dominant LU/LC classes in the Selcuk district in 1990 and 2020 are grassland and cropland (Figure 3). For both years, grassland and cropland were respectively followed by forest land, other land, settlements, and wetlands. In 2020, a decrease of 3.619,62 hectares occurred in cropland due to changes in grassland and other land. The area of settlements doubled with an increase of 239,95 hectares (Table 2).



**Figure 3.** The land use/land cover maps of the study area for the years 1990 and 2020

**Table 2.** Land use/land cover changes of the study area

	1990	2020	1990-2020
LAND USE / LAND COVER	ha	ha	change
Forest Land	5.376,06	5.627,43	251,37
Cropland	12.455,37	16.074,99	3.619,62
Grassland	12.953,07	10.331,73	-2621,34
Wetlands	153,72	189,63	35,91
Settlements	258,39	488,34	229,95
Other Land	2.547,09	1.031,58	-1515,51
<b>TOTAL</b>	<b>33.743,70</b>	<b>33.743,70</b>	

At this stage, we analyzed spatio-temporal changes of LU/LC classes using eight landscape metrics using *landscapemetrics* within the R environment between the years of 1990 and 2020. The results of the calculation of landscape metrics for categorical landscape patterns of the study area for each LU/LC classes are given in Table 3.

When the values obtained as a result of the analysis of the LU/LC maps with class-level landscape metrics are examined, the CA of forest land increased by 251,37 ha (5%) between the years of 1990 and 2020 (Table 2). When the NP and AREA\_MN values are evaluated together with the MESH value, these values show that forest land demonstrates a tendency to expand through merging. The decrease in ED while LPI increases also serve as evidence for this situation. The increase in the ENN\_MN value also indicates the formation of new forest lands (Table 3). The CA of cropland increased by 3.619,62 ha (29%) between the years of 1990 and 2020 (Table 2). Across the landscape in 1990, the AREA\_MN of cropland increased, while the NP decreased considerably. According to these values, croplands have become integrated. In addition, LPI and MESH values increased, while the ED value decreased. This situation supports that croplands have increased and become integrated. When the ENN\_MN value is examined, it was clear that the increase in this value is due to the expansion of croplands (Table 3). The CA of grassland decreased by 2621,34 ha (20%) between the years of 1990 and 2020 (Table 2). When the NP and AREA\_MN values are evaluated together with the MESH value, we can claim that it is due to the disappearance of large patches. While the ED value decreases, the increase in LPI value indicates the shrinkage of this class over time. In addition, the increase in the ENN\_MN value supports this situation (Table 3). Between the years of 1990 and 2020, the values show that the CA of wetlands increased by 35,91 ha (23%) (Table 2). Between the years of 1990-2020, there is an increase in CA and NP of settlements (Table 2). While the NP value increases, the decrease in the AREA\_MN value indicates the emergence of new settlements. In addition, when the changes in other metrics are evaluated



together, it can be concluded that settlements tend to expand over other classes (Table 3). The CA of other land decreased by 1515,51 ha (60%) between the years of 1990 and 2020 (Table 2). It is observed that while the NP decreases, the AREA\_MN value remains almost the same. In addition, the decrease in LPI, ED, and MESH is related to the disappearance and shrinking of this class over time. The decrease in the ENN\_MN value indicates that this class is clustered in a specific area (Figure 3; Table 3).

**Table 3.** The results of the analysis with landscape metrics in the Selcuk district

LAND USE/LAND COVER	YEARS	LANDSCAPE METRICS - CLASS LEVEL							
		CA	PLAND	NP	AREA_MN	LPI	ED	MESH	ENN_MN
Forest Land	1990	5.376,06	15,93	52	103,39	6,58	10,54	175,10	329,07
	2020	5.627,43	16,68	34	165,51	6,73	8,77	266,64	437,40
Cropland	1990	12.455,37	36,91	19	655,55	25,84	11,90	2.607,17	159,12
	2020	16.074,99	47,64	8	2.009,37	30,58	10,94	3.711,56	251,84
Grassland	1990	12.953,07	38,39	57	227,25	9,98	18,08	736,49	220,54
	2020	10.331,73	30,61	38	271,89	16,60	12,91	1.079,73	351,01
Wetlands	1990	153,72	0,45	2	76,86	0,26	0,31	0,36	305,94
	2020	189,63	0,56	3	63,21	0,20	0,38	0,36	4.209,01
Settlements	1990	258,39	0,77	6	43,07	0,56	0,70	1,10	3.656,96
	2020	488,34	1,45	13	37,56	0,82	1,03	2,62	2.402,31
Other Land	1990	2.547,09	7,55	42	60,65	2,73	5,83	32,45	617,52
	2020	1.031,58	3,06	17	60,68	1,26	3,09	7,12	410,57

## CONCLUSION

As a result of this study, when the changes in the landscape structure of the study area during 30 years were examined using landscape metrics, it was determined that the most striking change occurred in the croplands. Depending on this expansion, there has been a significant decrease in the grasslands. When the metric values were examined, it was observed that the connection between grasslands weakened and decreased by shrinkage or disappearance. In light of these results, it is seen that in the study area, which is an important agricultural production center, croplands and settlements will continue to expand, the pressure of fragmentation in natural and semi-natural areas will gradually increase, and biodiversity will be adversely affected by this situation.

This study also evaluated the potential of landscape metrics in analyzing landscape structure. In the analysis of the changes in the landscape structure, it was concluded that the classical area-based change analyses were insufficient to analyze the complex structure of the landscape. Because even if any LU/LC class has increased on an area basis, measuring how this increase is positioned throughout the landscape and how it increases is of great importance in making more rational inferences and making the right planning decisions for the future. In this context, when the changes in the landscape structure in the study area are evaluated together with more than one landscape metric, it has been observed that these changes and their effects allow for a more comprehensive interpretation and development of suggestions.

## REFERENCES

- Aguilera, F., Valenzuela, L. M., & Botequilha-Leitão, A., 2011, Landscape metrics in the analysis of urban land use patterns: A case study in a Spanish metropolitan area. *Landscape and Urban Planning*, 99 (3-4), 226-238 pp.
- Anonymous., 2022, İzmir İli 2021 Yılı Çevre Durum Raporu, TC İzmir Valiliği Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğü, İzmir. Retrieved 01 June 2023, from <https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/izmir-ilcdr-2021-20220811104124.pdf>.
- Baker, W. L., & Cai, Y., 1992, The r.le programs for multiscale analysis of landscape structure using the GRASS geographical information system, *Landscape Ecology*, 7 (4), 291-302 pp.
- Barnoaiea, A. R., 2011, Quantifying landscape fragmentation on orthophotos in Suceava and Neamt counties using FRAGSTATS, *Journal of Horticulture, Forestry and Biotechnology* 15 (3), 175-181 pp.
- Botequilha Leitão, A., Miller, J., Ahern, J., & McGarigal, K., 2006, *Measuring Landscapes: A Planner's Handbook*, Island Press, Washington.





- Cohen, J., 1960, A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and Psychological Measurement* 20 (1), 37-46 pp.
- Congalton, R. G., & Green, K., 1999, *Assessing the accuracy of remotely sensed data-Principles and practices*. Lewis Publishers, Boca Raton.
- Congedo, L., 2021, Semi-Automatic Classification Plugin: A Python tool for the download and processing of remote sensing images in QGIS. *Journal of Open Source Software*, 6 (64), 3172, <https://doi.org/10.21105/joss.03172>.
- Deng, J. S., Wang, K., Hong, Y., Qi, & J. G., 2009, Spatio-temporal dynamics and evolution of land use change and landscape pattern in response to rapid urbanization. *Landscape and Urban Planning*, 92 (3-4), 187-198 pp.
- Ersoy Tonyaloğlu, E., Erdoğan, N. Çavdar, B., Kurtşan, K., & Nurlu, E., 2021, Comparison of Pixel and Object Based Classification Methods on Rapideye Satellite Image, *Turkish Journal of Forest Science*, 5 (1), 1-11 pp.
- ESRI, 2019, *ArcGIS 10.7 Software*, Environmental Systems Research Institute, Redlands, CA.
- Foody, G., 2002, Status of land cover classification accuracy assessment, *Remote Sensing of Environment*, 80 (1), 185-201 pp.
- Frazier, A. M., & Kedron, P., 2017, *Landscape Metrics: Past Progress and Future Directions*, *Current Landscape Ecology Reports*, 2: 63-72 pp.
- Frazier, A., 2019, *Landscape Metrics*. The Geographic Information Science & Technology Body of Knowledge (2nd Quarter 2019 Edition), John P. Wilson (Ed.), DOI: 10.22224/gistbok/2019.2.3.
- Fu, B. J., Niu, D., Yu, G. R., Chen, L. D., Ma, K. M., Luo, Y., Lu, Y. H., & Zhao, W. W., 2007, Application of landscape ecology in long term ecological research-case study in China. In: *Landscape Ecological Applications in Man-Influenced Areas: Linking Man and Nature Systems*, Hong, S.K., Nakagoshi, N., Fu, B., Morimoto, Y. (Eds.), Springer, Dordrecht, The Netherlands, 33-56 pp.
- Hesselbarth, M. H. K., Nowosad, J., Signer, J., & Graham, L. J., 2021, Open-Source Tools in R for Landscape Ecology, *Current Landscape Ecology Reports*. 6, 97-111 pp.
- Hesselbarth, M. H. K., Sciaini, M., With, K. A., Wiegand, K., & Nowosad, J., 2019, landscapemetrics: an open-source R tool to calculate landscape metrics, *Ecography*, 42 (10): 1648-1657 pp.
- IPCC, 2006, *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4. Agriculture, Forestry and Other Land Use*. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds), Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Japan.
- L3Harris Geospatial, 2016, *ENVI 5.4 Image Analysis Software*, Harris Geospatial Solutions Inc., USA.
- L3Harris Geospatial, 2022, *ENVI 5.4 Classification Tutorial*, Retrieved 15 August 2022 from <https://www.l3harrisgeospatial.com/docs/classificationtutorial.html>.
- Lang, S., & Tiede, D., 2003, vLATE Extension für ArcGIS-vektorbasiertes Tool zur quantitativen Landschaftsstrukturanalyse. In: *ESRI Anwenderkonferenz 2003 Innsbruck*.
- Laux, P., Nguyen, P. N. B., Cullman, J., & Kunstmann, H., 2017, Impacts of land-use/land-cover change and climate change on the regional climate in the Central Vietnam. In: *Land Use and Climate Change Interactions in Central Vietnam*, Nauditt, A., Ribbe, L. (Eds.), pp 143-151, Springer, Singapore.
- Leitão, A. B., & Ahern, J., 2002, Applying landscape ecological concepts and metrics in sustainable landscape planning. *Landscape and Urban Planning*, 59: 65-93 pp.
- Leitão, A. B., Miller, J., Ahern, J., & McGarigal, K., 2006, *Measuring landscapes: A professional planner's manual*. Island Press, Washington, DC.



Liu, J., Kuang, W., Zhang, Z., Xu, X., Qin, Y., Ning, J., Zhou, W., Zhang, S., Li, R., Yan, C., Wu, S., Shi, X., Jiang, N., Yu, D., Pan, X., & Chi, W., 2014, Spatiotemporal characteristics, patterns, and causes of land-use changes in China since the late 1980s. *Journal of Geographical Sciences* 24 (2), 195-210 pp.

McGarigal K., Cushman, S. A., & Ene, E., 2023, FRAGSTATS v4: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps. Computer software program produced by the authors; available at the following web site: <https://www.fragstats.org/>.

McGarigal, K., & Marks, B. J., 1995, FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Quantifying Landscape Structure (1995), Retrieved 16 July 2016 from <https://www.umass.edu/landeco/pubs/mcgarigal.marks.1995.pdf>.

McGarigal, K., Cushman, S.A. & Ene, E., 2012, FRAGSTATS v4: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical and Continuous Maps. Retrieved 17 July 2016 from <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>.

Nowosad, J., & Stepinski, T. F., 2019, Information theory as a consistent framework for quantification and classification of landscape patterns. <https://doi.org/10.1007/s10980-019-00830-x>

Porta, C., Spano, L., 2008, The r.li Module of the GRASS Geographical Information System. Retrieved 03 June 2023 from [http://grass.itc.it/grass63/manuals/html63\\_user/r.li.html](http://grass.itc.it/grass63/manuals/html63_user/r.li.html).

QGIS Development Team, 2021, QGIS geographic information system. QGIS Association. Retrieved 13 September 2022 from <https://www.qgis.org>.

Richards, J. A., & Jia, X., 1999, Supervised Classification Techniques. In: *Remote Sensing Digital Image Analysis*, Editors: J.A. Richards and J. Xiuping, 181-222 pp, Springer, Berlin, Heidelberg, ISBN 978 3 662 03978 6, [https://doi.org/10.1007/978-3-662-03978-6\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-662-03978-6_8).

TÜİK, 2023, Population and Demography, Turkish Statistical Institute, Retrieved 17 May 2023 from <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=95&locale=tr>.

Turner, M., 2005, Landscape Ecology: What is the state of the science? *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 36: 391-344 pp.

Turner, M., Gardner, R. H., & O'Neill, R. V., 2001, *Landscape Ecology in Theory and Practice*, New York: Springer-Verlag.

USGS, 2020, Retrieved 8 December 2022 from <https://earthexplorer.usgs.gov>.

VanDerWal, J., Falconi, L., Januchowski, S., Shoo, L., & Storlie, C., 2019, SDM Tools: species distribution modelling tools: tools for processing data associated with species distribution modelling exercises -R Package ver. 1.1-221.1. Retrieved 14 April 2023 from <https://www.rforge.net/SDMTools/index.html>.

Zaragozí, B., Belda, A., Linares, J., Martinez-Perez, J. E., Navarro, J. T., & Esparza, J., 2012, A free and open source programming library for landscape metric calculations, *Environmental Modelling & Software*, 31: 131-140 pp.



## MİKRODENETLEYİCİ TABANLI PI KONTROLLÜ DÜŞÜRÜCÜ TİP DÖNÜŞTÜRÜCÜ TASARIMI VE GERÇEKLENMESİ

### DESIGN AND IMPLEMENTATION OF MICROCONTROLLER BASED PI CONTROLLER FOR BUCK CONVERTER

*Mehmet Akif ÇÖKREN*

*Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği, İzmit, Kocaeli*

*Dr. Tarık ERFİDAN*

*Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği, İzmit, Kocaeli*

#### ÖZET

Günümüzde DA yüklerin artmasıyla DA-DA dönüştürücülerin önemi ve kullanım alanları çok artmıştır. Giriş gerilimi veya yük değişimlerinde DA-DA dönüştürücülerin sabit gerilim ve akım verebilmesi çok önemlidir. Günümüzde yaygın olarak kullanılan PID kontrol tekniği, bu gibi olumsuz durumlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak, dönüştürücülerde, tek döngü ile kullanılan PI denetleyicisi ile, değişken çıkış yükleri sırasında anlık kararsızlıklar yada sapmalar yaşanmaktadır. Bu çalışmada, çift-döngü PI denetleyici tasarımı ile bu kararsızlıklar ve sapmaların minimize edilmesi amaçlanmıştır. PI katsayıların elde edilmesi için basit ama etkili bir yöntem olan Ziegler-Nichols kullanılmıştır. PI denetleyicinin gerçekleştirilmesi için, Arm Cortex-M4 32 Bit çekirdeğe sahip 180MHz hızında çalışan STM32F429 mikrodenetleyicisi kullanılmıştır. Farklı giriş gerilimi ve yük durumları için tasarlanan sistem test edilip sonuçlar elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Düşürücü tip dönüştürücü, PI Kontrol, Mikrodenetleyici, Çift-Döngü PI Kontrol, PWM, Ziegler-Nichols

#### ABSTRACT

The increasing demand for DC loads has significantly elevated the importance and usage area of DC-DC converters. The ability of DC-DC converters to provide stable voltage and current during input voltage or load variations is crucial. The widely used PID control technique is commonly utilized in such adverse conditions. However, with the single-loop PI controller typically used in converters, momentary instabilities or deviations occur during variable output loads. This study aims to minimize these instabilities and deviations through the design of a dual-loop PI controller. The Ziegler-Nichols method, a simple yet effective approach, is utilized to obtain the PI coefficients. The implementation of the PI controller utilizes an STM32F429 microcontroller with an Arm Cortex-M4 32-bit core running at a speed of 180 MHz. The system designed for different input voltages and load conditions is tested, and results are obtained.

**Keywords:** Buck Converter, PI Control, Microcontroller, Double-Loop PI Kontrol, PWM, Buck Converter, Ziegler-Nichols.

#### GİRİŞ

Günümüzde, yarı iletken teknolojisindeki gelişmeler ile güç elektroniği alanında çok ilerlemeler olmuştur. Özellikle DA-DA dönüştürücülerde, küçük yapıda olmaları, geniş giriş gerilim aralığında, yüksek akım ihtiyaçlarını karşılayabilmeleri, verimlerinin yüksek olması, istenilen çıkış gerilim seviyesini kararlı ve hassas bir şekilde sağlayabilmeleri gibi sayısız avantajları bulunmaktadır. Ayrıca endüstride, kaliteli ve sürdürülebilir bir üretim için yüksek hassasiyet gerektiren işlem ve süreçlerde sıkça kullanılmaktadır.

DA-DA dönüştürücüler, regüle edilmemiş DA bir gerilimi, regüledi DA gerilime dönüştüren devrelerdir. Yaygın olarak düşürücü, yükseltici, düşürücü-yükseltici ya da flyback dönüştürücü tipleri bulunur. Her bir dönüştürücü tipi, farklı giriş, çıkış ve güç gereksinimlerine sahip uygulamalar için kullanılır. DA-DA dönüştürücülerin tasarımı ve kontrolü, dönüştürücünün özelliklerine, performans gereksinimlerine ve kullanım senaryolarına bağlı olarak çeşitli teknikler kullanılarak gerçekleştirilir.

DA-DA dönüştürücülerin çıkışında istenilen gerilimi ve akımı hassas ve kararlı bir şekilde elde edebilmek için iyi bir kontrol sistemine ihtiyaç duyar. Geri beslemenin olmadığı açık çevrim kontrol sistemlerinde değişken giriş gerilimi ve çıkış akımlarına bağlı olarak çıkış geriliminde istenmeyen değerler çıkabilir. Yaygın olarak kullanılan kapalı çevrim kontrol sistemlerinde ise çıkış parametreleri sürekli izlenerek hassas bir kontrol sağlanmış olur. Özellikle darbe genişlik modülasyonu ile üretilmiş anahtarlama sinyali ile kararlı ve kontrollü sonuçlar elde edilmektedir.

Günümüzde PID kontrol tekniği olarak kapalı çevrim otomatik kontrol sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Doğru akım sistemlerinde zaman gecikmeleri genellikle daha az olduğundan, hızdaki anlık değişimlerin önemi azalır. Bu nedenle DA-DA dönüştürücülerde PI kontrol tekniği kullanılmaktadır. (Ürgün ve diğ.,2008)

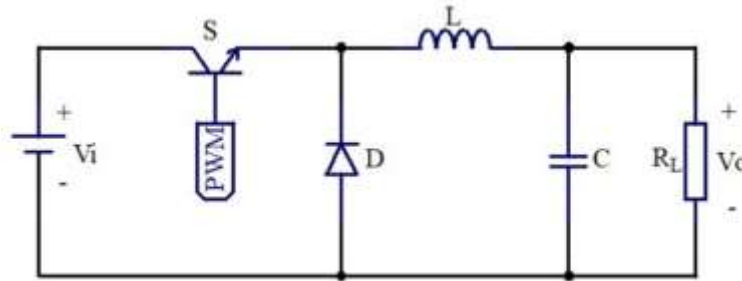
DA-DA dönüştürücülerde, tek döngü ile kullanılan PI denetleyicisi yapılan kontrollerde, değişken çıkış yükleri sırasında anlık ufak kararsızlıklar ve sapmalar yaşanmaktadır. Bu da çok hassas uygulamalar için sorun teşkil edebilmektedir. Buna karşılık, çift-döngü PI denetleyici tasarımı ile bu kararsızlıklar ve sapmaların minimize edildiği yapılan araştırmalar neticesinde görülmüştür.

Gelişen teknoloji ile mikrodenetleyiciler üzerinde dijital giriş ve çıkışlar, analog dijital yada dijital analog dönüştürücüler, PWM üreteçleri, zamanlayıcılar, birçok farklı türden haberleşme protokolleri ait portlar içermektedir. Ayrıca mikrodenetleyiciler yüksek hızlarda giriş parametrelerini örnekleyerek hesap yapabilmektedir. Çevre birimlerine bağlanan diğer sensör, modül yada başka denetleyiciler ile kabiliyetleri artırılabilir. Böylelikle mikrodenetleyiciler, DA-DA dönüştürücülerde hassas kontroller ve izlemeler için yaygın olarak kullanılmaktadır.

## DÜŞÜRÜCÜ TİP (BUCK) DA-DA DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

Düşürücü tip dönüştürücüler, girişinden uygulanan gerilimi, daha düşük gerilim seviyesine dönüştürmek için kullanılan bir güç elektroniği devresidir. En yaygın kullanılan DA-DA dönüştürücüler bu tip dönüştürücülerdir. Düşürücü tip DA-DA dönüştürücülerin giriş gerilimi ve/veya çıkış akımı değişse de çıkış gerilimi sabit ve kararlı olması gerekmektedir.

Şekil 1’de temel düşürücü dönüştürücü devresi görülmektedir.  $V_i$  giriş gerilim kaynağını, S anahtarlama elemanını (MOSFET, IGBT vb.), L endüktansı, D diyodu, C kondansatörü ve  $R_o$  çıkış yükünü temsil eder.  $V_i$ , DA akım kaynağından gelen gerilimi, S ile anahtarlara L endüktansına iletir. L ve C alçak geçiren filtre gibi davranarak  $R_o$  yükünü besler. Düşürücü tip dönüştürücüler genel olarak CCM yani sürekli iletim modunda çalışırlar.



Şekil 1. Temel düşürücü tip DA-DA dönüştürücü

DA gerilim kaynağı ( $V_i$ ), ilk eleman olan ve PWM tetikleme sinyali ile kontrol edilebilen bir anahtarlama yarı iletkenine (S) bağlanır. Bu yarı iletkenler yaygın olarak yüksek frekanslarda anahtarlama yapabilen ve son derece kararlı çalışabilen MOSFET yada IGBT seçilir.

Anahtarlama elemanından sonra kesim durumunda devreyi tamamlayacak ve anahtarlama frekansında çalışabilen hızlı diyot (D) yer alır . Daha sonra ise akım aktarma ve düşük geçiren LC filtre olarak L endüktansı ve C kondansatörü bulunmaktadır.

Bu çalışmada anahtarlama elemanı olarak MOSFET ve tetikleme sinyali olarak darbe genişlik modülasyonu (PWM) kullanılmıştır. DA-DA dönüştürücülerin analizi, anahtarın iletimde yada kesimde olduğu iki farklı durum için gerçekleştirilir.

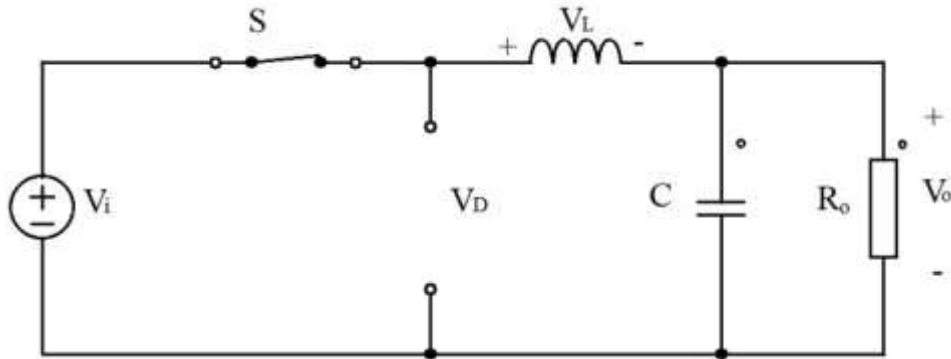
Düşürücü tip dönüştürücülerde S1 anahtarlama elemanı kontrol girişine uygulanan sinyalin T periyodu boyunca, iletim süresi ve kesim süresi aşağıda verilen eşitliklerde belirtildiği şekilde tanımlanabilir. (Penbegüllü, 2019)

$$t_{on} = D.T \quad (1)$$

$$t_{off} = (1 - D).T \quad (2)$$

D parametresi PWM sinyalinin T periyodu boyunca darbe genişlik oranını ifade etmektedir.

### S Anahtarının İletimde Olduğu Durum



Şekil 2. S anahtarının iletimde olduğu durum

Şekil 2. incelendiğinde S anahtarının iletimde olduğu ton süresi boyunca D diyodu ters polarize edildiğinden kesimdedir. Bu durumda, Vi kaynak gerilimi endüktans, kondansatör ve çıkışı beslemektedir. Tüm devre elemanları ideal kabul edilirse, endüktans üzerindeki gerilim Denklem (3) eşitliği ile ifade edilebilir. Diyot ve kondansatör üzerindeki gerilim ise Denklem (4)'de gösterildiği gibi giriş gerilimi ile aynıdır. (Penbegüllü, 2019)

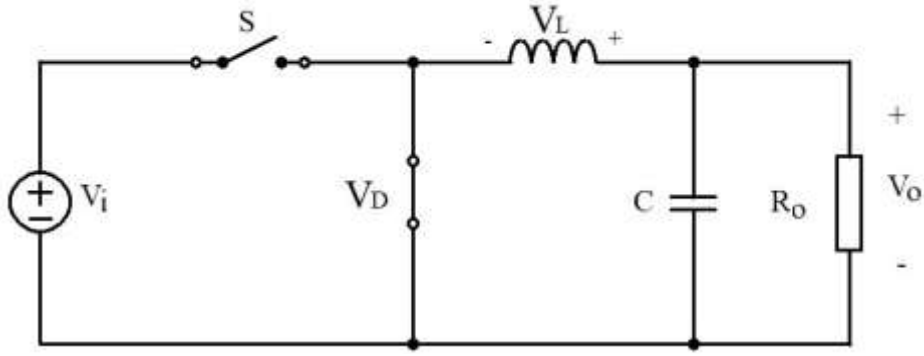
$$V_L = V_i - V_o \quad (3)$$

$$V_D = V_C = V_i \quad (4)$$

Endüktansta oluşan gerilim, endüktans akımını doğrusal bir şekilde artırır ve endüktansta enerji depolanır. İletim modunda çıkış geriliminin değişimi denklem (5)'de görülmektedir.

$$\frac{dV_o(t)}{d(t)} = \frac{1}{C} \left( i_L - \frac{V_o}{R_o} \right) \quad (5)$$

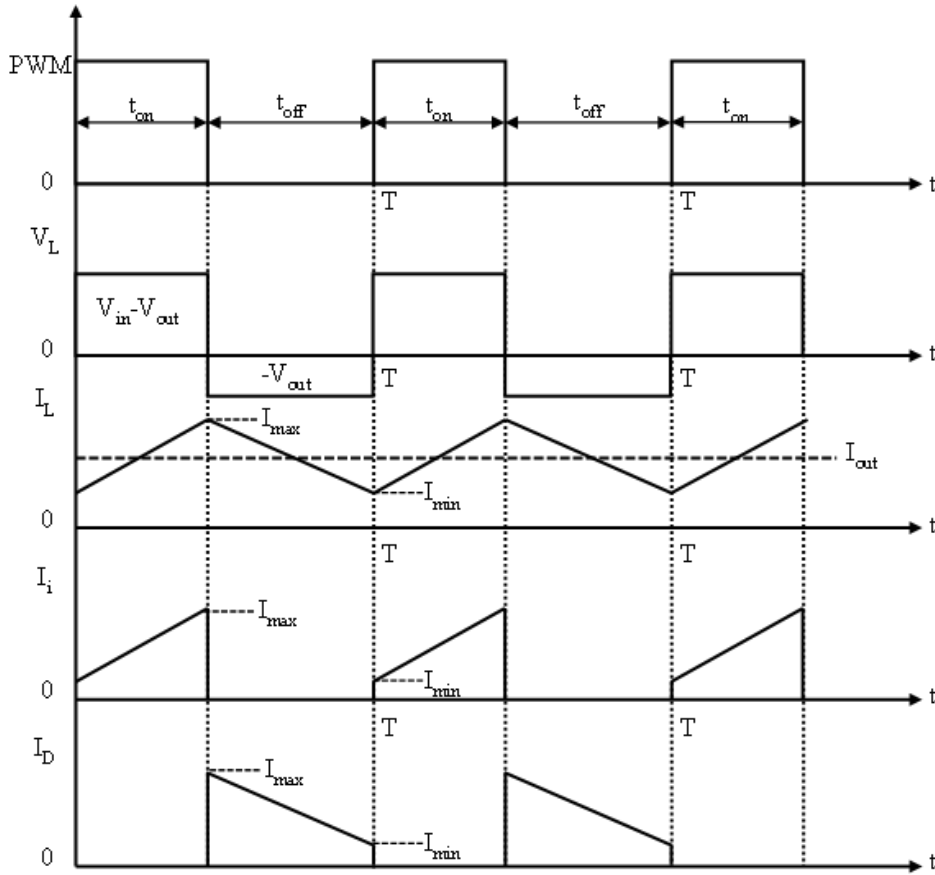
### S Anahtarının Kesimde Olduğu Durum



Şekil 3. S anahtarının kesimde olduğu durum

Şekil (2.5)'de S anahtarı kesimde olduğu toff süresi boyunca D diyodu iletme geçer. Giriş kaynak gerilimi devre dışı kalır. Endüktans üzerinde birikmiş olan enerji D diyodu üzerinden devreyi tamamlar. Bu durumda endüktans ters polarize olur. Kondansatör üzerindeki gerilim çıkış gerilimine eşit olur. Kesim modunda çıkış geriliminin değişimi denklem (6)'de görülmektedir. (Penbegüllü, 2019)

$$\frac{dV_o(t)}{d(t)} = \frac{1}{C} \left( \frac{i_L - V_o}{R_o} \right) \quad (6)$$



Şekil 4. Düşürücü tip dönüştürücünün temel akım ve gerilim dalga şekilleri

Şekil (4)'de düşürücü tip dönüştürücünün temel akım ve gerilim dalga şekilleri görülmektedir. T anahtarlama periyodu boyunca endüktans akımı, iletim zamanında enerji depolamakta, kesim zamanında ise deşarj moduna geçmektedir. Anahtarlama elemanı yada giriş kaynağındaki akım iletim zamanında doğrusal olarak yükselmekte, kesim zamanında ise sıfıra geçmektedir. Diyot akımı ise S'in iletim anında iken kesimde, S'in kesim anında iletme geçerek endüktans akımına bağlı olarak düşmektedir. (Yaldız 2019)



Denklem (7)'de görüldüğü üzere düşürücü tip DA-DA dönüştürücülerde çıkış gerilimi, giriş geriliminin doluluk oranına göre değiştiği görülmektedir.

$$V_o = V_i \cdot D \quad (7)$$

Denklem (20)'de görüldüğü üzere düşürücü tip DA-DA dönüştürücülerde temelde çıkış gerilimi, giriş geriliminin PWM sinyalinin doluluk oranına çarpımı sonucu elde edilir.

Kritik endüktans değerinin hesaplanması için Denklem (8) kullanılmaktadır. (Hauke, 2015)

$$L_{min} \geq \frac{R_o \cdot (1-D)}{2f} \quad (8)$$

Çıkış kondansatör değeri Denklem (9) hesaplanmaktadır. (Lee,2015)

$$C \geq \frac{V_{out} \cdot (1-D)}{8 \cdot f^2 \cdot L \cdot \Delta V_o} \quad (9)$$

## SİMÜLASYON

### Tasarım

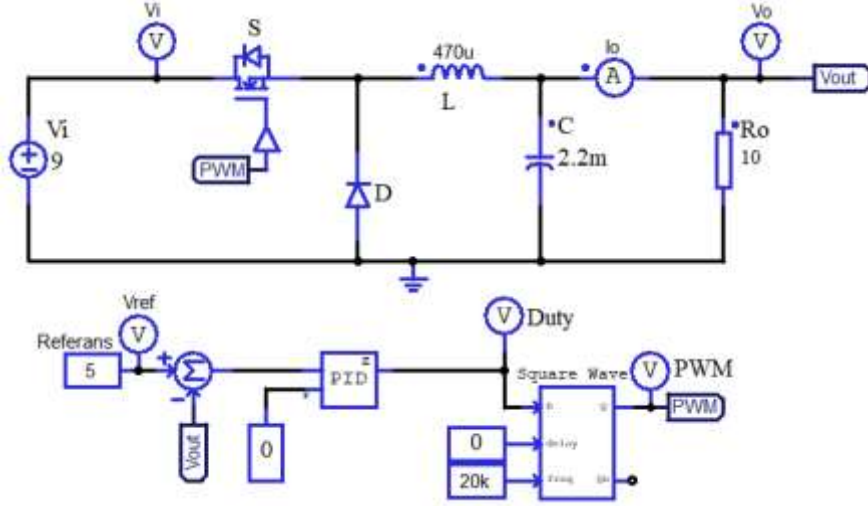
Elde edilen denklemler doğrultusunda bu çalışma için gerekli devre elemanlarının değerlerinin hesaplanabilmesi için öncelikle giriş gerilim seviyesi, çıkışta istenen gerilim değeri, anahtarlama frekansı, çıkış yükü ve çıkış geriliminin dalgalanma oranının seçilmesi gerekmektedir. Bu çalışma için seçilen tasarım kriterleri aşağıda gösterilmektedir.

Tablo 1. Düşürücü tip DA-DA dönüştürücü tasarım kriterleri ve seçilen eleman değerleri

Tasarım Parametreleri	Açıklama	Hesaplanan/ Seçilen Değer
$V_i$	Giriş gerilimi	9 V
$V_o$	Çıkış gerilimi	5 V
$f$	Anahtarlama frekansı	20 kHz
$R_o$	Yük direnci	4,7 $\Omega$
$\% \Delta V_o$	Çıkış gerilimi dalgalanma yüzdesi	0,01
$L$	Minimum endüktans değeri	470 $\mu$ H
$C$	Minimum kondansatör değeri	2,2 mF

### Gerilim Geri Beslemeli Tek Çevrim PI Kontrollü Simülasyon

PSIM ile tasarlanan açık çevrim ve kontrolsüz devreye, PID bloğu eklenerek gerilim geri beslemeli kapalı çevrim kontrol haline getirilmiştir. Sabit doluluk oranı yerine PID bloğu tarafından hesaplanan doluluk oranı ile PWM sinyali üretilmektedir.



Şekil 5. Kapalı çevrim düşürücü tip DA-DA dönüştürücü temel devre şeması

Şekil (5) incelendiğinde devre şeması iki bölümden oluştuğu görülmektedir. Üstte giriş kaynağı, anahtarlama elemanı, endüktans, diyot ve kondansatörün bulunduğu güç bloğu, aşağıda sayısal denetimin yapıldığı kontrol bloğu bulunmaktadır.

Kontrol bloğu öncelikle referans gerilimi ile çıkış gerilimini karşılaştırmaktadır. Referans ile çıkış gerilimi arasındaki fark, hata sinyali olarak PID bloğunun hata giriş ucuna bağlanmaktadır. PID bloğu kazanç katsayılarına bağlı olarak bir çıkış sinyali üretmektedir. PID çıkış sinyali, PWM için doluluk oranını belirleyen sinyaldir. Kare dalga üretici tarafından doluluk oranına göre PWM sinyali üretilir ve bu sinyal anahtarlama elemanının tetikleme ucuna girmektedir. Böylelikle kapalı çevrim bir kontrol sağlanmış olur.

