INCOHIS 2024 AUTUMN

DEC 7-8, 2024 İSTANBUL / TÜRKİYE

INTERNATIONAL CONGRESS OF NEW HORIZONS IN SCIENCE AND SOCIAL SCIENCES

SCIENCES PROCEEDINGS BOOK

WWW.INCOHIS.COM

INCOHIS 2024 AUTUMN

INTERNATIONAL CONGRESS OF NEW HORIZONS IN

SCIENCE AND SOCIAL SCIENCES

SCIENCES PROCEEDINGS BOOK

DEC 7-8, 2024

GÜNGÖREN BELEDİYESİ ALT+TAB KULUÇKA MERKEZİ GÜNGÖREN

İSTANBUL / TÜRKİYE

www.incohis.com

info@incohis.com

ISBN: 978-625-00-7405-3

EDITORS

- Prof. Dr. Hüseyin TOROS, Istanbul Technical University
- Lecturer Mustafa OF, Kocaeli University
- Lecturer İsmail KILIÇASLAN, Kocaeli University

All Rights Reserved
All Responsibilities of The Articles Belong to The Authors

SUPPORTERS

Güngören Municipality

Aleksandër Moisiu University, Albania

Universiteti Bujqësor i Tiranës - UBT, Albania

Uzhhorod National University, Ukraine

University Malaysia Terengganu, Malaysia

İstanbul Technical University Meteorological Research Club, Türkiye

Dear participants,

INCOHIS 2024 AUTUMN Congress is an internationally recognized academic event. With this congress, where face-to-face and remote participation is supported, you will have the opportunity to present your scientific publications. Our congress, which is attended by respected names in the scientific community, is a candidate congress to bring new horizons to science.

From 7 countries 76 participants applied to the congress. Participants presented their papers for two days in the congress.

We are also grateful to the esteemed participants, our keynote speakers, our referees for their support and contributions to the success of this congress. Thank you for attending our academic event and supporting us.

The INCOHIS congress will be held every year by raising its target higher. It will reach out to wider communities and increase the number of papers and participants.

Any kind of feedback about the congress is very important to us. You can reach our congress from our web page, info@incohis.com e-mail address and official social media accounts.

23.12.2024

INCOHIS ORGANIZING COMMITTEE

KEYNOTE SPEAKERS

Prof. Dr. Mehboob Nagarbawdi
Affiliated to University of Mumbai, India

Prof. Dr. Arbnor Pajaziti
Universiteti i Prishtinës "Hasan Prishtina", Kosova

Prof.Dr. Lyudmyla Symochko
Uzhhorod National University, Ukraine, Coimbra University, Portugal

Prof. PhD Maria Nazaré Coelho Pinheiro
Polytechnic University of Coimbra, Portugal

Assoc. Prof. Hyoruki İshizaki
Shibaura Institute of Technology, Japan

Dr. Ahmad Ali
University of Mumbai, India

SCIENCE COMMITTEE

Listed in alphabetical order

- Prof. Dr. Ahmet Duran Şahin, İstanbul Technical University, Türkiye
- Prof. Dr. Ali Deniz, İstanbul Technical University, Türkiye
- Prof. Dr. Ayşe Günsel, Kocaeli University, Türkiye
- Prof. Dr. Engin Özdemir, Kocaeli University, Türkiye
- Prof. Dr. Fatma Çanka Kılıç, Kocaeli University, Türkiye
- Prof. Dr. Flora Merko, Aleksander Moisiu Durres University, Albania
- Prof. Dr. Hanefi Bayraktar, Atatürk University, Türkiye
- Prof. Hiroyuki Ishizaki, Shibaura Institute of Technology, Japan
- Prof. Dr. Hristo Ivanov Katrandzhiev, University of National and World Economy, Bulgaria
- Prof. Dr. Hüseyin Toros, İstanbul Technical University, Türkiye
- Prof. Dr. Hysen Mankolli, Editor of IJEES, Health and Environment Association, U.S.A.
- Prof. Dr. Juan Carlos, Roca University Of Huelva, Spain
- Prof. Dr. Maan T. J. Maaroof, Mousul University, Iraq
- Prof. Dr. Mehmet Demirtaş, Bitlis Eren University, Türkiye
- Prof. Dr. Nardane Yusifova, Azerbaijan National Academy of Sciences, Azerbaijan
- Prof. Dr. Novo Palakalovic, University of East Sarajevo, Bosnia
- Prof. Dr. Olena Demyanyuk, Institute of Agroecology and Environmental Management, Kyiv, Ukraine
- Prof. Dr. Osman Taylan, King Abdulaziz University, Saudi Arabia
- Prof. Dr. Şükrü Dursun, Konya Technical University, Türkiye
- Prof. Dr. Tamara Milenkovic Kerkovic, University of Nis, Serbia
- Assoc. Prof. Dr. Ayşenur Kayabaş Avşar, Çankırı Karatekin University, Türkiye
- Assoc. Prof. Dr. Arben Kambo. Agriculture University of Tirana, Albania
- Assoc. Prof. Dr. Ayşegül Türk, Ankara Haci Bayram Veli University, Türkiye
- Assoc. Prof. Dr. Azeta Tartaraj, Aleksander Moisiu Durres University, Albania
- Assoc. Prof. Dr. Brunela Trebicka, Aleksander Moisiu Durres University, Albania
- Assoc. Prof. Dr. Eda Bezhani, Aleksander Moisiu Durres University, Albania
- Assoc. Prof. Dr. Eda Bozkurt, Atatürk University, Türkiye
- Assoc.Prof.Dr. Edmond Hoxha, Polytechnic University Of Tirana, Albania
- Assoc. Prof. Dr. Emira Kalaj, University of Shkodra "Luigj Gurakuqi", Albania
- Assoc. Prof. Dr. Etleva Dashi. Agriculture University of Tirana, Albania
- Assoc. Prof. Dr. Ercan Arpaz, Kocaeli University, Türkiye
- Assoc. Prof. Dr. Lyudmyla Symochko, Uzhhorod National University, Ukraine
- Assoc. Prof. Dr. Mehboob Nagarbawdi, Affiliated to University of Mumbai, India
- Assoc. Prof. Dr. Muhammet Fatih Genç, Kocaeli University, Türkiye
- Assoc. Prof. Dr. Nagip Skenderi, University of Prishtina, Kosovo
- Assoc. Prof. Dr. Natalya Gudkova, The State Ecological Academy, Ukraine
- Assoc. Prof. Dr. Nermin Demirkol, Kocaeli University, Türkiye
- Assoc. Prof. Dr. Taner Erdoğan, Kocaeli University, Türkiye
- Assoc. Prof. Dr. Ylber Aliu, AAB College, Kosovo
- Assoc. Prof. Dr. Samad Rahimi Aghdam, Tabriz University, Iran
- Assoc. Prof. Dr. Selda Uca, Kocaeli University
- Assist. Prof. Dr. Mazin Nazar Fadhel, Mosul university, Musul, Iraq
- Assist. Prof. Dr. Berna Kavaz Kındığılı, Atatürk University, Türkiye

- Assist. Prof. Dr. Fatih Sevgi, Selçuk University, Türkiye
- Assist. Prof. Dr. Handan Özçelik Bozkurt, Sinop University, Türkiye
- Assist. Prof. Dr. Larissa Shragina, Odessa I. I. Mechnikov University, Ukraine
- Assist. Prof. Dr. Nuray Aşantuğrul, Amasya University, Türkiye
- Assist. Prof. Dr. Seyil Najimudinova, Kyrgyzstan Türkiye Manas University, Kyrgyzstan
- Assoc. Prof. Dr. Tuncer Gövdeli, Atatürk University, Türkiye
- Assist. Prof. Dr. Vedat Tümen, Bitlis Eren University, Türkiye
- Assist. Prof. Dr. Vystavkina Daria, Odessa I. I. Mechnikov University, Ukraine
- Assist. Prof. Dr. Yıldırım Karadeniz, Kocaeli University, Türkiye
- Assist. Prof. Dr. Yusuf Budak, Kocaeli University, Türkiye
- Phd. Alba Ramallari, Aleksandër Moisiu University Durrës, Albania
- Phd. Alma Zisi, Aleksandër Moisiu University Durrës, Albania
- Phd. Blerina Vrenozi, Tirana University, Albania
- Phd. Daniela Lika, Aleksander Moisiu Durres University, Albania
- PhD. Gülşah Keklik, İstanbul Technical University
- Phd. Irfan Wahyudi, Universitas Airlangga, Indonesia
- Phd. Mirela Alushllari, University of Albania, Albania
- Phd. Jonida Gashi, Aleksander Moisiu Durres University, Albania
- Phd. Olta Nexhipi, Aleksandër Moisiu University Durrës, Albania
- Phd. Violeta Neza, Aleksander Moisiu Durres University, Albania
- Phd. Ariola Harizi, Aleksander Moisiu Durres University, Albania
- Phd. Saeid Shojaei, University of Tabriz, Iran
- Phd. Süleyman Soydaş, Kocaeli University, Türkiye
- Phd. Ada Aliaj, Aleksandër Moisiu University Durrës, Albania
- Phd. Moses M. Solomon, King Fahd University, Saudi Arabia
- Phd. Emma Gurashi Nikolaoy, University Of Patras, Greece
- Phd. Hisham M. Alidrisi, King Abdulaziz University, Saudi Arabia
- Phd. Thawee Numsakulwong, Rajamangala University of Technology Isan, Tayland
- Phd. Reyhan Dadash, Azerbaijan State Pedagogical University, Azerbaijan
- Lecturer Mustafa Of, Kocaeli University
- Lecturer İsmail Kılıçaslan, Kocaeli University

İÇİNDEKİLER

ABSTRACTS / POSTERS

The abstract fields of the papers that have met all the conditions of the INCOHIS 2024 AUTUMN congress as abstract, poster and full text will be shown on the following pages. In addition, the full texts of the papers that have been applied as full text are available on the following pages.