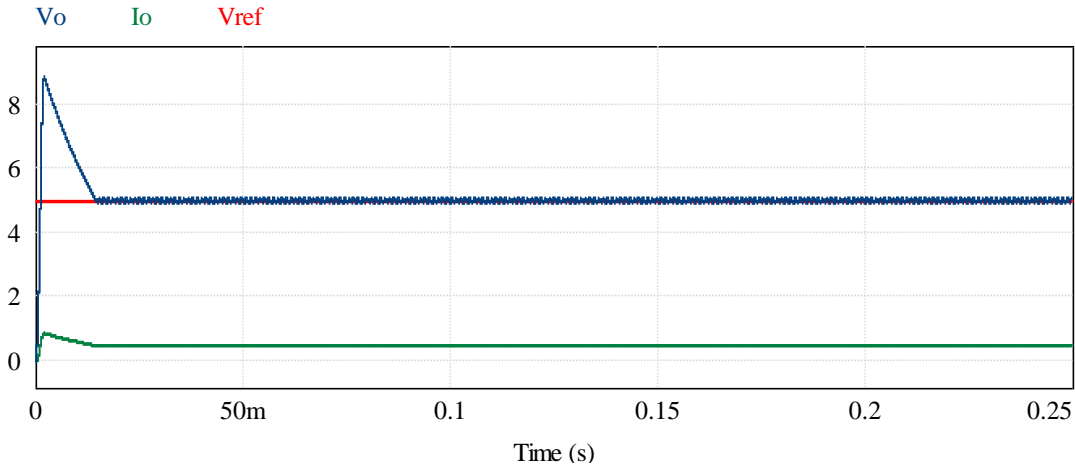
Bu çalışmada Ziegler-Nichols kazanç katsayıları belirleme metodu uygulanmıştır. (Bodur, 2011) Ziegler-Nichols metodunun adımları uygulanarak  $K_c = 0,44$  olarak belirlenmiş ve sistematik bir salınım oluşmuştur. Oluşan salınının periyodu  $T_c = 2,7$  ms olarak ölçülmüştür. PI kontrolör için aşağıdaki denklemler ile katsayılar elde edilmiştir.

$$K_p = \frac{K_c}{2,5} = \frac{0,44}{2,5} = 0,176 \quad (10)$$

$$T_i = \frac{T_c}{1,25} = \frac{2,7 \cdot 10^{-3}}{1,25} = 2,16 \cdot 10^{-3} \quad (11)$$

$$K_i = \frac{K_p}{T_i} = \frac{0,176}{2,16 \cdot 10^{-3}} = 81,48 \quad (12)$$

Hesaplanan PI kazanç katsayıları simülasyon programına girilerek aşağıdaki sonuçlar bulunmuştur;



Şekil 6. Kapalı çevrim kontrol sonucu çıkış gerilimi ve çıkış akımı grafiği

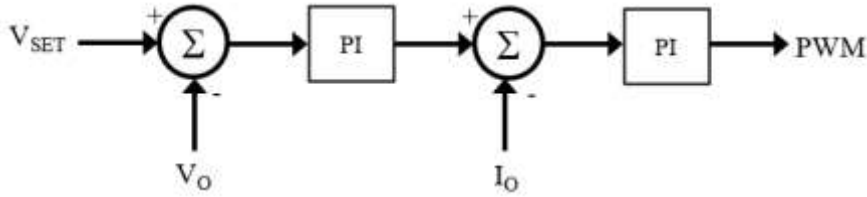


Şekil (6)'de PI kontrolör ile kapalı çevrim kontrol edilen devrenin çıkış gerilimi ve çıkış akımı grafiği görülmektedir. Açık çevrim simülasyonda sistem 70 ms'den sonra kararlı hale gelirken, kapalı çevrimde bu süre 16 ms'dir. Ayrıca açık çevrimde çıkış gerilimi 4,3 V iken, kapalı çevrimde ise çıkışta 5V elde edilmiştir.

Çıkan sonuçlar değerlendirildiğinde PI kontrolör ile kapalı çevrim kontrol edilen dönüştürücülerin açık çevrim sistemlere göre daha kararlı ve hassas olduğu açıkça görülmektedir.

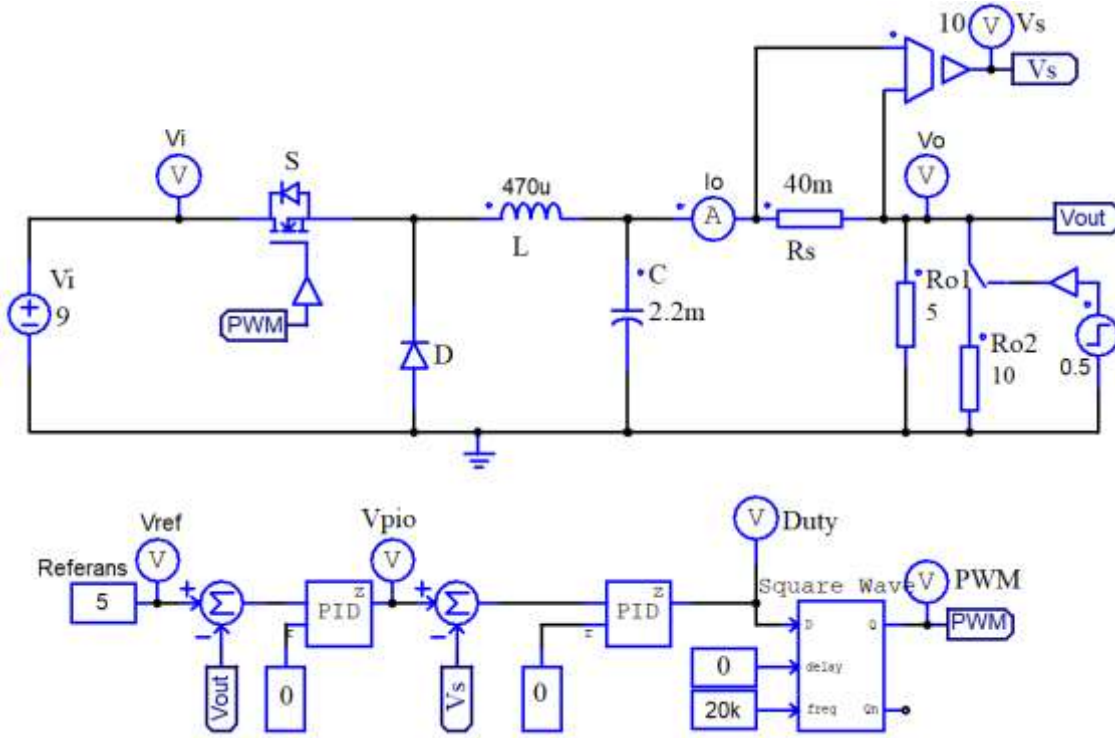
### Çift-Döngü PI Denetimli Düşürücü Tip DA-DA Dönüştürücü Simülasyonu

DA-DA dönüştürücülerde, tek döngü ile kullanılan PI denetleyicisi yapılan kontrollerde, değişken çıkış yükleri sırasında anlık ufak sapmalar yaşanmaktadır. Bu da çok hassas uygulamalar için sorun teşkil edebilmektedir. Buna karşılık, çift-döngü PI denetleyici tasarımı ile bu kararsızlıklar ve sapmaların minimize edildiği yapılan araştırmalar neticesinde görülmüştür.



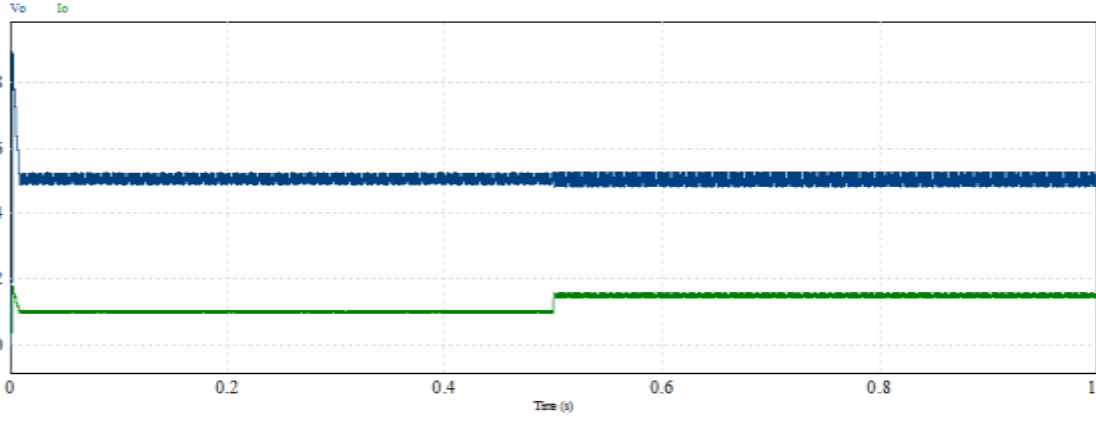
Şekil 7. Çift-Döngü PI denetim temel şeması

Çift-Döngü PI denetimli tasarımda birbiri ardı iki ayrı PI denetleyici bulunmaktadır. Şekil (7)'de görüldüğü üzere ilk döngü, gerilim geri beslemeli PI denetleyicidir. Bu PI denetleyicinin çıkışı, çıkış akım bilgisi ile karşılaştırılarak ikinci bir PI denetleyiciye girmektedir. İkinci PI denetleyicide üretilen PWM sinyali ile anahtarlama elemanı tetiklenmektedir. (Özdemir, 2017)



Şekil 8. Çift-döngü PI denetimli düşürücü tip DA-DA dönüştürücü devre şeması

Akım geri beslemeli denetleyici için Ziegler-Nichols yöntemi uygulanarak  $K_p$  katsayısı 0,04,  $K_i$  katsayısı 8,81 olarak belirlenmiştir.



Şekil 9. Çift-döngü PI denetimli düşürücü tip DA-DA dönüştürücünün çıkış gerilim ve akım dalga şekilleri

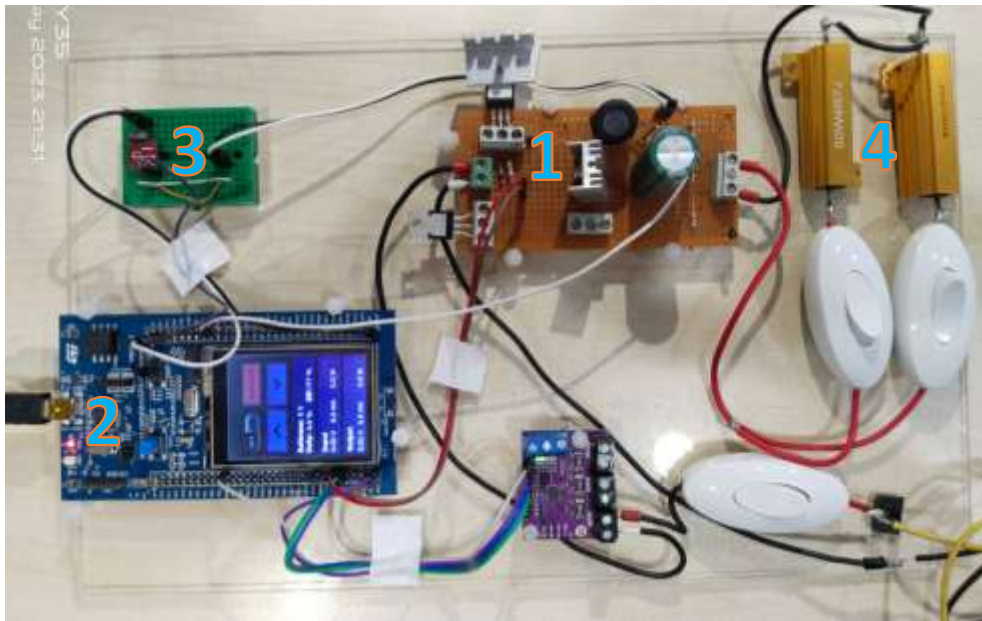
Şekil (9)'de Çift-döngü PI denetimli düşürücü tip DA-DA dönüştürücünün çıkış gerilim ve akım dalga şekilleri görülmektedir. Simülasyon başlatıldıktan 0,5 sn sonra akımın 1,5 kat artırıldığı ve çıkış geriliminde herhangi bir değişimin oluşmadığı görülmektedir.

Tablo 2. Simülasyon karşılaştırma tablosu

Denetim Türü	Kararlı Duruma Geçiş Süresi	Çıkış Gerilimi
Açık çevrim	70 ms	4,3 V
Tek-döngü PI	16 ms	5 V
Çift-döngü PI	8.5 ms	5 V

Tablo (2)'de yer alan karşılaştırma değerleri incelendiğinde çift-döngü PI denetleyici ile kontrol edilen sistemin, kararlı duruma diğer denetim türlerine göre çok daha erken geçtiği ve akım değişimine rağmen çıkış gerilimini koruduğu açıkça görülmektedir.

### GERÇEKLEŞTİRİLEN SİSTEM



Şekil 10. Düşürücü tip DA-DA dönüştürücü deney düzeneği

(1) DA-DA dönüştürücü (2) Mikrodenetleyici geliştirme kartı

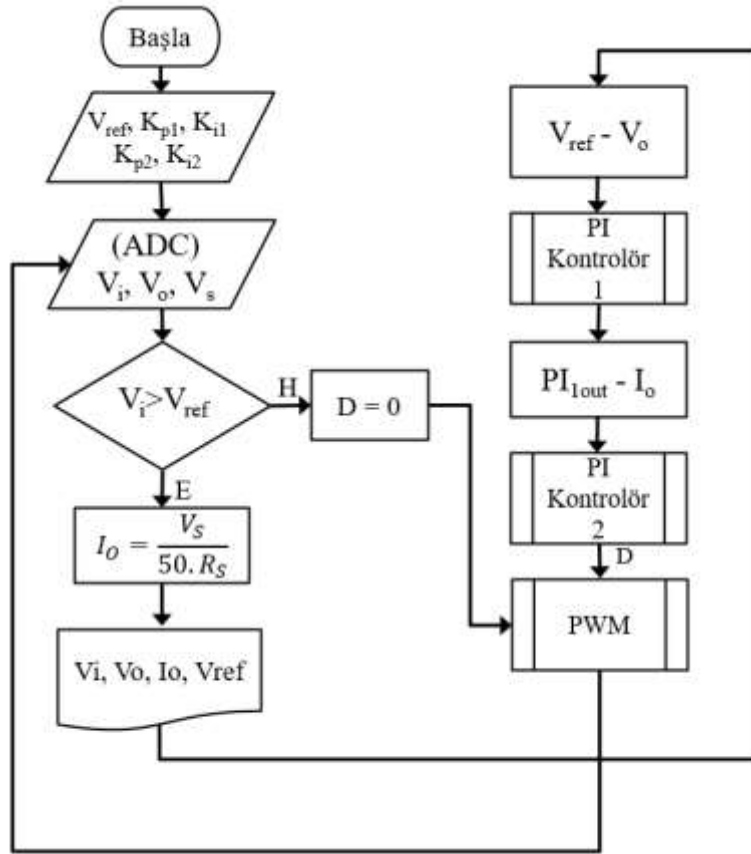
(3) Şönt gerilimi yükselteç entegresi (4) Yük dirençleri ve devre anahtarları

Düşürücü tip DA-DA dönüştürücünün gerçek modelini oluştururken denetleyici giriş ve çıkış sinyallerinin belirlenmesi gerekmektedir. Şekil (8)'de çift-döngü PI denetimli düşürücü tip DA-DA dönüştürücü devre şeması incelendiğinde, güç bloğundan denetleyiciye çıkış gerilim bilgisi, şönt direnç gerilim bilgisi olmak üzere 2 adet giriş gerilim sinyali, 1 adet PWM çıkış sinyali olduğu görülmektedir.

Tez konusu çalışmada denetleyici gerçekleştirmesi için, Arm Cortex-M4 32 Bit çekirdeğe sahip 180MHz hızında çalışan STM32F429 mikrodenetleyicisine sahip STM32F429I-DISCO geliştirme kartı kullanılmıştır. Mikrodenetleyici üzerinde 3 adet 12 bitlik analog dijital dönüştürücü (ADC) modülü bulunmaktadır. Gerilim bilgileri bu ADC'ler tarafından okunmaktadır. Referans set değeri dokunmatik ekran üzerinden belirlenmektedir. (STMicroelectronics, 2021).

Devrede akım bilgisi için 40 mΩ değerinde şönt direnç kullanılmıştır. Gerilim düşümü değerini yükselterek hassasiyeti arttırmak hem de akımın gidiş yönünde okuma yapabilmek için 50V/V kazançla sahip INA190 yükselteç entegresi kullanılmaktadır.

### Algoritma



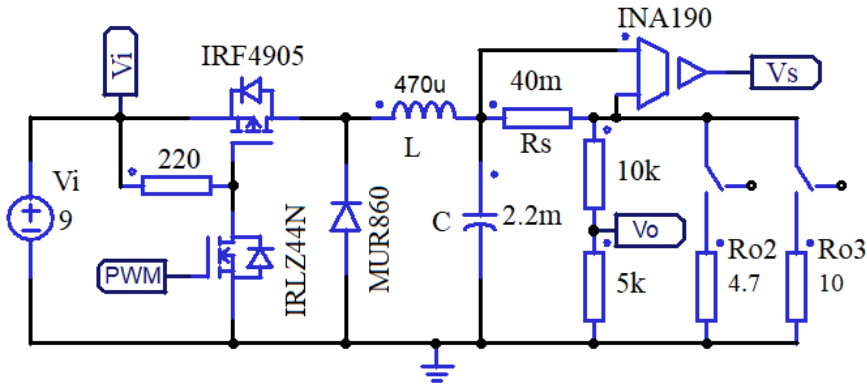
Şekil 11. Çift-döngü PI denetimli düşürücü tip dönüştürücünün denetim algoritması

### Güç Bloğu

Anahtarlama elemanının mikrodenetleyiciden gelen PWM sinyalleri tarafından tetiklenebilmesi için sürücü elemanı kullanılmıştır. Sürücü devre elemanı hem sayısal denetleyiciler ile tetiklenebilmekte hem de güç bloğu ile mikrodenetleyici arasında bir yalıtım sağlamaktadır.

Tablo 3. Gerçekleştirilen sistem için kullanılan devre elemanları

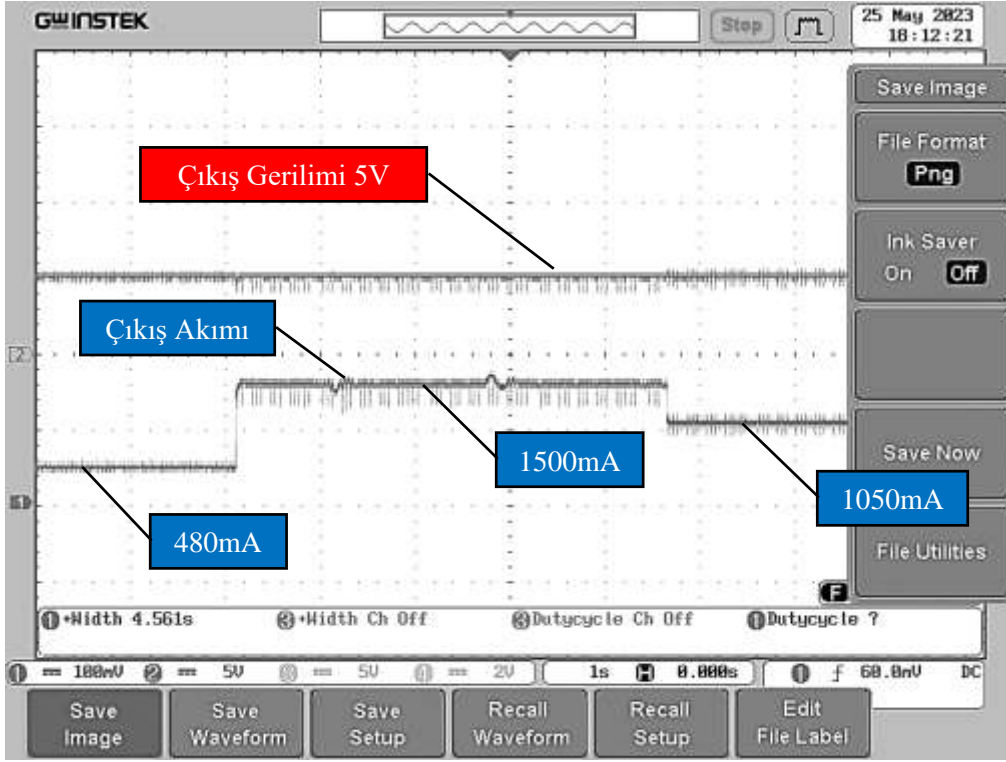
Devre Elemanları	Açıklama	Hesaplanan/ Seçilen Değer
$V_i$	Giriş gerilimi	9 V
$V_s$	Referans gerilimi	5 V
$f$	Anahtarlama frekansı	20 kHz
$R_o$	Yük dirençleri (paralel)	$4,7 \Omega + 10 \Omega$
S	Anahtarlama Elemanı	IRF4905
$S_2$	Sürücü Elemanı	IRLZ44N
L	Endüktans değeri	$470 \mu\text{H}$
C	Kondansatör değeri	2,2 mF
D	Hızlı Diyot	MUR860
$R_s$	Şönt Direnç	40 m $\Omega$
	Yükselteç Entegresi	INA190A2



Şekil 12. Düşürücü tip DA-DA dönüştürücü gerçekleştirme şeması

## DENEYSSEL SONUÇLAR

Düşürücü tip DA-DA dönüştürücü deney düzeneği çalıştırıldığında farklı yük ve referans gerilimlerine göre sonuçlar elde edilmiştir. Kullanılan osiloskop GW Instek markasına ait 4 kanal 350 Mhz özelliklerine sahiptir. Akım probu 100mV/A kademesinde ölçüm yapılmıştır.



Şekil 13. Farklı yük durumları için çıkış akım ve gerilim

## SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışmanın en başından itibaren adım adım düşürücü tip DA-DA dönüştürücülerin tasarımı ve kontrolünün yapılması amaçlanmıştır. Özellikle denetleyicilerin, tüm DA-DA dönüştürücüler için önemi üzerine durulmuştur. Bu çalışmada PI denetleyicilerin çıkış gerilimi üzerine etkileri açıkça görülmüştür.

Tasarlanan sistem değişken yük durumları için test edilmiştir. Şekil (13)'de görüldüğü üzere çıkış akımı 3 katına çıkarılmasına rağmen çıkış gerilimindeki herhangi bir bozulma görülmemiştir. Çıkış yükü düşürülmesi ile çıkış geriliminin kararlılığı devam etmiştir.

Sonuç olarak hem gerilim hem de akım geri beslemeli çift-döngü PI denetimli DA-DA dönüştürücülerin, değişken çıkış akımlarında daha kararlı ve hassas bir çıkış gerilimi ürettiği gözlemlenmiştir.

## KAYNAKÇA

Bodur, A., (2011). *Kontrol Sistemleri Notları Giriş (1.Kitap)* (1. Baskı). TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası, Ankara: TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası

Hauke, B., (2015). Basic Calculation of a Buck Converter's Power Stage, Texas Instruments. Application Report, SLVA477B. Texas, USA.

Lee, J., (2015). Basic Calculation of a Buck Converter's Power Stage, Richtek Technology Corporation. Application Note, AN041. Hsinchu, Taiwan.

Özdemir, A., Erdem, Z., (2017). Double-Loop PI Controller Design Of The DC-DC Boost Converter With A Proposed Approach For Calculation Of The Controller Parameters. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part I: Journal of Systems and Control Engineering*, 232(2) DOI: 10.1177/0959651817740006.

Penbegüllü, İ., (2019). Düşürücü Tip DC-DC Dönüştürücünün Optimize Edilmiş PID Kontrolü, Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce, 579540.

STMicroelectronics. (2021). STM32F405/415, STM32F407/417, STM32F427/437 and STM32F429/439 Advanced Arm®-based 32-bit MCUs. Reference Manual, RM0090.



Ürgün, S., Erfidan T., Çoruh N., (2008). DA DA Buck Tipi Dönüştürücü Tasarımı ve Gerçeklenmesi, *Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu (ELECO-2008)*, Bursa, Türkiye, 26-30 Kasım 2008.

Yalduz, H., (2015). DA-DA Düşüren Dönüştürücü Tasarımı ve PI Kontrolü. Yüksek Lisans Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van, 476392.



## DOĞALGAZ HATLARINDA KULLANILACAK YENİ NESİL EMNİYET KAPATMA VANASININ GELİŞTİRİLMESİ

### DEVELOPMENT OF NEW GENERATION SAFETY SHUTOFF VALVE TO BE USED IN NATURAL GAS LINES

*Atıl ERİM*

*Eska Valve Ar-Ge Merkezi, Sakarya I. OSB Arifiye/Sakarya*

*ORCID ID: 0009-0009-6232-8224*

**Prof. Dr. Hüseyin PEHLİVAN**

*Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakülte, Makine Bölüm, Sakarya, Türkiye*

*ORCID ID: 0000-0003-3048-8986*

#### ÖZET

Bu çalışma kapsamında 20 Bar Anma Basıncı Doğalgaz Hatlarında Görev Yapacak Emniyet Kapatma Vanasının Yapısal, Mekanik, Operasyonel ve Ömür Kriterleri Çerçevesinde tasarımı ve prototip ürün imalatı gerçekleştirilmiştir. Muadil ürünlerde kullanılmayan Krameyer Dişli Grubu, Bileşke Yay Grubu, Slider-Cranck Mekanizma ve Kombine Tetikleyici gibi bileşenler yeni üründe kullanılmıştır. Doğalgaz iletim ve dağıtım hatlarında giriş basıncı 100 Bar'a kadar olan gaz basınç ayarlama istasyonlarında kullanılan gaz basınç regülatörleri EN 334 ve EN 14382 standartlarına tabidir. Bu standartlar çerçevesinde belirtilen fonksiyon testleri gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen yeni ürünle, Emniyet Kapatma Basıncı Toleransının  $\pm\%5$  Olması, Tepki Süresinin 1,5 saniyeye düşürülmesi, Basınç Artışına ve düşüşüne olanak sağlaması, Emniyet Kapatma Vana Çalışma Sıcaklık Aralığının  $-30^{\circ}\text{C}$  ile  $60^{\circ}\text{C}$  aralığına genişletilmesi, Emniyet Kapatma Vana Ömrünün 200.000 çevrime ulaşması sağlanmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Emniyet Kapatma vanası, Krameyer Dişli, Slider-Crank.

#### ABSTRACT

Within the scope of this study, the design and prototype product production of the Safety Shutoff Valve to serve in 20 Bar Nominal Pressure Natural Gas Lines was carried out within the framework of Structural, Mechanical, Operational and Life Criteria. Components that are not used in equivalent products such as Rack Gear Group, Composition Spring Group, Slider-Cranck Mechanism and Combined Trigger are used in the new product. Gas pressure regulators used in gas pressure adjustment stations with inlet pressure up to 100 Bar in natural gas transmission and distribution lines are subject to EN 334 and EN 14382 standards. Function tests specified within the framework of these standards were carried out. With the new product developed, Safety Closing Pressure Tolerance is  $\pm 5\%$ , Response Time is reduced to 1.5 seconds, Pressure Increase and Decrease is allowed, Safety Shutoff Valve Working Temperature Range is extended to  $-30^{\circ}\text{C}$  to  $60^{\circ}\text{C}$ , Safety Shutdown Valve Life is 200.000 cycle has been achieved.

**Keywords:** Safety Shutoff valve, Rack Gear, Slider-Crank.

#### GİRİŞ

Doğal gaz hatlarında kullanılan tüm komponentler belirli operasyon şartlarında (basınç, debi), birbirleri ile uyumlu çalışmak kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Günümüzde sektörel trendlerin geldiği nokta valflerin hat üzerinde sadece aç-kapa görevi yapma ile sınırlı kalmaması, aynı zamanda hattın çalışma/operasyon basınç aralığına da bağlı olarak güvenlik işlevi de görebilecek altyapıya sahip

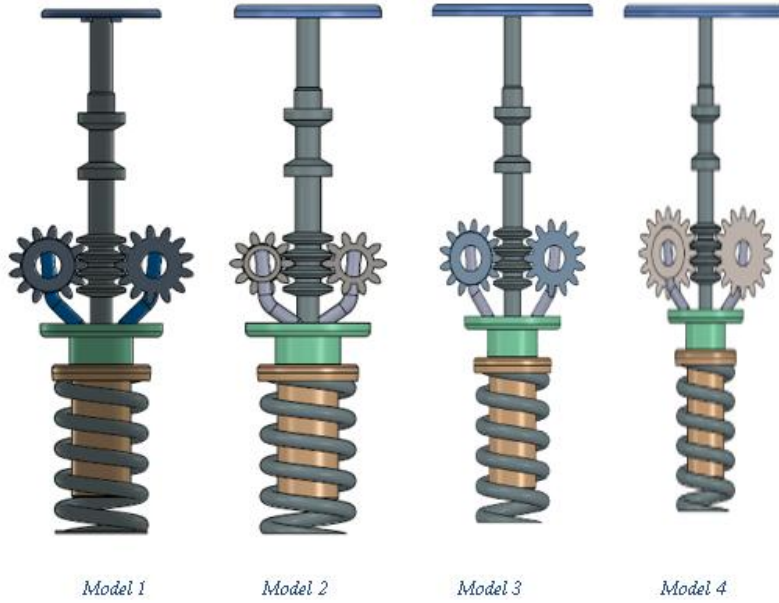
olmasını gerektirmektedir. Fakat, klasik/konvansiyonel emniyet kapatma vana mekanizmaları artan doğalgaz kullanımı kapasitesi yüzünden tüm hedeflerin sağlanması mümkün değildir.

Artan doğalgaz kullanımı beraberinde doğalgaz hatlarında yüksek debi ve basınçta doğalgaz iletilmesi gerekmektedir. Mevcut emniyet kapatma sistemlerin temeli oluşturan yay sistemi artan basınç kuvvetleriyle hassasiyetini kaybetmektedir. Yay yerine anlık basınç kontrolü yapabilecek bir sistemin geliştirilmesi gerekmektedir. (Duchemin, M., Collee, V. 2016)

Bahsetmiş olduğumuz hassasiyet kaybının ortadan kaldırılması için Krameyer Dişli Grubu, Bileşke Yay Grubu, Slider-Cranck Mekanizma, Kombine Tetikleyici içeren bir bileşke sistem bu çalışma kapsamında geliştirilmiştir ve doğalgaz yönetmeliği ve standartlarında istenilen performans göstergeleri sağlanmıştır. (Duchemin, M., Collee, V. 2016)

## YÖNTEM

Öngörülen vana başarı hedefine ulaşabilmek için 4 farklı model geliştirilmiştir. İlgili tasarım çalışmalarını Şekil1'de görebilirsiniz. Bu modeller geliştirilirken işletmemizin yetkinliği, sektörün beklentisi ve maliyet kalemleri düşünülerek tasarımlar gerçekleştirilmiştir.



Şekil1. Alternatif Tasarım Çalışmaları. (Zhang, Z., Xu, L., Flores, P.2014)

Öngörülen alternatif tasarımlarda kullanılabilinecek malzemelerin isimleri ve mekanik özellikleri aşağıdaki tabloda gösterilmiştir. Bu malzemelerin seçiminde muadil ürünlere göre işlenebilirlik ve sertlik dayanımı özelliklerin yüksek olmasına önem verilmiştir.

AISI431: Paslanmaz çeliği, ön sertleştirilmesi yapılmış, mekanik dayanımı yüksek bir paslanmaz çelik kalitesidir. Bu kalite EN normuna göre 1.4057 ya da X17CrNi16-2, UNS normuna göre ise S43100 olarak adlandırılmaktadır.

431 paslanmaz çeliğinin çekme dayanımı, uzama katsayısı ve akma dayanımı EN 334 ve EN 14382 standartlarında belirtilen sınır koşulları arasında kalmaktadır.

431 kalite paslanmaz çelik ısıtılı işleme birlikte kopmaya karşı direnci çok yüksek hale getirilebilen bir paslanmaz çelik türüdür olmasından kaynaklı emniyet kapatma vanamızda kuvvete maruz kalan parçalarında bu paslanmaz çelik türü tercih edilmiştir.





**Tablo1.** Tablo Sistemde Kullanılan/Kullanılabilecek Malzemelerin Mekanik Özellikleri

	<b>AISI 420</b>	<b>AISI 431</b>	<b>AISI 4130</b>	<b>EN 10270-1</b>	<b>Pirinç</b>
<b>Elastisite Modülü (N/mm<sup>2</sup>)</b>	215.000	215.000	205.000	210.000	100.000
<b>Poisson Oranı</b>	0,28	0,28	0,285	0,28	0,33
<b>Yoğunluk (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	7700	7700	7850	7800	8500
<b>Çekme Dayanımı (N/mm<sup>2</sup>)</b>	750	850	731	600	478
<b>Akma Dayanımı (%0,2)(N/mm<sup>2</sup>)</b>	600	750	460	295	239
<b>Termak Uzama Katsayısı (K)</b>	1,1x10 <sup>-5</sup>	1,1x10 <sup>-5</sup>	1,1x10 <sup>-5</sup>	1,1x10 <sup>-5</sup>	1,8x10 <sup>-5</sup>

Pirinç: Emniyet kapatma vanamızda fazla kuvvete maruz kalmayan parçalarda ham madde maliyetinin ucuzluğundan ve kolay işlenebilir durumda olmasından kaynaklı pirinç hammadde tercih edilmiştir. (Pau, M., Leban, B., Baldi, A. 2012)

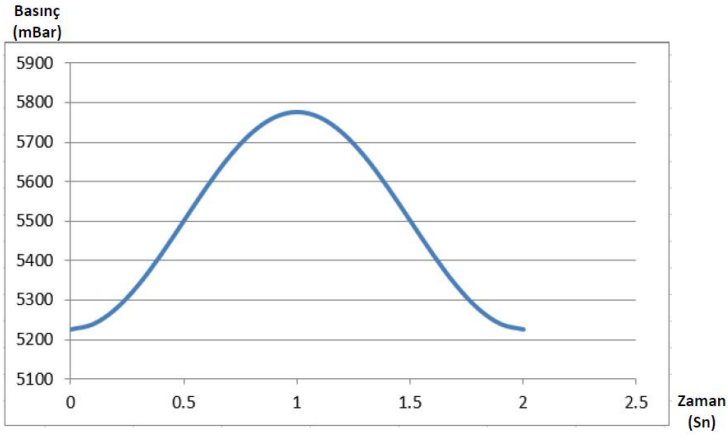
Çalışma kapsamında; Gövdenin ve Metal İç Bölme Duvarlarının Dayanıklılık Testi, Dış Sızdırmazlık Testi, Patlama Basıncı Ölçüm Testleri, Performans Testleri, Çevre Sıcaklığı Testleri, Ömür Testleri, Plastik Malzemelerin Sıvı Direnç Testleri gerçekleştirilmiştir. (Mary Ann Lundteigen 2008)

Diyafram üzerine etki eden basınç fonksiyonuna göre Nonlinear İmplicit Transient çözücü ile zamana bağlı kinematik analiz yapılmıştır.

Kremiyer ve pinyon malzemesi AISI 420 çelik malzeme alınmıştır. (Verl, A., Engelberth, T. 2018).