MATHEMATICAL MODEL OF CANCER AND OPTIMIZATION OF PARAMETERS TO BLOCK METASTASIS USING MIGRATING BIRDS OPTIMIZATION (MBO)

Assistant NURDANUR PEHLİVAN
Doğuş University, Faculty Of Engineering, Software Engineering
npehlivan@dogus.edu.tr

Prof. Dr. Mitat Uysal
Doğuş University, Faculty Of Engineering, Software Engineering
muysal@dogus.edu.tr

Prof. Dr. S. Aynur Uysal
Doğuş University, Faculty Of Engineering, Software Engineering
auysal@dogus.edu.tr

Abstract
Cancer metastasis is a leading cause of cancer-related mortality. Developing mathematical models to understand tumor progression and optimize intervention strategies is crucial in controlling the spread of cancer cells to secondary sites. This paper provides a comprehensive mathematical model for cancer growth and metastasis. It also demonstrates the use of the Migrating Birds Optimization (MBO) algorithm to optimize key parameters that block metastasis. The conclusion highlights future directions in improving the model and optimizing treatment strategies.Cancer metastasis is a leading cause of cancer-related mortality. Developing mathematical models to understand tumor progression and optimize intervention strategies is crucial in controlling the spread of cancer cells to secondary sites. This paper provides a comprehensive mathematical model for cancer growth and metastasis. It also demonstrates the use of the Migrating Birds Optimization (MBO) algorithm to optimize key parameters that block metastasis. The conclusion highlights future directions in improving the model and optimizing treatment strategies.

Keywords: Mbo,metaheuristic Optimization,metastasis,mathematical Model Of Cancer Growth,tumor Growth Dynamics

A COMPREHENSIVE EXPLORATION OF ADVANCED HEALTHCARE MONITORING SYSTEMS IN THE IOT ERA

Prof. Dr. ALİREZA SOURİ
Haliç University, Engineering, Computer Engineering
alirezasouri@halic.edu.tr

Ahmad Badamasi Tahir
Haliç University, Engineering, Computer Engineering
20091000088@ogr.halic.edu.tr

Abstract
The integration of Internet of Things (IoT) technologies into healthcare monitoring systems promises significant advancements in patient care by enabling continuous and real-time monitoring of vital health parameters. This review synthesizes findings from recent research on IoT-based healthcare monitoring systems, highlighting their diverse applications and technological implementations. Key areas of focus include the utilization of various sensors, such as temperature, heart rate, and environmental sensors, integrated with IoT platforms like Raspberry Pi and Arduino for data collection and transmission. Despite these advancements, challenges such as data security, patient privacy concerns, and system reliability remain critical issues that need to be addressed. The review identifies current trends and future directions in the field, emphasizing the importance of comprehensive evaluation metrics for assessing system performance and efficacy.

Keywords: Internet Of Things (iot), Real-time Health Monitoring, Advanced Healthcare Monitoring Systems

EFFECT OF COMBINED USE OF ANTIFREEZE AND AIR ENTRAINING ADMIXTURES ON CONCRETE PROPERTIES

ŞADIMAN İKRA AYDIN ÇUKUR
Atatürk University, Faculty Of Engineering, Civil Engineering
ikraaydincukur@gmail.com

Assist. Prof. Dr. Fatma KARAGÖL
Atatürk University, Faculty Of Engineering, Civil Engineering
fatma.karagol@atauni.edu.tr

Abstract
To increase the frost resistance against the cold weather effect that causes mechanical and physical deterioration of concrete, antifreeze, and set accelerator admixtures are generally used in the fresh state while air-entraining admixtures are used in the hardened state. However, no study has been found on the combined use of these admixtures. For this reason, in this study, the effect of the combined use of antifreeze and air-entraining admixtures on the properties of fresh and hardened normal concretes exposed to cold weather without any pretreatment such as protection, insulation, or heating of materials was investigated. For this purpose, a total of 6 different concrete mixtures were produced in the study, including a control mixture containing no admixtures, 4 mixtures using various combinations of calcium nitrate, sodium thiocyanate, and air-entraining admixtures, and a mixture containing only air-entraining admixture. The fresh concrete mixtures' spreading diameter and air amounts were determined and the samples placed in 5x5 cm3 molds were exposed to 12 hours of freezing at constant temperatures at -5°C and -10°C. In addition, compressive strength test, water absorption by weight and capillary water absorption tests were performed after all effects on all mixtures, including hardened concrete samples applied standard water cure. Since the consistency of mixtures containing both antifreeze and air-entraining additives was much higher than the control concrete, the strength results after standard water cure were lower in these mixtures. Although there was a decrease in compressive strengths when the air-entraining additive was added, the most optimum results were obtained in the mixture containing 4.5% CN and 1.5% ST at both -5°C and -10°C.

Keywords: Cold Weather, Antifreeze Additive, Air Entrainment Additive, Resistance, Normal Concrete

ENVIRONMENTAL IMPACT ANALYSIS OF WEIGHT REDUCTION AND SECONDARY RAW MATERIAL USE IN ELECTRIC VEHICLE ALUMINIUM BATTERY BOXS

AYSEL PİLAV
Uludağ University, Environmental Engineering, Environmental Engineering
aysel.pilav@yesilova.com.tr

Abstract
Today, the automotive industry is one of the key sectors focused on reducing its carbon footprint due to high carbon emissions and environmental impacts. The transition to electric vehicles, the high energy consumption in production processes, and the amount of raw materials used have made this sector an important focus in the fight against climate change. In this context, two of the most important criteria for producing vehicles with a lower carbon footprint are weight reduction and the use of secondary raw materials. This study uses Life Cycle Analysis (LCA) methodology to analyze the environmental impacts of weight reduction efforts and raw material choices in electric vehicle battery enclosures. A battery enclosure produced in Taiwan is selected as the benchmark product. Through changes in design and production processes, the weight of this enclosure has been reduced by 50%. The environmental impacts of the benchmark product and the newly developed lightweight battery enclosures are calculated using GaBi software with two different scenarios: one with primary aluminum and the other with raw material containing 40% recycled aluminum. The study highlights the contributions of weight reduction efforts, raw material selection, and production geography to the carbon footprint and environmental impacts.

Keywords: Aluminum, Electric Vehicles, Battery Trays, Secondary Raw Material, Weight Reduction, Life Cycle Analysis, Carbon Footprint

EXAMINING THE IMPACT OF STEEL AND ALUMINUM CHOICES ON THE CARBON FOOTPRINT IN VEHICLE PRODUCTION

AYSEL PİLAV
Uludağ University, Environmental Engineering, Environmental Engineering
aysel.pilav@yesilova.com.tr

Abstract
The use of steel and aluminum as raw materials in the automotive industry plays a significant role in the carbon footprint. While steel has a relatively low carbon footprint in extraction and processing, its weight may lead to higher energy consumption and, consequently, a higher carbon footprint over the vehicle's lifecycle. Aluminum, on the other hand, has a higher carbon footprint in the extraction process but is much lighter than steel, thereby reducing vehicle weight and contributing to a lower carbon footprint throughout its lifespan. Therefore, the choice between steel and aluminum directly affects a vehicle's "cradle-to-grave" environmental impact. This study aims to assess the impact of steel and aluminum usage on the carbon footprint in vehicle production. The analyzed studies are based on life cycle assessments of steel-intensive and aluminum-intensive internal combustion engine and electric vehicles. By comparing the carbon footprints of steel and aluminum-intensive vehicles, the study investigates the differences in environmental impacts based on specific weight reduction ratios. Another key factor for electric vehicles, the electricity grid mix, was also considered; Germany and Norway's grid mix scenarios were evaluated in this context. The results demonstrate the impact of steel and aluminum usage on the carbon footprint of internal combustion engine vehicles and the effects of both material choice and electricity grid mix on the carbon footprint of electric vehicles. This study also allows for the comparison of carbon footprints between internal combustion engine and electric vehicles.

Keywords: Aluminum, Steel, Carbon Footprint, Electric Vehicles, Life Cycle Analysis

FPGA SUPPORTED SEMI-SPHERICAL RESONANT GYROSCOPE IMPLEMENTATION

Assist. Prof. Dr. İsmail Kurtoglu
Fenerbahçe University, Faculty Of Engineering, Computer Engineering
ismail.kurtoglu@fbu.edu.tr

Assist. Prof. Dr. VECDİ EMRE LEVENT
Fenerbahçe University, Faculty Of Engineering, Computer Engineering
emre.levent@fbu.edu.tr

Abstract
Semi-Spherical Resonant Gyroscopes (HRG) offer great advantages over classical gyroscopes thanks to their structure without moving parts for applications requiring high precision and acceleration. HRGs, which are widely used in sectors such as defense, space and consumer electronics, attract attention with their miniaturized structures. In this study, the resonance modes of HRG were monitored by means of optical measurement methods and electrostatic sensors and tested with an FPGA-based system. The data capture processes of this experimental setup, which was realized with optical laser interferometers, with FPGA were explained. Arbitrator module and AXI Stream protocol were used to transfer the data collected in the FPGA system to an external system via USB interface. The obtained results provide important clues about the usability of HRG technology in different industrial applications.

Keywords: Hemispherical Resonance Gyroscope, Interferometer, Fpga

AI PROJECT MANAGEMENT WITH AGILE

Engineer EBRU KARACELİK
Namık Kemal University, Electronics And Communication Engineering, R&d
ebru.ustunbas@gmail.com

Abstract
With the quick advancement of technology, the transformation and development of operational processes in the industry has created an opportunity, while not losing competitiveness has become one of the primary goals for companies. In order to be competitive, companies need to provide conditions such as high quality, low cost, and products to be released to the market in a short time. In order to provide these conditions, artificial intelligence applications that can perform both operational and administrative processes faster and with fewer errors than humans provide great convenience to companies. The most important advantage of artificial intelligence solutions is that they can be customized according to demand and/or need. In order to provide this advantage, the necessity of customizing the artificial intelligence solution brings with it a series of difficulties. The solution needs to be re-projected and managed according to the job to be customized. The fact that AI technology is currently a complex structure and a constantly evolving technology by nature is also one of the difficulties that must be overcome in terms of project management. In this context, the project management method to be preferred in the management of artificial intelligence projects must be dynamic and able to adapt quickly to changes. The method suitable for this structure is the Agile method. Instead of viewing the project as a sequential path from beginning to end, the Agile method looks at the process cyclically. In this way, it provides a framework that can adapt to changes more quickly than classical project management methods. In this study, the Agile method and AI project management were examined, and the advantages, applications and results of this method were explained.