Yay malzemesi EN 10270 1 olarak tanımlanmıştır. (Sanmiguel, R.E., Hidalgo, M.M., Jimenez, G.J.I. 2015). Kinematik analizde yayın sıkışma süresi içerisindeki kremiyer ve pinyon arasındaki sürtünme kuvvetleri hesaplanmıştır. Zamana bağlı olarak statik basınç denklemi;

$P = 5000 + 275 \times (2 \times -0.5/1.5)(\text{mBar})$  değeri ile hesaplanmıştır. (Rhee, J.K., Akay, A. 1996)



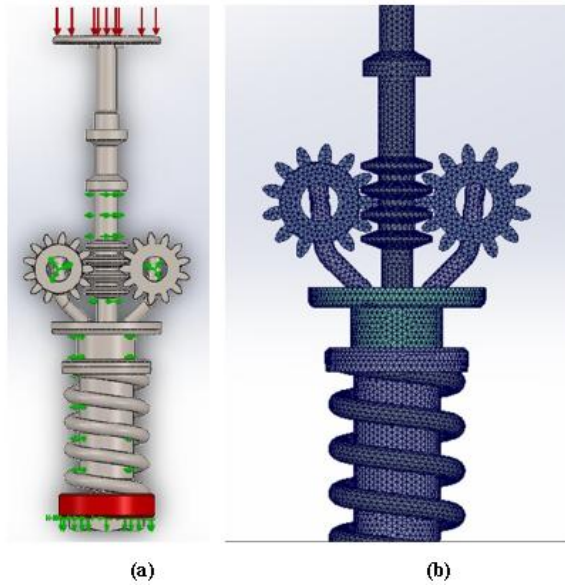
0	-0.5	5225
0.1	-0.4	5238.459
0.2	-0.3	5277.52
0.3	-0.2	5338.359
0.4	-0.1	5415.02
0.5	0	5500
0.6	0.1	5584.98
0.7	0.2	5661.641
0.8	0.3	5722.48
0.9	0.4	5761.541
1	0.5	5775
1.1	0.6	5761.541
1.2	0.7	5722.48
1.3	0.8	5661.641
1.4	0.9	5584.98
1.5	1	5500
1.6	1.1	5415.02
1.7	1.2	5338.359
1.8	1.3	5277.52
1.9	1.4	5238.459
2	1.5	5225

**Grafik 1.** Zamana Bağlı Basınç Eğrisi

Kullanılan Ansys programına ait Model ve Mesh yapıları aşağıdaki gibidir;

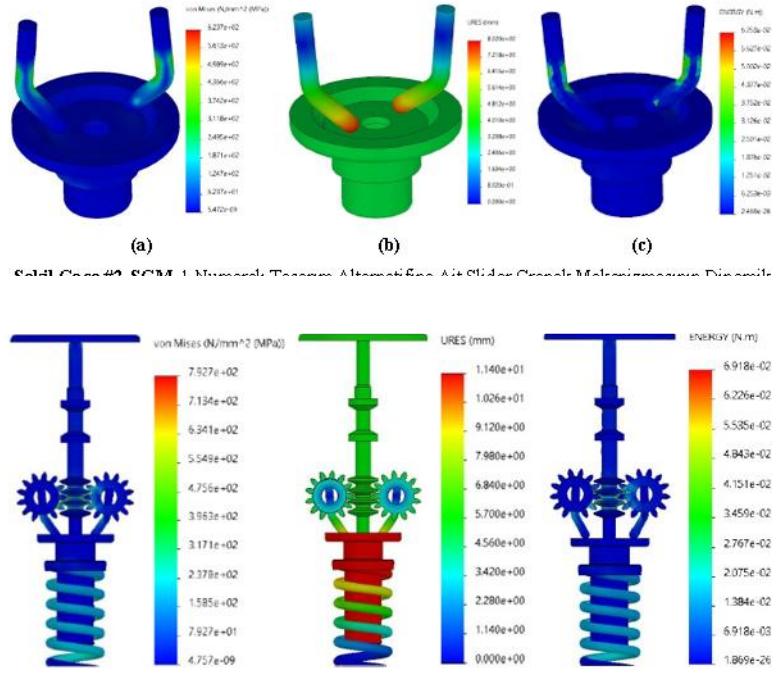
- Mesh metodu: Blended curvature based mesh,
- Max element boyutu: 1.5 mm,
- Min element boyutu: 0.3 mm,
- Node sayısı: 293334,
- Element sayısı: 179238,

Şekil 2’te alternatif tasarımlar arasından seçilen model üzerine yukarıda belirtilen analiz değerleri için oluşturulan analiz görselleri yer almaktadır.



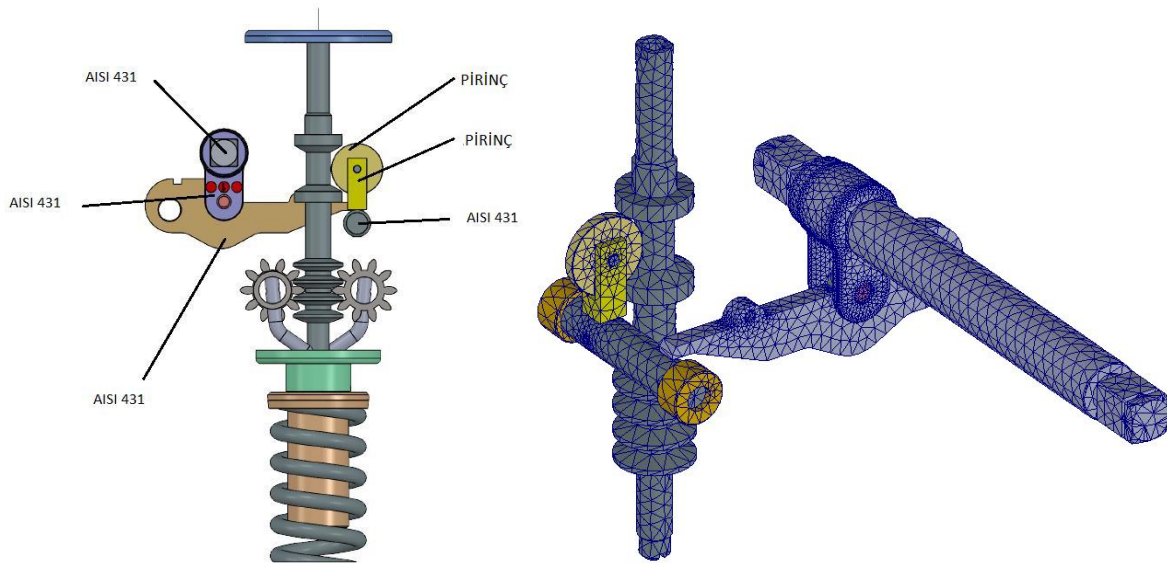
**Şekil 2.** Bileşke Sistemde Uygulanan Sınır Şartlar (a) ve Sayısal Ağ (b)

Şekil 3'te alternatif tasarımlar arasından seçilen tasarım üzerinde uygulanan analiz çalışmalarından görselleri bulabilirsiniz.



Şekil 3. Slider Cranck Mekanizmasının Dinamik Yüklemenin t:1 s anındaki Gerilme (a), Yer Değişirme (b) ve Gerilme Enerjisi (c) (Wang, X., Liu, G. 2015)

Sistemdeki en yüksek eş değer gerilme, kuvvet milinin ucunda 792 MPa, en yüksek gerilme enerjisi, kuvvet milinin ortasında 69 N.mm, en yüksek deformasyon, kuvvet milinin ucunda 11,4 mm olarak analiz programı tarafından hesaplanmıştır. Bulunan değerlerin aşağıda yer alan literatürler ile karşılaştırılması sonucunda uyum sağladığı görülmüştür. (Li, S.H., Han, X.Y., Wang, J.Q. 2018) Pinyon Dişli ve Yatağı arasındaki temas kuvvetini 1183 N bulunmuştur. (Smardzewski, J. 2013), (Nguyen, T.A., Phan, H., Loan, T.K. 2016) Mevcut sistem parametrelerinde Yay ve Dişli malzemesinin uygun olduğu görülmüş Krameyer Dişli Mızrağının 5,5 mm hareketi Kombine Tetikleyici Mekanizmasını harekete geçireceği öngörülmüştür. Geliştirilen ve tasarlanan sisteme ait (Model 3) montajlanmış hali ve mesh yapısı Şekil 4 de yer almaktadır.



Şekil 4. Sistemde Kullanılan Malzemeler ve Mesh Yapısı. (Silveira, A.R.G., Daniel, G.B. 2019)

Sistemdeki en yüksek eş değer gerilme, tetikleyici ucunda 51 MPa, en yüksek gerilme enerjisi, tetikleyici kol bağlantısında 0,5 N.mm, en yüksek deformasyon, hareketli mafsal üzerinde 12,5 mm olarak ölçülmüştür.



Şekil 5: Prototip Testleri

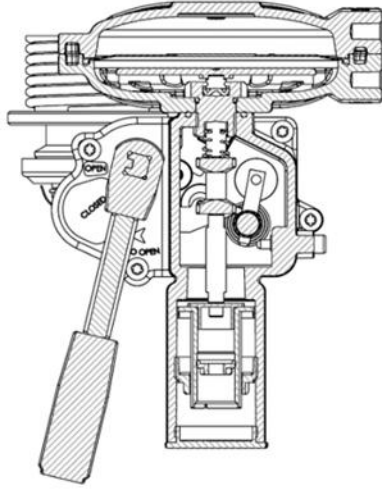
## BULGULAR

Alternatif prototipler üzerinde;

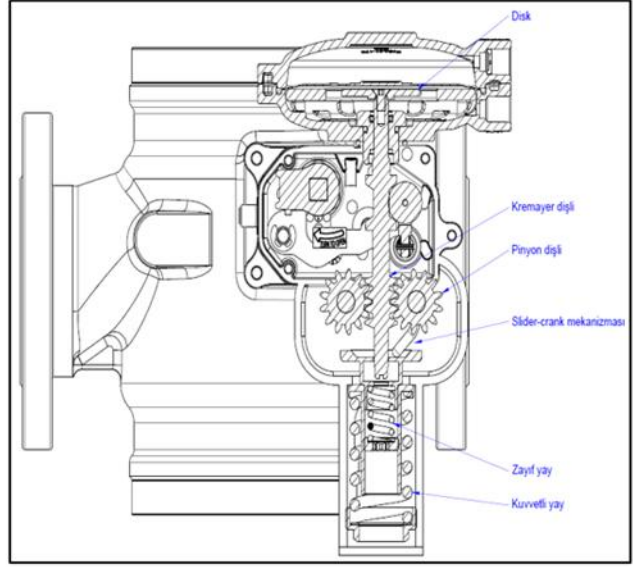
- Alt Disk Çapı: 77 mm,
- Pinyon Dişli Çapı: 26 mm,
- Pinyon Kolu Bağlantı Açısı: 150 deg,
- Yayın Yüksüz Boyutu: 25 kn olan model tercih edilmiştir. (Casanova, V., Marin, F. 2017), (Khemili, I., Abdallah, M.A., Aifaoui, N. 2019).

Bileşke Yay üzerinde eş değer gerilme değeri 191,51 MPa ve yay üzerinde 73,5 mm deformasyon olduğu görülmüştür. Yay malzemesi literatürde yer alan (Hantschel, T., Chow, E.M. 2012), (Kani, M.H.H., Bonabi, H.A.Y., Bidgoly, H.J. 2016) sistem için uygundur.

Sistem için girdi oluşturan literatür verileri (Philip Masding, 2010) kaynağından alınmıştır. Sistemdeki en yüksek eşdeğer gerilme, kremayer dişli grubunda 250 MPa olarak görülmüştür. Sistemdeki en yüksek gerilme enerjisi, kuvvet milinin ortasında 62 Nmm ölçülmüştür. Sistemdeki en yüksek deformasyon, kuvvet milinin ucunda 12,3 mm olarak görülmüştür. Pinyon Dişli ve Yatağı arasındaki temas kuvveti 1152 N bulunmuştur. Maksimum gerilme değerinin zamana bağlı sonuç değerleri verilmiştir. Dişli hareket stabilizasyonu ve pinyon kilit açısı optimize edilmesi ile yayın sıkışma mesafesi ve süresi düzenlenebilir. Mevcut sistem parametrelerinde yay ve dişli malzemesinin uygun olduğu görülmüş, kremayer dişli mızragının 6,3 mm hareketi kombine tetikleyici mekanizmasını harekete geçireceği öngörülmüştür.



*Mevcut Emniyet Kapatma Sistemi*



*Geliştirilen Emniyet Kapatma Sistemi*

**Şekil 6.** Muadil Emniyet Kapatma Sistemi (sol) ve Yeni Nesil Emniyet Kapatma Sistemi (sağ)

Yapılan tasarım, analiz ve prototip tesleri sonucunda yeni nesil emniyet kapatma sisteminin performans değerleri muadil emniyet kaaptma sistemine göre daha iyi sonuçlar vermiştir. (Kim, H.S., Min, J.K., Song, J.B. 2016)

	<b>Proje Ürünü</b>	<b>Eş Değer Muadil</b>
Emniyet Kapatma Basıncı Toleransı:	±%5	±%10
Tepki Süresi:	1.5 s	2 s
Basınç Artışına Müdahale Seviyesi (OPSO):	5500 mbar	5000 mbar
Basınç Düşüşüne Müdahale Seviyesi (UPSÖ):	1200 mar	2700 mbar
Emniyet Kapatma Vana Çalışma Sıcaklık Aralığı:	-300 °C – 600 °C	-200 °C – 500 °C

### TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışma doğalgaz hatlarında 20 bar anma basınç altında çalışması öngörülen yeni nesil emniyet kapatma vanası tasarımı ve prototip üretimi üzerine çalışılmıştır.

Sektördeki muadil emniyet kapatma vanasında bulunmayan, bileşke yay grubu, krameyer dişli grubu ve slider crank mekanizması içeren emniyet kapatma vanası geliştirilmiştir. Bütün bu sistemin bağlı olduğu EN 334 ve EN 14382 standartlar kapsamında uygulanan dış sızdırmazlık testleri, patlatma basınç testleri, çevre sıcaklık testleri, ömür testleri ve performans testlerinden başarıyla geçmiştir.

### KAYNAKLAR

Casanova, V., Marin, F. (2017) Contribution of the deflection of tapered roller bearings to the misalignment of the pinion in a pinion-rack transmission, Mechanism and Machine Theory, Vol. 109, pp. 78-94.

Duchemin, M., Collee, V. (2016) Profile optimization of the teeth of the double rack-and-pinion gear mechanism in the MCE-5 VCRi eng

Duchemin, M., Collee, V. (2016) Profile optimization of the teeth of the double rack-and-pinion gear mechanism in the MCE-5 VCRi engine, SAE International Journal of Engines, Vol. 9, pp. 1786-1794.

Hantschel, T., Chow, E.M. (2012) S-shaped double-spring structures for high stiffness and spring height, Vol. 97, pp. 231-234.



Kani, M.H.H., Bonabi, H.A.Y., Bidgoly, H.J. (2016) Design and implementation of a distributed variable impedance actuator using parallel linear springs

Khemili, I., Abdallah, M.A., Aifaoui, N. (2019) Multi-objective optimization of a flexible slider-crank mechanism synthesis, based on dynamic responses, *Engineering Optimization*, Vol. 51, pp. 978-999.

Kim, H.S., Min, J.K., Song, J.B. (2016) Multiple-degree-of-freedom counterbalance robot arm based on slider-crank mechanism and bevel gear units, *IEEE Transactions on Robotics*, Vol. 32, pp. 230-235.

Li, S.H., Han, X.Y., Wang, J.Q. (2018) Contact model of revolute joint with clearance based on fractal theory, *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, Vol. 31, Article Number: 109.

Mary Ann Lundteigen (2008) Partial stroke testing of process shutdown valves: How to determine the test coverage Volume 21, Pages 579-588

Nguyen, T.A., Phan, H., Loan, T.K. (2016) Experimental study on thrust and power of flapping-wing system based on rack-pinion mechanism, *Bioinspiration & Biomimetics*, Vol. 11, Article Number: 046001.

Pau, M., Leban, B., Baldi, A. (2012) Experimental contact pattern analysis for a gear-rack system, *Meccanica*, Vol. 47, pp. 51-61.

Philip Masding, (2010) Use of dynamic modelling and plant historian data for improved control design Volume 18, Pages 77-83

Rhee, J.K., Akay, A. (1996) Dynamic response of a revolute joint with clearance, *Mechanism and Machine Theory*, Vol. 31, pp. 121-134.

Sanmiguel, R.E., Hidalgo, M.M., Jimenez, G.J.I. (2015) Analytical approaches to oscillator with nonlinear springs in parallel and series connections, Vol.

Silveira, A.R.G., Daniel, G.B. (2019) Influence of bearing ovalization in the dynamic of a planar slider-crank mechanism, *Applied Mathematical Modelling*, Vol. 66, pp. 175-194.

Smardzewski, J. (2013) Models of hybrid springs for ergonomic seats and mattresses, *Drvna Industrija*, Vol. 64, pp. 9-18.

Verl, A., Engelberth, T. (2018) Adaptive preloading for rackand- pinion drive systems, *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, Vol. 67

Wang, W., Fu, X., Li, Y. (2016) Design of variable stiffness actuator based on modified gear-rack mechanism, *Journal of Mechanisms and Robotics-Transactions of The ASME*, Vol. 8, Article Number: 061008.

Wang, X., Liu, G. (2015) Modeling and simulation of revolute joint with clearance in planar multi-body systems, *Journal of Mechanical Science and Technology*, Vol. 29, pp. 4113-4120.

Zhang, Z., Xu, L., Flores, P. (2014) A Kriging model for dynamics of mechanical systems with revolute joint clearances, *Journal of Computational and Nonlinear Dynamics*, Vol. 9, Article Number: 031013.



## GÖRÜNTÜ İŞLEME YÖNTEMİ İLE DOĞAL GAZ REGÜLATÖR MONTAJLARINDA VERİMLİLİĞİN ARTTIRILMASI

### INCREASING EFFICIENCY IN NATURAL GAS REGULATOR INSTALLATIONS WITH IMAGE PROCESSING METHOD

**Duygu ALEMDAR**

*Eska Valve A.Ş Sakarya Türkiye*

*ORCID ID: 0009-0000-9727-1584*

**Ruveyda TOSYA**

*Eska Valve A.Ş Sakarya Türkiye*

*ORCID ID: 0009-0009-8113-8995*

**Hüseyin PEHLİVAN**

*Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakülte, Makine Bölüm, Sakarya, Türkiye*

*ORCID ID: 0000-0003-3048-8986*

#### ÖZET

Bu çalışma; doğalgaz regülatör üretimi yapılan bir firmada, montaj süreçlerinde kullanılan parçaların kamera tespiti ile montaj adımlarını belirlemek üzere yapılmış ve çalışmada görüntü işleme ve derin öğrenmeye dayalı nesne tespiti yöntemlerinden yararlanılmıştır. Teknolojinin gelişimiyle; nesne algılama, ölçüm, renk ayrımı yapmak gibi birçok görüntü işleme özelliğini içerisinde barındıran özel amaçlı kameralar üretilmiştir. Bu kameraların içerisinde yer alan modüller kullanılarak görüntü işleme yapmak ve sistemlere adapte etmek oldukça kolaylaşmaktadır. Bu çalışmada hem özellikleri açısından hem de hız açısından uygulanabilirliği de kolay olan RICOH SC-10A kamera kullanılmıştır. Parçanın düzgün montaj edilmesi, parçaların doku ve rengindeki uygunsuzluklar henüz üretim aşamasında tespit edilip bu sayede üretim sürecinde oluşabilecek hatalar minimize edilecektir. Uygulanan yeni sistem neticesinde birim parça açısından %18-%33 oranında zamandan avantaj, personel oryantasyonunun süresinin kısalması, iç kalite oranında artış, ilgili personel sayısında azalma gibi avantajlar sağlanarak üretim verimliliğinin artırılması sağlanmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Görüntü işleme, montaj, hata tespit, derin öğrenme

#### ABSTRACT

This work; In a company that produces natural gas regulators, it was made to determine the camera detection and assembly steps of the parts used in the assembly processes, and object detection methods based on image processing and deep learning were used in the study. With the development of technology; Special-purpose cameras have been produced, which include many image processing features such as object detection, measurement, color discrimination. By using the modules in these cameras, it becomes very easy to process images and adapt them to the systems. In this study, the RICOH SC-10A camera, which is easy to implement both in terms of its features and speed, was used. Proper assembly of the part, inconsistencies in the texture and color of the parts will be detected during the production phase and thus, the errors that may occur in the production process will be minimized.

As a result of the new system implemented, advantages such as 18%-33% time advantage in terms of unit parts, shortening of staff orientation, increase in internal quality ratio, and reduction in the number of relevant personnel, increased production efficiency.

**Keywords:** Image processing, assembly, error detection.



## GİRİŞ

Görüntü işleme ve bilgisayarlı görme uygulamaları son yıllarda imalat sektöründe geniş bir kullanım alanına sahip olmuştur. Görüntü işleme, dijital olarak alınan görüntülerin işlenerek özelliklerinin ve yapılarının değiştirilmesini, geliştirilmesini ve analizlerinin yapılmasını sağlayan bir teknolojidir. Görüntü işleme, imalat sektöründe birçok farklı alanda kullanılmaktadır. Bunlardan biri, parça tanıma ve sınıflandırmadır. Örneğin, montaj hattında kullanılan parçaların tanınması ve doğru yerlerine yerleştirilmesi için görüntü işleme teknikleri kullanılabilir. Görüntü işleme algoritmaları, parçaların özelliklerini analiz ederek, tanıma ve sınıflandırma işlemlerini gerçekleştirir. Ayrıca, üretim sürecinde kalite kontrol amacıyla da görüntü işleme teknikleri kullanılabilir. Üretilen parçaların görüntüleri alınarak, özelliklerinin analiz edilmesi ve hataların tespit edilmesi sağlanabilir. Bu sayede, hatalı parçaların elenmesi ve kalite standartlarına uygunluğunun sağlanması mümkün olur. Görüntü işleme ayrıca, robotik sistemlerin yönlendirilmesi ve görme yeteneklerinin kazandırılması için de kullanılır. Robotlar, görüntü işleme algoritmalarını kullanarak çevrelerindeki nesnelere algılayabilir, tanıyabilir ve buna göre hareket edebilir. Görüntü işleme ve bilgisayarlı görme uygulamaları, imalat sektöründe verimliliği artırmak, hataları en aza indirmek, kalite kontrolü sağlamak ve otomasyonu desteklemek gibi birçok avantaj sunar. Bu nedenle, bu teknolojiler imalat sektöründe geniş bir kabul görmüştür. Görüntü işlemeyle kritik parçaların montaj güvenilirliğinin sağlanması için üretimin farklı aşamalarında, parçaya bir hasar vermeden ve doğru montajın yapılmasında tespit etmek amacıyla kullanılır. Özellikle montaj konusunda yetkinliği olmayan yeni personele kısa sürede sistemin öğretilmesi ve öğrenilmesi sağlanabilir.

Çalışma kapsamında yapılan literatür taramasında imalat sektöründe son yıllarda görüntü işleme uygulamalarını içeren çalışmalar yer almaktadır.

Geliştirdikleri ile, gerçek imalat koşullarındaki çevresel bozucu etkenler dikkate alınarak robot'un işlem parçalarını 0.4mm'lik toleranslara sahip yuvalara bırakma işlemi başarı ile gerçekleştirilmiştir. Gerek görsel tabanlı robotik kontrol sistemlerinde gerekse de görsel tabanlı otomasyon sistemlerinde yoğun olarak kullanılan ve çevresel faktörlerden minimum düzeyde etkilenen akıllı bir kamera kullanmışlardır. (Cengiz Deniz, 2011)

Kapı, pencere ve kış bahçesi üretimi yapılan bir firmada, montaj projelerinde kullanılmakta olan aksesuarların kamera tespiti ile adedini belirlemek üzere bir çalışma gerçekleştirmiştir. Görüntü işleme ve derin öğrenmeye dayalı nesne tespiti yöntemlerinden yararlanıp, Google Colab Platformu, Python Programlama Dili ve OpenCV kütüphanesi kullanmıştır. (Büşra Yıldırım, 2020).

Gıda ambalaj ürünlerinin yüzeylerindeki hataların tespitini ele almıştır. Pycharm Platformunda Python Programlama Dilinde OpenCV Kütüphanesi desteği ile; boya, sinyal, ayarsızlık, bıçak çizgisi gibi hata türlerinin tespiti incelemiştir. (Gültekin Çağıl,2019)

Besleyiciden hatalı olarak yakalanan elektronik devre elemanlarına çalışmıştır. Dizgi işlemi esnasındaki konumsal sapmaları iyileştirmek için iki yöntem önerilmiştir. Bu yöntemler ile elde edilen hata değerleri 0,001 – 0,002 mm düşmüş ve hedeflenen dizgi işlemi gerçekleştirilmiştir. (Rıdvan Safa Hatipoğlu,2018)

Görsel kalite kontrol sürecini daha hızlı ve verimli hale getirmek için iki aşamalı bir otomatik hata tespit sistemi geliştirmiştir. Endüstriyel olarak kullanılacak otomatik bir hata kontrol sistemini geliştirilmesini desen eşleştirme tekniği olan logo tanımlama ile yapmıştır. (Burak Güzelce, 2021).

DeneySEL ortamda klasik görüntü işleme yöntemleri ile oluşturulan ilk algoritma, siyah arka planda rotasyon ve ölçekten bağımsız alınan resimlerde nesne tespitinde %100 başarımla vermiştir. Arka plan farklı renk ve desenlerde olup rotasyon ve ölçekten bağımsız alınan resimlerle oluşturulan ikinci veri setinde ilk algoritma başarımla sağlayamamıştır. Ön işlemlerde iyileştirmeler yapılarak yeniden ele alınmış ve oluşturulan algoritma, ikinci veri setinde nesne tespitinde %86,25 başarımla sağlamıştır. (Mehmet Dersuneli, 2021)

Çalışmasında üretim süreçlerinde kullanılan yüksek sayıdaki alt malzeme grupları için tanımlanan kodların yol açtığı hataları azaltmayı amaçlamıştır. Python Programlama Dili, Google Colab Platformu, Darknet Sinir Ağı Çerçevesi, LabelImg Resim Etiketleme Aracı, Yolo Algoritması ve OpenCV Görüntü





İşleme Kütüphanesi kullanılarak bilgisayara tanıtılmıştır. Görüntü üzerindeki nesnelere Yolo Algoritması ile etiketlenip ilgili parça tespit ve test edilmiş, aynı zamanda bu işlem kamera kullanılarak gerçek zamanlı olarak da denenmiştir. Sistem çıktısında bulunan sayım işlemi Python üzerinde OpenCV kullanılarak yazılan kod ile yapılmıştır. Uygulama sonunda kamera ile 25 deneme yapılmış ve 21 denemede sistem görüntü üzerinde bulunan parçaları tam olarak tanımıştır. Bu bilgiler ışığında çalışmanın %84 oranda doğru çalıştığı görülmüştür. (Gültekin Çağıl, 2020)

Görüntü işleme teknikleri kullanılarak hareket tespiti yöntemleri incelemiş ve buna uygun bir algoritma geliştirerek uygulama yapmıştır. Aynı zamanda yüz tanıma ve bulma algoritmalarıyla gerçek zamanlı olarak yüz tespiti etme gerçekleştirmiştir. (Musa PEKER, 2009)

İşletmelerin doğru miktarlarda, doğru zamanda doğru yere teslimat yapmalarına ve maliyetleri düşürüp kaliteyi arttırmalarına yönelik çalışmaları desteklemek amacıyla, C++ programlama dilinde görüntü işleme yöntemiyle nesne tanıyarak depolama yapabilen 3 kayar eklemeye sahip bir kartezyen robot tasarımı yapmıştır. (Özge AKPINAR, 2008)

Koruyucu Gözlük kullanımının Görüntü İşleme yöntemiyle tespitini yapmıştır. Yerleştirilen kamera aracılığı ile alınan gözlük görüntüleri, Görüntü İşleme ve Derin Öğrenme ile saptanmıştır. Çalışma gerçekleştirilirken Python Programlama Dili, Google Colab Platformu, OpenCV kütüphanesinden yararlanılmış ve nesne tanıma algoritmaları kullanılmıştır. (Gülsemin BAŞARAN, 2022)

Konveyör bant üzerinden gelen nesnelere bir kamera tarafından algılanarak, nesnelere geliştirilen gömülü sistem yazılımı, robot kol ve görüntü işleyen bilgisayar yazılımı yardımıyla renklerine göre belirli koordinatlarda bulunan kutulara bırakılarak sınıflandırmıştır. Geliştirilen sistem farklı renklerdeki nesnelere renk kodlarına göre ilgili kutulara yerleştirilmesi görevini %100 başarı ile tamamlamıştır. (Serhat Ömer SARIYILDIZ, 2021)

6 farklı elma türünden toplam 120 elmanın sabit bir arka fonda aynı açı ve aynı büyüklükteki görüntüsünü Canon EOS 70D DSLR marka fotoğraf makinesi ile almıştır. Görüntü işlemek için MATLAB programının R2021a sürümünü kullanarak elma çeşitlerinin türlerine göre sınıflandırılması için derin öğrenme algoritması kullanmışlardır. (Sevim Adige, 2022)

Akıllı arama algoritmaları, hızlı görüntü eşleme yöntemleri ve paralel programlama tekniklerine dayanan bütünleşik bir yöntem önerilmiş ve kullanılmıştır. Önerilen yöntem çok sayıda düşük ve yüksek çözünürlüklü referans ve şablon görüntü üzerinde test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar önerilen yöntemin eşleşen görüntüleri elde etmede başarılı olduğunu ve toplam arama süresini azalttığını göstermiştir. (Mehmet KARAKOC, 2015)

Kullanılan derin öğrenme algoritmalarını diğer yöntemlerle karşılaştırmak ve görüntü işlemede en iyi derin öğrenme algoritması hakkında ayrıntılı bilgi vermeyi amaçlamıştır. Derin öğrenme kullanarak görüntüleri analiz etmenin çeşitli yöntemlerini inceleyerek hız açısından karşılaşılabilecek sorunların çözümüne önemli katkılar sağlamayı hedeflemiştir. (Nina Aalami, 2020)

Derin öğrenme ile nesne tespiti ve takibi konusunda yapılan uygulamaları incelemiştir. Son gelişmeler, popüler kütüphaneler, veri setleri, algoritmalar hakkında bu alanda çalışacak olan araştırmacılara yardımcı olmayı öngörmüştür. (Fatma Gülşah Tan, 2021)

Görme engelli bireyler, otonom araçlar ve robotlar tarafından kullanılacak yardımcı bir teknoloji sistemi tasarlamak için dokümanlar parke yüzeylerinin derin öğrenme yöntemleriyle tespit edilmesine çalışmıştır. Derin öğrenme yöntemleri ile görüntü işleme algoritmaları birlikte kullanılmıştır. Nesne tespiti etme yöntemlerinden You Only Look Once-V3(YOLO-V3) modeli DenseNet modeli ile birleştirilerek YOLOV3-Dense modelini oluşturmuştur. (Abdulsamet Aktaş, 2020)

Derin öğrenme yöntemlerinin medikal görüntüler üzerinde kullanımı incelenmiştir. Segmentasyon, sınıflandırma, hastalık teşhisi, görüntü oluşturma ve iyileştirme alanlarında derin öğrenme ile yapılan çalışmalardan oldukça güncel örnekler sunularak derin öğrenmenin medikal görüntülerde uygulanabilirliği anlatılmıştır. Özellikle MR ve BT gibi medikal görüntülerden, otomatik tümör veya kanser tespiti çalışmaları ve medikal görüntülerin kalitesini arttırmaya yönelik çalışmalarda son yıllarda bir artış olduğu gözlemlenmiştir. (Ayşe Gül EKER, 2021)

Derin öğrenme ile hareketli nesne tanıma ve takibi için Google'ın açık kaynak kodlu kütüphanesi olan TensorFlow'u kullanmıştır. Nesne takibi için Region Based Convolutional Networks kütüphanelerinden Faster R-CNN modeli ele alarak durağan görüntüler, video görüntüleri ve webcam görüntüleri üzerinde nesne tanıma işlemi gerçekleştirilmiş ve incelenen kütüphanelerin güçlü ve zayıf yönlerini ortaya koymuştur. (Resul DAŞ, 2019)

Yapılan literatür taraması sonucunda doğalgaz regülatörlerinin montaj süreçlerinde kullanılan hassas ve küçük boyutlardaki parçaların sıralı konumlandırılması, doğru bileşenlerle tamamlanması ve eksiksiz olduğunun kontrol edilmesi, görüntü işleme ve derin öğrenme temelli nesne tespiti yöntemleriyle gerçekleştirildiği görülmüştür. Bu çalışmada ise, montaj sürecinin doğruluğunu ve kalitesini sağlamak için geliştirilen bir algoritmanın kullanılması ile bu algoritmanın nesne tespiti için de kullanılması amaçlanmıştır.

Görüntü işleme ve derin öğrenme yöntemlerinin kullanılmasıyla, kamera tarafından alınan görüntüler analiz edilerek parçaların tespiti ve durumu hakkında bilgi verir. Böylece, işletmenin ürün gamındaki parçaların bileşenlerini oluşturan hassas ve küçük boyutlardaki parçaların doğru bir şekilde yerleştirilmesi ile kalite kontrol ve montaj sürecindeki hataların tespit edilmesine olanak sağlar.

Bu çalışma, doğalgaz regülatörlerinin montaj süreçlerinde verimliliği artırmak, hataları azaltmak ve kaliteyi sağlamak için yapılmıştır. Ayrıca, geliştirilen algoritmanın nesne tespiti için de kullanılabilir olması farklı endüstriyel uygulamalara da imkân sağlar.

## YÖNTEM

Doğalgaz regülatörleri Montaj hatlarında oluşan hata oranlarının artması nedeni ile işletmeler son yıllarda veri tabanlı görüntü işleme yöntemlerini kullanmaktadır. Bu yöntemin etkisi değerlendirmek için çok parça bileşenli ve personel eğitiminin eksik olduğu montaj hattı seçildi. Görüntü işleme süresinde doğru ve güvenilir görüntü analizi yapabilmeye yeteneklerine sahip olması nedeniyle RICOH SC-10A model cihaz araştırılıp satın alındı. Öncelikle hatta bulunan montaj dokümanı ile cihaz birbirine paralel olarak entegre edildi. Bu entegrasyon, veri tabanlı görüntü işleme yöntemi ile montaj sürecindeki adımları takip ve hataları tespit etti. Montaj hattında operatörlerin regülatör montajında kullandıkları sistemler ve teçhizatlar şekil 1 de gösterilmektedir. Burada operatör yetkinliği son derece önemli olup oluşabilecek hatalardan direk sorumludur. Üretim kapasitesi, verimliliği gibi başarı kriterleri somut ve operatöre göre farklılık gösterebilmektedir.



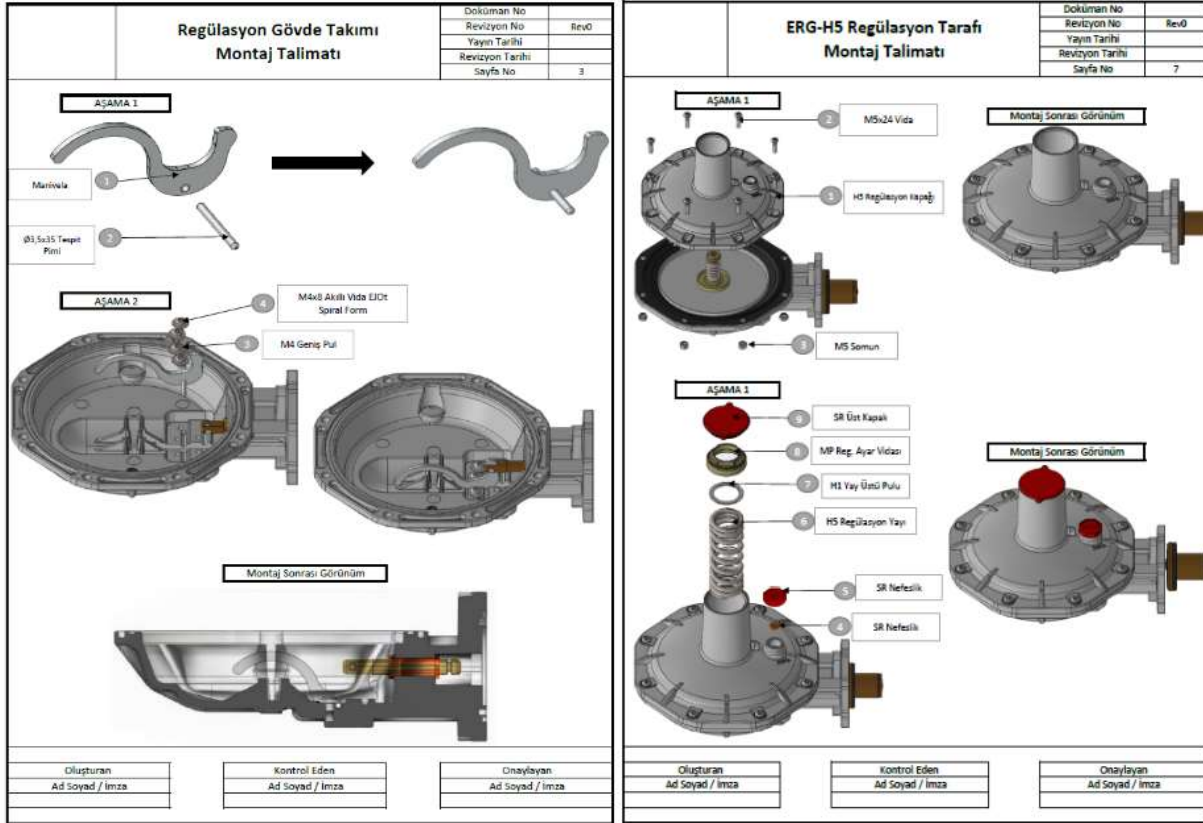
**Şekil 1.** Geleneksel montaj yöntemi

Bu çalışma kapsamında geliştirilmesi öngörülen Veri Tabanlı Görüntü İşleme Metodu sürecinde aşağıda tanımlanan ve açıklanan toplam 5 adet metot kullanılmıştır. Aşağıdaki Şekil 2'de işletmenin kullandığı 2 farklı geleneksel montaj talimatı yer almaktadır. Burada operatörün montaj süresi boyunca takip etmesi gereken adımlar ve sıralaması yer almaktadır.

### 1-Veri Toplama:

- Montaj işleminin gerektirdiği bileşenlerin detaylı bir listesi oluşturuldu.
- Her bir bileşenin montaj özellikleri, toleransları ve hedef konumları kaydedildi.

- Montaj işlemleri sırasında oluşan veriler (görüntüler, sensör okumaları, vb.) toplandı ve depolandı.



Şekil 2. Geleneksel montaj dökümanı

### 2-Veri Tabanı Oluşturma:

- Toplanan veriler, bir veri tabanında organize edildi.
- Bileşenlerin özelliklerine, toleranslarına ve hedef konumlarına ilişkin bilgiler veri tabanına kaydedildi.
- Veri tabanı, montaj sürecinde kullanılan algoritmaların erişimine ve analizine olanak sağlayacak şekilde tasarlandı.

### 3-Eğitim ve Model Oluşturma:

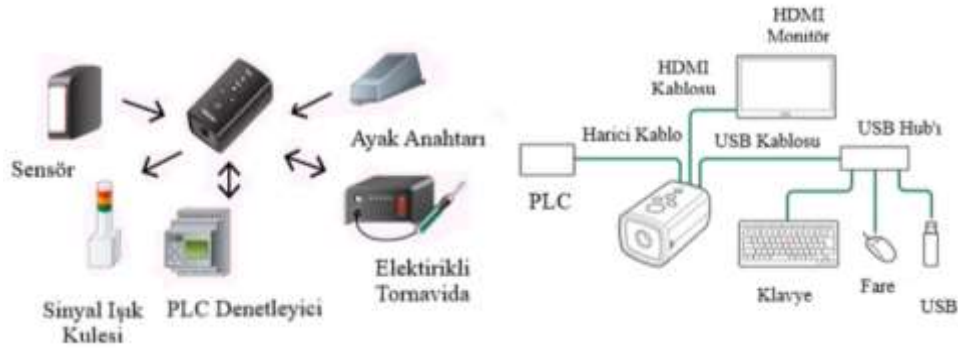
- Veri tabanındaki veriler kullanılarak bir montaj modeli oluşturuldu.
- Makine öğrenimi veya yapay zekâ algoritmaları kullanılarak, bileşenlerin konumunu tahmin eden bir model geliştirildi.
- Model, montaj sürecinde kullanılan kamera sensör verilerini ve diğer girdileri analiz ederek, bileşenlerin doğru konumlarını belirlemek için kullanıldı. Operatörün montaj süresindeki görseli Şekil 3 de yer almaktadır.



Şekil 3. Görüntüleme merkezi ekranı

#### 4-Montaj İşlemi:

- Montaj işlemi başlamadan önce, bileşenlerin veri tabanındaki özellikleri alındı ve hedef konumları belirlendi. Kullanılan metod Şekil 4 de yer almaktadır.
- Montaj sistemi, bileşenlerin konumunu gerçek zamanlı olarak algıladı ve modeli kullanarak doğru konuma yerleştirdi.
- Kamera sensörleri, montaj sürecinin doğruluğunu kontrol etmek ve gerektiğinde düzeltmeler yapmak için kullanıldı.



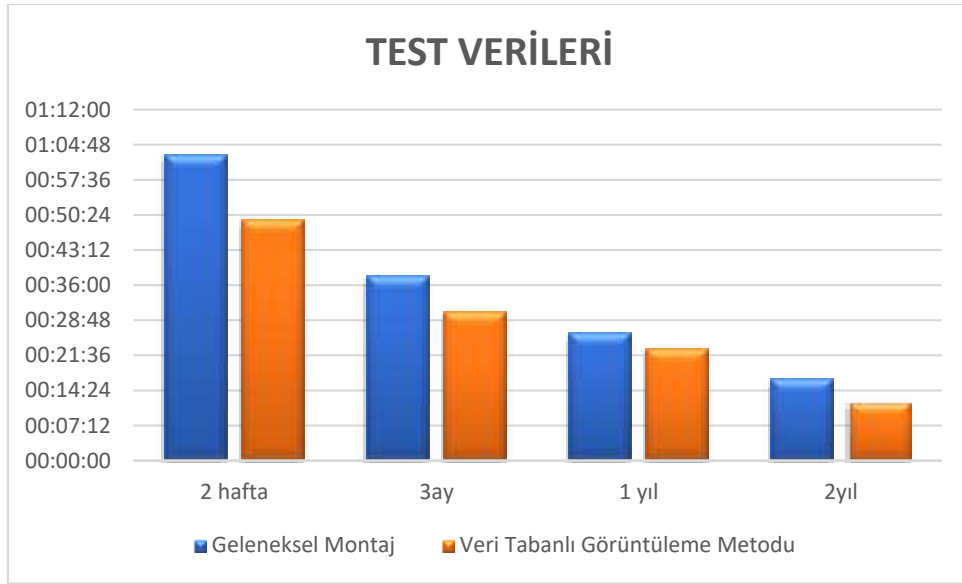
Şekil 4. Veri tabanlı görüntü işleme metodu

#### 5-Performans Değerlendirmesi:

- Montaj sürecinin performansı, doğruluk oranı ve işlem süresi gibi metriklerle değerlendirildi.
- Veri tabanlı metot ile geleneksel montaj yöntemleri arasında karşılaştırmalar yapıldı.

### BULGULAR

Fabrikada bulunan personellerin montaj tecrübesi ele alınarak görüntü işleme teknolojisi kullanmadan yaptıkları montaj ile görüntü işleme teknolojisini kullanarak yaptıkları montajı karşılaştırarak algoritmanın verimliliği test edilmiştir.



**Şekil 5.** Montaj sürelerindeki değişim

Veri Tabanlı Görüntüleme Metodunun test sürecinde, çalışma tecrübesine göre montaj hattından 4 personel seçilmiştir. Bu personeller; 2 haftalık, 3 aylık, 1 yıllık ve 2 yıllık montaj tecrübesi olarak sınıflandırılmıştır. Personeller önce görüntü işleme teknolojisini kullanmadan geleneksel yöntemlerle, daha sonra görüntü işleme teknolojisi eğitimi aldıktan sonra montaj yapmışlardır.

Alınan eğitim ve veri tabanlı görüntüleme metodu ile montaj sonrası tüm personellerin montaj sürelerinde iyileşme olduğu Şekil 5 de görülmüştür. %18-%33 arasında zamandan tasarruf edilmiştir. Bu değerler üretim kapasitesine yansıtıldığında ise yıllık yaklaşık 120.000 adetlik ürün artışı sağlanmıştır. Bu miktarın ekonomik olarak işletmeye yansımaları ise 6.000.000 dolar/yıl ulaşması öngörülmüştür.

Elde edilen test sonuçları, görüntü işleme teknolojisinin montaj sürecindeki verimliliği artırabileceğini ve hataları azaltabileceğini göstermiştir. Böylece, doğalgaz regülatörü montajı için uygulanan algoritmanın etkin bir şekilde çalıştığı ve kullanılabilir olduğu tespit edilmiştir.

Algoritma, görüntü işleme ve derin öğrenme tekniklerini kullanarak her bir nesneyi tanımlamış ve etrafına kutu çizmiştir. Bu şekilde, montaj sürecinde kullanılan parçaların doğru algılandığı ve tanındığı görülmüştür.

Yapılan montajda dört adet vida kullanıldı. Algoritma bu dört vidayı doğru bir şekilde tanıdı, bu doğruluk sistemdeki algoritmanın doğru bir şekilde tanıma yapabilmesi, hataların önlenmesine ve verimsizliklerin ortadan kaldırılmasını sağlamıştır.



Şekil 6. Montajı yapılan ürün & kamera algılama metodu görseli

Çalışmamızda görsel algoritmalar kullanılarak Şekil 6’da gerçekleştirilen, görüntü işleme yönteminin montaj talimatları takip edilerek yapılan doğru, sıralı ve eksiksiz montajla kıyaslandığında daha kısa sürede süreci başarılı bir şekilde tamamladığı tespit edilmiştir. Bu durum, yukarıda bahsedilen montaj süreçlerindeki verimliliğin artışı sağlamıştır.

Yapılan yeni çalışmanın diğer bir avantajı ise işçilerin görüntü işleme teknolojisiyle iş körlüğü ve sürekli tekrarlanan işlerden kaynaklanabilecek hataları önlemesidir.

### TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada, iş yükünün hafifletilmesi ve işletme verimliliğinin artırılması amaçlanmıştır. Elde edilen test sonuçlarına göre montaj aşamaları sabit kalmış ve görüntü işleme yönteminin kullanıldığı bir iyileştirme çalışması gerçekleştirilmiştir. Süreçteki belirsizlikleri azaltırken, verimlilik artışı sağlanmıştır. Çalışma ve analizler sonucunda elde edilen verilere göre, birim (adım) hızında %18-%33 oranında bir zaman avantajı sağlamıştır. Öngörülen bu avantajın yıllık üretim bazında 120.000 adet regülatöre karşılık geldiği ve 6.000.000 \$ ekonomik katkı sağladığı hesaplanabilir.

Görüntü işleme algoritmalarının ileriye yönelik olarak çeşitlendirilmesi müşteri isteklerini karşılamak ve farklı uygulama alanlarında kullanılabilirliği artırmak açısından önemlidir. Müşterilerin ihtiyaçlarına göre özelleştirilmiş algoritmalar geliştirilebilir.

Görüntü işlemede kullanılan, RICOH SC-10A kamerasının kaydettiği veriler, seri numarası, montaj operatörü, çalışma süresi, iş sonucu görüntüleri gibi birçok bilgiyi veri tabanına kaydederek iş analizi ve izlenebilirlik için kullanımı önerilebilir. Ayrıca, standartlar tarafından belirlenen değerler doğrultusunda kalite algısı, belirli kalite standartlarını karşılamak için ürünlerin analizini yapmak, teşhis etmek ve güvenlik uygulamaları gibi farklı alanlarda da görüntü işleme algoritmaları kullanılabilir.

### KAYNAKLAR

Abdulsamet Aktaş, 2020, Derin öğrenme yöntemleri ile dokunsal parke yüzeyi tespiti, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University 35:3

Ayşe Gul Eker, 2021, Medikal Görüntü İşlemede Derin Öğrenme Uygulamaları, ACTA INFOLOGICA.

Burak GÜZELCE, 2021, Endüstriyel Uygulamalarda Görüntü İşleme Tabanlı Otomatik Hata Tespit Yönetmelerinin Geliştirilmesi, Bursa Teknik Üniversitesi.

Büşra Yıldırım, 3(2) 2020: 31-37, Bir Montaj Parçasının Derin Öğrenme ve Görüntü İşleme ile Tespiti, Zeki Sistemler Teori ve Uygulamaları Dergisi

Cengiz Deniz, 2011, Otomotiv Endüstrisinde Konvansiyonel Robotik Hatlarda Görüntü İşleme Tabanlı Kontrol, Kocaeli Üniversitesi.

Erkan ÜLKER, 2017, Derin Öğrenme ve Görüntü Analizinde Kullanılan Derin Öğrenme Modelleri, Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi (GBAD), 85-104.



Fatma Gülşah Tan, 2021, Derin Öğrenme Teknikleri İle Nesne Tespiti Ve Takibi Üzerine Bir İnceleme, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi Sayı 25, S. 159-171.

Gülsemin BAŞARAN, 2022 Koruyucu Gözlük Kullanımının Görüntü GÇleme Yöntemiyle Tespit Edilmesi, El-Cezerê Fen ve Mühendislik Dergisi Cilt: 9, No: 1, (86-95)

Gültekin Çağıl, (2019), 37-45 Ambalaj Yüzeyindeki Hataların Görüntü İşleme Tekniği ile Tespiti, Zeki Sistemler Teori ve Uygulamaları Dergisi.

Gültekin Çağıl, 2020 Bir Montaj Parçasının Derin Öğrenme ve Görüntü İşleme ile Tespiti, Zeki Sistemler Teori ve Uygulamaları Dergisi.

Mehmet DERSUNELİ, 2021, Bul-Tak Oyuncak Şekillerinin Klasik Görüntü İşleme ve Derin Öğrenme Yöntemleri ile Tespiti, BEÜ Fen Bilimleri Dergisi BEU 10 (4), 1290-1303.

Mehmet KARAKOC, 2015, Görüntü Eşleme ve Genetik Algoritmalar Kullanarak Görüntü İçinde Görüntü Arama, Pamukkale Univ Muh Bilim Derg, 21(5), 182-193.

Musa PEKER, 2009, Görüntü İşleme Tekniği Kullanılarak Gerçek Zamanlı Hareketli Görüntü Tanıma, Sakarya Üniversitesi.

Nina Aalami, 2020, Derin Öğrenme Yöntemlerini Kullanarak Görüntülerin Analizi, ESTUDAM Bilişim Dergisi Cilt 1, Sayı 1, 17-20.

Özge AKPINAR, 2008, Depolama Amaçlı Görüntü İşleme Tabanlı Bir Kartezyen Robot Tasarımı, Sakarya Üniversitesi.

Resul DAŞ, 2019, Derin Öğrenme ile Resim ve Videolarda Nesnelere Tanınması ve Takibi, Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi.

Rıdvan Safa HATİPOĞLU, 2018, Elektronik Malzeme Montajı Yapan AI ve Yerleştir Mekanikleri İçin Görüntü İşleme Yazılımının Geliştirilmesi.

Serhat Ömer SARIYILDIZ, 2021, Görüntü İşleme Teknikleri ve Robot Kol ile Nesnelere Kategorilerine Ayırma, Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Cilt 26, Sayı 2.

Sevim Adige, 2022, Görüntü İşleme Tekniklerinden Faydalanarak Elma Çeşitlerinin Türlerine Göre Sınıflandırması, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi Özel Sayı 37, S. 131-138.



## TEKNOLOJİDE YÖNETİŞİM VE FİNANSAL TEKNOLOJİ SEKTÖRÜNDEN BİR UYGULAMA

### GOVERNANCE IN TECHNOLOGY AND AN APPLICATION FROM THE FINANCIAL TECHNOLOGY SECTOR

*Kübra KÖSEOĞLU*

*Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa.*

#### ÖZET

Kamu veya ticari sektörden bağımsız olarak, bilgi teknolojisi (BT) küresel olarak hızla genişlemektedir. Bu büyümenin bir sonucu olarak, kurumsal iş prosedürleri BT'ye daha fazla bağımlı hale gelmektedir. Bu bağımlılığın yanı sıra, kurumsal öncelikler ile BT arasındaki gerilim, BT risklerinin yanlış anlaşılması, kaynak israfı ve tamamlanmamış BT girişimleri gibi önemli sorunlar, kavramın ve onu çevreleyen konuşmaların önemini artırmaktadır. Yönetim kurulu ve üst düzey yöneticilerin görevi olan kurumsal yönetişim, BT yönetişimini kilit bir bileşen olarak içermektedir. Kurumsal yapılar ve liderlik, BT yönetişiminin bir parçasıdır. BT'sini sağlamak için kuruluşun stratejilerine ayak uydurmakta ve bu stratejilerde ayarlamalar yapmaktadır. Ek olarak, BT ve kurumsal stratejilerin stratejik olarak uyumlu olmasını sağlamaktadır. Dört tür BT yönetişimi mevcuttur. Bu unsurlar, BT stratejisi bağlamında değer sağlama, risk yönetimi ve performans ölçümüdür.

Değişen iş ihtiyaçlarına ayak uydurmak için şirket yönetimleri iç kontrol sistemlerini iyi organize etmelidir. Bir çerçeve oluşturmak, bunu yapmanın en pratik yoludur. BT yönetişimi için kullanılan uluslararası modeller ve prosedürler bu bağlamda açıklanmaktadır. Bunlardan başlıca ikisi COBIT ve ITIL'dir.

Fintek veya finansal teknoloji, blockchain uygulamalarının yardımıyla hızla ilerlemektedir. Fintek veya finansal teknoloji, finans sektörüne en son mal ve hizmetleri sunmak için teknolojinin kullanılmasıdır. Fintek endüstrisinin büyümesi, çok çeşitli etkili finansal hizmetlerin sunulmasında müşteri deneyimini geliştirerek tüketicilerin yaratıcı çözümlere erişmesini sağlamıştır. Sosyal medya, yapay zeka ve veri analitiği gibi modern teknik gelişmelerin küresel finansal krizle birlikte kullanılması, Fintek'i yeni bir paradigmaya dönüştürdü. Fintek sektörü hızla genişliyor ve yükseliyor. Gözetim ve kontrolleri, diğer organize piyasaların aksine oldukça yenidir. Bu ekosistemdeki girişimler, tıpkı diğer pazaryerlerinde olduğu gibi işlevsel ve yapısal olarak denetlenmeli ve onaylanmalıdır. Kontrol ve gözetim operasyonları özel teknik gereksinimler gerektirir. Servis ve servis sürekliliği bu şartların sağlanmasına bağlıdır. Bu çalışmada COBIT uyumluluk çalışması devam eden bir fintek firmasına uymakla yükümlü olduğu tebliğ kapsamında denetim uygulanmıştır. Uygulama sonucunda tespitler değerlendirilmiş ve COBIT ile karşılaştırılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Yönetişim, Denetim, COBIT, ITIL, Fintek

#### ABSTRACT

Regardless of the public or commercial sector, information technology (IT) is expanding rapidly globally. As a result of this growth, corporate business procedures are becoming more IT dependent. Along with this dependency, key issues such as the tension between corporate priorities and IT, misunderstanding of IT risks, waste of resources, and incomplete IT initiatives have heightened the importance of the concept and the conversations surrounding it. Corporate governance, the role of the board of directors and senior executives, includes IT governance as a key component. Organizational structures and leadership are part of IT governance. Keeps up with and adjusts the organization's strategies to ensure its IT. Additionally, it ensures that IT and corporate strategies are strategically aligned. There are four types of IT governance. These elements are value delivery, risk management and performance measurement in the context of IT strategy.





To keep pace with changing business needs, company managements must organize their internal control systems well. Creating a framework is the most practical way to do this. The international models and procedures used for IT governance are described in this context. Two of the main ones are COBIT and ITIL.

Fintech or financial technology has advanced with the help of blockchain applications. Fintech, or financial technology, is the use of technology to deliver cutting-edge goods and services to the financial industry. The growth of the fintech industry has given consumers access to creative solutions, improving the customer experience in delivering a wide range of effective financial services. The use of modern technical developments such as social media, artificial intelligence and data analytics along with the global financial crisis has transformed Fintek into a new paradigm. Fintech industry is expanding and rising rapidly. Their oversight and controls are fairly new, unlike other organized markets. Startups in this ecosystem should be functionally and structurally audited and approved just like any other marketplace. Control and surveillance operations require special technical requirements. Service and service continuity depends on the fulfillment of these conditions. In this study, an audit was applied to a fintech company whose COBIT compliance work is ongoing, within the scope of the communiqué that it is obliged to comply with. As a result of the application, the determinations were evaluated and compared with COBIT.

**Keywords:** Governance, Audit, COBIT, ITIL, Fintech

## GİRİŞ

Kurum ve işletmelerin amaçları doğrultusunda en çok ilerledikleri sektör bilişim teknolojileridir. Bilişim teknolojileri de aynı zamanda hızla ilerliyor. Bu hızlı geçiş sonucunda hizmet alan ve bilgi hizmeti veren birimlerin ortak bir dil kullanarak iletişim kurması gerekmektedir. Bilgi hizmetlerini etkili, verimli, hızlı, uygun maliyetli ve hassas bir şekilde sunmak için işletmelerin operasyonlarını yönetmesi gerekir. Kurumlar, bunun sonucunda meydana gelen değişikliklere uyum sağlarken hizmetlerini düzgün bir şekilde sunabilecektir. Rekabetin yoğun olduğu pazarda teknolojiyi ve trendleri yakından takip eden işletmelerin sayısı son derece fazladır. Müşteri ile pazar arasındaki uyum büyük ölçüde bilgi teknolojisi ile mümkün olmaktadır. Bilgi teknolojisi hizmetleri artık her işletmenin gerekli bir bileşenidir. Bilgi teknolojileri hizmetleri ayrı ayrı kontrol edilemeyeceği için süreçlerde sunulan tüm hizmetlerin verimli ve kesintisiz çalışmasına iş birimlerinin özen göstermesi gerekmektedir.

Bilgi teknolojisini yönetmek için standartlar ve çerçeveler çoktur. Bu standartlar ve çerçeveler sayesinde kurumlar ve işletmeler artık bilgi sistemlerini çok sayıda kurum ve profesyonel tarafından oluşturulan çerçevelere entegre edebiliyor.

Bu çalışmadaki araştırma ve veriler, BT yönetiminde kullanılan çerçevelerin ve standartların belirlenmesini kolaylaştıracaktır. Teknoloji yönetiminin tanımı ve kurumsal yönetimden nasıl farklılaştığının açıklaması ilk sırada yer alır. Daha sonra BT yönetimi ve yönetim arasındaki ayrım sağlanır. BT yönetiminde kullanılan kontrollerin gerekliliğinin altı çizilmiştir. Mevcut çerçeveler ve standartlar tanımlanmış ve açıklanmıştır. Literatürde hakkında çok az çalışma bulunan ve günümüz ekonomisinde büyüyen bir endüstri olan finansal teknoloji ele alınmıştır. Fintek regülasyonu olan Merkez Bankası tarafından 27 Haziran 2014 tarih ve 29043 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren “Ödeme Kuruluşları ve Elektronik Para Kuruluşlarının Bilgi Sistemlerinin Yönetimine ve Denetimine İlişkin Tebliğ” hükümleri kapsamında bir uygulamaya yer verilmiştir. Tespit edilen bulgular COBIT çerçevesi ile karşılaştırılmıştır.

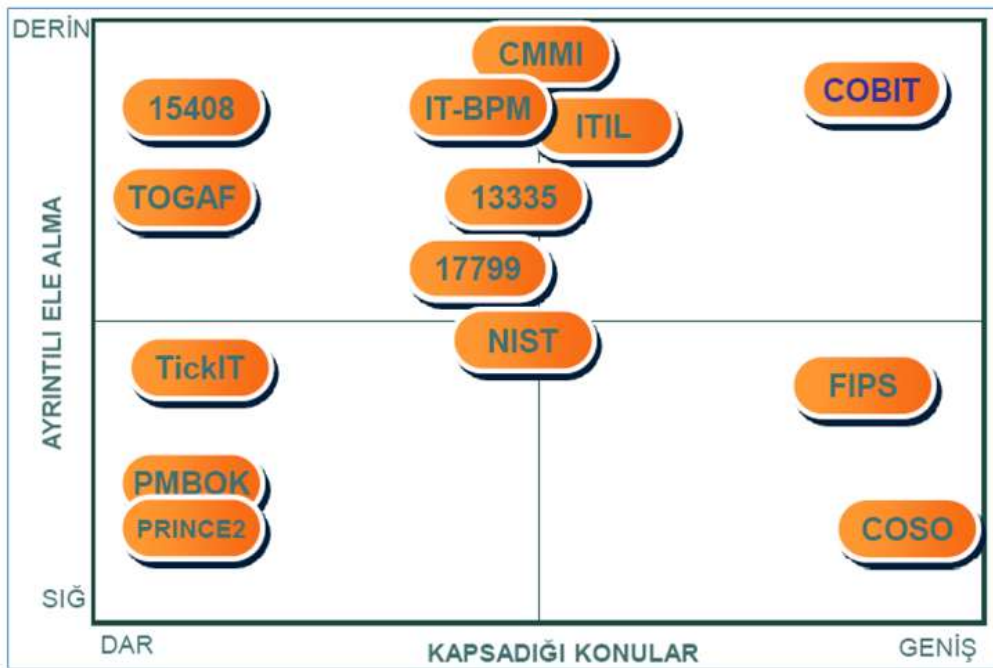
Bu çalışmanın fintek sektöründe BT hizmetlerinin etkili ve verimli bir şekilde yönetmek ve sunmak için bu alandaki boşluğu dolduracağı düşünülmektedir.

## ARAŞTIRMA

Sirisomboonsuk ve diğerleri (2018) çalışmasında BT yönetimi için farklı tanımlamalar kullanmıştır. BT yönetimi, BT kaynaklarını elde etmeye yönelik kararları almak için mekanizmaların seçimi ve kullanımı olarak ifade edilir. BT yönetimi, BT stratejisinin formüle edilmesini ve uygulanmasını kontrol eden ve kuruluşun iş stratejisine hizmet etmek için uygun BT kaynaklarını kullanmasını

sağlayan kuruluş kaynağıdır. BT yönetişimi, BT yönetiminden çok daha geniştir ve hem mevcut hem de gelecekteki iş taleplerini karşılamak için BT'yi yürütmeye ve dönüştürmeye odaklanır. BT yönetişimi, BT yatırımları hakkında karar verme sürecidir (kararların nasıl alındığı, kararların kim tarafından verildiğı, kimin sorumlu olduğı ve kararların sonuçlarının nasıl ölçüleceğı ve izleneceğı gibi). BT yönetişimi, değer katkıları yoluyla kuruluşun hedeflerini karşılamak için BT kaynaklarını geliştirmeye, yönlendirmeye ve kontrol etmeye yönelik ilişkilere ve süreçlere odaklanan bir kurumsal yönetişimin alt kümesidir. Kurumsal yönetişimi bir organizasyonel strateji olarak ve BT yönetişimini her ikisinin de birbiriyle uyumlu olması gereken operasyonel bir strateji olarak ifade edebiliriz.

Kerr ve Murthy (2013) çalışmasında BT yönetişiminde en çok kabul gören ve en kapsamlı olan çerçeve COBIT'in odak noktasının, BT'nin yönetimi ve kontrolü olduğunu belirtmiştir. Çerçeve, etkin BT yönetişimi için yönetilmesi gereken 34 temel BT kontrol ve güvenlik sürecini (faaliyetler ve riskler) belirtir. BT süreçleri, BT içindeki ana sorumluluk alanlarına karşılık gelen dört alanda düzenlenmiştir: Planla ve Organize Et (planla), Edin ve Uygula (inşa et), Teslim Et ve Destekle (çalıştır) ve İzle (değerlendir).



Standartların Kapsamlarına Göre Sınıflandırılması

Kaynak: (Turan, 2016)

## UYGULAMA

Bu inceleme sırasında, 27 Haziran 2014 tarih ve 29043 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren "Ödeme Kuruluşları ve Elektronik Para Kuruluşlarının Bilgi Sistemlerinin Yönetimine ve Denetimine İlişkin Tebliğ" hükümleri temel kaynak olarak alınmıştır. Aşağıdaki süreçler kapsam dahilindedir.

- Bilgi sistemleri risk yönetimi
- Bilgi güvenliği yönetim süreci
- Güvenlik olay yönetimi
- Veri gizliliği, güvenliği ve yetkilendirme
- Denetim izlerinin oluşturulması
- Kimlik doğrulama
- Bilgi sistemleri süreklilik planı



- h) Bilgi sistemlerine ilişkin dış hizmet alım sürecinin yönetimi
- i) Kullanıcıların bilgilendirilmesi
- j) Kullanıcı bilgilerinin gizliliği
- k) İşlemlerin takibi
- l) Bilgi sistemlerine ilişkin sınırlamalar

## TARTIŞMA VE SONUÇ

Regülatör tarafından zorunlu tutulan tebliğe göre eksiklikler toplam 4 adet olup KZ(Kontrol Zayıflığı) seviyesindedir.

Kuruluş COBIT uyumluluk çalışması aşamasında olan bir firma olduğundan bulgular az sayıda ve önemli kontrol eksikliği seviyesinin altında bulgulardır. Tebliğ esas alınarak tespit edilen bulguların COBIT süreçlerinde karşılıkları aşağıdaki gibidir.

Tespit Edilen Bulguların COBIT Süreç Karşılıkları

Bulgu 1:	DS5.11 Hassas Verilerin Değişimi
Bulgu 2:	AI2.3 Uygulama Kontrolü ve Denetlenebilirliği
Bulgu 3:	DS5.3 Kimlik Yönetimi
Bulgu 4:	DS2.3 Tedarikçi Risk Yönetimi

Firmaların BT süreçlerini geliştirirken COBIT'i esas almaları denetimler açısından büyük katkı sağlamaktadır. Çünkü COBIT çok sayıda uzman tarafından hazırlanan ve tüm kriterlerin dikkate alınarak hazırlandığı dünyaca kabul gören bir metodolojidir. BT denetçileri tüm denetim konularında yaşanabilecek kapsam ve objektif kriter belirleme sorununu COBIT ile aşabilir. COBIT süreçlerinin ölçütleri belirlidir. Böylece denetim sonuçları ölçülebilir ve öneriler getirilebilir. Ayrıca BT personeli COBIT çalıştığında BT denetiminin hangi kriterlere göre yapıldığını bilerek denetimin daha verimli ve hızlı gerçekleştirilmesini sağlar.

Ülkemizde fintek girişimleri, bankaların sürekli gelişmesinden dolayı regülasyonlara bağlı olarak ilerlemektedir. Bundan kaynaklı ekosistem daha çok regulator tahrikli gelişmektedir. Örneğin 27 Haziran 2013 tarih ve 28690 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren "6493 Sayılı Ödeme Ve Menkul Kıymet Mutabakat Sistemleri, Ödeme Hizmetleri Ve Elektronik Para Kuruluşları Hakkında Kanun" ile birçok fintek kuruluşu faaliyet göstermeye başlamıştır. Yani ülkemizde regülatörün inovatif hareketi ile ekosistem ilerlemektedir.

Sektör yeni kanun çok yenidir. Sonrasında kanun, tebliğ ve kararlar ile desteklenerek belirsiz kalan kısımları aydınlatılmıştır. Fakat hala ucu açık kısımlar olduğundan geliştirmeye açıktır. Bu bilgiler ışığında uygulama firmasının yaptığı gibi bilgi sistemlerinin global bir çerçeveye uyumlanması regülatif zorunluluklar noktasında üst yönetimin işini kolaylaştıracaktır.

## KAYNAKLAR

SIRISOMBOONSUK, P., GU, V. C., CAO, R. Q. and BURNS, J. R., 2018. Relationships between project governance and information technology governance and their impact on project performance. *International Journal of Project Management*, 36(2): 287-300.

KERR, D. S., & MURTHY, U. S., 2013. The importance of the CobiT framework IT processes for effective internal control over financial reporting in organizations: An international survey. *Information & Management*, 50(7): 590-597.

TURAN, H., 2016. Bilgi Sistemleri Denetiminde Cobit Standardının Yeri, Sertifikalar ve Sertifika Süreçleri. Kamu Gözetimi, Muhasebe ve Denetim Standartları Kurumu, Bilgi Sistemleri Yönetimi Daire Başkanlığı, Uzmanlık Tezi, Ankara, 109s



## DOĞAL LİF TAKVİYELİ KOMPOZİT FİLAMANT İMALATI NATURAL FIBER-REINFORCED COMPOSITE FILAMENT MANUFACTURING

**Doç. Dr. Tuğçe TEZEL**

*Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Antalya, Türkiye.*

*ORCID ID: 0000-0003-0139-442X*

**Prof. Dr. Volkan KOVAN**

*Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Antalya, Türkiye.*

*ORCID ID: 0000-0002-0599-525X*

### ÖZET

Sıfır atık, atık yönetim felsefesini anlatmak için yaygın bir şekilde kullanılan, günden güne daha fazla yerde karşımıza çıkan bir terimdir. Bu yaklaşıma göre, atığa neden olan etkenler incelenir ve atık malzemelerin geri dönüşüm aracılığı değerlendirilmesi sağlanır. Bu atıklar incelendiğinde bazıları doğaları gereği endüstriyel alanda kullanıma uygundur. Muz kabuğu, doğal lifleriyle bilinen bir üründür. Başta tekstil olmak üzere çeşitli endüstrilerde bu doğal atığın ürünlerinden yararlanılmaktadır.

Makine imalatında kullanılan malzemeler arasında kompozitler günden güne kullanılan farklı takviyelerle öne çıkmaktadır. Özellikle doğal lifler, kompozit imalatında doğal takviye olarak kullanılabilir. Özellikle doğal lifler, kompozit imalatında doğal takviye olarak kullanılabilir.

Bu çalışmada eklemeli imalat tekniklerinden ergiyik biriktirme tekniğinde (FDM) kullanılmak üzere kompozit filament imalatı gerçekleştirilmiştir. Kompozitin esas malzemesi olarak biyopolimer malzemelerden polilaktik asit, takviye malzemesi olaraksa muz kabuğu kullanılmıştır. Çalışma sonucunda doğal katkılı kompozit filament eldesi sağlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** kompozit, filament, FDM, eklemeli imalat

### ABSTRACT

Zero waste is a term widely used to describe the waste management philosophy and is seen in more and more places daily. According to this approach, the factors that cause waste are examined, and the waste materials are evaluated through recycling. When these wastes are examined, some of them are suitable for industrial use due to their nature. Banana peel is a product known for its natural fibers. The products of this natural waste are used in various industries, especially in textiles.

Among the materials used in machine manufacturing, composites come to the fore with different reinforcements used daily. Especially natural fibers can be used as natural reinforcement in composite manufacturing.

In this study, composite filament production was carried out to be used in the fused deposition modelling (FDM), one additive manufacturing technique. Polylactic acid, one of the biopolymer materials, was used as the primary material of the composite, and banana peel was used as the reinforcement material. As a result of the study, the naturally reinforced composite filament was obtained.

**Keywords:** composite, filament, FDM, additive manufacturing

### 1. GİRİŞ

"Sıfır Atık" döngüselliğe dayalı bir kaynak ve atık yönetimi yaklaşımıdır. Sürdürülebilir üretim ve tüketim alışkanlıklarını teşvik ederek kaynakların verimli kullanılmasını amaçlar. Sıfır atık, israftan



kaçınmanın yanı sıra atığın önlenmesini, azaltılmasını, yeniden kullanılmasını ve geri dönüştürülmesini hedefler. Bu yaklaşımın toplumsal olarak birçok olumlu sonuca ulaşması amaçlanır[1].Bu yaklaşımla birçok ürünün yeniden değerlendirilip değerlendirilemeyeceğinin yeniden sorgulanmasını sağlamıştır. Bu çalışmada doğal lif takviyesi olarak muz kabuğu kullanılarak kompozitlerde doğal lif takviyesi olarak kullanılması amaçlanmıştır. Çünkü kompozit malzemeler biyopolimer, tekstil, biyosensörler, biyomedikal dahil olmak üzere çeşitli amaçlarla üretilmektedir.

İnsanların doğal liflere yönelmesinin sebebi, çevre dostu davranışları nedeniyle tehlikeli ve sentetik malzemelerden uzaklaşmak istemeleridir. Doğal lifler, atık, toksik, depolama sera gazı emisyonları gibi kirleticilerin azaltılmasına yardımcı olur. Doğal lif, bitki, hayvan ve mineral liflerden oluşur. Selüloz ve protein, sırasıyla bitki ve hayvan liflerinin birincil bileşenleridir. Saplar, yapraklar, tohumlar, kabuk ve meyvelerin tümü lif bitkisinin parçalarıdır [2]. Sap lifinde bambu, pirinç ve buğday da bulunur. Kabuk lifleri arasında jüt, soya fasulyesi lifi, ebeğümeci bulunurken, hayvan lifleri arasında kuş lifi, yün, kollajen lifleri, ipek ve saç bulunur. Cam, karbon ve asbest, mineral liflere örnektir. Doğal elyaf, bulunabilirliği ve teknik uygulanabilirliği temelinde, sürdürülemez karbon ve cam elyaf takviyeli kompozitlerin yerini alan bir üründür [3]. Günümüz teknolojik gelişmelerinde, yeni ürünler geliştirirken çevresel sürdürülebilirliğin dikkate alınması önem arz etmektedir. Bu sorunları çözmek için araştırmacılar kompozit takviye için geleneksel lifler yerine yenilenebilir bitki lifleri kullanmaktadır. Bitki lifleri, sürdürülebilirlik, hafiflik, erişilebilirlik ve biyolojik olarak parçalanabilirliğe ek olarak mukavemet dahil olmak üzere yaygın olarak kullanılan liflerle karşılaştırılabilir ve iyi mekanik performans sağlarlar [4]. Doğal lifler, bitkilerden ve hayvanlardan elde edilen lifleri ifade eder. Bu çalışmada takviye olarak doğal liflerden biri olan muz kabuğu kullanılmıştır. Esas malzeme olarak polilaktik asit(PLA) olarak isimlendirilen bir termoplastik tercih edilmiştir [5].