Keywords: Ai Project, Agile Project Management, Software Project Management, Agile Framework

EFFECTS OF ACETOSYRINGONE ON ANTIBIOTIC RESISTANCE

Ayşenur Özdemir
Atatürk University, Faculty Of Science, Molecular Biology And Genetics
aysenurozdmirr@gmail.com

Abstract
Antibiotics are drugs used to treat infections. However, overuse or misuse of antibiotics causes antibiotic resistance. Antibiotic resistance reduces the effectiveness of antibiotics and prevents the treatment of infections. The widespread use of antibiotics in the livestock and fishing industries, as well as in human treatments, has led to the further uncontrolled spread of antibiotic resistance. Although it was initially thought that antibiotics were the only cause of antibiotic resistance in microorganisms, in later years it was revealed that pesticides, herbicides and even other commonly used drug groups also cause antibiotic resistance. Acetosyringone (AS) is a phenolic compound of plant origin. This compound is especially released from injured parts of plants. When the plant is infected with Agrobacterium tumefaciens bacterium, the AS metabolite released from the injured area stimulates virulence genes of A.tumefaciens, causing this bacterium to form a tumor in the plant. Based on this feature of the compound in question, the combination of A. tumefaciens and AS is used for gene transfer to plants. Although the effect of AS on A. tumefaciens has been studied in detail, there is no study in the literature on what effect it has on other microorganisms. Therefore, in this study, it was investigated how AS affects antibiotic resistance in bacteria. For this purpose, the effect of AS on sulfonamide (SulI) and tetracycline (TetA) genes in Esherichia coli was tested. To establish resistance, AS was added to the liquid culture of E. coli at 24-hour intervals for 12 days. The culture was centrifuged on the 13th day, RNA was isolated from the resulting cell pellet, and the expression levels of the relevant genes were analyzed by RT-PCR. The results obtained revealed that especially high concentrations of AS statistically increased the expression level of both SulI and TetA in E. coli. This finding indicates that plant-derived phenolic compounds found in both terrestrial and criminal environments may cause antibiotic resistance in bacteria.

Keywords: Esherichia Coli, Acetosyringone, Antibiotic Resistance, Sulfonamide, Tetracycline

IMPORTANCE OF PPRC1 GENE AS A PROGNOSTIC BIOMARKER ASSOCIATED WITH PANCREATIC CANCER DEVELOPMENT AND PROGRESSION

Assistant KÜBRA SENA BAŞ TOPCU
Bartın University, Faculty Of Science, Molecular Biology And Genetics
ksenabas@bartin.edu.tr

Assoc. Prof. Dr. ERCAN ÇAÇAN
Gaziosmanpaşa University, Faculty Of Science And Letters, Molecular Biology And Genetics
ercan.cacan@gop.edu.tr

Abstract
Pancreatic cancer is known as one of the leading causes of cancer deaths worldwide and its 5-year survival is only 13%. The aggressive clinical course of pancreatic cancer leads to metastasis and drug resistance. Therefore, identification of potential markers specific to pancreatic cancer is important for the treatment and prognostication of pancreatic cancer patients. Peroxisome proliferator-activated receptor gamma coactivator-related 1 (PPRC1), a regulator of mitochondrial biogenesis and cellular metabolism, has shown potential as a biomarker in various cancers, but no study in pancreatic cancer is available in the literature. This study investigates the expression and clinical significance of PPRC1 in pancreatic cancer using bioinformatics tools such as GEPIA2, UALCAN, cBioPortal and Human Protein Atlas. The results revealed that the expression of PPRC1 was significantly increased in pancreatic cancer tissues compared to healthy tissues, which was associated with advanced disease stages and poor survival outcomes. These findings suggest that PPRC1 is a potential biomarker and therapeutic target in pancreatic cancer, and require further investigation to elucidate its role in pancreatic cancer pathogenesis.

Keywords: Pancreatic Cancer, Pprc1, Tumor Progression, Biomarker

A COMPREHENSIVE ANALYSIS FOR SECURITY AND PRIVACY-AWARE RESOURCE MANAGEMENT APPROACHES IN SOFTWARE-DEFINED NETWORKS: OPPORTUNITIES AND CHALLENGES

Lecturer MONIRE NOROUZI
Haliç University, Myo, Information Security Technology
monirenorouzi@halic.edu.tr

SELIN GÜVEN
Haliç University, Myo, Computer Technology
selingv72@gmail.com

Abstract
With the rapid growth of emerging technologies and the application of numerous advantages of 5G communication, there is a critical gap between the security and privacy of data transmission and the resource management of software-defined networks (SDN). To provide a secure communication perspective for Internet of Things (IoT) devices and smart applications, network slicing in resource management is currently an important issue and is widely studied in SDN. Due to the importance of security and privacy-aware resource management in several aspects of SDN, this research aims to present a new comprehensive review of existing technical classification and deep-detailed categorization of resource management approaches for SDN communication in IoT environments. On the basis of each category, a technical taxonomy is presented to show various security and privacy-aware platforms in IoT environments. In accordance with the main state-of-the-art discussed comprehensive technical review, some important evaluation factors, main methodologies, advantages, and disadvantages of each case study are elaborated. In conclusion, some important new research directions and open challenges are presented for future scientific efforts.

Keywords: Internet Of Things (iot), Software Defined Networks (sdn), Resource Management, Security, Privacy

THE IMPACT OF FINANCIAL TECHNOLOGY APPLICATIONS ON FINANCIAL PERFORMANCE: AUTOMATIC ACCOUNTING AND ERP SOLUTION APPROACH

Engineer EBRU ÇAKMAK
M.b.İ.s BİlgİsayarAutomation Consultancy And Training Services Sanayi Ticaret Anonim Şirketi, R&d Center
ebru.cakmak@nagarro.com

Abstract
Digital technology is a comprehensive set of tools that facilitate the processing, storage and transmission of information and data in digital format, used in every aspect of modern life. These rapidly developing technologies transform business models and bring innovations to every aspect of our lives. In the digitalized world, financial and accounting transactions are stored in software like ERP. Enterprise Resource Planning (ERP) software aims to increase operational efficiency by bringing together all business processes of organizations under a single platform. SAP, an ERP software widely used around the world and Türkiye, enables companies to perform all their financial transactions within their own systems and to report these transactions. The development of software engineering and the integration of data analytics tools into ERP systems make these platforms more functional. One of the important processes that contribute to digital competence in the field of finance is banking applications, which provid

Keywords: Erp/sap, Digital Technology, Engineering And Technology, E-bank, Account Transactions, Automatic Accounting

CLOUD-BASED E-SOLUTIONS FOR AGILE AND SUSTAINABLE DIGITAL TRANSFORMATION

Engineer MUHAMMED ALİ RAGIP ÇAKIR
M.B.İ.S Bilgisayar Automation Consultancy And Training Services Sanayi Ticaret Anonim Şirketi, R&d Center
ali.cakir@nagarro.com

Abstract
In today's business world, digital transformation has become essential for maintaining a competitive edge and enhancing operational efficiency. Cloud-based e-solutions stand out with their agility and support for sustainable growth. These solutions provide a flexible, manageable digital environment, reducing complex infrastructure investments and operational burdens. This allows businesses to minimize hardware and maintenance costs while achieving a higher return on investment. The SAP Business Technology Platform (SAP BTP) serves as a cloud-based solution, offering flexibility through its IaaS and PaaS capabilities. With IaaS, businesses can offload infrastructure management while running critical applications in a secure, scalable environment. PaaS features accelerate application development, enabling customized solutions at lower costs. By offering essential tools and integrations out-of-the-box for e-transformation projects, SAP BTP reduces development time and total ownership costs. Hosted entirely in the cloud, SAP BTP handles updates and maintenance automatically, freeing businesses from local obligations. This modern infrastructure accelerates critical functions like data analytics and financial process automation. In engineering and technology projects, cloud-based solutions improve collaboration by enabling real-time data sharing among teams in different locations. Cloud solutions also excel in advanced technologies such as AI-powered analytics. They enable rapid integration of AI and machine learning solutions, helping organizations predict user behavior and deliver personalized services. Integration with SAP's leading ERP systems further enhances operational efficiency and improves customer experiences. In conclusion, cloud-based e-transformation solutions provide digitization and process optimization while fostering agility, security, and continuous improvement. SAP BTP's IaaS and PaaS capabilities allow businesses to adapt to rapidly changing requirements and gain a sustainable competitive advantage. Optimizing processes through cloud-based technologies and assessing software requirements and approaches to evaluate the impact of these technologies on e-transformation forms the objective of this study.

Keywords: Sap Erp, Sap Btp, Engineering And Technology, Cloud-based E-solutions, Financial Analytics, Digital Transformation

DIGITAL TRANSFORMATION IN ERP SYSTEMS WITH ACCOUNTING DOCUMENT MANAGEMENT: SAP-BASED INTEGRATED SOLUTIONS

ENİS ATA IŞIM
M.B.İ.S Bilgisayar Automation Consultancy And Training Services Sanayi Ticaret Anonim Şirketi, R&d Center
ata.isim@nagarro.com

ONUR BİLEN TÜRKMEN
M.B.İ.S Bilgisayar Automation Consultancy And Training Services Sanayi Ticaret Anonim Şirketi, Other, R&d Center
onur.turkmen@nagarro.com

Abstract
In the world, globalization, technological developments and digital transformation have started to manifest themselves in all areas of our lives and have made our lives easier with the services they offer. The e-transformation, which is primarily found in the public sphere, is changing both the working and lifestyles of states, institutions, businesses and even individuals all over the world. E-transformation is a process in which businesses adapt to digital technologies, optimizing their processes, reducing costs, and increasing their competitive advantage. The transfer of information to the electronic environment has initiated the process of electronic documents (e-Document) and electronic books (e-Ledger), especially in the accounting system with tax declarations. In Turkey, the Electronic Invoice Recording System (EIRS) was introduced in 2008 as a pilot application for e-invoices, followed by other e-document applications. The e-Invoice, e-Waybill, e-Archive and e-Ledger applications carried out by the Turkish Revenue Administration (TRA) stand out as the main components of this process. These applications contribute significantly to faster, more accurate and more secure accounting transactions with the advantages provided by digital transformation. In terms of the efficiency of production processes and resource management, large and medium-sized companies use large ERP systems such as SAP (Systems, Applications, and Products in Data Processing), which are widely used in Turkey, and manage their e-transformation and all accounting records through these ERP systems. The SAP system automates business processes, facilitating the digital editing of documents, improving data accuracy and speeding up processes. In addition, since software developed with SAP's own programming language ABAP allows e-transformation applications to be designed with an engineering perspective and enables integration, the need for e-transformation software applications developed in this system will continue. As a result, in line with this need, the scope of a sample package software that provides e-document (e-Invoice, e-Archive, e- Waybill) and e-Ledger management accurately and quickly through the SAP system has been evaluated in this study and the needs, methods and applications related to this have constituted the content of the study.