Kompozitlerin ve polimerlerin hammadde olarak kullanıldığı son yılların popüler üretim tekniklerinden biri eklemeli imalattır. 3D baskı olarak da bilinen eklemeli imalat endüstri 4.0 girişiminin bir parçasıdır [6]. Bu teknik, karmaşık bileşenlerin herhangi bir araca ihtiyaç duymadan doğrudan dijital verilerden katman katman oluşturulmasını sağlar. 3D baskı teknolojisi, geleneksel üretim yöntemine göre sunduğu avantajları nedeniyle mühendislik ve teknolojinin birçok alanında yaygın olarak kabul görmektedir. Ergiyik Biriktirme Tekniği (Fused Deposition Modeling, FDM), işlevsel karmaşık polimer geometrileri üretmek için kullanılan, bir eklemeli imalat tekniğidir. Burada, polimer/kompozit filament eritilerek nozul aracılığıyla CAD modeline uygun katman katman imalat gerçekleştirilir [7]. Bu çalışma kapsamında üretilen doğal takviyeli filamentin FDM tekniğine uygun olarak filament formunda üretimi sağlanmıştır.

Çalışma konusu literatür incelendiğinde doğal lif takviyesi olarak muz kabuğunun kullanıldığı kompozit imalatı ile filament üretimine rastlanamamıştır. Bu sebeple çeşitli doğal takviyeler kullanılarak eklemeli imalatla üretimin hedeflendiği çalışmalar derlenmiştir. Alaa vd.(2023), PLA malzemeye takviye olarak kenaf fiber kullanmıştır [8]. Mocau vd.(2023), PLA ve ABS malzemeye takviye olarak doğal hidroksiapatit ve nanografen takviyeleri biyomedikal 3B yazıcı teknolojileri için geliştirmiştir[8]. Paulo vd.(2023), çekme ve eğilme mukavemetindeki gelişimi değerlendirmek için keten lifleri ile güçlendirilmiş PLA kompozitler geliştirmiştir [9]. Cavalcanti vd.(2023), farklı türde liflerle güçlendirilmiş, eklemeli imalatla üretilen polimerik parçalardan yapılan yapışma bağlantıların mekanik performansını deneysel olarak araştırmıştır. Takviye malzemesi olarak doğal (jüt ve curauá) ve sentetik (cam) elyaf takviyeli kumaşlar, PLA ve ABS termoplastiklerine uygulanmıştır [10]. Gauss ve Pickering (2023) 3D baskı için polilaktik asit kompozitlerinde nano takviye olarak selülozu dağıtmak için yeni bir metodoloji geliştirmiştir[11]. Dinesh Kumar vd. (2023) çalışmasında, doğal bitki bazlı tozları, farklı ağırlık yüzdeleriyle PLA filamentte takviye ederek doğal elyaf içeren kompozitlerin üç boyutlu yazıcılarda kullanımı incelemiştir[12]. Agaliois vd.(2022) 3D baskı için doğal elyaf takviyeli kompozit filamentler üretmiştir. Doğal henequen liflerinden elde edilen un ve polilaktik kullanılarak üretilen filamentlerle üretilen numunelere çekme testleri uygulanmıştır[13]. Müller vd.(2022) FDM teknolojisi kullanarak çam ağacı, bambu ve mantar bazlı dolgu maddesi ile güçlendirilmiş saf PLA ve PLA'dan yapılmış numunelerin yorulma davranışını incelemiştir [14]. Zhao vd.(2022) tarafından biyokompozit üretmek için polilaktik asidi güçlendirmek amacıyla doğal lifler (anahtar otu ve mısır koçanı) kullanılmıştır [15]. Shahar vd. (2022) kenaf takviyeli PLA kompozitin yorulma ve darbe dayanımını araştırmıştır [16]. Scaffaro vd. (2021), opuntia ficus indica ve posidonia oceanicadan elde edilen iki

lignoselülozik dolgu maddesini PLA'ya ekleyerek FDM ile üretim yapmıştır [17]. Flores-Hernandez vd. (2021) keratin ile güçlendirilmiş polilaktik asitin eklemeli imalatla üretimini incelemiştir. Keratin, Ankara tavşanı kılından elde edilmiştir [18]. Sekar ve Zarrauq(2021), palm yağı boş meyve demet elyafı ile güçlendirilmiş polilaktik asitten üretilen filamentlerin fiziksel, termal ve mekanik özelliklerini araştırmıştır[19]. Yaguchi vd. (2020) sürekli doğal lifleri (pamuk, kenevir, jüt vb.) PLA'ya ekleyerek biyolojik olarak parçalanabilir kompozitler geliştirmiştir[20]. Landes ve Letcher (2020) çalışmasında, doğal lif olarak bambu takviye kullanıp PLA kompozit imal ederek mekanik davranışını incelemiştir [21]. Rojas-Martínez (2020) çalışmasında, 3D yazdırılabilir polimer kompozit iskeleler üretmek için polilaktik asit (PLA), takviye olarak keratin ve kitosan [22];Stoff vd. (2017) ise polilaktik asit polimer içinde değişen ağırlık yüzdelerinde hem kenevir hem de harakeke (Phormium tenax) filamentlerle çekme testleri yapmıştır[23].

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmada öncelikle doğal lif olan muz kabukları hazırlanmıştır. Muz kabukları lif yönüne dik eşit mesafeli kesilerek fırında kurutulmuştur. Ardından kurutulan muz kabukları toz formuna getirilmiştir. Elekten geçirmek suretiyle toz muz kabukları sınıflandırılmıştır.

Çalışmada esas malzeme olarak kullanılan PLA, granül formdadır. Üretim öncesi, fırında PLA granüllerin nemi alınmıştır. Filament imalatı, filament makinesi kullanılarak 200 °C sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir.

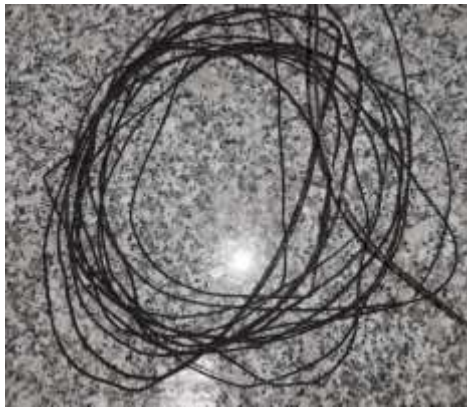
## 3. BULGULAR

Ağırlıkça %4 muz kabuğu takviyeli PLA kompozit imalatında kullanılan muz tozu Şekil 1'de görülmektedir. Toz formdaki doğal lif takviyesi elekten geçirilerek kompozit imalatına hazırlanmıştır.



Şekil 1. Muz kabuğu tozu

Çalışmada kullanılan granül PLA filament rengi, muz kabuğu tozuna uygun olarak kahverengi kullanılmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen filamentler Şekil 2'de yer almaktadır. Filamentler, FDM'lerde kullanılan teknolojiye uygun olarak 1,75 mm kalınlığında üretilmiştir.



Şekil 2. Üretilen kompozit filament



#### 4. SONUÇ

Yenilenebilir ve ekolojik olarak dikkat çeken doğal lifler, önemli bir hammadde kaynağı olarak kompozitlerde kullanılmaktadır. Jüt ve kenevir gibi doğal lifler, tekstil ve otomotiv bileşenlerinde kullanılmaktadır. Kenaf, ananas ve palmye doğal lifleri, çevre dostu kompozit için farklı takviye malzemesi adaylarıdır. Doğal lifler, daha düşük ağırlık, biyolojik olarak parçalanabilirlik, geniş kullanılabilirlik, işleme sırasında minimum sağlık riskleri, kolay bulunabilirlik gibi yönleriyle öne çıkmaktadır.

Çalışmada, atık muz kabuklarından endüstriyel fayda sağlama amacıyla muz kabuğu katkılı filament imalatı yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda doğal fiber katkılı filamentin başarılı bir şekilde üretilebildiği ortaya konmuştur. Muz kabuğuna benzer şekilde çeşitli doğal fiber takviyelerin eklemeli imalat için uygun malzeme formuna dönüştürülebileceği ortaya konmuştur. Gelecekteki çalışmalarda bu kompozit filamentin mekanik özellikleri araştırmacılar tarafından incelenebilir.

#### 5. KAYNAKLAR

[1] <http://zerowaste.gov.tr/>

[2] Akter, T., Hossain, M.S. (2021) Application of plant fibers in environmental friendly composites for developed properties: a review, *Cleaner Materials*, 2, 100032.

[3] Gao, X., Zhu, D., Fan, S., Rahman, M.Z., Guo, S., Chen, F. (2022). Structural and mechanical properties of bamboo fiber bundle and fiber/bundle reinforced composites: a review. *The Journal of Materials Research and Technology*, 1162-1190.

[4] Karimah, A., Ridho, M.R., Munawar, S.S., Adi, D.S., Damayanti, R., Subiyanto, B., Fudholi A. (2021) A review on natural fibers for development of eco-friendly bio-composite: characteristics, and utilizations *The Journal of Materials Research and Technology*, 13, 2442-2458.

[5] Joshi, S.V., Drzal, L.T. Mohanty, A.K., Arora, S. (2004) Are natural fiber composites environmentally superior to glass fiber reinforced composites? *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 3, 371e6.

[6] Kartikeyan, B., Ponshanmugakumar, A., Saravanan, G., BharathGanesh, S., Hemamalini, V. (2023) Experimental and theoretical analysis of FDM AM PLA mechanical properties, *Materials Today: Proceedings*

[7] Shilpesh R. Rajpurohit, Harshit K. Dave, Bodaghi, M. (2023) Classical laminate theory for flexural strength prediction of FDM 3D printed PLAs, *Materials Today: Proceedings*

[8] Alaa, M., Abdan, K., Ching Hao, L., Rafiqah, A., Al-Talib, A., Huzaifah, M., & Mazlan, N. (2023). Fundamental study and modification of Kenaf fiber reinforced polylactic acid bio-composite for 3D printing filaments. *Materials Today: Proceedings*.

[9] Paulo, A., Santos, J., da Rocha, J., Lima, R., & Ribeiro, J. (2023). Mechanical Properties of PLA Specimens Obtained by Additive Manufacturing Process Reinforced with Flax Fibers. *Journal of Composites Science*, 7(1).

[10] Cavalcanti, D. K. K., de Queiroz, H. F. M., & Banea, M. D. (2023). Performance enhancement of adhesive joints of additive manufactured parts by using different types of fibre reinforcements. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 124.

[11] Gauss, C., & Pickering, K. L. (2023). A new method for producing polylactic acid biocomposites for 3D printing with improved tensile and thermo-mechanical performance using grafted nanofibrillated cellulose. *Additive Manufacturing*, 61.

[12] Dinesh Kumar, S., Ajithram, A., Perumal, S., Premkumar, R., & Ekanthamoorthy, J. (2023). Investigation on natural plant powder reinforced 3D printed composite absorption properties. *Materials Today: Proceedings*.

[13] Agaliotis, E. M., Ake-Concha, B. D., May-Pat, A., Morales-Arias, J. P., Bernal, C., Valadez-Gonzalez, A., Herrera-Franco, P. J., Proust, G., Koh-Dzul, J. F., Carrillo, J. G., Carrillo, J. G., & Flores-



Johnson, E. A. (2022). Tensile Behavior of 3D Printed Polylactic Acid (PLA) Based Composites Reinforced with Natural Fiber. *Polymers*, 14(19).

[14] Müller, M., Šleger, V., Kolář, V., Hromasová, M., Piš, D., & Mishra, R. K. (2022). Low-Cycle Fatigue Behavior of 3D-Printed PLA Reinforced with Natural Filler. *Polymers*, 14(7).

[15] Zhao, X., Oyedele, O., Webb, E., Wasti, S., Bhagia, S., Hinton, H., Li, K., Kim, K., Wang, Y., Zhu, H., Ragauskas, A. J., & Ozcan, S. (2022). Impact of biomass ash content on biocomposite properties. *Composites Part C: Open Access*, 9.

[16] Shahar, F. S., Hameed Sultan, M. T., Safri, S. N. A., Jawaid, M., Abu Talib, A. R., Basri, A. A., & Md Shah, A. U. (2022). Fatigue and impact properties of 3D printed PLA reinforced with kenaf particles. *Journal of Materials Research and Technology*, 16, 461–470.

[17] Scaffaro, R., Maio, A., Gulino, E. F., Alaimo, G., & Morreale, M. (2021). Green composites based on pla and agricultural or marine waste prepared by fdm. *Polymers*, 13(9).

[18] Flores-Hernandez, C. G., Velasco-Santos, C., Rivera-Armenta, J. L., Gomez-Guzman, O., Yañez-Limon, J. M., Olivas-Armendariz, I., Lopez-Barroso, J., & Martinez-Hernandez, A. L. (2021). Additive manufacturing of green composites: Poly (lactic acid) reinforced with keratin materials obtained from Angora rabbit hair. *Journal of Applied Polymer Science*, 138(18).

[19] Sekar, V., & Zarrouq, M. (2021). Development and Characterization of Oil Palm Empty Fruit Bunch Fibre Reinforced Polylactic Acid Filaments for Fused Deposition Modeling. *Journal of Mechanical Engineering*, 18(1), 89–107.

[20] Yaguchi, Y., Takeuchi, K., Waragai, T., & Tateno, T. (2020). Durability evaluation of an additive manufactured biodegradable composite with continuous natural fiber in various conditions reproducing usage environment. *International Journal of Automation Technology*, 14(6), 959–965.

[21] Landes, S., & Letcher, T. (2020). Mechanical strength of bamboo filled pla composite material in fused filament fabrication. *Journal of Composites Science*, 4(4).

[22] Rojas-Martínez, L. E., Flores-Hernandez, C. G., López-Marín, L. M., Martinez-Hernandez, A. L., Thorat, S. B., Reyes Vasquez, C. D., del Rio-Castillo, A. E., & Velasco-Santos, C. (2020). 3D printing of PLA composites scaffolds reinforced with keratin and chitosan: Effect of geometry and structure. *European Polymer Journal*, 141.

[23] Stoof, D., Pickering, K., & Zhang, Y. (2017). Fused deposition modelling of natural fibre/polylactic acid composites. *Journal of Composites Science*, 1(1).





## MODERN İMALAT YÖNTEMLERİNE UYGUN TASARIM İLKELERİ DESIGN PRINCIPLES FOR MODERN MANUFACTURING METHODS

**Doç. Dr. Tuğçe TEZEL**

*Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Antalya, Türkiye.*

*ORCID ID: 0000-0003-0139-442X*

**Prof. Dr. Volkan KOVAN**

*Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Antalya, Türkiye.*

*ORCID ID: 0000-0002-0599-525X*

### ÖZET

Geleneksel imalat yöntemlerinde işlemede yaşanan zorluklar, fazla talaş sebebiyle oluşan maliyet, parçaların karmaşık geometrileri gibi çeşitli sorunlar alternatif işleme metotlarının araştırılmasına neden olmuştur. Geleneksel talaşlı imalat yöntemlerinin getirdiği zorluk ve sınırlamalar, daha modern talaş kaldırma tekniklerinin gelişmesini sağlamıştır. Bu tekniklerde, geleneksel talaşlı imalattan farklı olarak parça yüzeyinde fark edilebilen bir talaş ya da işleme izi bulunmaz. Kimyasal, elektrokimyasal, mekanik ya da termal işleme gibi çeşitli modern işleme teknikleri mevcuttur. Kimyasal işlemede, şekillendirme parçanın kimyasal ayrıştırıcıya daldırılmasıyla; elektrokimyasal işlemede ise elektroliz esasına dayanır.

Bu çalışmada modern imalat yöntemlerinden kimyasal ve elektrokimyasal işleme koşulları ele alınarak, bu üretim tekniklerine uygun tasarım önerilerinde bulunulmuştur. Bu tasarım kriterlerine dikkat edilmek suretiyle başta maliyet düşüşü olmak üzere birçok olumlu etki sağlanabilir.

**Anahtar Kelimeler:** imalat, talaş, işleme, tasarım, kimyasal, elektrokimyasal

### ABSTRACT

Various problems, such as the difficulties experienced in machining in traditional manufacturing methods, the cost due to excessive chipping, and the complex geometries of the parts, have led to the search for alternative machining methods. The difficulties and limitations of traditional machining methods have led to more modern machining techniques. Unlike conventional machining, these techniques have no discernible chip or machining trace on the part's surface. Various modern processing techniques are available, such as chemical, electrochemical, mechanical, or thermal. In chemical processing, the forming part is immersed in the chemical separator; electrochemical processing is based on electrolysis.

This study discusses chemical and electrochemical processing conditions, which are modern manufacturing methods, and design suggestions are made in accordance with these production techniques. By paying attention to these design criteria, many positive effects can be achieved, especially cost reduction.

**Keywords:** manufacturing, sawdust, machining, design, chemical, electrochemical

### 1. GİRİŞ

Tornalama, frezeleme, taşlama, delme ve frezeleme gibi geleneksel imalat süreçleri, malzemeyi ufalayarak, aşındırarak veya talaş kaldırarak son haline getirir. Ancak bu yöntemler bazı durumlarda aşağıda yer verilen nedenlerden ötürü yeterli, ekonomik ve hatta uygulanabilir olmayabilir.

1. Malzemenin sertliği ve dayanıklılığı son derece yüksektir veya malzeme çok kırılgandır.



2. İş parçasının esnek, ince veya hassas olması, kesme ve taşlama kuvvetlerine dayanmasını zorlaştırır ve parça montajını sorunlu hale getirir.

3. Parçanın şekli karmaşıktır.

4. Yüzey kalitesi ve boyutsal tolerans kriterleri diğer tekniklere göre daha katıdır [1].

Yeni üretim teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte, araştırmacılar geleneksel olmayan imalat yöntemlerine yönelmiştir. Malzemeden talaş kaldırmak, deformasyon gerçekleştirmek, performansı değiştirmek veya kaplamayı gerçekleştirmek için iş parçasına elektrik, manyetik, ses, ışık, kimyasal enerji veya bunların kombinasyonlarının uygulandığı imalat yöntemlerine geleneksel olmayan veya modern imalat yöntemleri denir [2]. Bu işlemler, işlemde kullanılan enerjinin türüne göre kimyasal işleme, elektrokimyasal işleme gibi sınıflandırılır. Bu çalışmada kimyasal ve elektrokimyasal işleme tekniklerine yönelik tasarım ilkeleri üzerinde durulmuştur.

Kimyasal işleme, kimyasalların çoğunun metal ve bazı seramikleri aşındırdığı, böylece yüzeyden az miktarda malzeme çıkardığı gözlemlenmiştir. Bu işlem asitler ve alkali çözeltiler gibi reaktifler veya dağıtıcılar kullanılarak kimyasal çözünme ile gerçekleştirilir. Kimyasal işleme, iş parçasını güçlü bir kimyasal reaktifte batırarak iş parçası üzerinde istenen şekli elde etmek için bir malzeme çıkarma işlemidir [3].

Elektrokimyasal işleme adı verilen modern üretim tekniği, takım elektrodunun şeklini iş parçasına kopyalamak için iş parçasının anodik çözünmesini kullanır. Faraday'ın elektroliz yasasına göre çalışır. Bu üretim tekniği havacılık, nükleer ve kalıp yapımı endüstrilerinde yaygın olarak kullanılan geometrik olarak karmaşık malzeme parçalarını, kompozitleri, süper alaşımları, seramikleri, karbürleri ve ısıya dayanıklı çelikleri işleme yeteneğine sahiptir. Bu malzemelerin geleneksel işleme teknikleri kullanılarak işlenmesi son derece zordur [4].

İmalat süreçlerindeki maliyet rekabetleri nedeniyle, bu maliyeti düşürmenin yollarını bulma sorunu her zaman mevcuttur. Maliyet düşürme için iyi bir başlangıç noktası, ürünün tasarımıdır. Bir başka deyişle bir ürünün ekonomik başarısının üretim maliyeti önem arz etmektedir. Bu nedenle başarılı bir mühendislik tasarımı, üretim maliyetini en aza indirirken yüksek ürün kalitesini koruyarak sağlar. Üretim için tasarım (DFM, Design for manufacturing) ilkeleri, tasarımcılara minimum maliyetle üretilebilecek bileşenleri ve ürünleri belirlemede yardımcı olur:

1. Ürünün sadeliği: minimum parça sayısı, en az karmaşık şekil, en az hassas ayar ve en kısa üretim sırası anlamına gelir.
2. Standart malzeme ve bileşenler: Seri üretime fayda sağlar, envanter yönetimini sadeleştirir. Aynı zamanda alet ve ekipman yatırımını önleyerek üretim döngüsünü hızlandırır.
3. Ürünün standart tasarımı : Birbirine benzer ürünler üretilecekse, her biri için mümkün olduğunca aynı malzemeler, parçalar ve alt montajlar oluşturulmalıdır [5].

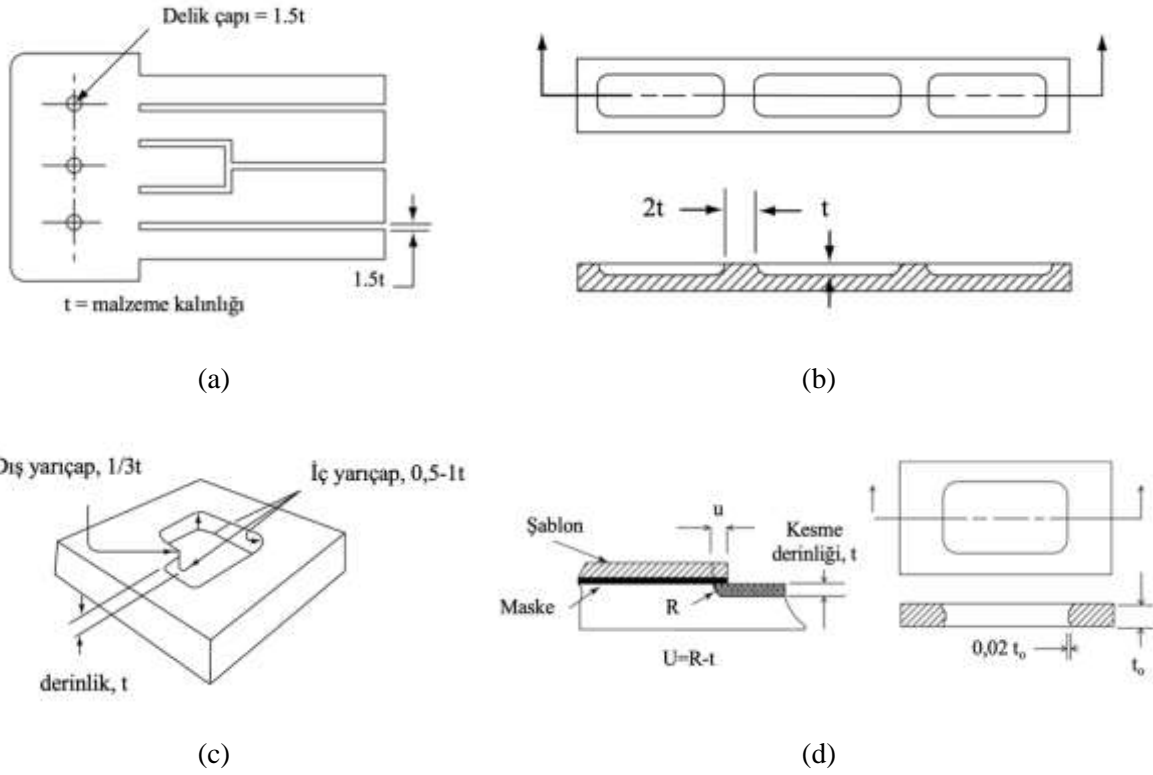
Bu çalışmada kimyasal ve elektrokimyasal işleme için tasarım önerilerinde bulunulmuştur.

## 2. KİMYASAL İŞLEME

Kimyasal işleme, geniş yüzey alanlarında küçük bir derinlik gerektiği ve diğer parçaların ağırlık azaltma gerektirdiği uygulamalarda kullanılır. Uygulama alanları içerisinde havacılık ve uzay endüstrisinde bulunmaktadır. Kimyasal olarak dağılan veya çözülebilen herhangi bir malzeme kimyasal olarak işlenebilir. Birçok demirli ve demirsiz metal kimyasal olarak işlenir. Malzeme tane boyutu, haddeleme yönü, sertlik, kalıntı olmaması ve yüzey kalitesi kimyasal işlemede dikkate alınmalıdır[6]. Kimyasal olarak işlenecek bir parçada tasarımcı aşağıdaki hususları gözönünde bulundurmalıdır:

1. Bu teknik ile üretilebilecek en küçük delik boyutu veya yarı genişliği parça kalınlığının 1,5 katıdır. (Şekil 1a)
2. Derinlikler arası minimum genişlik, kesme derinliğinin iki katı olmalıdır (Şekil 1b).
3. Keskin iç radyüsler aşındırma derinliğinin 0,5–1 katı; dış radyüsler üçte biri kadar bir yarıçapa sahip olabilir (Şekil 1c)

4. Kimyasal işleme ile üretilen yarıçap ve alttan kesme kesme derinliğine eşittir (Şekil 1d).



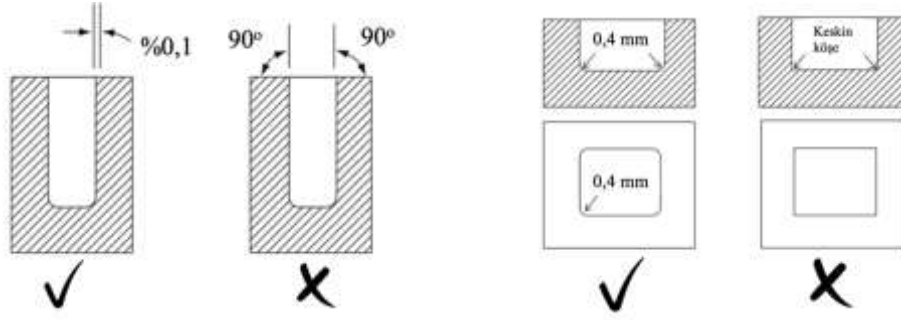
Şekil 1. Kimyasal işlemede tasarım önerileri

5. Kimyasal işlemede keskin köşeler yaklaşık 0,7–1,0 mm yarıçapa yuvarlatılabilir.
6. Bir taraftan boşluklu parçalar için normal konikliğinin, boşluk kalınlığına oranı 0,1 olmalıdır.
7. Derin ve dar boşluklara sahip parça tasarımlarından kaçınılmalıdır.
8. Maskeleme tekniğiyle işlenecek parçalar düz olmalıdır.
9. Alüminyum kimyasal işlenirken tane yönünü belirlemeli ve taneler boyunca işleme en aza indirmelidir.

### 3. ELEKTROKİMYASAL İŞLEME

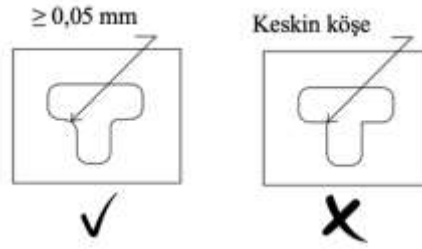
Elektrokimyasal işleme geleneksel yöntemlerle işlenmesi zor olan malzemeler ve şekiller için uygundur. Genellikle takım çeliği, nikel alaşımları, kobalt alaşımları, tungsten, molibden, zirkonyum ve diğer ateşe dayanıklı metaller dahil olmak üzere sertleştirilmiş çelik malzemeler için kullanılır. Bu teknikte kullanılan takım özel olarak tasarlanır ve takım ömrü az bir miktar bakımla oldukça uzundur. Bu nedenle bu teknik, geleneksel olarak işlenmesi zor olan malzemeler için kullanılır. Orta ve yüksek miktarda üretim için kullanılır [6]. Elektrokimyasal olarak işlenecek bir parçada tasarımcı aşağıdaki hususları gözönünde bulundurmalıdır:

1. Delik delmede koniklik (% 0,1) sağlanmalıdır (Şekil 2a).
2. Keskin iç (<0,4 mm) (Şekil 2b) ve dış yarıçaplarından (en az 0,05 mm) (Şekil 2c) kaçınılmalıdır.



(a)

(b)

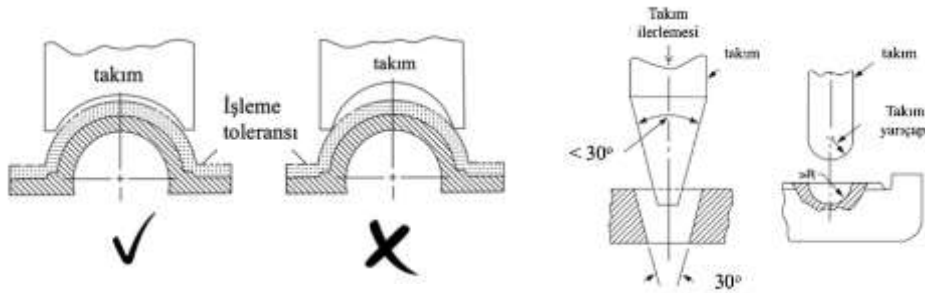


(c)

Şekil 2. Elektrokimyasal işlemede tasarım önerileri

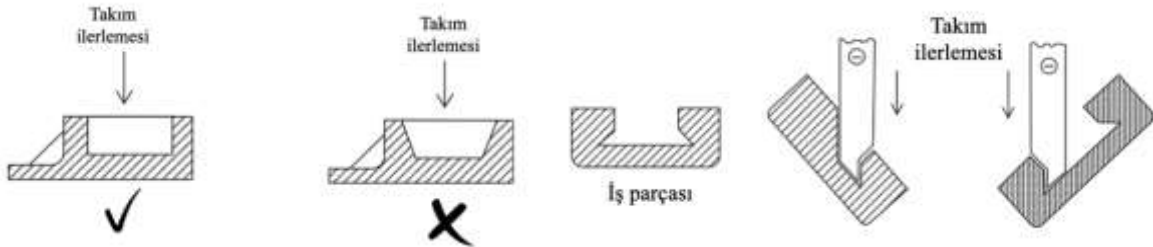
3. Tasarımcı, tüm işlenmiş alan boyunca sabit bir yüzey kalitesi elde edilecek şekilde tek tip bir işleme payı sağlamalıdır (Şekil 3a).

4. Takım, üretilecek şekille aynı geometrik benzerlikte değildir (Şekil 3b).



(a)

(b)



(c)

(d)

Şekil 3. Elektrokimyasal işlemede tasarım önerileri



5. Tasarımın kenar duvarları mümkün olduğunca dik olmalıdır (Şekil 3c).

6. Karmaşık takım ihtiyaçlarından kaçınmak için, bu teknikle işlenecek geometrilerde alttan kesmelerden kaçınılmalıdır (Şekil 3d).

7. Takımın ilerleme hızı  $\pm 0,127$  mm tolerans aralığında ayarlanarak kontrol edilebilmelidir.

8. 0,76–100 mm delik boyutu, 180:1'lik maksimum en boy oranını ile tasarımlar yapılmalıdır.

9. İşlenecek kaba kontur, nihai tasarlanan şeklin profiline mümkün olduğunca yakın olmalıdır.

10. Elektrot takım, son derinliğe ulaşıldığında, şeklin nihai boyutuna ve bitişine ulaşılacak şekilde tasarlanmalıdır.

#### 4. SONUÇ

Ekonomik olarak imalatın sağlanabilmesi için üzerinde durulması gerekli bazı hususlar bulunmaktadır. Öncelikle tasarımda gerekli parça sayısı azaltılarak tasarım basitleştirilmelidir. Düşük işçilik maliyetleri gerektirecek işlem gereksinimleri ile tasarım yapılmalıdır. Tasarımdan beklenen gereksinimler sağlandıktan sonra minimum ağırlık hedeflenmelidir. Kullanılacak takımların özel amaçlı olmasından kaçınılmaya çalışılmalı ve genel amaçlılar tercih edilmelidir. Üretim kolaylığı ve mukavemet açısından keskin köşelerden kaçınılmalıdır. Tasarımlar, üretim tekniklerine uygun olarak delik, et kalınlığı vb. özelliklerle hazırlanmalıdır.

#### 5. KAYNAKLAR

[1] S. Om Prakash, M. Jeyakumar, B. Sanjay Gandhi, Parametric optimization on electro chemical machining process using PSO algorithm, Materials Today: Proceedings, Volume 62, Part 4, 2022.

[2] Wuyi Ming, Xudong Guo, Yingjie Xu, Guojun Zhang, Zhiwen Jiang, Yizhong Li, Xiaoke Li, Progress in non-traditional machining of amorphous alloys, Ceramics International, Volume 49, Issue 2, 2023,

[3] Serope Kalpakjian, Steven R. Schmid, Hamldon Musa, Manufacturing Engineering and Technology, Pearson, Prentice Hall.

[4] Vinod Kumar, Gurwinder Singh, Niraj Bala, Recent advancements in electro-chemical machining of MMC and alloys, Materials Today: Proceedings, 2023,

[5] David M. Anderson, Design for Manufacturability, CRC Press, Taylor & Francis Group.

[6] Youssef, Helmi A., El-Hofy, H. Machining technology : machine tools and operations. CRC Press Taylor & Francis Group, 2008.



## OTOMOBİL PİSTONLARININ EKLEMELİ İMALATTA KULLANILABİLİRLİĞİNİN NÜMERİK ANALİZİ

### NUMERICAL ANALYSIS OF THE USAGE OF VEHICLE PISTONS IN ADDITIVE MANUFACTURING

**Gülsüm TEKAVİT**

*Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Antalya, Türkiye*

*ORCID ID: 0000-0001-7119-2925*

**Doç. Dr. Tuğçe TEZEL**

*Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Antalya, Türkiye*

*ORCID ID: 0000-0003-0139-442X*

**Prof. Dr. Volkan KOVAN**

*Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Antalya, Türkiye*

*ORCID ID: 0000-0002-0599-525X*

#### ÖZET

Piston, yanma odasının alt kısmını oluşturan silindirde hareket halinde bir elemandır. Pistonun hareketi esnasında yön değiştirmesi sebebiyle büyük kuvvetler üretilir. Motor içerisindeki sürtünmenin önemli bir kısmı piston tertibatının hareketinden kaynaklanır. Bu nedenle pistonların geliştirilmesi motor verimliliğini etkileyen unsurlar arasındadır. Motor verimliliğini artırmaya yönelik çalışmalar arasında, pistonun üretim metodunun etkileri de yer almaktadır. Piston imalatında yaygın olarak döküm, plastik şekillendirme, talaşlı imalat gibi geleneksel yöntemler kullanılır. Eklemeli imalat gibi daha modern teknolojilerin gelişmesi ile pistonlar bu yeni üretim tekniklerine göre çeşitli etkiler almaktadır.

Bu çalışmada, bir araca ait piston modellenerek nümerik analiz yapılmıştır. Eklemeli imalatta kullanılan malzemeler analiz edilmek suretiyle malzeme davranışları detaylı olarak incelenmiştir. Böylelikle piston imalatında yeni üretim tekniklerinin uygulanabilirliği ortaya konmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** piston, eklemeli imalat, nümerik analiz, ANSYS

#### ABSTRACT

The piston is a moving element in the cylinder that forms the lower part of the combustion chamber. During the movement of the piston, significant forces are produced due to the change of direction. The movement of the piston assembly causes a significant part of the friction inside the engine. For this reason, the development of pistons is among the factors affecting engine efficiency. Among the studies aimed at increasing engine efficiency are the effects of the production method of the piston. Conventional casting, plastic forming, and machining methods are commonly used in piston manufacturing. With more modern technologies like additive manufacturing, pistons receive various effects according to these new production techniques.

In this study, numerical analysis was performed by modeling the piston of a vehicle. Material behavior has been examined in detail by analyzing the materials used in additive manufacturing. Thus, the applicability of new production techniques in piston manufacturing has been demonstrated.

**Keywords:** piston, additive manufacturing, numerical analysis, ANSYS



## 1. GİRİŞ

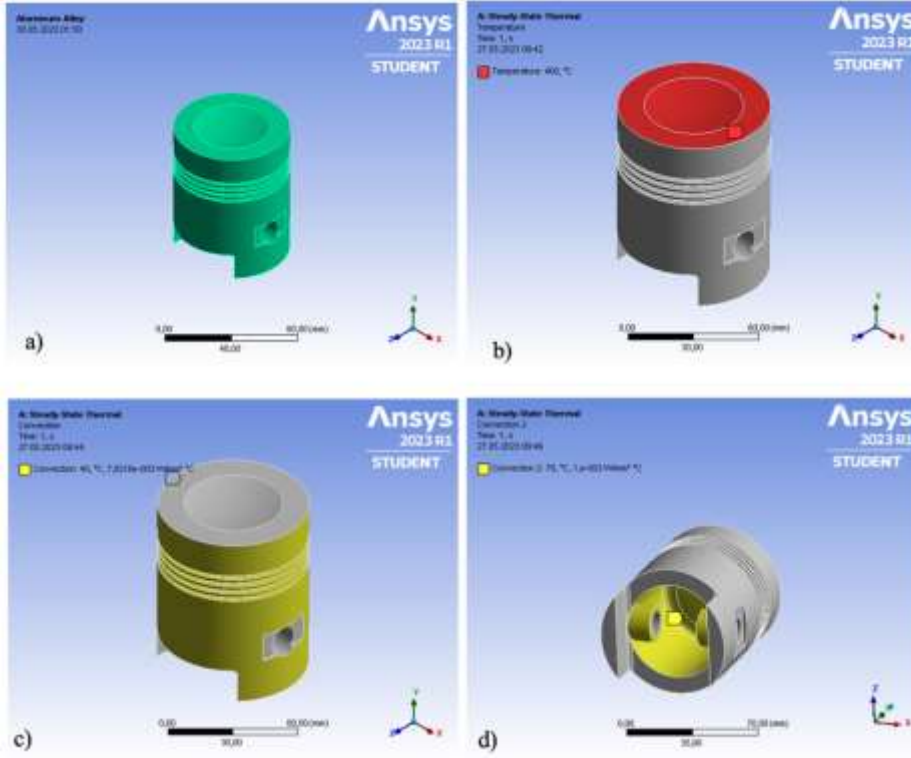
Piston içten yanmalı motorların kilit parçalarından biridir ve silindir içinde aşağı yukarı hareketi sebebiyle büyük kuvvetler üretir. Pistonlar, büyük miktarda sürtünme ve sıcaklık kuvvetlerine maruz kalır ve bu durum pistonda motorun performansını etkileyebilecek problemlere sebep olabilir. Bu sebeple motor performansını geliştirmek için üretim yöntemleri ve piston malzemeleriyle ilgili çalışmalar yapılmıştır. Piston imalatında genellikle döküm, plastik şekil verme, talaşlı imalat gibi geleneksel imalat yöntemleri kullanılırken, son zamanlarda yeni teknolojik gelişmeler ışığında eklemeli imalat da kullanılmaya başlanmıştır.

Eklemeli imalat, katman katman üretim prensibine dayanmaktadır. Geleneksel imalat yöntemlerine göre üretimde oldukça az hurda malzeme çıkar. Bu da son zamanlardaki ekonomik ve ekolojik kaygılar sebebiyle olumlu bir özelliktir. Eklemeli imalat ile piston üretilirken, alüminyum alaşımları ve paslanmaz çelik gibi genel piston malzemelerinin yanında Inconel, titanyum alaşımları gibi farklı malzeme grupları da kullanılır.

Bu çalışmada piston modellenmesi ve analizi ile ilgili literatürdeki çalışmalarda, alüminyum alaşımları, paslanmaz çelik, çeşitli alaşım malzemeler kullanıldığı görülmüştür. Alshwara vd (2022) içten yanmalı motorların verimliliğini artırmak için sürtünmeyi azaltmak amacıyla piston segmanı silindir gömleğini Inconel 625, Inconel 718, 17-4PH paslanmaz çelik, AlSi10Mg ve Ti6Al4V malzemelerle simüle etmiştir. Nümerik analizin sonucunda Ti6Al4V malzeme deformasyonda önemli azalma göstermiştir. Heogh vd. (2022) tarafından LPBF (laser powder bed fusion) kullanılarak 17-4PH paslanmaz çelik malzemeden üretilen çevre dostu bir kalıp ile Al-Si bazlı JIS-AC8A döküm malzemeden piston üretilmiştir. Bu kalıp ile üretilen piston geleneksel kır döküm pistonu göre daha iyi mekanik özellikler göstermiştir. Perez vd. (2022) bu çalışmada A380 pistonunun ilk mekanik özelliklerini koruyarak ağırlık azaltma ve geometri optimizasyonu amaçlamıştır. Bu yüzden topoloji optimizasyonu kullanılmıştır ve üç iterasyon arasında bir karşılaştırma yapılmıştır. Millo vd (2022) tarafından yapılan çalışmada kademeli piston çanak (a stepped-lip bowl) ve radyal tümsekli çanak (a radial-bumps bowl) olmak üzere iki farklı piston çanağı tasarlanarak nümerik analiz yapılmıştır. Sonuç olarak bu çanakların verimliliği artırmak ve emisyonları azaltmak için büyük potansiyele sahip olduğu görülmüştür. Song vd. (2022) çalışmada fonksiyonel olarak derecelendirilmiş metal malzemelerin piston üretimi ve eklemeli imalatla kullanımından bahsetmiştir. Dalpadulo vd. (2021) tarafından yapılan çalışmada tasarım araç seçim aşamasını geliştirmek amacıyla bir çalışma sunulmuştur. Bu çalışmada LPBF kullanılarak üretilen AlSi10Mg pistonun kütlesini azaltmak amacıyla dört farklı ticari bilgisayar tabanlı platform ile topoloji optimizasyonu yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Millo vd. (2021) çalışmasında düşük kurum emisyonları elde etmek amacıyla hibrit bir çanak modeli önermiştir. Sayısal analizin sonucunda %70'lik bir kurum azalımı gözlemlenmiştir. Barbieri vd. (2018) piston üretiminde alüminyum alaşım yerine çelik; geleneksel üretim yöntemleri yerine de eklemeli imalat kullanmıştır. Bu pistonu üç farklı yük koşulları altında optimize edip karşılaştırarak uygun bir piston tasarımı önerilmiştir. Literatürde görüldüğü gibi, eklemeli imalat teknolojilerinin kullanıldığı malzemelerin yük altındaki koşullarını inceleyen herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır.

## MATERYAL VE METOT

Sayısal analiz için Solidworks'te bir piston modellenmiştir ve bu model Şekil 1 a'da görüldüğü üzere ANSYS'e aktarılmıştır. Piston malzemesi olarak Inconel 625, Inconel 718, 17-4PH paslanmaz çelik, 316 paslanmaz çelik, AlSi10Mg ve Ti6Al4V kullanılmıştır. Malzeme özellikleri ANSYS malzeme kütüphanesinden alınmıştır (Tablo 1). Termal ve yapısal analizler ANSYS Workbench'te yapılmıştır. İlk olarak steady state termal analiz yapılmıştır ve pistonun üst yüzeyine 400 °C sıcaklık uygulanmıştır (Şekil 1b). Yağlama ve hava soğutmanın etkisini vermek amacıyla konveksiyon yoluyla ısı transferi pistonun dış yüzeyine konveksiyon sıcaklığı 40°C ve ısı taşınım katsayısı ise 7821.6 W/m<sup>2</sup> °C olarak uygulanmıştır (Şekil 1c). Pistonun iç yüzeyi ise yağlayıcı ve soğutma yağı ile soğutulmuş kabulü yapılmıştır ve bu yüzden konveksiyon sıcaklığı 70°C ve ısı taşınım katsayısı 1000 W/m<sup>2</sup> °C olarak kabul edilmiştir (Şekil 1d).



Şekil 1. a) Piston geometrisi; b) Sıcaklığın pistona uygulanması; c) Pistonun dış duvarına konveksiyon değerinin uygulanması; d) Pistonun iç duvarına konveksiyon değerinin uygulanması

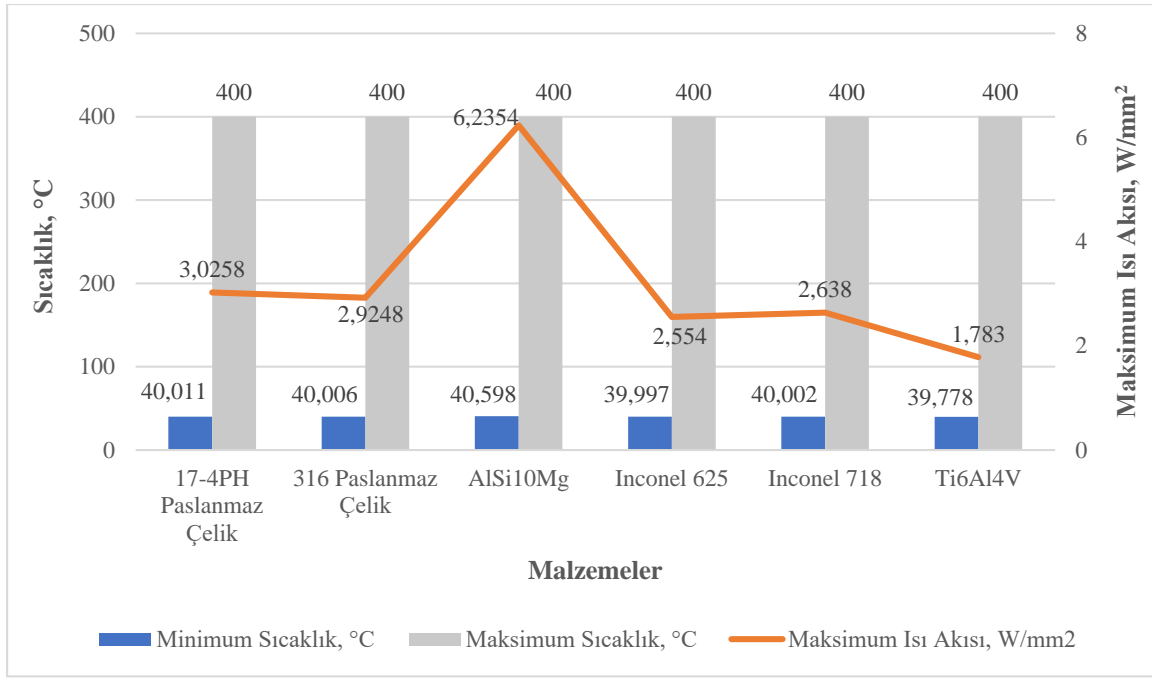
Tablo 1. Piston Malzemelerinin Özellikleri

	17-4PH	316	AlSi10Mg	Inconel 625	Inconel 718	Ti6Al4V
Yoğunluk, kg/mm <sup>3</sup>	7,79	7,95	2,67	8,44	8,22	4,37
Termal iletkenlik, (W/m°C)	15,22	13,35	110	9,82	11,9	Ortotropik
Özgül ısı, kJ/kg°C	0,475	0,498	0,915	0,410	0,422	0,630
Elastisite modülü, GPa	204	195	76,6	162	165	93,9

## BULGULAR VE TARTIŞMA

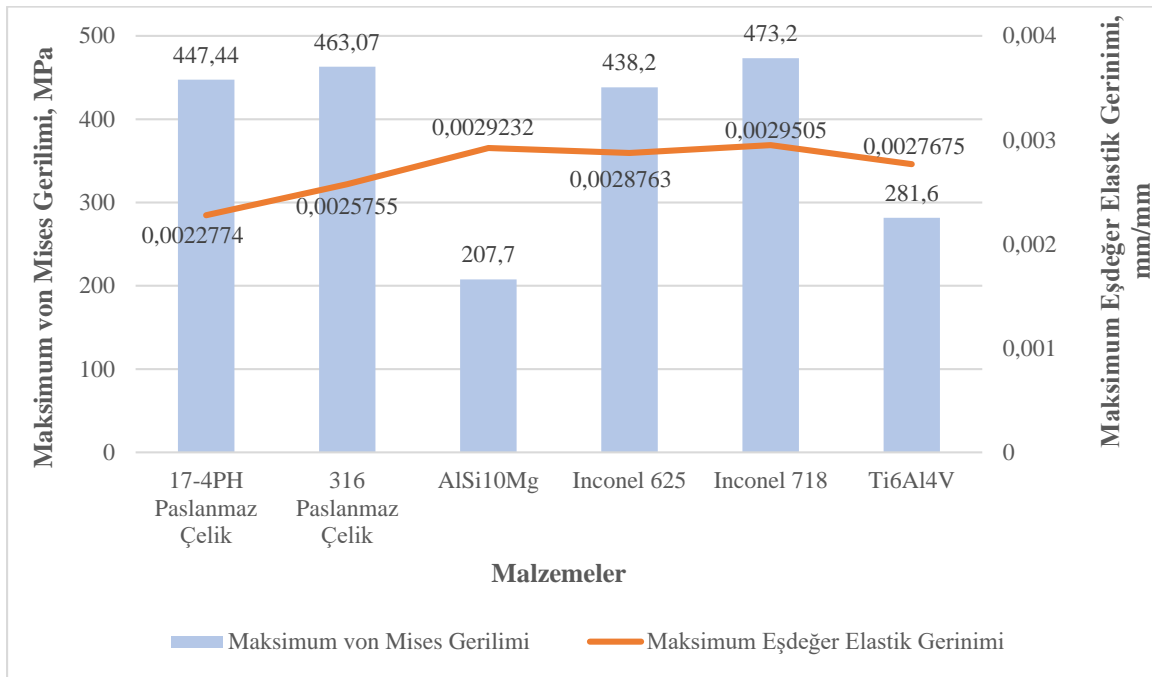
İncelenen tüm malzemeler için pistonun nümerik analizlerinden elde edilen sıcaklık ve maksimum ısı akısı değerleri Şekil 2'de görülmektedir. Maksimum sıcaklık değeri tüm malzemelerin 400 °C'dir. Minimum sıcaklık ve maksimum ısı akısı değerleri ise malzemelere bağlı olarak Ti6Al4V, Inconel 625, Inconel 718, 316 paslanmaz çelik, 17-4PH paslanmaz çelik ve AlSi10Mg şeklinde sıralanmıştır.





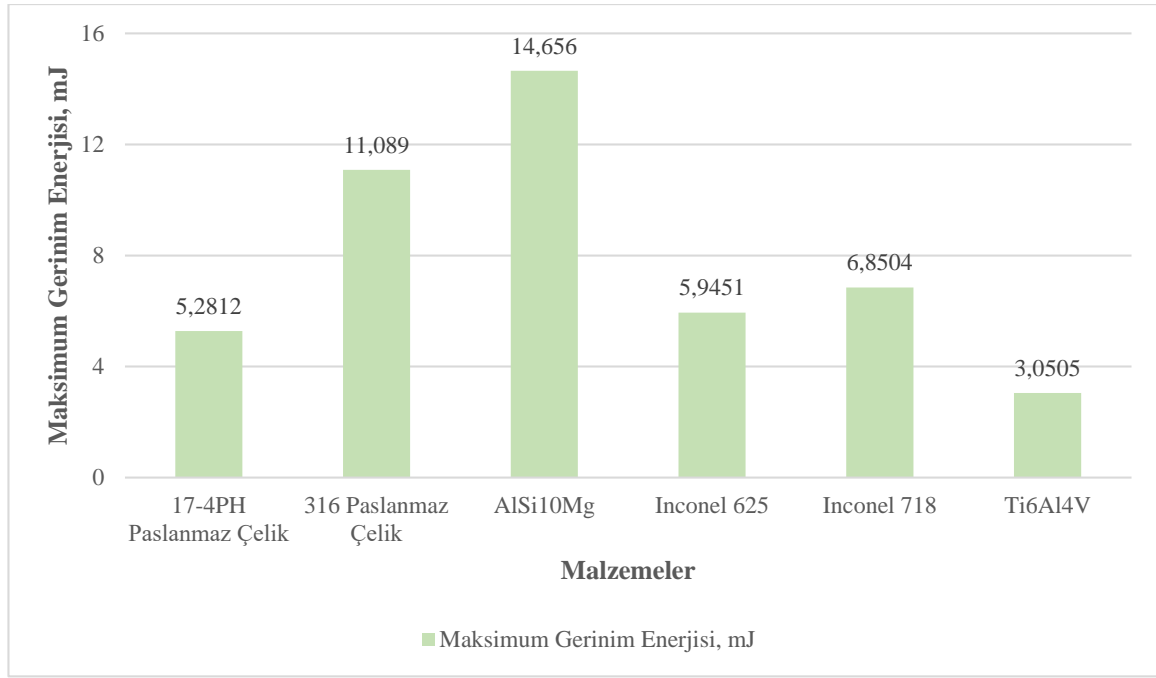
Şekil 2. Malzemelere bağlı olarak sıcaklık ve maksimum ısı akısı değişimi

Maksimum von Mises gerilimi ve eşdeğer elastik gerinimi değerleri Şekil 3'te gösterilmektedir. Von Mises gerilimi sırasıyla AlSi10Mg, Ti6Al4V, Inconel 625, 17-4PH paslanmaz çelik, 316 paslanmaz çelik ve Inconel 718 şeklinde artmaktadır. Maksimum eşdeğer elastik gerinimi ise sırasıyla 17-4PH paslanmaz çelik, 316 paslanmaz çelik, Ti6Al4V, Inconel 625, AlSi10Mg ve Inconel 718 şeklinde artış göstermiştir.



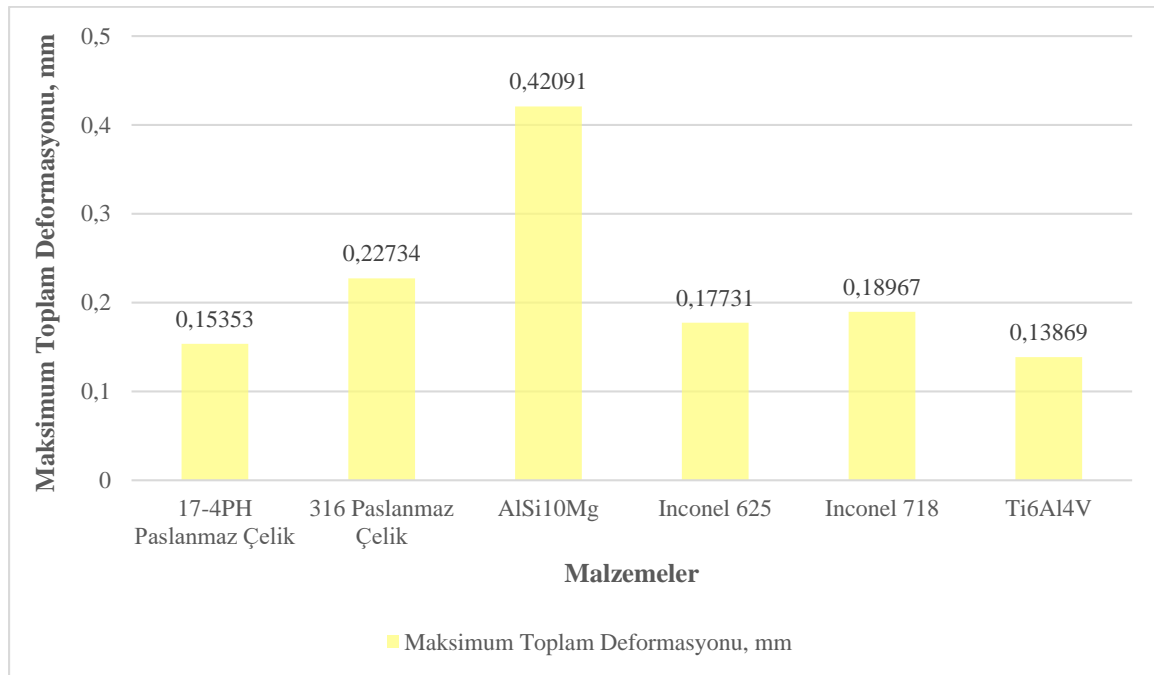
Şekil 3. Malzemelere bağlı olarak von Mises gerilimi ve maksimum eşdeğer elastik gerinim değişimi

Malzemelere bağlı olarak maksimum gerinim enerjisi değerlerindeki değişim Şekil 4'te yer almaktadır. En yüksek maksimum gerinim enerjisine sahip malzeme AlSi10Mg, en düşük malzeme ise Ti6Al4V'dir.



Şekil 4. Maksimum Gerinim Enerjisi

Şekil 5'te çalışmada kullanılan tüm malzemelere ait maksimum toplam deformasyon değerleri görülmektedir. Maksimum toplam deformasyonun en az meydana geldiği malzemeler sırasıyla Ti6Al4V, 17-4PH paslanmaz çelik, Inconel 625, Inconel 718, 316 paslanmaz çelik ve AlSi10Mg'dir. Analizin sonucunda en az deformasyon uğrayan malzeme, Ti6Al4V, literatür ile uyumludur.



Şekil 5. Maksimum Toplam Deformasyonu

## SONUÇ

Günümüzde eklemeli imalata uygun olarak malzemeler geliştirildikçe kullanılacak malzeme potansiyelinde artış meydana gelmesi beklenmektedir. Böylelikle eklemeli imalat, geleneksel imalat tekniklerinin yerini alarak farklı tasarım ve üretim araçları gerektiren pek çok alanda kullanılabilir. Eklemeli imalat için geliştirilen malzemelerle, bu çalışmada geleneksel yöntemlerle üretilen pistonların yerini alabilirliği değerlendirilmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar doğrultusunda, en az



deformasyonu Ti6Al4V malzemenin göstermiştir. Ancak bu malzeme aynı zamanda en düşük maksimum ısı akısı değerine sahip olduğu için, soğutma ve yağlamaya uygun olmadığı değerlendirilmiştir. Yapılan bu çalışma ile piston üretimi için Inconel 625 ve Inconel 718 malzemelerin eklemeli imalat sonrası performanslarının daha uygun olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Araştırmacılar, bu nümerik analiz sonuçları doğrultusunda tasarımlarını şekillendirebilir.

#### KAYNAKÇA

Alshwawra, A., Abo Swerih, A., Sakhrieh, A., & Dinkelacker, F. (2022). Structural Performance of Additively Manufactured Cylinder Liner—A Numerical Study. *Energies*, 15(23).

Barbieri, S. G., Giacomini, M., Mangeruga, V., & Mantovani, S. (2018). Design of an Additive Manufactured Steel Piston for a High Performance Engine: Developing of a Numerical Methodology Based on Topology Optimization Techniques. *SAE International Journal of Engines*, 11(6), 1139–1150.

Dalpadulo, E., Pini, F., & Leali, F. (2021). Assessment of computer-aided design tools for topology optimization of additively manufactured automotive components. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(22).

Hariram, V., Sessa Sai Somanadh, C., Naveenkumar, M., Godwin John, J., Chandrasekhar Reddy, C., Upendar Reddy, S., & Seralathan, S. (2021). Thermal and Structural Analysis of Different Piston Geometries of Compression Ignition Engine. *International Journal of Vehicle Structures and Systems*, 13(5), 604–609.

Heogh, W., Yeon, S. M., Kang, D.-S., Park, S., Park, S., Ryu, K., Sun, J., Ji, L., Son, Y., Choi, K., Choi, K., & Ha, C. W. (2022). The design and additive manufacturing of an eco-friendly mold utilized for high productivity based on conformal cooling optimization. *Materials and Design*, 222.

Millo, F., Piano, A., Roggio, S., Pesce, F. C., Vassallo, A., & Bianco, A. (2022). Numerical Assessment on the Influence of Engine Calibration Parameters on Innovative Piston Bowls Designed for Light-Duty Diesel Engines. *Energies*, 15(10).

Millo, F., Piano, A., Roggio, S., Bianco, A., Pesce, F. C., & Vassallo, A. L. (2021). Numerical Assessment of Additive Manufacturing-Enabled Innovative Piston Bowl Design for a Light-Duty Diesel Engine Achieving Ultra-Low Engine-Out Soot Emissions. *SAE International Journal of Engines*, 15(3).

Perez, A., Valdes, A., Niño, G., Tamayo, C., Roman Flores, A., & Cuan-Urquizo, E. (2022). Mass Reduction and Enhanced Geometry of a 0.196 Liters Small IC Engine Piston Through Topology Optimization Simulation and Finite Element Analysis. *SAE Technical Papers*.

Song, C.-C., Yan, X.-R., Zhang, Z.-A., Di, T.-D., Ma, G.-Y., Niu, F.-Y., & Wu, D.-J. (2022). Research Progress in Manufacturing Technology of Functionally Graded Materials. *Surface Technology*, 51(12), 20–38.



## ORNITHOPTER TEKNOLOJİLERİNİN GELİŞİMİ DEVELOPMENT OF ORNITHOPTER TECHNOLOGIES

**Sait BÜYÜKKAYA**

*Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Antalya, Türkiye.*

*ORCID ID: 0009-0005-6231-1837*

**Prof. Dr. Volkan KOVAN**

*Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Antalya, Türkiye.*

*ORCID ID: 0000-0002-0599-525X*

**Doç. Dr. Tuğçe TEZEL**

*Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Antalya, Türkiye.*

*ORCID ID: 0000-0003-0139-442X*

### ÖZET

İnsanlar için uçma hayali gerçekleşmeden çok önce, hava sahası kuşlar ve böcekler gibi doğal uçucular tarafından kullanılmıştır. Uçuşlarındaki doğal kolaylık ve zarafet, uçaklara ve kontrol sistemlerindeki teknolojiye hala ilham kaynağı olmaktadır. Bir başka deyişle havacılığın ilk günlerinden bugünün uçaklarına kadar özellikle kuşlar, doğal bir model olarak hizmet etmişlerdir. Doğal modelin gözlemlenmesinin aerodinamiği anlamak için belirleyici olduğu, ancak tahrik mekanizmasının bir kopyasının yapılamayacağı düşünülmüştür. Çünkü insanların aksine, kuşların kanatlarını çırpmalarını sağlayan son derece güçlü tahrik kasları bulunmaktadır. Kas gücüyle çalışan, uçuşa elverişli bir ulaşım aracı, bu nedenle, nispeten zayıf insan kasları nedeniyle başarısız olmuştur. Ancak kanat çırparak uçuşun havacılık için uygun olmadığı ortaya çıkmasına rağmen, yaydığı etki tarih boyunca hiçbir zaman kaybolmamıştır. Tüm bu sebeplerden ötürü modern uçak tasarımları birçok açıdan mükemmel olsa da yükselen bir kuşun manevra kabiliyetine ulaşabilmesi oldukça zordur. Bu çalışmada, büyük kuşların seyir uçuşunu taklit eden ve uzun süre uçuş gerçekleştiren kuşların uçuş mekanizmaları ve vücut yapılarının incelendiği literatürdeki çalışmalar derlenerek ornithopter teknolojilerinin tarihsel gelişimi incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** ornithopter, uçuş aerodinamiği, uçuş mekanizmaları

### ABSTRACT

Long before the dream of flying come true for humans, airspace was used by natural volatiles such as birds and insects. Their flight's natural ease and grace still inspire aircraft and the technology in their control systems. In other words, birds, in particular, have served as a natural model from the early days of aviation to today's airplanes. Observation of the natural pattern was thought to be decisive for understanding aerodynamics, but a copy of the propulsion mechanism could not be made. Because, unlike humans, birds have potent propulsion muscles that enable them to flap their wings. Therefore, a muscle-powered, airworthy transport has failed due to relatively weak human muscles. However, even though flapping flight turned out to be unsuitable for aviation, the effect it spread has remained throughout history. For all these reasons, although modern aircraft designs are excellent in many ways, it is complicated for a soaring bird to achieve maneuverability. In this study, the historical development of ornithopter technologies was examined by compiling studies in the literature examining the flight mechanisms and body structures of birds that imitate the cruising flight of large birds and perform long-term flights.

**Keywords:** ornithopter, flight aerodynamics, flight mechanisms

## 1. GİRİŞ

Ornithopter, kuşların uçuş prensibine benzer şekilde kanat çırpılarak uçmak için tasarlanmış makinelerdir. Tarihte birçok kişi uçuş konusunda kuşlardan esinlenmiş ve kısmi şekilde başarılı olmuştur. Onca denemeye rağmen neredeyse 21. yy. başlangıcına kadar insanoğlu gerçek ve kontrollü manada uçmayı başaramamıştır [1]. Milyonlarca yıldır kuşların dünyada bulunması, yüzlerce çeşit kuşun yüzlerce uçuş metodu olmasına rağmen insanoğlu kendisinin kontrol edebildiği uçuş mekanizmalarını sabit kanatlı olarak imal edebilmiştir [2]. Buradaki sorun, hareketin tekerlek veya bacaklar ile sağlanması ile daha iyi anlaşılabilir. Tekerlekler hareket için sağlam, analizi kolay ve çok verimli bir yol sağlar. Mevcut uygulamalarda bacakların kontrol edilmesi herkesin bildiği gibi zordur ve enerji verimsiz olsa da çok çeviktir. Sabit kanat ile kanat çırpışları da buna paraleldir. Çırpınan kanatların kararsız akışkan dinamikleri tam olarak anlaşılammıştır ve bir ornithopterin istenildiği gibi manevra yapması zordur.

Günümüz teknolojisindeki ilerlemeler, bugün bilim adamlarının kanat çırpmanın nasıl çalıştığına daha yakından bakmalarını ve sırlarını yavaş yavaş ortaya çıkarmalarını sağlamaktadır. Uçuş tür çeşitliliği nedeniyle, araştırmacılar, kanat çırpmanın çok çeşitli aerodinamik koşullara uyumunu ve hareket tarzını araştırma fırsatına sahiplerdir. Farklı türler arasındaki muazzam büyüklükteki farklılıklar, tahrik sistemlerinde de önemli farklılıklar gerektirmektedir. Sürtünme kuvvetlerinin 1,2cm büyüklüğündeki bal arısı üzerindeki etkisi ile 2,6m kanat açıklığına sahip toy kuşundan tamamen farklıdır.

Kanat çırpılarak uçuşun pratik ve teknik uygulamasının uygulanmasının zor olduğu ve gerçekten yararlı olmadığı düşünüldüğü için bu alandaki araştırmalar ihmal edilmiştir. Mikro hava araçlarına ilgi arttığı için, ornithopterlerin tasarımına ve kontrolüne olan ilgi son yıllarda artmıştır. Bu küçük uçan makineler, göze çarpmayacağı ve daha büyük sabit kanatlı uçan araçlara göre sınırlı alanlarda daha iyi erişime sahip olacağı için, izleme ve gözetleme gibi çeşitli görevler için ideal platformlar olarak göze çarpmaktadır. Kuşların boyutları ve ağırlıkları incelendiğinde ornithopterlerin taşıyabilecekleri yük miktarı sınırlı kalmaktadır. Bu sebeple, kuşların uçuş tekniğine göre uçuş gerçekleştiren ornithopterlerin savunma sanayii de kullanımı için daha fazla bilimsel çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada ornithopterlerin tarihsel gelişimi derlenerek sunulmuştur.

## 2. ORNITHOPTERLERİN TARİHİ GELİŞİMİ

İnsanoğlu doğadan esinlendiği teknikleri yılmadan deneyerek teknolojik olarak ilerleme kaydetmiş ve yeni buluşlara imza atmıştır. Tarih boyunca insanoğlunun doğadan esinlenerek en çok yapmak istediği aktivitelerden biri uçmak olmuştur ve bunu cesurca denemeler sonucu başarmıştır.

Bazı kaynaklarda Çin İmparatoru Wang Mang döneminde yani I. yy. da bir adama İmparator tarafından kuş tüylerinden kanat yaptırılarak 100 m kadar uçtuğu söylene de bilinen tarihte uçmayı ilk deneyen kişi 810 – 877 yılları arasında yaşamış Endülüslü bilgin Abbas İbn Firnas'tır. Abbas İbn Firnas ipek ve kartal tüylerinden yaptığı elleri ile tahrik ettiği çırpın kanat mekanizmasıyla uçmayı denemiştir. 65 yaşında yüksek bir yerden kendini bırakmış ve rivayetlere göre 10 dakika uçmayı başardıysa da sert bir şekilde yere çakılarak omurgalarından yaralanmıştır[3]. İnsanoğlunun ilk uçuş deneyimini gerçekleştirmiş olsa da sadece uçmaya yoğunlaşmasından dolayı ve iniş hakkında herhangi bir mekanizma önlemi almamış olmasını ağır bir bedelle ödemiştir.



Şekil 1. Abbas İbn Firnasın 875 yılındaki uçuş betimlemesi [4]

Firnas'ın uçuş denemesinin ardından aslen Türk olup Farab'da doğmuş olan Cevheri, İsmâil b. Hammâd yaklaşık 2 asır sonra uçmayı deneyimleyen ikinci insan olmuştur. Yine sadece kanat takarak çıktığı yüksek yerden kendini bırakıp uçmayı denese de düşerek hayatını kaybetmiştir [5].

1485 senesinde Leonardo Da Vinci ornithopter sisteminde insanların kuşlara oranla daha ağır olduğunu ve bu ağırlığı kaldıracak kadar gücünün olmadığını farketmiştir. Bunun üzerine el manivelalı, ayak pedallı ve palanga mekanizmalı bir tasarım ortaya çıkarmıştır fakat tasarımını hayata geçirememiştir.



Şekil 2. Leonardo Da Vinci'nin Ornithopter Tasarımı [6]

1540'da Portekizli Joao Torto kartal görünümündeki bir kask [7] takarak kollarına da kumaş kaplı kanatlarını almıştır ve atlayışını gerçekleştirmiştir[8]. Uçuş esnasında kaskının gözlerini kapatması dolayısıyla kontrol ve dengesini kaybederek ağır yaralanmıştır.



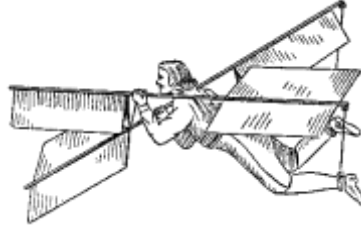
Şekil 3. Joao Torto'nun Uçuş Betimlemesi [7]

1632 yılında Hezarfen Ahmet Çelebi tasarladığı uçuş sistemi ile önce Okmeydanı Mimbri üzerinde 8-9 kez uçuş talimi yapmış ve başarılı olmuştur. Ardından Galata Kulesinin tepesine çıkarak Üsküdar'daki Doğançılar Meydanına inmiştir[8]. Teknik olarak bakıldığında iki nokta arasındaki düşey mesafe 62 metre, yatay mesafe ise 3358 metredir. Bu uçuşta Hezarfen ortalama 54 metre ilerlemesinde en fazla 1 metre alçalması gerekmektedir. Yani süzülme oranı 54:1 olmalıdır. Bu konuda tartışmalar olsa da 2010 yılı verilerine göre açık tip yelken kanat sistemlerinde bu oran 60:1'lere kadar ulaşmıştır [9] Bu vesileyle böyle bir uçuşun gerçekleştirilebileceği ortaya koyulmuştur.



Şekil 4. Hezarfen Ahmet Çelebinin Uçuş Tasviri [10]

1670'lerde uçmayı takıntı haline getiren Besnier 1678 yılında uçmak için her birinde iki açılır kapanır kanatçıya sahip iki adet çubuktan oluşan bir mekanizma geliştirmiştir [11] Bu mekanizmada hava ile temas eden kanatçıların temas yüzeyini artırarak kanada etki eden basıncın artırılması gözetilirken hava ile teması olmayan kanatçıların kapalı durumda kalması hava direnci oluşturmaması düşünülmüştür. Uçuş mesafesinin çok kısa ve çok düşük irtifalı olduğu kayıtlara geçmiştir[4].



Şekil 5. Çilingir Besnierin Uçuş Mekanizması [12]

1770'lerde Pierre Desforges'in Uçuş Gondolu ile 1.8 metre uzunluğa, 6.1 metre kanat açıklığına sahip mekanizmasıyla yüksek bir kuleden kendini bıraktığı ve uçuş serüveninin başarısızlıkla sonuçlandığı bilinmektedir [13]

Kasım 1841'de Manojlo bir katedralin tepesinden atlanmasının engellenmesinden sonra vazgeçmeyerek Sava Nehri Kıyısındaki Gümrük Binası üzerinden nehri geçmeyi düşünmüştür. Kuş kanadına benzer mekanizması ve düşme riskini azaltıcı bir paraşüt sistemi ile kendini binanın üzerinden bırakmıştır. Kendisini izleyen kalabalığın üstünden geçse de uçuşu düşüşle sonuçlanmıştır. Kullanmış olduğu paraşüt sistemi ve yerdeki kar sayesinde hayatta kalmaya başarmıştır [14].

1874 yılında Victor Tatin insansız ornithopter tasarımı ortaya koymuştur. Tasarımı oldukça basit olmakla beraber akılcı bir yöntem olarak literatürde yerini almıştır. Önceki ornithopterlere nazaran oldukça küçük olan bu tasarımda kanat çırpma mekanizmasını bir krank mili ve lastik oluşturmaktadır [9]. Burada lastik önce mile sarılarak potansiyel enerji depolanması sağlanır ve lastik serbest bırakıldığında krank mili tahrik edilerek kanat çırpma hareketi gerçekleştirilmiş olur.



Şekil 6. Victor Tatin'in İnsansız Ornithopter Tasarımı [9]

1890'larda ise uçakların semalarda uçmasına ilham kaynağı olmuş Lawrence Hargrave'in teknolojik mekanizması yer almaktadır. Bu tasarımda tahrik elemanları olarak lastik, yay ve buharlı motor kullanılmıştır [15]. Bu mekanizma ile 95 m uçuş gerçekleştirilmiştir [10].