Keywords: Accounting Management, Digitalization, E-solution, Erp, Sap, Technological Integration, Data Management, Software Engineering

A COMPREHENSIVE ANALYSIS OF CYBER ATTACK DETECTION APPROACHES IN SOFTWARE DEFINED NETWORKS USING MACHINE LEARNING METHODS

Lecturer MONIRE NOROUZI
Haliç University, Myo, Computer Technology
monirenorouzi@halic.edu.tr

EFE ÖZ
Haliç University, Myo, Computer Technology
efeoz2003@outlook.com

Abstract
Due to the importance of cyber attack detection approaches in Software Defined Networks (SDN) in several aspects, this study presents a new comprehensive review of existing technical classification and deep-detailed categorization of cyber attack and cyber attack and DDoS detection approaches for SDN using machine learning methods in Internet of Things (IoT) environments. On the basis of each category, we present a technical taxonomy to show various cyber attack detection approaches in the IoT environment. In accordance with the state-of-the-art discussed comprehensive technical review, some important evaluation factors, main methodologies, advantages, and disadvantages of each case study are elaborated. In conclusion, we present some important new research directions and open challenges for future scientific research efforts.

Keywords: Iot, Sdn, Cyber Attacks, Machine Learning

BASIC STATISTICS OF CUSTOMER ANALYSIS DATA IN THE TELECOMMUNICATION INDUSTRY

AHMET YİĞİT SUNAL
Dokuz Eylül University, Institute Of Science And Technology, Statistics
ahmetyigit.sunal@deu.edu.tr

Assoc. Prof. Dr. ÖZGÜL VUPA ÇİLENGİROĞLU
Dokuz Eylül University, Faculty Of Science, Statistics
ozgul.vupa@deu.edu.tr

Abstract
The telecommunications sector has reached a broad customer base with the increased use of smartphones. However, challenges such as customer churn have also emerged in this sector. This study encompasses a statistical analysis aimed at developing strategies to prevent customer churn by analyzing customer behavior in the telecommunications sector. Basic descriptive and inferential statistics were applied to a dataset from Ghana's telecommunications sector. The dataset includes demographic information, service usage trends, and subscription statuses of 1,971 customers from four companies. The study evaluated factors affecting customer churn, such as age, gender, education level, duration with the company, payment amount, and reasons for choosing the company. The subscription cancellation rate was found to be 52.5%, with cancellations being particularly concentrated in the 25-34 age range. Additionally, pricing was identified as the most significant reason for cancellations, and it was observed that churn rates increased among long-term customers (3-4 years and above). As the primary motivation of the study was to prepare a dataset for customer churn prediction using machine learning methods, the preprocessing, cleaning, and basic statistical analysis phases of the data were detailed. Furthermore, the findings provided a foundation for advanced analyses and strategic decisions aimed at enhancing customer satisfaction and reducing churn. In this context, the research results offer significant contributions toward the development of customer-focused strategies in the telecommunications sector and the more effective use of machine learning algorithms.

Keywords: Customer Churn, Telecommunications Industry, Data Preprocessing, Descriptive Statistics

ECONOMIC EVALUATION OF THE FEASIBILITY OF PEER-TO-PEER ENERGY TRADING IN THE ELECTRIC DISTRIBUTION NETWORK: AN EXAMPLE OF PUBLIC BUILDING

Assistant ABDULLAH CENK
Marmara University, Faculty Of Technology, Electrical-electronics Engineering
abdullah.cenk@marmara.edu.tr

Assoc. Prof. Dr. Mustafa BAYSAL
Yıldız Technical University, Faculty Of Electrical And Electronics, Electrical Engineering
baysal@yildiz.edu.tr

Abstract
In the current context, energy supply security and environmental sustainability have become increasingly critical issues. The efficient utilization of renewable energy resources and the integration of novel trading models within distribution networks present significant potential. This study investigates the feasibility of peer-to-peer (P2P) energy trading in electrical distribution systems from economic perspectives. With the increasing importance of renewable energy integration and the active participation of prosumers in energy generation, the P2P energy trading model has emerged as a promising alternative. This model utilizes blockchain-based smart contracts to establish a decentralized and secure trading framework. In the study, energy trading among closely located public buildings was simulated, and it was observed that significant savings in energy costs were achieved. Additionally, the impact of energy storage systems on this trading model has also been examined. The simulation results have revealed the potential of the trading model to enhance consumer participation and contribute to energy efficiency. This study provides important findings regarding the efficient use of renewable energy sources, the sustainability of energy trading, and the economic impacts of energy storage systems.

Keywords: Peer-to-peer Energy Trading, Solar Energy, Energy Efficiency, Blockchain-based Energy Trading, Energy Storage Systems

SEISMIC PERFORMANCE EVALUATION OF EXISTING RC BUILDINGS IN MALATYA REGION

FURKAN KANLI
Gebze Technical University, Graduate School Of Education, Earthquake And Structural Engineering
f.kanli2021@gtu.edu.tr

Assist. Prof. Dr. ÜLGEN MERT
Gebze Technical University, Engineering, Civil Engineering
umtugsal@gtu.edu.tr

Abstract
This thesis aims to evaluate the seismic performance of existing reinforced concrete residential and public buildings located in Malatya, which is affected by the Sivrice-Pütürge segment. The study will examine the earthquake resistance of these structures using nonlinear analysis methods outlined in Chapter 15 of TBDY-2018. Finally, seismic performance levels will be determined. The February 6, 2023, Kahramanmaraş earthquakes highlighted the vulnerability of the building stock and the importance of structural safety for human life. This study aims to underline the destructive effects caused by seismic forces by evaluating structural performance using nonlinear static and dynamic analyses, as well as parameters such as spectral acceleration values and earthquake recurrence periods. The Sivrice-Pütürge segment, which affects the Malatya region, is part of the Malatya-Ovacık Fault Zone (MOFZ), a major source of deformation on the Anatolian Plate. The geological feature of the region has ground amplification, concentrating seismic energy at specific points, and these characteristics were considered in the structural performance analyses. Additionally, current seismic hazard analyses of the region were reviewed, and new analyses were conducted regarding updated fault lines. Critical factors in potential earthquake scenarios, such as directional effects, were also considered, incorporating the impact of fault mechanisms and the positioning of existing buildings relative to the fault line. Real earthquake records were selected and scaled as described in Chapter 2 of the Turkish Building Earthquake Code (TBDY-2018). The study aims to make significant scientific contributions to structural safety and earthquake engineering within the framework of the United Nations Sustainable Development Goals (SDGs). In this regard, it seeks to ensure the continuity of life by enabling structures to remain standing after earthquakes, while also aiming to protect both living and non-living entities on land. The thesis is aligned with the goals of sustainable development, focusing on developing scientific solutions to mitigate the impacts of earthquakes.

Keywords: Seismic Performance Assessment, Nonlinear Analysis, Malatya-ovacik Fault Zone (mofz), Directivity Effect, Soil Amplification Phenomenon

ELECTROMAGNETIC SHIELDING AND ACOUSTIC PROPERTIES OF RECYCLED CARBON BLACK ENHANCED POLYURETHANE

ETHEM GÖKHAN ÖZÇELİK
İstanbul Technical University, Department Of Polymer Science And Technology, Department Of Polymer Science And Technology
ozcelik22@itu.edu.tr

Prof. Dr. BÜNYAMİN KARAGÖZ
İstanbul Technical University, Science And Literature, Department Of Polymer Science And Technology
karagozb@itu.edu.tr

Abstract
This study aims to develop a polyurethane (PU) material that can be a solution to N.V.H. (Noise, Vibration, Harshness) and EMI (Electromagnetic Interference) problems in the electric vehicle industry. Semi-integral PU material has a thick surface on the outer layer that provides transmission loss features against sound waves while also providing electromagnetic shielding properties owing to the recycled carbon black(rCB) it contains. In this study, rCB is obtained from the pyrolysis of end-of-life automotive tires. In the first stage of the study, the ideal stirring methodology and rCB concentration in the PU system have been discussed. In the second stage, rCB-enhanced PU material is compared with neat PU and a PU that contains the same amount of conductive PANI additive, which is produced with identical process parameters. The TGA, DSC, mechanical, EMI shielding, and acoustic properties of the materials have been discussed. EMI shielding properties were analyzed at the Ku band range (between 12-18GHz). Results indicated that rCB-enhanced PU performed 11.5% better performance than the neat PU.

Keywords: Polyurethane, Recycled Carbon Black, Electromagnetic Shielding, Acoustic Properties

COMPARATIVE INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF MEMBRANES MADE OF DIFFERENT POLYMERS WITH THE SAME PORE SIZE ON NDIR (INFRARED) GAS SENSOR PERFORMANCE

Engineer ÜSAME AYAZ
Yıldız Technical University, Faculty Of Electrical And Electronics, Control And Automation Engineer
ayazusame@gmail.com

ELİF ZEYNEP ÇATMA
Yıldız Technical University, Faculty Of Arts And Sciences, Chemical
elifzcatma@gmail.com

Abstract
Non-dispersive infrared (NDIR) gas sensors are sensitive instruments widely used in industry for detecting gases and measuring their concentrations. In NDIR gas sensors for methane detection, water vapor filling the optical chamber can cause inaccurate measurements due to its overlap with the IR absorption spectrum of methane gas, adhering to the reflective optical surface of the sensor and the surface of the IR source. This situation can be slightly improved by designing the sensor's optical chamber and humidity compensation using software and electronic equipment. Furthermore, membranes are used to protect the sensor's optical surface from contaminants such as water and dust. The hydrophobic properties of membranes are critical to the accuracy and reliability of sensors due to their protection of the sensor against moisture and dust. When selecting membranes, attention should be paid to the effects of sensor stability, T90 time when gas is applied, and error rate in humid gas, which are important for the sensor performance of membranes. This study, aims to investigate the effects of hydrophobic membranes made of different polymers with the same pore size on gas permeability and sensor gas sensing performance. In this way, in the case of using membranes with different polymer structures, the stability of the sensor, T90 time, and error rate data in moist gas were analyzed when dry and moist gas were applied to the sensor. With the data obtained, it was determined which polymer-based membranes are more suitable for optimizing the performance of NDIR gas sensors and providing more efficient gas detection. In this context, the effects of polymer types, hydrophobicity, and pore structures on gas permeability properties have been investigated in detail.

Keywords: Ndir Gas Sensors, Hydrophobic Membranes, Gas Permeability, Polymer Materials, Gas Sensing

SIMULATION AND PERFORMANCE ANALYSIS OF THE WELDING ROBOTIC ARM

Prof. Dr. ARBNOR PAJAZİTİ
İstanbul Technical University, Faculty Of Mechanical Engineering, Department Of Mechatronics
arbnor.pajaziti@uni-pr.edu

Abstract
In this study, the designed model of the robotic arm with six degrees of freedom in Solidworks has been presented, and then the same model has been exported to Simscape. The robot in Simscape is represented as a group of block diagrams based on the real robot. Another aim of this study is the kinematic analysis of the robotic arm with all its revolute joints, where this analysis is discussed and elaborated in detail. Additionally, the results obtained from the kinematic analysis of the robotic arm have been used for the simulation of the robot and to achieve the desired positions of the end effector. Real parameters of the robotic arm have been considered in the kinematic analysis to ensure the study's accuracy. The analysis of the robot in Matlab software involves studying the robot after it has been previously modeled. Initially, the robotic arm is modeled in the Solidworks program, and then it is exported in 3D XML format to SimScape/SimMechanics. SimScape/SimMechanics provides simulation of three-dimensional models that contain multiple bodies or multiple parts. These multibody systems are modeled using blocks in Simscape. Each block represents: joints, bodies, force elements, or sensor elements, and then SimMechanics generates and solves the equations of motion for mechanical systems. The programming and execution of real tasks of the robot present the method of programming the robot to perform specific tasks. The description is made in detail so that others can replicate similar programs by following this step by step. As a conclusion, it can be inferred that through simulation and performance analysis of the robot, we can conclude that simulating robots and mechatronic systems, in general, is a method from which very accurate results for study can be obtained. This represents a method that has low cost; moreover, it is a method that can be used by many individuals simultaneously, and the study results can then be compared and used in the execution of real tasks of the robotic arm.

Keywords: Mobile Robot, Manipulator, Robot Control, Programming, Welding

TURMERIC- THE GOLDEN SPICE

MÜJGAN GİZEM ABUŞOĞLU
Namık Kemal University, Institute Of Science And Technology, Food Engineering
mujgan.abusoglu@yahoo.com

Abstract
The plant known by Curcuma longa L., commonly referred to as Turmeric, is listed in theTurkish Food Codex plant list with its rhizome and root parts being positively identified. Itis also known by the names Turmeric or Zerdeçöp. The term “turmeric” is derived from the Latin phrase “terra merita,” which means “worthy” earth and is also known as “yellow root,” “golden spice,” and “Indian saffron.”Turmeric (Curcuma longa L.) has been one of the widely cultivated spices for over 4000 years. This plant is closely associated with Indian spice culture. India is the largest producer of Turmeric in the world. Also known as the “Golden Spice” and “Spice of Life,” turmeric owes its yellow color to its curcumin content, which ranges from 0.2% to 8%, and its pungent taste to its termerol content, which ranges from 2.2% to 4.2%. Additionally, the high levels of volatile compounds in its composition contribute to the plant’s functional properties. The aim of this study is to emphasise the importance of the uses and purposes of turmeric in the food industry.

Keywords: Turmeric, Golden Spice, Food

INVESTIGATION OF LOW VELOCITY IMPACT STRENGTH OF MATERIALS USED SPALL LINER MANUFACTURING BY FINITE ELEMENT METHOD

MUHAMMED FATİH ÖZTÜRK
Kocaeli University, Institute Of Science And Technology, Automotive Eng
mfoztrk1453@gmail.com

Prof. Dr. ABDULKADİR CENGİZ
Kocaeli University, Faculty Of Technology, Automotive Eng
akcengiz@kocaeli.edu.tr

Abstract
Armored personnel carrier (APC) vehicles, which are used in the defense industry and fall within the R&D area of automotive technologies, are manufactured or coated with high-strength materials to withstand the impact of external explosions and bullets. However, when the threshold energy damping level of the armor is exceeded by the impact of the projectile hitting the armor from the outside, the impact zone is damaged due to the high impact effect , and scattering occurs towards the internal volume. These fragments cause heavy casualties to the crew and internal equipment. To minimize this effect, lightweight portable particle trap materials are used behind the main armor in armored personnel carriers. Today, ballistic composite materials can be used alone in light armored vehicles or as secondary armor in heavy armored vehicles due to their particle retention and shock absorbing properties. In this study, the low - velocity impact strengths at 150J of composite layers in different configurations of aramid and ultra- high molecular weight polyethylene (UHMWPE) materials used in the production of spall liners were investigated using the finite element method , and appropriate configuration selections were made.

Keywords: Spall Liner, Ballistic Strength, Low Velocity Impact, Finite Element Analysis (fea), Ls-dyna

FULL TEXT PAPERS

In this area, there are full-text papers sent to the Incohis 2024 Spring congress that meet the conditions of the congress.

MATHEMATICAL MODEL OF CANCER AND OPTIMIZATION OF PARAMETERS TO BLOCK METASTASIS USING MIGRATING BIRDS OPTIMIZATION (MBO)

Prof.Dr. MİTAT UYSAL
Doğuş University, Faculty of Engineering, Software Engineering
muysal@dogus.edu.tr, ORCID: 0000-0001-9713-2525

Prof.Dr. S. AYNUR UYSAL
Doğuş University, Faculty of Engineering, Software Engineering
auysal@dogus.edu.tr, ORCID: 0000-0002-2635-8903

Arş.Gör. NURDANUR PEHLİVAN
Doğuş University, Faculty of Engineering, Software Engineering
npehlivan@dogus.edu.tr, ORCID: 0000-0002-1875-8202

Abstract

Cancer metastasis is a leading cause of cancer-related mortality. Developing mathematical models to understand tumor progression and optimize intervention strategies is crucial in controlling the spread of cancer cells to secondary sites. This paper provides a comprehensive mathematical model for cancer growth and metastasis. It also demonstrates the use of the Migrating Birds Optimization (MBO) algorithm to optimize key parameters that block metastasis. The conclusion highlights future directions in improving the model and optimizing treatment strategies.

Keywords: MBO, Meta Heuristic Optimization, Metastasis, Mathematical Model Of Cancer Growth, Tumor Growth Dynamics

1. INTRODUCTION

Cancer is a highly complex disease, involving uncontrolled growth, invasion into adjacent tissues, and the dissemination of cancer cells through metastasis. Metastasis, the process of cancer cells migrating from the primary tumor to other parts of the body, is responsible for over 90% of cancer-related deaths [1]. Despite advancements in therapy, controlling metastasis remains a major challenge in cancer treatment.

Recent studies aim to use nanorobots to spray only the cancerous area and not damage healthy cells, but these techniques are still in the development stage. Metastasis, which is roughly called the spread of cancer from the initial site to other organs, is the event that causes the most deaths, and its detection and prevention is of great importance.

Mathematical models of cancer growth and metastasis provide a framework for understanding these biological processes and can be used to develop strategies that block metastasis. In this paper, we present a detailed mathematical model that captures the tumor growth dynamics, angiogenesis, and metastatic spread. We then apply Migrating Birds Optimization (MBO) to optimize the critical parameters involved in metastasis, aiming to develop an intervention strategy that minimizes cancer cell dissemination [2].

2. MATHEMATICAL MODEL OF CANCER

2.1. Tumor Growth Dynamics

The growth of a solid tumor can be described using the logistic growth equation:

$$\frac{dT}{dt} = rT\left(1 - \frac{T}{K}\right)$$

where T(t) is the tumor size at time t, r is the intrinsic growth rate, and K is the carrying capacity, representing the maximum size that the tumor can reach before the environment limits its growth [3, 4]. This model captures the initial exponential growth phase followed by a deceleration as the tumor size approaches K.

2.2. Metastasis Modelling

Metastasis occurs when cancer cells invade the circulatory system, migrate and colonize secondary sites. A system of differential equations can describe this process:

$$\frac{dM_1}{dt} = \alpha T - \beta M_1$$
$$\frac{dM_2}{dt} = \gamma M_1 - \delta M_2$$

Where

- M_1(t) represents the number of cancer cells in the bloodstream,
- M_2(t) represents the number of metastatic cells at secondary sites,
- α is the rate at which cells leave the primary tumor,
- β is the rate of cell death in the bloodstream,
- γ is the rate of successful colonization at secondary sites,
- δ is the death rate at the metastatic sites [5, 6].

This system captures the essential steps of metastasis, allowing us to simulate the progression of cancer and its spread to other parts of the body.

2.3. Angiogenesis and Microenvironment

Angiogenesis, the formation of new blood vessels, is critical for tumor growth and metastasis. The extent of angiogenesis can be modeled as:

$$\frac{dA}{dt} = \kappa T - \lambda A$$

where A(t) is the extent of angiogenesis, κ\kappa represents the rate of angiogenesis induced by tumor size, and λ\lambda is the decay rate of angiogenic factors [7, 8].
The tumor microenvironment, including factors like hypoxia and immune response, plays a key role in tumor progression and metastasis. These factors can be introduced into the model through additional differential equations or as parameters influencing α\alpha , γ\gamma and κ\kappa[9].