Şekil 7. Lawrence Hargrave'in Buharlı Motor Tahrikli Ornithopteri [10]

Gustave Trouvé 1890'larda içten yanmalı motoru, ornithopter üzerinde ilk kullanan kişi olmuştur. İçten yanmalı motorda yakıt olarak barut kullanılmıştır ve 80 metre uçuş gerçekleştirilmiştir[15].

İngiliz havacılığının öncülerinden olan Edward Purkis Frost 1868 yılında buhar motoru ile tahrik ettiği bir ornithopter tasarımı ortaya çıkarmıştır. Motor gücü olarak 25 hp güc elde etmek isteyen Frost sadece



5 hp güç elde edebilmiştir ve bu güç ornithopteri yerden kaldırmak için yeterli olmamıştır. Çalışmalarına yılmadan devam ederek 1904 yılında yine büyük bir ornithopter tasarımı yapmıştır. Bu denemesinde, gelişen teknolojinin de yardımıyla tek silindirik içten yanmalı Antoniette Motoru ile sistemini tahrik etmiş, istediği güce ulaşmış ve ornithopterini yerden kaldırmayı başarmıştır [11].



Şekil 8. Edward P. Frost'un içten yanmalı motorla tahrik ettiği ornithopter tasarımı [16]

Tarihin ilk roket itki gücüyle havalanan savaş uçağı Me 163 Komet'in tasarımcısı Alexander Martin Lippisch; 1929 yılında insan gücü ile tahrik edilen bir ornithopter tasarımı ortaya koymuştur. Genç bir atlet tarafından uçurulan sistem hedeflenen 300 metreye ulaşmıştır [17].



Şekil 9. Lippich'in insan gücü ile tahrik edilen ornithopteri [17].

1942 yılında Adalbert Schmid'in sabit kanat ve çırpar kanat sisteminin birleştirilmiş tasarımı ortaya çıkmıştır. Burada kuşların kanat sisteminde sadece yukarı aşağı hareket olmadığı yani kuşların uçuş esnasında kanatlarını sadece aşağı yukarı hareket ettirmeyip üç boyutlu bir hareket grafiği göstermiş olduğunun keşfedildiği anlaşılmaktadır.



Şekil 10. Schmid'in kanat çırpma mekanizması [18]

1942 yılında uçuş denemesi yapılan Schmid Ornithopteri 20 metre irtifaya yükselerek 900 metre kadar bir uçuş menziline ulaşmıştır. Bu testin ardından ornithopterlerin uçuş menzilin, irtifasının ve süresinin arttırılabilmesi için insanüstü bir güç ile sistemin tahrik edilmesi gerektiği çıkarımını ortaya atmıştır. Bunun üzerine tasarımına 3 hp gücünde bir motorsiklet motoru ekleyerek saatte 60 km hıza ulaşmış ve 15 dk havada kalmayı başarabilmiştir. Sistemine tekrar güç arttırımı yapan Schmid motor gücünü 6 hp'ye çıkararak saatte 80 km hıza ulaşmıştır. Fakat bu alandaki çalışmalarını II. Dünya Savaşı sebebiyle yarıda kalmıştır [19].

1960'larda Percival Spencer'in yaklaşık 2.4 metre kanat açıklığına ve küçük bir benzin motoruna sahip ornithopter tasarımı vardır. "Republic Seabee" uçağının da tasarımcısı olan Spencer; binlerce çocuğu çırpar kanat mekanizması ile uçma fikri ile tanıştıran "Wham-O Bird" oyuncağını piyasaya çıkarmıştır [20].





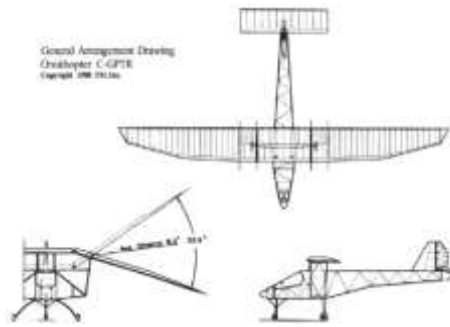
Şekil 11. Percival Spencer'in oyuncak olarak piyasaya sürdüğü "Wham-O-Bird"

1984'te yapımına başlanan "Quetzalcoatus northropi (QN)" ismiyle anılan dinazor replikası ornithopter, "On the Wing" isimli film için tasarlanmış olup izleyicilere uçan varlıklar ile uçakların arasındaki ilişkiyi göstermeyi amaçlamıştır. Projeye ilham olan olay ise 1972 yılında Teksas'ta iki ayrı bölgede bulunan uçan dinazor fosillerinin bulunması olmuştur. Bu fosiller sayesinde bilim insanları dinazorların uçuş biyomekaniği üzerinde çalışmaya başlamışlardır. Paleontoloji/paleobiyoloji, ornitoloji, aerodinamik, mekanik bilim dallarını bir araya getiren bu projede ornithopterin gerekli özellikleri belirlenerek Şekil 12'deki tasarım geliştirilmiştir. Bu tasarım ile 5 dakika kadar motor gücü ile uçuş ve sonrasında süzülme hareketi ile uçuş gerçekleştirilmiştir.



Şekil 12. QN Ornithopter [21]

1991 yılında başarılı bir şekilde ilk kez uzaktan kontrol edilebilen motor tahrikli ornithopter, tasarımcısının ismini "Mr Bill" taşımaktadır [22].



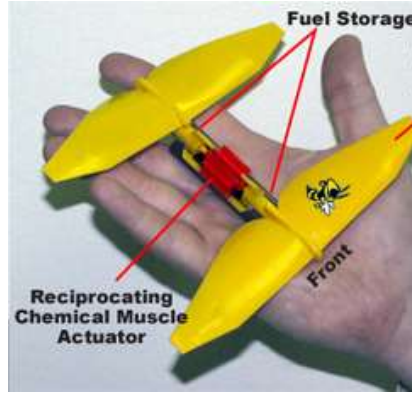
Şekil 13. Mr. Bill'in Teknik Çizimi [22]

1999 yılında De Leaurier ve Harris teknik resmi Şekil 13'te gösterilen Mr. Bill'in  $\frac{1}{4}$  ölçekli modelini yaparak, bu model üzerinden teoriler üretmiştir. Sonrasında Toronto Üniversitesi ile Mr. Bill'in gerçek boyutunda yaptıkları pilotlu versiyonunun adını "Big Flaper" koymuşlardır. Bu ornithopteri ultra hafif uçak prensiplerine göre yapmanın yanı sıra bu aracın ticarileşmesi ümidiyle Kanada havacılık kriterlerini de göz önünde bulundurmışlardır [23]. 12.35 metre kanat açıklığına sahip ve üzerinde 24 beygir gücünde 4000 devir/dk Konig marka 3 silindirli 2 zamanlı motor bulunan bu ornithopterin deney ve analizleri yapılmıştır. Aynı zamanda birçok çalışma için örnek teşkil etmiştir [22].



Şekil 14. Flapper İsimli Ornithopter [22]

1998 yılında uçuş, yüzme ve yürüme özelliklerini bir arada bulunduran mikro hava aracı “entomopter” tasarlanmıştır. Bu cihazdan, bulunduğu mekânda hem kimyasal ve radyasyon tespiti yapması hem de ultrason teknolojisi ile buradaki cisimleri tarama işlemlerini yapması beklenmiştir. Entomopteri diğer hava araçlarından farklı kılan özelliklerinden biri de pistonlu kimyasal kas sistemine sahip olmasıdır. Ebatları ve ağırlığı ilham alındığı canlıya göre oldukça fazla olan entomopter 15 cm kanat açıklığına, yakıtla beraber 50 gr ağırlığa ve 10 gr faydalı yük taşıma kapasitesine sahip bir mikro hava aracı olarak literatürde yerini almıştır [24].



Şekil 15. Entomopter [24]

### 3. SONUÇ

Günümüz ornithopterleri, tarihsel bu gelişimler doğrultusunda geliştiği bilinmektedir. Günümüzde farklı tasarımlarda birçok ornithopter uygulaması yer almaktadır. Radyo kontrollü ornithopterler kamera taşımak için kullanılabilir. Bazı ornithopterler gerçek bir kuş veya böceğe benzetilerek casusluk için kullanılabilir. Bunun yanı sıra ornithopterler, gerçek bir kuşa benzeyen bir uçağa ihtiyaç duyulan vahşi yaşam çalışmalarında da kullanılır. Ornithopterlerin bir başka uygulama ise kuşları havaalanlarından uzaklaştırmaktır. Ayrıca, diğer gezegenlere uçarak veri toplama, askeri amaçlı operasyonlarda kullanılma, atmosferik birçok verinin toplanması gibi amaçlarla da kullanılır. Bu çalışmada ornithopterlerin tarihsel gelişimi hakkındaki bilgilere yer verilmiştir [25].

### 4. KAYNAKLAR

- [1] Yavçin, E. 2014. Uçuş hareketinin biyomekaniğinin incelenmesi ve robotik kuş tasarımı, Yüksek lisans tezi, Sakarya.
- [2] Hunt, S. 2017. A Study on the Control, Dynamics, and Hardware of Micro Aerial Biomimetic Flapping Wing Vehicles.
- [3] Jamsari, E., Nawi, M., Sulaiman, A., Sidik, R., Zaidi, Z., and Ashari, M. 2013. Ibn Firnas and His Contribution to the Aviation Technology of the World, Malezya.
- [4] <https://www.onverticality.com/blog/besnier-flying-apparatus>



- [5] Küçük,R., Emecen,F., Uzun,M.İ., Özel,A., Durmuş,İ., Özcan,N., Çağrıncı,M., Harman, Ö.F., Uludağ, S., Topaloğlu,B., vd. 1993. TDV İslâm Ansiklopedisi VII. Cilt, 459, İstanbul.
- [6]<https://blogs.staffs.ac.uk/aeronautics/2016/04/15/leonardo-da-vinci-his-contribution-to-engineering/>
- [7] Hare, T.V. 2012 <http://fly.historicwings.com/2012/06/joao-de-almeida-torto-flies/>
- [8] Çelebi, E. 1848.Seyahatname, Cilt 1, S. 670, İstanbul.
- [9] [https://tr.wikiqube.net/wiki/Glider\\_\(sailplane\)#cite\\_note-DAeC-handicap-19](https://tr.wikiqube.net/wiki/Glider_(sailplane)#cite_note-DAeC-handicap-19)
- [10] <https://www.timeturk.com/hezarfen-ahmet-celebi/biyografi-796210>
- [11] <https://tr.wordssidekick.com/top-10-bungled-attempts-at-one-person-flight-28679>
- [12] [fikriyat.com/galeri/tarih/abbas-ibn-firnas/7](http://fikriyat.com/galeri/tarih/abbas-ibn-firnas/7)
- [13] <https://science.howstuffworks.com/transport/flight/classic/ten-bungled-flight-attempt.htm#pt5>
- [14] инфо, СРБИН. 2014. ЈЕДАН СРБИН ЈЕ ПОКУШАО ДА ЛЕТИ: Ово је прича о српском Икару, калфи Манојлу, СРБИН.ИНФО.
- [15] <https://en.wikipedia.org/wiki/Ornithopter>
- [16] <https://blog.sciencemuseum.org.uk/wp-content/uploads/2013/08/Ornithopter1.jpg>
- [17] <https://ornithopter.org/history.manned.shtml>
- [18] [https://www.youtube.com/watch?v=3SUymaAYkoc&ab\\_channel=OrnithopterZone](https://www.youtube.com/watch?v=3SUymaAYkoc&ab_channel=OrnithopterZone)
- [19] R. <http://discaircraft.greyfalcon.us/Adalbert%20Schmid%20Ornithopter.htm>
- [20] Preethi, K.P. et al. 2016. Int. Journal of Engineering Research and Applications ISSN: 2248-9622, Vol. 6, Issue 1, Part 3,133-150.
- [21] <http://markwitton-com.blogspot.com/2014/06/azhdarchid-pterosaurs-vs-world.html>
- [22] Mau, S. 2003. Ornithopter Wing Optimization, Institute for Aerospace Studies, University of Toronto, Canada.
- [23] Benjamin, J. 2011. Tracing the History of the Ornithopter: Past, Present, and Future, Goodheart, Journal of Aviation/Aerospace, Education & Research, Embry, Riddle Aeronautical University.
- [24] Michelson, R.C. 2022. Neurotechnology for Biomimetic Robots(Entomopter)", Georgia Tech Research Institute, Georgia Institute of Technology.
- [25] Büyükkaya, Sait. Savunma Sanayi İçin Bir Ornithopter Mekanizması Tasarım ve İmalatı, 2023, Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi.



## A NEW FINITE DIFFERENCE SCHEME FOR SOLVING TRANSMISSION LINE EQUATIONS IN A CLASS OF DISCONTINUOUS FUNCTIONS

***Bahaddin SINSOYSAL<sup>1</sup>***

*<sup>1</sup>Istanbul Gedik University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, Kartal, Istanbul, Turkey*

*ORCID ID: 0000-0003-2926-2744*

***Mahir RASULOV<sup>2</sup>***

*<sup>2</sup>Institute of Oil and Gas of ANAS, Department of Numerical Modeling of Intralayer Dynamic Processes, Baku, Azerbaijan*

*ORCID ID: 0000-0002-8393-2019*

***Ethem Ilhan SAHIN<sup>3</sup>***

*<sup>3</sup>Adana Alparslan Türkes Science and Technology University, Advanced Technology Research and Application Center, Adana, Turkey*

*ORCID ID: 0000-0001-7859-9066*

### ABSTRACT

This paper is devoted to study of a new finite difference scheme for solving transmission line equations, also called telegraph equations, in a class of discontinuous functions. Since the solution of the telegraph equation has weak discontinuity on the characteristics, this property does not allow the application of classical numerical methods well known from the literature. Moreover, the classical numerical methods fail even more when the initial functions have singular points. For this reason, firstly, the Riemann invariants for the system of transmission line equations is founded, and then an auxiliary problem with high differentiability, which is not present in the considered problem, is included. That the differentiable property of the solution of the auxiliary problem is one order higher than the differentiability of the solution of the transmission line problem lets to performed simple and well-structured algorithm to the auxiliary problem. Thus, using this advantage of the auxiliary problem, an efficient and economical algorithm via finite differences scheme is proposed for obtaining a numerical solution of the transmission line problem, which properly reflects all physical properties of the problem.

**Keywords:** Transmission line equation, Riemann invariants, finite differences scheme in a class of discontinuous functions.

### INTRODUCTION

Transmission lines refer to various electrical structures or systems liable for transmitting information or energy in the form of electromagnetic waves, which are used to guide and propagate these waves from one point to another with minimal loss and distortion. These transmission lines are commonly used in many fields such as telecommunications, radio frequency systems, antenna systems and high-speed data communication. Some of examples of transmission lines are coaxial cables, waveguides, optical fibers, telephone wires, and microstrips lines. The transmission and distribution of electromagnetic waves across a transmission line depend on the characteristics of the line and the properties of the waves being transmitted. In this context it is critical for matching the load with the generator to deliver the energy or information with minimum losses. The flow of electromagnetic waves across a transmission line is mathematically expressed based on voltage and current using a particular partial differential equation called as the telegraph equations. These equations describe how voltage and current vary along the transmission line with respect to time and distance. They take into account the effects of inductance,



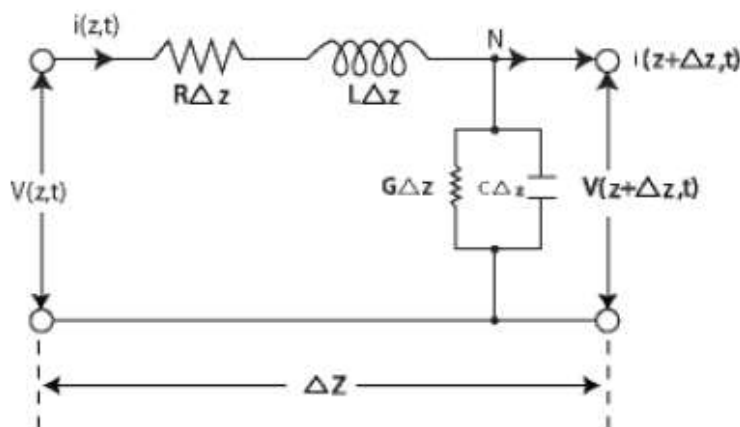
capacitance, resistance, and conductance on the wave propagation (Ames, 1965; Godunov, 1979; Barbu and Morosanu, 2007; Thomas, 2013).

The transmission line equation is more suitable than ordinary diffusion equation in modeling reaction diffusion which describes a number of nonlinear phenomena in physical, chemical and biological process. As mentioned above, such equations arise in the propagation of electrical signals in a transmission line cable and in the study of wave phenomena. For example, biologists encounter these equations in the study of pulsate blood flow in arteries and in one-dimensional random motion of bugs along a hedge (Mohanty, 2009). Also, the propagation of kinematic waves of phonon density in a thermally conducting body is expressed by such equations (Dreyer and Struchtrup, 1993). Furthermore, the one-dimensional telegraph equation describes wide variety physical systems with the appropriate coefficient and forcing terms. For example, the propagation of voltage and current signals in coaxial transmission lines of negligible leakage conductance and/or resistance (Jordan and Puri, 1999), the propagation of acoustic waves in Darcy-type porous media (Pascal, 1986), and parallel flows of viscous Maxwell fluids (Böhme, 2012) are just some of the phenomena described by transmission line equations. Also, One-dimensional transmission line theory is used as a model for wave propagation in vascular systems, considering the damping effect of fluid viscosity because it demands only simple wave equations with D'Alembert's solutions and leans into a useful analogy with the electrical transmission line problem (Duan and Zamir, 1992).

### Potential Voltage Equations in Transmission Line

Let us first derive the general equations for two-conductor uniform transmission lines that consist of parallel-plates, two wires and two conductors including lines with the same axis. Transmission lines differ from normal electrical circuit networks in one important feature. While the physical dimensions of electrical circuit networks are much smaller than the operating wavelength, transmission lines can often be a significant fraction of a wavelength, sometimes even many wavelengths long. In a normal electrical circuit, the following circuit elements can be considered as discrete and can therefore be described with lumped parameters. It is assumed that the currents in lumped circuit elements is invariant with spatial position on the elements and that there are no standing waves. A transmission line, on the other hand, is a network with common parameters and should be described by the circuit parameters spread along its length. There are standing waves on a transmission line outside the compliance conditions.

We consider the following model which consist of a line section of length  $\Delta z$  of a transmission line with four parameters that resistance  $R\Delta z$ , inductance  $L\Delta z$ , conductivity  $G\Delta z$  and capacitance  $C\Delta z$  as shown in Figure 1.



**Figure 1.** Equivalent circuit of the differential length  $\Delta z$  (infinitesimally short)



$R$  is the resistance of the transmission line per unit length ( $\Omega/m$ ), including both line conductors;  $L$  is the inductance of the transmission line per unit length ( $H/m$ );  $G$  is the conductance of the transmission line per unit length ( $S/m$ );  $C$  is the capacitance of unit length ( $F/m$ ).  $R$  and  $L$  are series,  $G$  and  $C$  are parallel circuit elements.  $v(z, t)$  and  $v(z + \Delta z, t)$  denote the voltages at points  $z$  and  $z + \Delta z$ , respectively. Similarly,  $i(z, t)$  and  $i(z + \Delta z, t)$  denote the currents at points  $z$  and  $z + \Delta z$ , respectively. Applying the Kirchoff's law we get

$$v(z, t) - R\Delta z i(z, t) - L\Delta z \frac{\partial i(z, t)}{\partial t} - v(z + \Delta z, t) = 0$$

or

$$-\frac{v(z + \Delta z, t) - v(z, t)}{\Delta z} = Ri(z, t) + L \frac{\partial i(z, t)}{\partial t}.$$

According to the definition of partial derivative with respect to  $z$  we have

$$-\frac{\partial v(z, t)}{\partial z} = Ri(z, t) + L \frac{\partial i(z, t)}{\partial t}$$

while  $\Delta z \rightarrow 0$ . In a similar way, when Kirchoff's current law is applied to the junction  $N$  in Figure 1 we get

$$i(z, t) - G\Delta z v(z + \Delta z, t) - C\Delta z \frac{\partial v(z + \Delta z, t)}{\partial t} - i(z + \Delta z, t) = 0.$$

Dividing the last expression by  $\Delta z$  and taking the limit as  $\Delta z \rightarrow 0$ , it simplifies to the final form

$$-\frac{\partial i(z, t)}{\partial z} = Gv(z, t) + C \frac{\partial v(z, t)}{\partial t}.$$

Two of the equations obtained above which describes the reflection of electrical signals such as voltage and current along a transmission line of finite length

$$L \frac{\partial i(z, t)}{\partial t} + \frac{\partial v(z, t)}{\partial z} = Ri(z, t), \quad (1.1)$$

$$C \frac{\partial v(z, t)}{\partial t} + \frac{\partial i(z, t)}{\partial z} = Gv(z, t) \quad (1.2)$$

is considered as a main problem. Equations (1.1) and (1.2) are called telegraph equations. Here  $v(z, t)$  and  $i(z, t)$  represent voltage and current functions at a point  $z$  along the transmission line at a given time  $t$ , respectively; the line parameters  $L, R, C, G$  are inductance of coil, resistance of resistor, capacitance of capacitor, and parallel conductance, respectively. This system of first-order partial differential equations has a wide range of applications in electrical engineering, telecommunications, and computer sciences.

### Riemann Invariants for Telegraph Equation

Let us now write the system of equations (1.1) and (1.2) in matrix form as follows

$$A_1 U_t + A_2 U_x + A_3 U = 0 \quad (1.3)$$

where

$$A_1 = \begin{pmatrix} L & 0 \\ 0 & C \end{pmatrix}, \quad A_2 = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}, \quad A_3 = \begin{pmatrix} R & 0 \\ 0 & G \end{pmatrix}, \quad U = \begin{pmatrix} i \\ v \end{pmatrix}.$$

Multiplying the equation (1.3) by  $A_1^{-1}$

$$A_1^{-1} A_1 U_t + A_1^{-1} A_2 U_x + A_1^{-1} A_3 U = 0$$

and considering that

$$A = A_1^{-1} A_2 = \begin{pmatrix} 0 & 1/L \\ 1/C & 0 \end{pmatrix}, \quad B = A_1^{-1} A_3 = \begin{pmatrix} R/L & 0 \\ 0 & G/C \end{pmatrix}$$



we can write the last equation as

$$U_t + AU_x + BU = 0. \quad (1.4)$$

When  $R = G = 0$ , equation (1.4) becomes a normal wave equation. Let us find the Riemann invariants for this case and first determine the eigenvalues of matrix  $A$  as following

$$\det \left( \begin{pmatrix} 0 & 1/L \\ 1/C & 0 \end{pmatrix} - \lambda \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \right) = \begin{vmatrix} -\lambda & 1/L \\ 1/C & -\lambda \end{vmatrix} = \lambda^2 - \frac{1}{LC} = 0$$

$$\lambda_{1,2} = \pm a \equiv \pm(LC)^{-1/2}.$$

To investigate the characteristics of equation (1.4) it is written the characteristic determinant

$$\begin{vmatrix} L & 0 & 0 & 1 \\ 0 & C & 1 & 0 \\ dt & 0 & dx & 0 \\ 0 & dt & 0 & dx \end{vmatrix} = dt \begin{vmatrix} 0 & 0 & 1 \\ C & 1 & 0 \\ dt & 0 & dx \end{vmatrix} + dx \begin{vmatrix} L & 0 & 1 \\ 0 & C & 0 \\ 0 & dt & dx \end{vmatrix} = dt \begin{vmatrix} C & 1 \\ dt & 0 \end{vmatrix} + Ldx \begin{vmatrix} C & 0 \\ dt & dx \end{vmatrix} =$$

$$-(dt)^2 + LC(dx)^2 = 0.$$

From this we get

$$\frac{dx}{dt} = \pm \frac{1}{\sqrt{CL}}.$$

As can be seen, one of the waves is traveling through the transmission line at the propagation speed  $1/\sqrt{CL}$  and the other at speed  $-1/\sqrt{CL}$ .

Now let's derive the condition for the characteristics. Based on the general theory, the rank of the following matrix

$$\begin{pmatrix} L & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & C & 1 & 0 & 0 \\ dt & 0 & dx & 0 & di \\ 0 & dt & 0 & dx & dv \end{pmatrix}$$

and the rank of the new matrix arranged from the arbitrary four columns of this matrix must be the same. Thus, it must be required that

$$\begin{vmatrix} L & 0 & 0 & 0 \\ 0 & C & 1 & 0 \\ dt & 0 & dx & di \\ 0 & dt & 0 & dv \end{vmatrix} = L \begin{vmatrix} C & 1 & 0 \\ 0 & dx & di \\ dt & 0 & dv \end{vmatrix} = L[Cdx dv - didt] = 0.$$

Since  $dx = \frac{1}{\sqrt{CL}} dt$  on the first characteristic we have

$$C \frac{1}{\sqrt{CL}} dt dv + didt = 0.$$

Then solving this differential equation, it is found

$$i + \frac{C}{\sqrt{CL}} v = \text{const.} \quad (1.5)$$

Since  $dx = -\frac{1}{\sqrt{CL}} dt$  on the second characteristic, we get  $Cdx dv + didt = 0$ . The solution to this is found as

$$i - \frac{C}{\sqrt{CL}} v = \text{const.} \quad (1.6)$$

Expressions (1.5) and (1.6) are called Riemann invariants (Toro, 1999).

Now let us find the characteristics and Riemann invariants for the nonzero case of  $R$  and  $G$ . For this aim, the system of equations (1.1) and (1.2) is rewritten with respect to  $t$  and  $x$  as follows



$$L \frac{\partial i}{\partial t} + 0 \frac{\partial v}{\partial t} + 0 \frac{\partial i}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial x} + Ri = 0, \quad (1.7)$$

$$0 \frac{\partial i}{\partial t} + C \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial i}{\partial x} + 0 \frac{\partial v}{\partial x} + Gv = 0. \quad (1.8)$$

Multiplying by the as yet unknown  $\ell_1$  and  $\ell_2$ , respectively and then summing equations (1.7) and (1.8) we have

$$\ell_1 L \frac{\partial i}{\partial t} + \ell_1 0 \frac{\partial v}{\partial t} + \ell_1 0 \frac{\partial i}{\partial x} + \ell_1 \frac{\partial v}{\partial x} + \ell_1 Ri + \ell_2 0 \frac{\partial i}{\partial t} + \ell_2 C \frac{\partial v}{\partial t} + \ell_2 \frac{\partial i}{\partial x} + \ell_2 0 \frac{\partial v}{\partial x} + \ell_2 Gv = 0$$

equality. Final equality is rewritten as follows

$$(\ell_1 L + \ell_2 0) \frac{\partial i}{\partial t} + (\ell_1 0 + \ell_2) \frac{\partial i}{\partial x} + (\ell_1 0 + \ell_2 C) \frac{\partial v}{\partial t} + (\ell_1 + \ell_2 0) \frac{\partial v}{\partial x} + \ell_1 Ri + \ell_2 Gv = 0. \quad (1.9)$$

If

$$\begin{cases} \ell_1 L + \ell_2 0 = m_1 \beta, \\ \ell_1 0 + \ell_2 = m_1 \alpha, \end{cases} \quad (1.10)$$

and

$$\begin{cases} \ell_1 0 + \ell_2 C = m_2 \beta, \\ \ell_1 + \ell_2 0 = m_2 \alpha, \end{cases} \quad (1.11)$$

then the equation (1.9) takes the form

$$m_1 \beta \frac{\partial i}{\partial t} + m_1 \alpha \frac{\partial i}{\partial x} + m_2 \beta \frac{\partial v}{\partial t} + m_2 \alpha \frac{\partial v}{\partial x} + \ell_1 Ri + \ell_2 Gv = 0$$

or

$$m_1 \left( \beta \frac{\partial i}{\partial t} + \alpha \frac{\partial i}{\partial x} \right) + m_2 \left( \beta \frac{\partial v}{\partial t} + \alpha \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \ell_1 Ri + \ell_2 Gv = 0.$$

Multiply both sides of equations (1.10) and (1.11) by  $\alpha$  and  $\beta$ , respectively

$$\begin{aligned} \alpha \ell_1 L + \alpha \ell_2 0 &= m_1 \alpha \beta, \\ \beta \ell_1 0 + \beta \ell_2 &= m_1 \alpha \beta, \\ \alpha \ell_1 0 + \alpha \ell_2 C &= m_2 \alpha \beta, \\ \beta \ell_1 + \beta \ell_2 0 &= m_2 \alpha \beta, \end{aligned}$$

from these equalities we get

$$\begin{cases} \alpha \ell_1 L + \alpha \ell_2 0 = \beta \ell_1 0 + \beta \ell_2, \\ \alpha \ell_1 0 + \alpha \ell_2 C = \beta \ell_1 + \beta \ell_2 0. \end{cases} \quad (1.12)$$

The system (1.12) is written in normal form

$$\begin{cases} \ell_1 (\alpha L - \beta 0) + \ell_2 (\alpha 0 - \beta) = 0, \\ \ell_1 (\alpha 0 - \beta) + \ell_2 (\alpha C - \beta 0) = 0. \end{cases} \quad (1.13)$$

The necessary and sufficient condition for the system of equations (1.13) to have a unique solution is

$$\begin{vmatrix} \alpha L - \beta 0 & \alpha 0 - \beta \\ \alpha 0 - \beta & \alpha C - \beta 0 \end{vmatrix} = 0. \quad (1.14)$$

The determinant (1.14) is written as

$$\begin{vmatrix} L & 0 \\ 0 & C \end{vmatrix} \alpha - \begin{vmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{vmatrix} \beta = 0.$$





Hence, from the following determinant

$$|A_1\alpha - A_2\beta| = 0 \quad (1.15)$$

$\alpha$  and  $\beta$  is obtained. These pairs  $(\alpha, \beta)$  also determine the characteristic curves. From expression (1.15), the eigenvectors are obtained as  $(1, -LC)$  and  $(1, LC)$ .

Now if we multiply equations (1.1) and (1.2) from the left by  $(1, LC)$  and  $(1, -LC)$  respectively, we get

$$(CL)i_\xi + v_\xi = -\left(RCi + \frac{G}{C}v\right), \quad \frac{dx}{dt} = CL,$$

$$(CL)i_\xi - v_\xi = -\left(RCi - \frac{G}{C}v\right), \quad \frac{dx}{dt} = -CL.$$

It is often difficult to integrate the resulting system of equations. But,

$$\frac{R}{L} = \frac{G}{C} = \text{const}$$

in the framework of the Heaviside approach, this system is reduced to

$$\frac{\partial}{\partial \xi}(CLi + v) = -\frac{R}{L}(CLi + v), \quad \frac{dx}{dt} = CL,$$

$$\frac{\partial}{\partial \xi}(CLi - v) = -\frac{R}{L}(CLi - v), \quad \frac{dx}{dt} = -CL.$$

In this case, the solutions of the latter system of equations are obtained as

$$CLi + v = A(\xi)e^{-\left(\frac{R}{L}\xi\right)}, \quad \frac{dx}{dt} = CL,$$

$$CLi - v = B(\xi)e^{-\left(\frac{R}{L}\xi\right)}, \quad \frac{dx}{dt} = -CL.$$

If above expressions are added once and subtracted a second time and then divided by two, the solution of the system (1.1), (1.2) is obtained as

$$i(x, t) = \frac{1}{2CL}e^{-\left(\frac{2R}{L}x\right)}[f(x - ct) + g(x + ct)],$$

$$v(x, t) = \frac{1}{2}e^{-\left(\frac{2R}{L}x\right)}[f(x - ct) - g(x + ct)],$$

where  $c = (CL)^{-1/2}$ . Hence, the transmission line problem (1.1), (1.2) possess wave characteristics.

### Finite Difference Solution in a Class of Discontinuous Functions

In this section, a finite difference scheme for the numerical solution of equations (1.1), (1.2) is suggested by considering the following initial-boundary conditions

$$i(x, 0) = i_0(x), \quad v(x, 0) = v_0(x), \quad (1.16)$$

where  $i_0(x)$  and  $v_0(x)$  are any continuous or piecewise continuous voltage and current functions, respectively that supplied the line at time  $t = 0$ ; in addition,

$$i(0, t) = i_1(t), \quad v(0, t) = v_1(t) \quad (1.17)$$

where  $i_1(t)$  and  $v_1(t)$  are the initial current and voltage profiles of the line, respectively.

At present, there are various difference schemes in literature which are used to find the numerical solution of the mathematical physics problems (Thomas, 2013). Although finite difference methods are the oldest known and highly efficient techniques for solving partial differential equations, the conditional stability of explicit schemes and the necessitate to use large amounts of CPU time in implicit schemes restrict their applicability (Dehghan, Shokri, 2008). In addition, since these methods solve the problem only on mesh points, the accuracy of using these methods is reduced in non-smooth and



nonregular domain of the problem (Dehghan, 2006). Despite these difficulties, there are many studies in the literature that deal with transmission line or telegraph equations with finite difference methods (Evans and Bulut, 2003; Dehghan, 2006; Dehghan, Shokri, 2008; Zeedan and Ayari, 2023 etc.).

On the other hand, as known from the literature, the solution of the main problem is continuously differentiable on the characteristics, whereas its first-order derivatives are piecewise continuous, i.e. the solution of the system (1.1), (1.2) has the weak discontinuity. This prevents the application of numerical methods such as finite differences, which are well known in practice, to the system of equations (1.1), (1.2). In addition, the initial functions may have singular points, which makes the application of well-known numerical techniques even more difficult (Ames, 1965; Godunov, 1979; Abasov et al., 1991; Thomas, 2013). As an alternative solution, the weak solution of the system of equations (1.1), (1.2) is defined as follows:

**Definition 1.1** Nonnegative functions  $i(x, t)$  and  $v(x, t)$  which are satisfying the initial-boundary conditions (1.16) and (1.17) are called the weak solutions of the problem (1.1), (1.2), (1.16), (1.17), if the following integral relations

$$\int_{D_T} \left( Li(x, t) \frac{\partial \varphi}{\partial t} + v(x, t) \frac{\partial \varphi}{\partial x} - Ri(x, t) \right) dxdt + L \int_{-\infty}^{\infty} i_0(x) \varphi(x, 0) dx = 0,$$

$$\int_{D_T} \left( Cv(x, t) \frac{\partial \varphi}{\partial t} + i(x, t) \frac{\partial \varphi}{\partial x} - Gv(x, t) \right) dxdt + C \int_{-\infty}^{\infty} v_0(x) \varphi(x, 0) dx = 0$$

hold. Here,  $\varphi(x, t)$  is any test function which is equal to zero at the value of  $t = T$  and at the boundary of the plane  $t + |x|$ .

As seen from Definition 1.1, the functions  $i(x, t)$  and  $v(x, t)$  need not be continuous, since they are included in the integral.

### The Auxiliary Problem

As mentioned above, the classical solution to this problem may not exist. Because of this property, directly discretizing the system of equations (1.1), (1.2) into finite differences may lead to incorrect results. For this aim, let us propose an auxiliary problem which is equivalent to equations (1.1), (1.2) in a definite sense.

In order to find the solution of the problem (1.1), (1.2) in sense of Definition 1.1, according to Sinoysal and Rasulov we include the following auxiliary problem. For this aim, we include the operator  $\mathcal{M}(\cdot)$  which equivalent by differential operator  $\frac{\partial(\cdot)}{\partial x}$  that is

$$\mathcal{M} = \frac{\partial(\cdot)}{\partial x}.$$

Applying the inverse operator denoting by  $\mathcal{M}^{-1}$ , which differs from it by a constant, to both sides of equations (1.1) and (1.2) we get

$$-\mathcal{M}^{-1} \left\{ \frac{\partial v(x, t)}{\partial x} \right\} = \mathcal{M}^{-1} \{ Ri(x, t) \} + \mathcal{M}^{-1} \left\{ L \frac{\partial i(x, t)}{\partial t} \right\},$$

$$-\mathcal{M}^{-1} \left\{ \frac{\partial i(x, t)}{\partial x} \right\} = \mathcal{M}^{-1} \{ Gv(x, t) \} + \mathcal{M}^{-1} \left\{ C \frac{\partial v(x, t)}{\partial t} \right\}$$

or following integro-differential equations



$$L \frac{\partial}{\partial t} \int_0^x i(\xi, t) d\xi + v(x, t) + R \int_0^x i(\xi, t) d\xi = v_0(t), \quad (1.18)$$

$$C \frac{\partial}{\partial t} \int_0^x v(\xi, t) d\xi + i(x, t) + G \int_0^x v(\xi, t) d\xi = i_0(t). \quad (1.19)$$

The equations (1.18) and (1.19) called as auxiliary problem.