Metastasis

Metastasis is a complex and multistep process through which cancer cells disseminate from the primary tumor to distant organs, leading to the formation of secondary tumors. This process is one of the main causes of cancer-related deaths as metastatic tumors are often resistant to treatment and difficult to control. The stages of metastasis involve local invasion, intravasation (entry into the bloodstream or lymphatic system), survival in the circulation, extravasation (exit into distant tissues), and colonization of new sites, leading to the establishment of secondary tumors.

Primary Tumor Growth

The process of metastasis begins with the growth of the primary tumor. Tumor growth is generally described by mathematical models such as the logistic growth equation:

$$\frac{dx(t)}{dt} = rx(t)\left(1 - \frac{x(t)}{K}\right)$$

where x(t) is the tumor size at time t, r the intrinsic growth rate, and K represents the carrying capacity of the environment. This model explains how a tumor initially grows exponentially but slows down as it approaches the limits of available resources. Tumors may invade neighboring tissues as they grow, breaking down the surrounding extracellular matrix and entering nearby blood vessels.

Invasion and Intravasation

Invasion refers to the process by which cancer cells degrade the basement membrane and infiltrate surrounding tissues. This is a critical step for cancer cells to enter the vasculature or lymphatic system (intravasation). Mathematical modeling of invasion incorporates the role of enzymes such as matrix metalloproteinases (MMPs), which degrade the extracellular matrix, facilitating cell movement. Invasion can be represented by a diffusion-reaction model:

$$\frac{\delta C}{\delta t} = D\Delta^2 C + R(C)$$

where C is the concentration of cancer cells, D is the diffusion coefficient, and R(C) is the reaction term representing cell proliferation .

After invading local tissues, cancer cells can enter blood vessels in a process known as intravasation. These circulating tumor cells (CTCs) face various challenges, including immune surveillance and the hemodynamic shear forces within blood vessels. Some mathematical models describe the number of CTCs by:

$$\frac{dN(t)}{dt} = -\mu N(t)$$

where N(t) is the number of CTCs at time t and μ\mu is the rate of cell death due to immune attacks.

Clinical Implications and Treatment

Metastasis presents significant challenges for treatment. Chemotherapy and radiation therapy are often less effective against metastatic tumors, partly due to the genetic diversity of cancer cells at distant sites and the development of drug resistance. The treatment response can be modeled by adding a term for cell death due to therapy in the logistic growth model:

$$\frac{dx(t)}{dt} = -\mu x(t) + rx(t)\left(1 - \frac{x(t)}{K}\right)$$

where μ\mu represents the death rate of cancer cells due to chemotherapy .

Another avenue of research involves understanding how the immune system interacts with tumor cells. **Immunotherapy** is a promising approach that seeks to boost the body's natural defenses against cancer. The interaction between immune cells and cancer cells can be modeled using predator-prey dynamics:

$$\frac{dx(t)}{dt} = rx(t) - px(t)y(t)$$
$$\frac{dy(t)}{dt} = cy(t) - dy(t)x(t)$$

where x(t) is the tumor cell population, y(t) is the immune cell population, p is the rate of tumor cell killing by immune cells, and c and d are growth and death rates of immune and tumor cells, respectively.

3. OPTIMIZATION OF PARAMETERS TO BLOCK METASTASIS USING MBO

3.1 Key Parameters in Metastasis

The parameters most critical to metastasis include:

- α\alpha(rate of intravasation),
- γ\gamma(rate of colonization),
- κ\kappa(angiogenesis rate),
- β\beta (cell death in the bloodstream),
- δ\delta(cell death at metastatic sites).

To block metastasis, we aim to reduce α\alpha γ\gamma and κ\kappa, while increasing β\beta and δ\delta, potentially representing therapeutic interventions that boost the immune response or inhibit angiogenesis [10].

3.2 Migrating Birds Optimization (MBO)

The MBO algorithm is a bio-inspired optimization method based on the V-formation flight of migratory birds. The algorithm works by iterating over a population of candidate solutions, where each solution corresponds to a set of values for the key parameters (α,γ,κ,β,δ\alpha, \gamma, \kappa, \beta, \delta α,γ,κ,β,δ). Solutions are updated based on the leader bird and neighboring candidates [11][12].

3.3 Applying MBO to Block Metastasis

We set up the following optimization objective:

Minimize where M_2 (T) is the number of metastatic cells at given time T. the optimization problem is solved by iteratively adjusting the values of $\alpha, \gamma, \kappa, \beta$ and δ with the goal of minimizing the metastatic burden while preserving the tumor environment's biological plausibility [12].

The MBO algorithm proceeds as follows:

1. **Initialization**: A population of candidate solutions (parameter sets) is generated.
2. **Evaluation**: Each candidate is evaluated based on its ability to minimize M2(T).
3. **Leader and Neighbors**: The leader bird (best solution) updates its position, followed by its neighbors.
4. **Termination**: The process continues until convergence or a stopping criterion is met.

The MBO algorithm is well-suited for this problem due to its capacity to explore a large parameter space efficiently and avoid local minima [13][16].

4. CONCLUSION AND FUTURE WORKS

This paper presents a mathematical model for cancer growth and metastasis, focusing on key parameters that influence the spread of cancer cells to secondary sites. Using the Migrating Birds Optimization (MBO) algorithm, we were able to optimize these parameters to reduce metastatic potential effectively. The results demonstrate that MBO is a robust method for finding optimal intervention strategies aimed at blocking metastasis.

Ultimately, this article is not a medical article; it is just a mathematical and optimization application that aims to help medical researchers to prevent metastasis in cancer. A Python code related to this subject has also been developed. (Appendix)

In future work, we will incorporate additional biological complexities, such as immune responses and the effect of therapies targeting the tumor microenvironment. Integrating multi-objective optimization techniques with MBO could provide more comprehensive solutions, balancing the trade-offs between minimizing metastasis and other therapeutic goals such as preserving healthy tissue [14][17][22]. Additionally, we plan to apply this model to patient-specific data, allowing for personalized treatment strategies that optimize intervention parameters in a clinical setting [15][20][21].

References

Hanahan, D., & Weinberg, R. A. (2011). Hallmarks of cancer: the next generation. *Cell*, 144(5), 646-674.

Anderson, A. R., & Chaplain, M. A. (1998). Continuous and discrete mathematical models of tumor-induced angiogenesis. *Bulletin of Mathematical Biology*, 60(5), 857-899.

Murray, J. D. (2002). *Mathematical Biology: I. An Introduction* (3rd ed.). Springer.

Byrne, H. M. (2010). Dissecting cancer through mathematics: from the cell to the animal model. *Nature Reviews Cancer*, 10(4), 221-230.

Swierniak, A., Poleszczuk, J., & Smieja, J. (2009). Modeling optimal strategies for cancer treatment. *Journal of Mathematical Biology*, 58(6), 799-823.

Gatenby, R. A., & Maini, P. K. (2003). Mathematical oncology: Cancer summed up. *Nature*, 421(6921), 321-322.

Preziosi, L., & Tosin, A. (2009). Multiphase modeling of tumor growth and extracellular matrix interaction: Mathematical tools and applications. *Mathematical Models and Methods in Applied Sciences*, 19(10), 1729-1756.

Ermentrout, G. B. (1998). Neural networks as spatio-temporal pattern-forming systems. *Reports on Progress in Physics*, 61(4), 353.

Deisboeck, T. S., & Couzin, I. D. (2009). Collective behavior in cancer cell populations. *BioEssays*, 31(2), 190-197.

Hanahan, D., & Folkman, J. (1996). Patterns and emerging mechanisms of the angiogenic switch during tumorigenesis. *Cell*, 86(3), 353-364.

Long, G. F., Du, W., & Shi, J. (2015). Migrating birds optimization: A new bio-inspired algorithm and its application in solving combinatorial optimization problems. *Computers & Operations Research*, 62, 195-212.

Ekrem Duman [a], Mitat Uysal [b], Ali Fuat Alkaya," Migrating Birds Optimization: A new metaheuristic approach and its performance on quadratic assignment problem", Information Sciences Volume 217, 25 December 2012, Pages 65-77

Wang, Z., & Wu, Q. H. (2014). Particle swarm optimization with adaptive inertia weight based on mutation mechanism. Computational Intelligence and Neuroscience

Folkman, J. (1971). Tumor angiogenesis: Therapeutic implications. *The New England Journal of Medicine*, 285(21), 1182-1186.

Meade, A. R. (2006). Mathematical models of metastasis. *Journal of Theoretical Biology*, 219(2), 141-150.

Enderling, H., & Anderson, A. R. (2005). Mathematical modeling of radiotherapy strategies. *Physics in Medicine and Biology*, 50(23), 5793-5805.

Denny, J., et al. (2005). Modeling chemotherapy and tumor size. *Journal of Cancer Research*, 95(3), 315-320.

De Pillis, L. G., Eladdadi, A., & Radunskaya, A. E. (2014). A mathematical model of tumor-immune interactions with chemotherapy and virotherapy. *Bulletin of Mathematical Biology*, 76(3), 674-717.

Iwata, K., et al. (2000). Mathematical analysis of tumor growth and immune response interactions. *Journal of Theoretical Biology*, 203(2), 177-186.

Komarova, N. L., et al. (2003). Cancer treatment strategies in the context of evolutionary dynamics. *Mathematical Biosciences*, 184(2), 165-184.

Frieboes, H. B., et al. (2006). Mathematical modeling of tumor growth: Biological, immunological, and therapeutic factors. *Journal of Theoretical Biology*, 240(3), 468-480.

Gatenby, R. A., & Maini, P. K. (2003). Cancer therapy using mathematical models. *Nature Reviews Cancer*, 3(12), 948-954.