**Theorem 1.1** If  $I(x, t)$  and  $V(x, t)$  are the solutions of (1.18) and (1.19), then the functions  $i(x, t)$  and  $v(x, t)$  defined by

$$i(x, t) = \mathcal{M} I(x, t),$$

$$v(x, t) = \mathcal{M} V(x, t)$$

are the weak solution of the problem (1.1), (1.2), (1.16), (1.17) in sense of Definition 1.1.

Thus, we have replaced the original unknown functions  $i(x, t)$  and  $v(x, t)$  with the new auxiliary functions  $I(x, t)$  and  $V(x, t)$ . Then, the initial conditions of the auxiliary problem are

$$I(x, 0) = I_0(x),$$

$$V(x, 0) = V_0(x),$$

where  $I_0(x)$  and  $V_0(x)$  are any continuously differentiable functions which satisfy  $\frac{dI_0(x)}{dx} = i_0(x)$  and  $\frac{dV_0(x)}{dx} = v_0(x)$ , respectively.

Let us discretize these equations into finite differences under the initial conditions (1.16). To approximate the auxiliary equations (1.18), (1.19) by means of finite-differences method, the following quadrature formula is applied to the integral terms in the auxiliary problem

$$\int_0^x f(\xi, t) d\xi \cong h \sum_{j=1}^i f_{j,k} \quad (1.20)$$

Considering (1.20) quadrature formula, the finite differences scheme of the auxiliary problem (1.18), (1.19) is discretized at any point  $(i, k)$  of the grid

$$I_{i,k+1} = I_{i,k} - \sum_{j=1}^{i-1} (I_{j,k+1} - I_{j,k}) - \frac{\tau}{hL} V_{i,k+1} - \frac{\tau R}{L} \sum_{j=1}^i I_{j,k} + \frac{\tau}{hL} v_0(t_k),$$

$$V_{i,k+1} = V_{i,k} - \sum_{j=1}^{i-1} (V_{j,k+1} - V_{j,k}) - \frac{\tau}{hC} I_{i,k+1} - \frac{\tau G}{C} \sum_{j=1}^i V_{j,k} + \frac{\tau}{hC} i_0(t_k)$$

Here  $I_{i,k}$  and  $V_{i,k}$  denote the approximate values of the functions  $i(x, t)$  and  $v(x, t)$  at the point of  $(x_i, t_k)$  of the grid. Initial conditions for this system of algebraic equations are

$$I_{i,0} = i_0(x_i),$$

$$V_{i,0} = v_0(x_i).$$

As stated in Theorem 1.1,  $i_{i,k}$  and  $v_{i,k}$  values representing the numerical solution of the main problem can be found after calculating  $I_{i,k}$  and  $V_{i,k}$ .

## RESULTS

Riemann invariants are obtained for the transmission line equation. A highly differentiable auxiliary problem for the system of transmission line equations, which is not available in the main problem, is



included. Using the advantages of the auxiliary problem, difference schemes in the class of discontinuous functions are proposed for the system of transmission line equations that are economical and can properly express the physical properties of the problem.

## REFERENCES

- Abasov, M.T.O., Rasulov, M.A., Ibragimov, T.M.O., & Ragimova, T.A. (1991). A method for solving the Cauchy problem for a first-order nonlinear equation of hyperbolic type with a smooth initial condition. *Doklady Akademii Nauk*, 316,(4), 777-781. [in Russian]
- Ames, W.F. (1965). *Nonlinear partial differential equations in engineering*. New York.
- Barbu, L., & Morosanu, G. (2007). *Singularly perturbed boundary-value problems* (Vol. 156). Springer Science & Business Media.
- Böhme, G. (2012). *Non-Newtonian fluid mechanics*. North-Holland, Amsterdam. Elsevier.
- Dehghan, M. (2006). Finite difference procedures for solving a problem arising in modeling and design of certain optoelectronic devices. *Mathematics and Computers in Simulation*, 71(1), 16-30.
- Dehghan, M., & Shokri, A. (2008). A numerical method for solving the hyperbolic telegraph equation. *Numerical Methods for Partial Differential Equations: An International Journal*, 24(4), 1080-1093.
- Dreyer, W., & Struchtrup, H. (1993). Heat pulse experiments revisited. *Continuum Mechanics and Thermodynamics*, 5, 3-50.
- Duan, B., & Zamir, M. (1992). Viscous damping in one-dimensional wave transmission. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 92(6), 3358-3363.
- Evans, D.J., & Bulut, H. (2003). The numerical solution of the telegraph equation by the alternating group explicit (AGE) method. *International journal of computer mathematics*, 80(10), 1289-1297.
- Godunov, S.K. (1979). *Equations of mathematical physics*. Nauka, Moscow. [in Russian]
- Jordan, P.M., & Puri, A. (1999). Digital signal propagation in dispersive media. *Journal of Applied Physics*, 85(3), 1273-1282.
- Mohanty, R. (2009). New unconditionally stable difference schemes for the solution of multi-dimensional telegraphic equations. *International Journal of Computer Mathematics*, 86(12), 2061-2071.
- Pascal, H. (1986). Pressure wave propagation in a fluid flowing through a porous medium and problems related to interpretation of Stoneley's wave attenuation in acoustical well logging. *International Journal of Engineering Science*, 24(9), 1553-1570.
- Sinsoyal, B., & Rasulov, M. (2015). Numerical Solution of Thin Film Equation in a Class of Discontinuous Functions. *European Scientific Journal, Special Edition*, 382-389.
- Thomas, J.W. (2013). *Numerical partial differential equations: finite difference methods* (Vol. 22). Springer Science & Business Media.
- Toro, E.F. (1999). *Riemann solvers and numerical methods for fluid dynamics*. Berlin: Springer-Verlag.
- Zeedan, A., & Ayari, A. (2023). Numerical Solution of Transmission Line PDEs Using Finite Difference. *European Journal of Science and Technology*, (49), 94-99.



## SELECTING THE PARAMETERS THAT MINIMIZE THE ANGULAR DISTORTION IN THE WELDING PROCESS WITH THE ENTROPY METHOD WITHIN THE SCOPE OF MULTI-CRITERIA DECISION MAKINGS

*PhD-c Ezgi DOĞAN*

*Marmara University, Institute of Pure&Applied Sciences, Mechanical Engineering Department, Istanbul, Turkey.*

*ORCID ID: 0000-0003-0207-7178*

*Asst. Prof. Dr. Ahmet FEYZİOĞLU*

*Marmara University, Faculty of Technology, Mechanical Engineering Department, Istanbul, Turkey.*

*ORCID ID: 0000-0003-0296-106X*

*PhD-c Hüseyin HALILOĞLU*

*Marmara University, Institute of Pure&Applied Sciences, Mechanical Engineering Department, Istanbul, Turkey.*

*ORCID ID: 0000-0002-7555-4492*

### ABSTRACT

Welding methods are the process of joining the workpieces by local heating. Each welding parameter selected in the welding process is of great importance as it determines the amount of heat input that will be transferred to the workpiece to be welded. The selection of welding parameters determines the welding sequence and the internal structure after welding. In the welding process, since heterogeneous heating and cooling cycles take place at each separate point of the joint zone, heterogeneous expansion and contraction occur in the weld area and internal stresses occur on the welded workpiece. With the effect of internal stresses caused by thermal stresses, undesirable permanent deformations occur in the workpiece joined by welding method. One of these permanent deformations is the angular distortions that occur in the welded parts. Since angular distortions are the situations that damage the desired structural integrity and part geometry in the structure after welding, it is of great importance to predict, minimize and eliminate angular distortion in welded components. After the welding parameters are determined, the amount of angular distortion that may occur in the structure can be calculated and estimated in advance. Within the scope of this study, primarily experimental studies were carried out to examine the effects of welding parameters on angular distortion in S235JR quality steel plates welded by cored wire gas metal arc welding method, and the data related to welding parameters obtained from these experimental studies were weighted from Multi-Criteria Decision Making methods. It was graded by the Entropy method, which is used as the method of The novelty of the study comes from prioritizing the welding parameters to be adjusted before the welding process against angular distortion with Entropy MCDM methods. The parameters affecting the welding process are classified as primary and secondary welding parameters. In the experimental setup, which was established to examine the joint effect of primary welding parameters on the welding process, the amount of angular distortion was measured with a digital comparator after welding with each welding parameter. These results were compared with the Entropy method, which is used as a weighting method from Multi-Criteria Decision Making Methods.

**Keywords:** Angular distortion, Primary Welding Parameters, Multi-Criteria Decision Making, Entropy Method

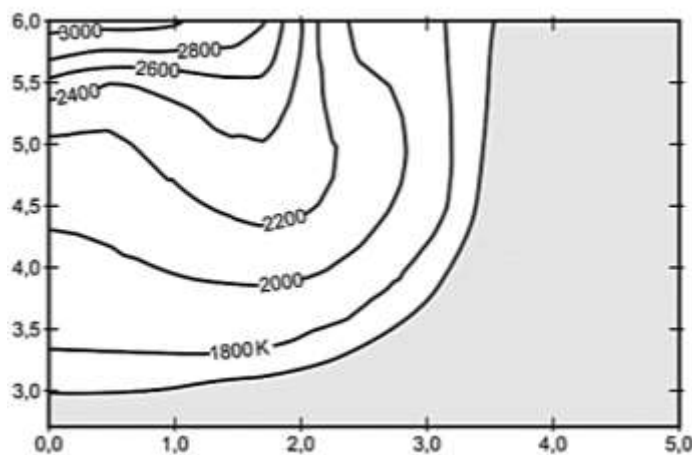


## INTRODUCTION

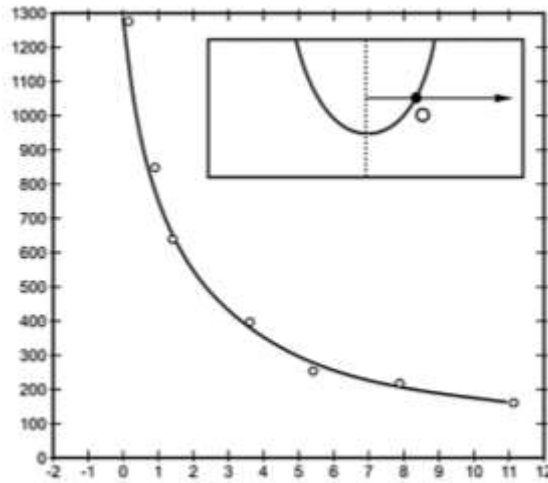
Joining metal parts by welding methods is widely used in many industries (automotive, shipbuilding, steel construction, etc.). During the application of welding methods to metals, jointing takes place by local heating and cooling in the welding area of the workpieces. At each point of the welding zone, the heating temperature, heating rate and cooling rate are different. During non-homogeneous heating and cooling, heterogeneous expansion and contraction will occur in the weld area of the workpiece. However, since these deformations will be prevented by the workpiece, internal stresses occur in the weld area. These thermal stresses cause elastic deformation, permanent deformation and even cracking [1]. In addition, residual stresses occur in the workpiece that cools down to room temperature [2]. Undesirable permanent deformations in the workpiece combined with the effect of thermal stresses are called warping or distortion [3]. In this study, angular distortions that occur only in steel workpieces with butt weld joints will be examined. Angular distortions reduce the strength of the welded joint against static and dynamic external forces [4]. For this reason, efforts are made to avoid or minimize angular distortion in welded structures.

The fusing welding, in which the heat required for the welded joint between the workpieces is provided by the electric arc created between the electrodes, is called electric arc welding. There are many different types of electric arc welding methods. Gas, cored wire, submerged arc, TIG and covered electrode electric arc welding methods are widely used in the welded joints of metals in industry. In this study, an experimental study was carried out with the CO<sub>2</sub> protected cored wire welding method.

The isotherm curves in the liquid metal pool that occur when the autogenous (no additional wire is used) TIG welding method is performed on a 6 mm thick AISI 304 stainless steel sheet, butt weld joint is seen in Figure 1.1 [5]. Since the geometry of the liquid metal pool obtained is symmetrical, only half of the pool is shown in Figure 1.1. The hottest part of the liquid metal is near the surface. This is just below the electrode that creates the arc. Here the temperature is 3000°K (approximately 2700°C). The temperature is 1800°K (approximately 1500°C) at the boundary between the liquid metal (Weld metal) and the non-melting part of the workpiece (Heat Influenced Zone, ITAB). The half width of the liquid metal pool was 3.5 mm and the depth was 3.0 mm. In the liquid metal pool, the temperature difference is 1200°C at a distance of 3-3.5 mm. A very large temperature difference (thermal gradient) occurs over a short distance. The maximum temperatures occurring on a horizontal line 2 mm deep from the surface of the same source are shown in Figure 1.2 [5]. At the weld metal-ITAB boundary, the heating temperature is 1450°C. As you move away from the weld metal boundary, the heating temperature decreases. The heating temperature is 800°C at a distance of 1 mm from the weld metal and 550°C at a distance of 2 mm. Figures 1.1 and 1.2 show unequivocally that there is heterogeneous heating temperature during welding in the weld zone.



**Figure 1.1.** Temperature distribution in TIG welding liquid metal pool [5].

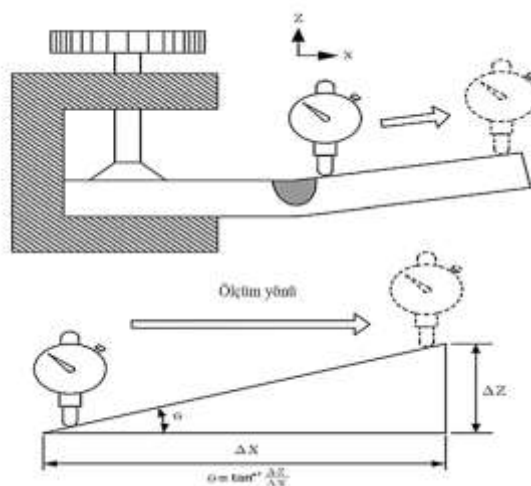


**Figure 1.2.** Variation of the maximum heating temperature in the non-melting base metal in the TIG welding zone with the distance from the weld bead [5].

If the cross-section of the bead is not perfectly symmetrical in the welded parts, the shrinkage will be more in the wide section of the weld and less in the narrow section of the weld. Angular distortions occur in the workpieces when the transverse shrinkage in the thickness direction of the welded parts is not homogeneous.

Although researchers generally use comparators to determine the amount of angular distortion in butt welds, they have given the results in different ways. It has been concluded that it is necessary to explain the angular distortion expressions in order not to cause confusion in the readers.

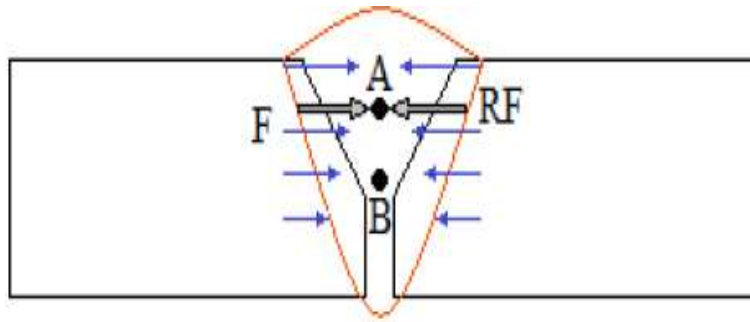
Huang determined the angular distortion by stitching on the plates and then measuring with a comparator on the free end as seen in Figure 2. After one end of the plate was fixed, the suture was pulled. No deformation is allowed in the compressed part of the plate. Permanent deformation occurred in the free part of the plate. The amount of deformation on the free side of the plate was measured. After determining the horizontal and vertical movement length of the comparator tip, the angular distortion angle was determined in degrees by simple trigonometric calculation. Some researchers have determined the vertical movements of the welded part by using a height gauge instead of a comparator [7,8]. While measuring near the edge of the plate with the comparators, the measurement is taken from the exact edge of the workpiece with the height gauge.



**Figure 2.** Schematic representation of angular distortion measurements [6].



In Figure 3, it is explained schematically why angular distortion occurs in butt weld joints [7]. The thickness of the bead is not the same everywhere and decreases from top to bottom. The center of gravity of the bead and the center of gravity of the welded workpiece do not coincide. The center of gravity of the bead (A) is close to the upper surface. The center of gravity of the workpiece (B) is in the middle of the weld piece. As the liquid weld metal solidifies and cools to room temperature, shrinkage occurs at different rates on each side of the bead. As these shrinkages are prevented by the workpiece, shrinkage stresses occur. The resultant force (RF) caused by these stresses passes through the center of gravity of the weld bead (point A). The bending moment resulting from the product of this force and the distance between points A and B causes the welded part to bend towards the inside as shown in Figure 1.14, causing angular distortion [8].



**Figure 3.** The occurrence of angular distortion in the V butt weld joint [7]. A: Center of gravity of the weld metal, B: Center of gravity of the joint, F: Transverse contraction force, RF: Resultant of contraction forces.

In electric arc welding, welding parameters directly affect the bead geometry and bead quality. Welding parameters are divided into three main groups: those that can be adjusted in the first order, those that can be adjusted in the second order and those that cannot be changed during welding [9]. First and second order adjustable welding parameters are the parameters whose values can be changed during welding. For example, it is possible to change the angle of the welding torch during welding. However, it is not possible to change the welding wire or the type of blown gas during gas arcing. For this reason, the gas type or wire diameter is determined before welding and we cannot change them without stopping the welding.

The first-order adjustable parameters are welding current intensity, arc voltage and welding progress rate. These parameters are welding parameters that can be easily measured and adjusted in wide ranges. However, these parameters should be chosen in harmony with each other in order to obtain a faultless weld joint.

The first order adjustable welding parameters also determine the welding energy as shown in equation 1 [31]:

$$H = \frac{I \times E \times f}{v} \quad (1)$$

H : Net unit energy

I : Welding current, Ampere

E : Arc voltage, volts

v : Welding feedrate

f : Welding method energy efficiency





The entropy method is used to calculate the sub-criteria weight. The entropy weight method is used to measure the amount of useful information provided by the available data. As the Entropy weight of the evaluation index increases, the useful information rate of the index increases. The entropy weight technique is a suitable scale that can be used to evaluate in different decision-making processes. It is seen that the entropy weight method is mostly used in determining the index weights. It is seen that the entropy weight method is mostly used in determining the index weights.

## MATERIAL & METHOD

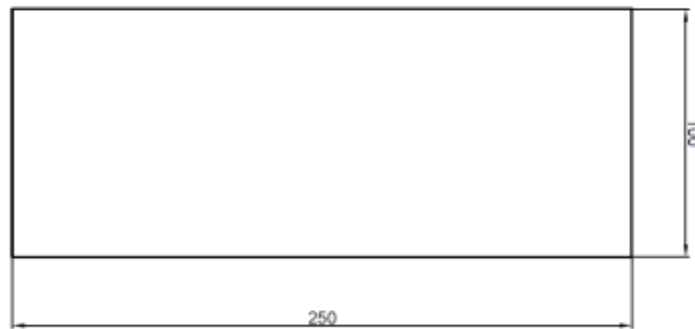
In this study, the angular distortions of the plates were measured by bead-on-plate welding on the steel plates by using flux cored wire (FCAW) gas metal arc welding methods.

All steel plates used are of 10 mm thick S235JR steel quality. The chemical composition of the plate is shown in Table 2.1 and the tensile test results are shown in Table 1.

**Table 1.** Chemical Composition of S235JR Steel

%C	%Mn	%Cu	%S	%P
0,15	1,24	0,36	0,03	0,02

The dimensions of the standard parts to be bead-on-plate weldings are shown in Figure 4.



**Figure 4.** Dimensions of standard parts to be bead-on-plate weldings.

Welds were made using a welding robot. ESAB Railtrac B42V was used as welding robot. Railtrac B42V is a welding drive-component system that can be configured to form the suitable solution for mechanized welding application, which can be powered from the power source according to the power standard DIN40050 or optionally with battery. Figure 2.5 shows the photograph of the robot used in the experiments. The head of the robot moves linearly on the rail placed on the welding table. The speed of the robot is the speed of the weld. The robot speed was adjusted to the desired speed before welding and kept constant throughout each welding experiment. Since the welding torch is tightly connected to the robot, the welding progress rate, arc length and torch angle remained constant during welding. Thus, welding parameters remain constant in welding and the influence of the operator is eliminated.

The welding machine used in the experiments is a semi-automatic gas arc welding machine. Among the primary factors, the arc voltage can be adjusted directly and the current intensity can be adjusted indirectly from the welding machine. Wire feed speed is adjusted from the machine and the welding current intensity is read from the machine during welding. After the welding is finished, the welding average current intensity used while sewing is read from the machine screen. It is not possible to control the welding progress rate on the machine. Welding robot was used for this. The robot keeps the welding progress rate, arc length and oscillating motion of the torch constant. All three of the welding primary parameters were precisely controlled using the robot.

The entropy method, which is the weighting method used in multi-criteria decision making methods, was chosen in order to determine the significance of the effect of the source parameters on the angular



distortion in the experimental results. Variables for 9 different welding processes are set as seen in the table.

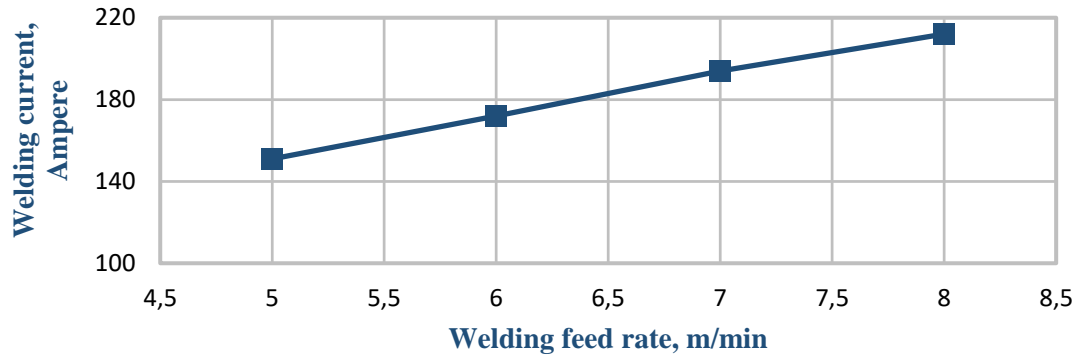
**Table 2.** Decision Matrix

ALTERNATIVES	DECISION VARIABLES				
	Welding Current, A	Welding Voltage, V	Welding Process Rate, mm/s	Torch Angle, °	Shielding Gas Flow Rate, L/min
Experiment No. 1	152	23	5	90	12
Experiment No. 2	173	23	5	90	12
Experiment No. 3	193	23	5	90	12
Experiment No. 4	208	23	5	90	12
Experiment No. 5	225	23	5	90	12
Experiment No. 6	154	23	4	90	12
Experiment No. 7	153	23	5	90	12
Experiment No. 8	155	23	6	90	12
Experiment No. 9	150	23	7	90	12

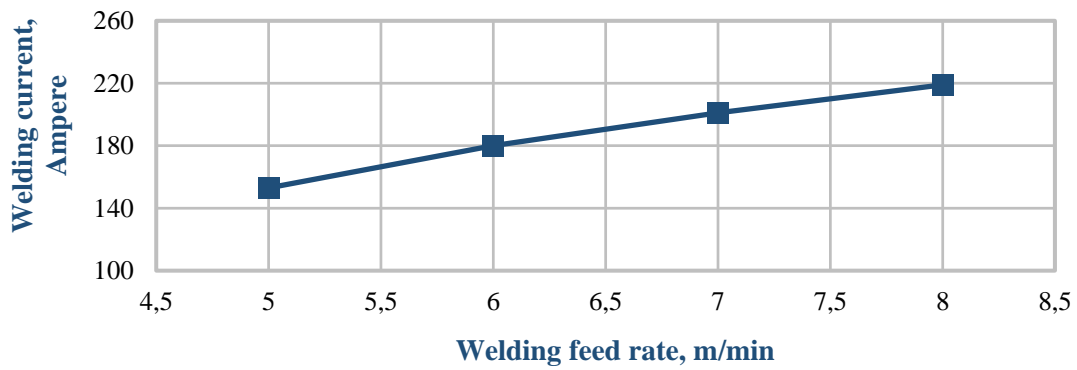
## RESULTS

The variation of the current intensity depending on the wire feeding speed in the constant arc voltage condition adjusted from the welding machine is shown in the graphs below. In Figure 5.1, 23 volt arc voltage, and Figure 5.2. 26 volt arc voltage, depending on the wire feeding speed, change the electric current intensity.

In all graphs, it has been determined that the current intensity changes linearly with the increase of wire feeding speed. There is a linear relationship between current intensity and wire feed speed in MIG arc welding [10]. As the wire feed rate increases, the current intensity increases and as the wire feed rate decreases, the current intensity decreases. The relationship between the two parameters is close to linear. The diameter of the welding wire causes variation in the slope of the linear change between the two parameters. Slight increase in wire feed speed, Figure 5.1., Figure 5.2. and causes large increases in current. Core wire welding is done in a gas metal arc welding machine. The difference with the MIG welding method is the cross-section of the wire and the type of shielding gas. While welding with solid wire in MIG, metal wire with a tube cross section filled with covering powder is used in cored wire. Argon shielding gas is used in MIG and CO<sup>2</sup> shielding gas is used in cored wire. Despite these differences, the effect of wire feed speed on current is similar in both welding methods.

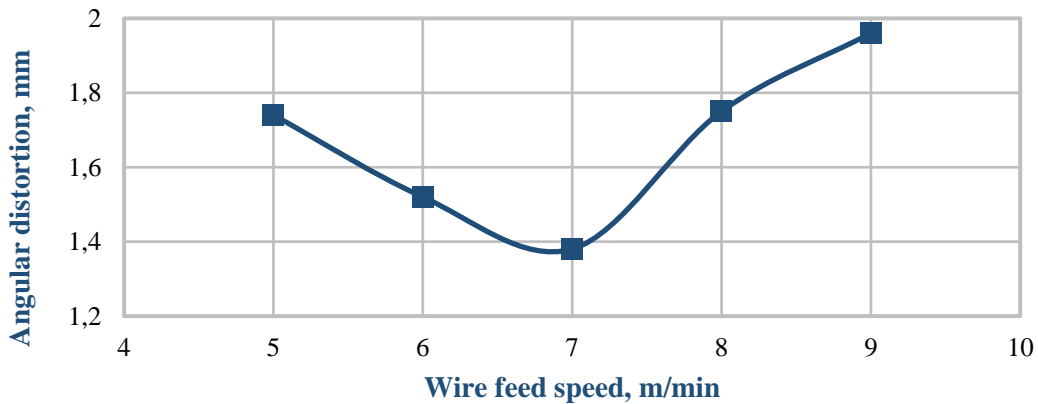


**Figure 5.1.** Variation of welding current intensity depending on wire feeding speed in welding with 24.5 Volt arc voltage.

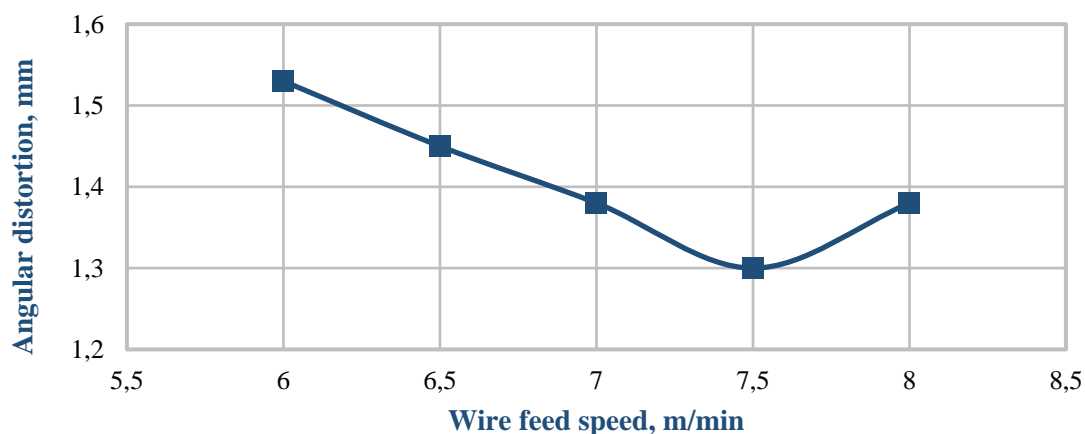


**Figure 5.2.** Variation of welding current intensity depending on wire feeding speed in welding with 26 Volt arc voltage.

The effect of wire feed speed on angular distortion can be seen in Figures 6.1 and 6.2. These diagrams show how wire feed speed or current intensity changes the angular distortion. In all experiments, the gas flow rate was 12 L/min and the torch angle was kept constant at 90°. In the experiments performed with 26 volt arc voltage and 5.5 mm/s welding advance speed the amount of distortion decreases until the wire feed speed increases from 6 m/min to 7.5 m/min. Angular distortion increases from a wire feed speed of 7.5 m/min. In the experiments shown in Figures 6.1. and 6.2. the welding feed rate was fixed at 5 mm/s. In these experiments, the wire feeding speed was changed between 5-9 m/min. The experiments in Figure 6.1. were carried out with 23 volt arc voltage.



**Figure 6.1.** Variation of angular distortion depending on wire feed speed in welding performed at 23 Volt arc voltage.



**Figure 6.2.** Variation of angular distortion depending on wire feed speed in welding performed at 26Volt arc voltage.

In order to weight the parameters used in the experiments with the entropy method, the decision matrix was first normalized.

**Table 3.** Normalized Decision Matrix

ALTERNATIVES	DECISION VARIABLE				
	Welding Current	Welding Voltage	Welding Progress Rate	Torch Angle	Shielding Gas Flow Rate
	(A)	(V)	(mm/s)	(°)	(L/min)
EXP. 1	0,10772502	0,1111111	0,10638298	0,1111111	0,1111111
EXP. 2	0,12260808	0,1111111	0,10638298	0,1111111	0,1111111
EXP. 3	0,13678242	0,1111111	0,10638298	0,1111111	0,1111111
EXP. 4	0,14741318	0,1111111	0,10638298	0,1111111	0,1111111
EXP. 5	0,15946137	0,1111111	0,10638298	0,1111111	0,1111111
EXP. 6	0,10914245	0,1111111	0,08510638	0,1111111	0,1111111
EXP. 7	0,10843373	0,1111111	0,10638298	0,1111111	0,1111111
EXP. 8	0,10985117	0,1111111	0,12765957	0,1111111	0,1111111
EXP. 9	0,10630758	0,1111111	0,14893617	0,1111111	0,1111111

Then entropy values were calculated and weighted.



**Table 4.** Calculated Entropy values.

	DECISION VARIABLE				
ALTERNATIVES	Welding Current	Welding Voltage	Welding Progress Rate	Torch Angle	Shielding Gas Flow Rate
	(A)	(V)	(mm/s)	(°)	(L/min)
EXP. 1	-0,23999929	-0,244123	-0,23827039	-0,244123	-0,244123
EXP. 2	-0,25731634	-0,244123	-0,23827039	-0,244123	-0,244123
EXP. 3	-0,27202843	-0,244123	-0,23827039	-0,244123	-0,244123
EXP. 4	-0,28221282	-0,244123	-0,23827039	-0,244123	-0,244123
EXP. 5	-0,29271236	-0,244123	-0,23827039	-0,244123	-0,244123
EXP. 6	-0,24171	-0,244123	-0,20968029	-0,244123	-0,244123
EXP. 7	-0,24085691	-0,244123	-0,23827039	-0,244123	-0,244123
EXP. 8	-0,2425586	-0,244123	-0,26270989	-0,244123	-0,244123
EXP. 9	-0,23827039	-0,244123	-0,28357712	-0,244123	-0,244123
SUM	-2,30766514	-2,197107	-2,18558964	-2,197107	-2,197107
Ej	-1,05023402	-0,9999433	-0,99466391	-0,9999433	-0,9999433

**Table 5.** Weighted Entropy values.

	DECISION VARIABLE				
ALTERNATIVES	Welding Current	Welding Voltage	Welding Progress Rate	Torch Angle	Shielding Gas Flow Rate
	(A)	(V)	(mm/s)	(°)	(L/min)
Ej	-1,050234	-0,9999433	-0,9946639	-0,9999433	-0,9999433
1-Ej	2,050234	1,9999433	1,9946639	1,9999433	1,9999433
SUM	10,044728				
wj	0,2041105	0,1991038	0,1985782	0,1991038	0,1991038
Ranking	1	2	3	2	2



Angular distortion amounts obtained in 9 different welding processes are given in the table.

**Table 6.** Experimental results.

EXPERIMENTS	WELDING PARAMETERS					
	Welding Current	Welding Voltage	Welding Progress Rate	Torch Electrode Angle	Shielding Gas Flow Rate	Angular Distortion
	(A)	(V)	(mm/s)	(°)	(L/min)	mm
EXP. 1	152	23	5	90	12	1,54
EXP. 2	173	23	5	90	12	1,52
EXP. 3	193	23	5	90	12	1,38
EXP. 4	208	23	5	90	12	1,86
EXP. 5	225	23	5	90	12	1,96
EXP. 6	154	23	4	90	12	2,22
EXP. 7	153	23	5	90	12	1,42
EXP. 8	155	23	6	90	12	1,09
EXP. 9	150	23	7	90	12	1,05

## DISCUSSION & CONCLUSION

The results obtained from the angular distortion measurement tests measured with the comparator after the blind welding bead applied to the steel plates by the cored wire arc welding method and the V butt welding joints are summarized below.

1. There is a linear relationship between wire feed speed and welding current in Flux-cored Arc Weldings. The current increases or decreases in parallel with the wire feeding speed.
2. Angular distortion generally decreases as the wire feed speed increases. However, an increase in angular distortion was detected when the wire feeding speed was increased above 7.5 m/min.
3. Angular distortion increases slightly if the welding feed rate is up to 6 mm/s. When the welding feed rate increases above 6 mm/s, the distortion decreases.
4. Minimum angular distortion was obtained at a welding feed rate of 7 mm/s.
5. Arc voltage has been proven to have an effect on angular distortion along with the weld feed rate.
6. Weld bead geometry varies depending on primary welding parameters. As the welding current increases, the bead grows. As the voltage increases, the weld bead width increases. As the welding progress rate increases, the bead cross-sectional area decreases.
7. As the weld bead grows, the weld angular distortion increases due to shrinkage and shrinkage.
8. Experimental studies and using Entropy weighting method have verified that current intensity and weld feed rate are the primary weld parameters, the two factors that most affect the amount of angular distortion.



9. It has been confirmed by experimental studies and the Entropy weighting method that the electrode angle and gas blowing flow rate, as secondary welding parameters, affect the angular distortions in the weld equally or less significantly.

10. With the Entropy weighting method used in multi-criteria decision making methods, it is possible to decide on the welding parameter that will most affect the amount of angular distortion for welding studies without doing any experimental studies.

## REFERENCES

- [1] Külekçi, M.K., Ertürk, İ. (1997) Kaynaklı Yapılarda Çekme ve Çarpılmalar, Kaynak Teknolojisi I. Ulusal Kongresi Bildirileri Kitabı, 179-189, Ankara, Türkiye.
- [2] Masubuchi, K. (1980) Analysis of Welded Structures, Pergamon Press, New York, ABD.
- [3] Anık, S. (1991) Kaynak Tekniği El Kitabı, Gedik Holding, İstanbul, Türkiye.
- [4] Ottersböck M., Leitner, M., Stoschka, M. (2018) Impact of Angular Distortion on the Fatigue Performance of High-Strength Steel T-Joints in as-Welded and High Frequency Mechanical Impact-Treated Condition. Metals, 8, 302-323.
- [5] Kurtulmuş, M. (2020) Kaynakta Isının Tesiri Altında Kalan Bölge, Efe Akademi Yayınevi, İstanbul, Türkiye.
- [6] Huang, H. (2009) Effects of Shielding Gas Composition and Activating Flux on GTAW Weldments. Materials and Design, 30, 2404-2409.
- [7] İnan, M. (2018) Cisimlerin Mukavemeti, İTÜ Vakfı, İstanbul, Türkiye.
- [8] Metals Handbook (1991) Volume 4, Heat Treating, ASM, Metals Park Ohio, ABD.
- [9] Bailey, N. (1994) Weldability of Ferritic Steels, Abington Publishing, Cambridge, İngiltere.
- [10] Anık, S. (1980) Kaynak Tekniği 1, İTÜ Yayınları No.1160, İstanbul, Türkiye.,