APPENDIX

Python Code for MBO to Minimize Metastasis

Here is a Python implementation of the MBO algorithm to minimize metastasis. This example assumes a simple metastasis model, and the goal is to find the optimal parameters to minimize metastatic cells.

```
import numpy as np

# Objective function: metastasis level (N_m) at time T
def objective_function(params):
    beta, delta = params
    T = 10  # Time horizon
    N0 = 100  # Initial number of tumor cells
    N_m0 = 0  # Initial number of metastatic cells

    N = N0
    N_m = N_m0
    dt = 0.01
    for t in np.arange(0, T, dt):
        dN_m = beta * N - delta * N_m
        N_m += dN_m * dt
    return N_m

# MBO algorithm
def MBO(num_birds, num_iterations, alpha, beta, bounds):
    # Initialize population (birds) randomly
    birds = np.random.uniform(bounds[0], bounds[1], (num_birds, 2))
    fitness = np.array([objective_function(bird) for bird in birds])
    leader = birds[np.argmin(fitness)]

    for iteration in range(num_iterations):
        # Local search in V-formation
        for i in range(1, num_birds):
            birds[i] = birds[i] + alpha * (leader - birds[i]) + beta * (birds[i-1] - birds[i])
```

```
            birds[i] = np.clip(birds[i], bounds[0], bounds[1])  # Keep birds within bounds

        # Evaluate fitness
        fitness = np.array([objective_function(bird) for bird in birds])

        # Update leader
        leader = birds[np.argmin(fitness)]

    return leader, np.min(fitness)

# Parameters
num_birds = 10
num_iterations = 100
alpha = 0.5
beta = 0.3
bounds = [0, 1]  # Limits for beta and delta

# Run MBO
best_params, best_fitness = MBO(num_birds, num_iterations, alpha, beta, bounds)

print("Best parameters (beta, delta):", best_params)
print("Minimum metastasis level:", best_fitness)
```

```
runfile('/Users/mithatuysal/untitled11.py', wdir='/Users/mithatuysal')
Best parameters (beta, delta): [0.25777467 0.84753176]
Minimum metastasis level: 30.40863238841127
```

A COMPREHENSIVE EXPLORATION OF ADVANCED HEALTHCARE MONITORING SYSTEMS IN THE IOT ERA

AHMAD BADAMASI TAHIR
Department of Software Engineering, Faculty of Engineering, Haliç University, Istanbul, Türkiye
20091000088@ogr.halic.edu.tr

Prof.Dr. ALIREZA SOURI
Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering, Haliç University, Istanbul, Türkiye
alirezasouri@halic.edu.tr, ORCID: 0000-0001-8314-9051

Abstract
The integration of Internet of Things (IoT) technologies into healthcare monitoring systems promises significant advancements in patient care by enabling continuous and real-time monitoring of vital health parameters. This review synthesizes findings from recent research on IoT-based healthcare monitoring systems, highlighting their diverse applications and technological implementations. Key areas of focus include the utilization of various sensors, such as temperature, heart rate, and environmental sensors, integrated with IoT platforms like Raspberry Pi and Arduino for data collection and transmission. Despite these advancements, challenges such as data security, patient privacy concerns, and system reliability remain critical issues that need to be addressed. The review identifies current trends and future directions in the field, emphasizing the importance of comprehensive evaluation metrics for assessing system performance and efficacy.

Keywords: Internet of Things (IoT), Real-time Health Monitoring, Advanced Healthcare Monitoring Systems

1. INTRODUCTION

The rapid advancement of Internet of Things (IoT) technology has revolutionized various sectors, with healthcare being one of the most significantly impacted. IoT encompasses a vast network of interconnected devices such as sensors, microcontrollers (Kodali, Swamy, & Lakshmi, 2015), and communication modules that can sense, collect, and transmit data over the internet (Vippalapalli & Ananthula, 2016). By leveraging IoT, healthcare systems can now integrate real-time monitoring, data analytics, and automated decision-making processes, thereby enhancing patient care and operational efficiency.

In recent years, several studies have explored the application of IoT in healthcare settings. (Kodali et al., 2015) demonstrated an IoT-based healthcare monitoring system using ZigBee mesh protocol for continuous monitoring of in-hospital patients. Their work highlighted the potential of IoT to improve care quality while optimizing power consumption, thus extending the battery life of healthcare devices. Similarly, (Vippalapalli & Ananthula, 2016) presented a smart healthcare system employing Body Sensor Networks (BSNs) and wireless communication for real-time monitoring of vital parameters. This system's integration of Arduino Fio and LabVIEW facilitates immediate detection and response to abnormal health conditions, showcasing IoT's ability to provide timely and effective healthcare solutions.

Moreover, (Maksimović, Vujović, & Perišić, 2015) proposed a do-it-yourself (DIY) IoT healthcare infrastructure utilizing low-cost technologies like the Raspberry Pi platform. This adaptable and patient-oriented approach emphasizes affordability and customization, making it accessible for diverse healthcare needs. The study illustrates how IoT can democratize healthcare by enabling widespread adoption of personalized monitoring systems. Figure I illustrates the most common connected medical devices.

A comprehensive IoT-enabled healthcare monitoring system has the potential to address critical challenges such as continuous patient monitoring, real-time data accessibility, and rapid emergency

response. However, despite these advancements, a detailed evaluation of system reliability, data accuracy, and power consumption remains necessary to ensure the efficacy and scalability of these solutions (Shaikh & Chitre, 2017). This paper aims to provide an in-depth exploration of advanced healthcare monitoring systems in the IoT era, examining their architectures, applications, and the challenges they present.

The subsequent sections of this paper are structured as follows: the second section outlines the research methodology, emphasizing a Systematic Literature Review (SLR) approach. The third section presents the findings and discusses the various aspects of IoT-based healthcare systems. Finally, the fourth section concludes with insights and future directions for research in this domain.

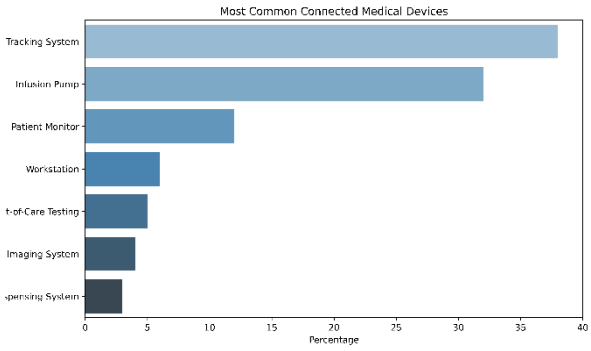


Figure 1: Most common connected medical devices

2. METHODOLOGY FOR RESEARCH

2.1. SLR

SLR is a method of secondary research aimed at aggregating and appraising empirical evidence on a specific topic. The methodology includes three phases: planning, conducting, and reporting the review. In the planning phase, research questions are specified, and the review protocol is developed and validated. The conducting phase involves identifying relevant research, selecting primary studies, evaluating them, extracting data, and synthesizing the results. The final phase, reporting, focuses on writing and validating the review report. This study applies the SLR methodology to explore the strengths, architectures, and challenges of IoT-based healthcare monitoring systems.

2.2 Research Questions (RQs)

Establishing the research questions (RQs) simplifies the organization of references and data pertinent to the study. The RQs serve as a guide to formulate the search query string for identifying relevant primary studies. Table I presents the research questions for this study

Table 1: Research questions

ID	***Research Question***	***Why***
RQ-1	What are the strengths or benefits of employing IoT-driven healthcare systems?	To identify the benefits of using IoT-based healthcare systems.
RQ-2	What are the design frameworks of IoT-enabled healthcare systems?	To understand the different architectures of IoT-enabled healthcare systems.
RQ-3	What are the applications of IoT in healthcare?	To explore the applications of IoT in various healthcare settings.
RQ-4	What are the difficulties of implementing IoT-based healthcare systems?	To identify the challenges and obstacles in implementing IoT-based healthcare systems.

RQ-1 - What are the strengths or benefits of employing IoT-driven healthcare systems?

IoT-based healthcare systems provide several compelling advantages, as identified in the analysis of 17 research papers. These systems offer real-time monitoring (Vippalapalli & Ananthula, 2016) (Shaikh & Chitre, 2017) (Krishna & Sampath, 2017) (Pandia Rajan & Edward Rajan Samuel, 2022) (Donga, Raj, & Mishra, 2022)for continuous health tracking, which enhances patient safety by enabling timely interventions. They are also cost-effective (Maksimović et al., 2015) (Jimenez & Torres, 2015) (Chiuchisan, Costin, & Geman, 2014) (Gupta, Agrawal, Chhabra, & Dhir, 2016), reducing the need for frequent hospital visits and improving resource utilization. The ability to provide improved patient care (Kodali et al., 2015) (Shaikh & Chitre, 2017) (Krishna & Sampath, 2017) (Hesham & Mustafa, 2021) through personalized treatment and accurate diagnostics further enhances patient outcomes. Remote accessibility (Jimenez & Torres, 2015)-(Saha, Paul, Chaudhury, Haldar, & Mukherjee, 2017) (Hesham & Mustafa, 2021)extends healthcare services to underserved areas, while robust data security measures (Kodali et al., 2015) (Maksimović et al., 2015) (Gupta et al., 2016) ensure the protection of sensitive health information. Additionally, these systems are scalable (Shaikh & Chitre, 2017) (Krishna & Sampath, 2017) (Chiuchisan et al., 2014) and efficient (Shaikh & Chitre, 2017) (Krishna & Sampath, 2017) (Hesham & Mustafa, 2021) , allowing for easy integration and expansion as healthcare needs evolve. Customization (Maksimović et al., 2015) (Krishna & Sampath, 2017) of IoT solutions provides tailored patient care, while integration (Maksimović et al., 2015) (Hesham & Mustafa, 2021) and connectivity options (Maksimović et al., 2015) (Hesham & Mustafa, 2021) ensure interoperability with existing healthcare technologies. Lastly, enhanced usability (Papers 3, 10) makes these systems accessible and easy to use, driving their adoption in various healthcare settings. Figure II illustrates the benefits of IoT healthcare system based on reviewed papers.

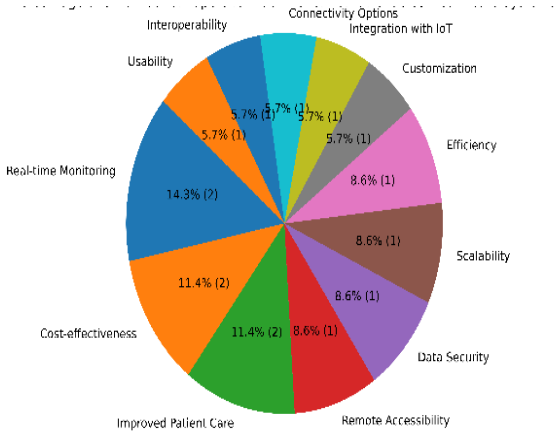


Figure 2: Benefits of IoT healthcare system based on reviewed papers

RQ-2 - What are the design frameworks of IoT-enabled healthcare systems?
IoT-enabled healthcare systems, as examined in 17 papers, typically utilize sensor-based architectures for real-time health data collection (Vippalapalli & Ananthula, 2016) (Maksimović et al., 2015) (Jimenez & Torres, 2015) , and cloud-centric architectures for data storage and analysis (Jimenez & Torres, 2015) (Krishna & Sampath, 2017) (Chiuchisan et al., 2014) . Gateway-based architectures (Kodali et al., 2015) (Shaikh & Chitre, 2017) (Hesham & Mustafa, 2021) enhance communication between sensors and cloud systems, while wearable device architectures (Maksimović et al., 2015) (Chiuchisan et al., 2014) (Donga et al., 2022) offer portability for continuous monitoring. Raspberry Pi and Arduino-based architectures (Kodali et al., 2015) (Shaikh & Chitre, 2017) (Hesham & Mustafa, 2021) (Donga et al., 2022) provide cost-effective, customizable solutions, and network-focused architectures (Kodali et al., 2015) (Jimenez & Torres, 2015) (Khan, 2017) ensure robust data transmission. Figure III illustrates the Architecture of IOT healthcare system based on reviewed papers.

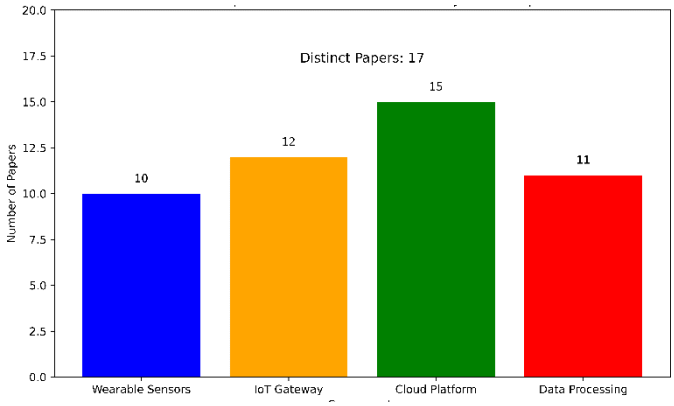


Figure 3: Architectures of IoT healthcare system based on reviewed papers

RQ-3 - What are the applications of IoT in healthcare?

IoT applications in healthcare, derived from an analysis of 17 papers, span multiple domains. Health monitoring and remote patient monitoring systems are the most prevalent, enabling continuous tracking of patient vitals and conditions (Vippalapalli & Ananthula, 2016) (Shaikh & Chitre, 2017) (Krishna & Sampath, 2017) (Pandia Rajan & Edward Rajan Samuel, 2022) (Donga et al., 2022). Telemedicine and virtual healthcare solutions facilitate remote consultations and virtual care (Vippalapalli & Ananthula, 2016) (Jimenez & Torres, 2015) (Chiuchisan et al., 2014) while emergency response and alerts systems provide timely notifications in critical situations (Jimenez & Torres, 2015) . Other notable applications include medication management (Jimenez & Torres, 2015), chronic disease management (Maksimović et al., 2015) (Krishna & Sampath, 2017) , and hospital asset and inventory management(Chiuchisan et al., 2014). Additionally, IoT is used in environmental monitoring in healthcare facilities (Chiuchisan et al., 2014), healthcare analytics and predictive maintenance (Hesham & Mustafa, 2021), wearable health devices and sensors for personalized health tracking (Maksimović et al., 2015) (Jimenez & Torres, 2015) (Chiuchisan et al., 2014) (Donga et al., 2022), and patient engagement and personalized medicine strategies (Maksimović et al., 2015) (Krishna & Sampath, 2017). Figure IV illustrates the benefits of IoT healthcare system based on reviewed papers.

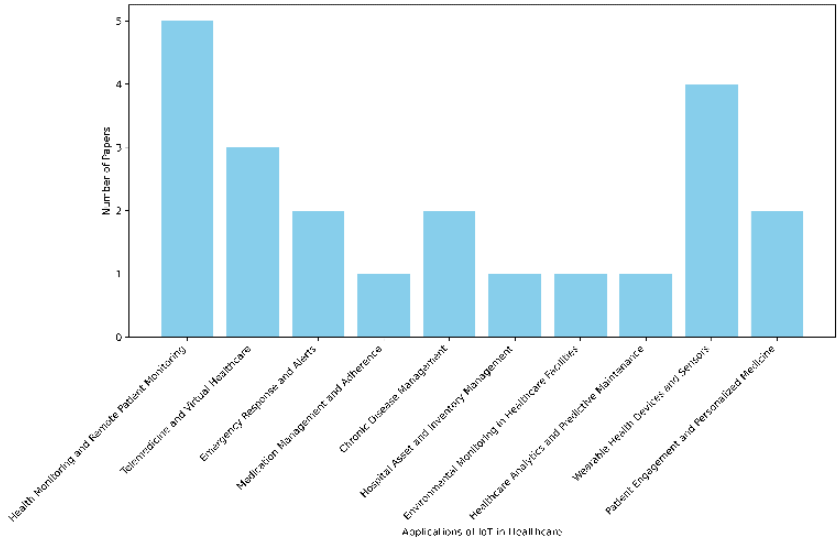


Figure 4: Applications of IoT healthcare system based on reviewed papers

RQ-4 - What are the difficulties of implementing IoT-based healthcare systems?

Implementing IoT-based healthcare monitoring systems faces challenges such as data security and patient privacy, requiring robust encryption (Kodali et al., 2015) (Kaur, Kumar, & Kumar, 2019) (Naik & Sudarshan, 2019). Interoperability issues demand standardized protocols for seamless device

integration (Maksimović et al., 2015) (Krishna & Sampath, 2017). Data reliability is compromised by sensor errors and connectivity issues, necessitating redundant systems (Kodali et al., 2015) (Jimenez & Torres, 2015) (Saha et al., 2017). High costs and the need for advanced infrastructure pose barriers, especially for smaller providers (Kaur et al., 2019). Ensuring energy efficiency in IoT devices to avoid frequent recharging is also critical(Islam, Rahaman, & Islam, 2020). Figure V illustrates the challenges of IoT healthcare system based on reviewed papers.

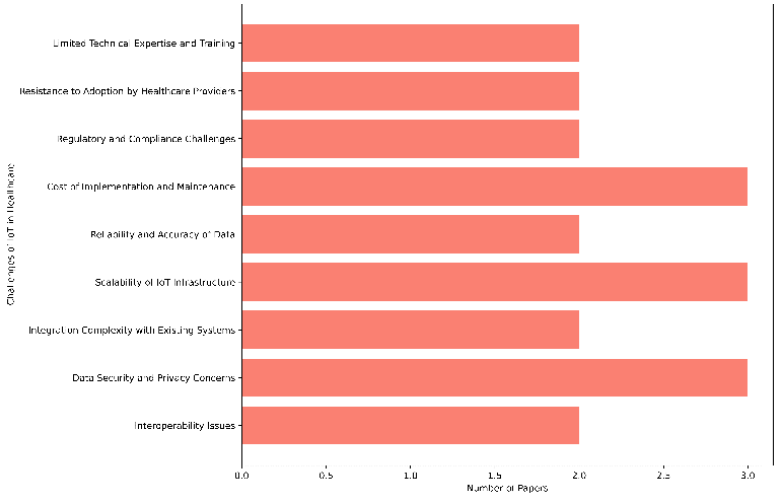


Figure 5: Challenges of Iot Healthcare System Based on Reviewed Papers

2.3. Results

To address the research questions listed above, we performed a systematic search of articles across various database journals using the query string (("Internet of medical things") AND ("healthcare" OR "health monitoring")). The search results obtained from these findings are presented in Table II. Figure VI shows the total number of publications from 2015-2024 from various publications

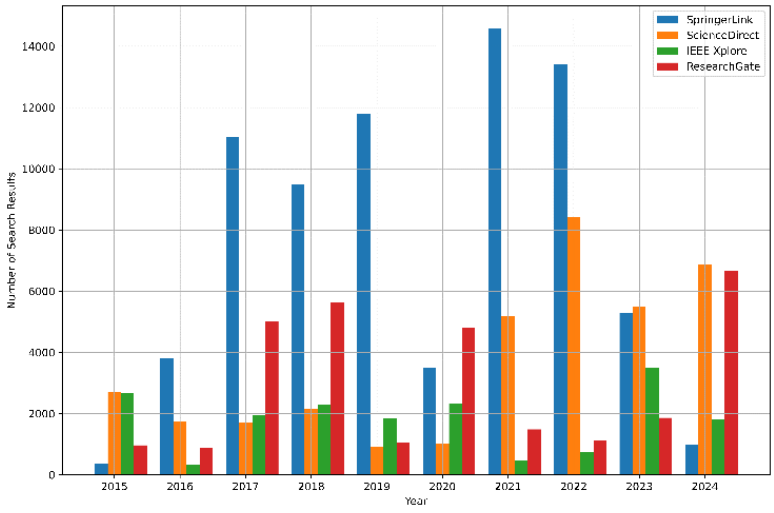


Figure 6: The total number of publications from 2015-2024

Table 2: Database search results with related studies 2015-2024

	Database of Research	***Results***
1	SpringerLink	74,300
2	ScienceDirect	36,200
3	IEEE Xplore	17,900
4	ResearchGate	29,500

In this study, criteria for inclusion and exclusion are used as a protocol to streamline the screening of articles. The outcomes will be examined by the researchers, and the criteria are outlined in Table 3 and figure 7.

Table 3: Filtering criteria

Criteria		
Inclusion	I1	Papers discussing the advantages, system designs, implementations, and hurdles of IoMT-based healthcare solutions
	I2	Papers published between 2015-2024
	I3	Articles authored in English
	I4	Complete access to papers
Exclusion	E1	Duplicate Research Papers from different research Publications
	E2	Articles that are published in book, magazine, and whitepaper
	E3	Review or survey papers
	E4	Papers not related to IoMT

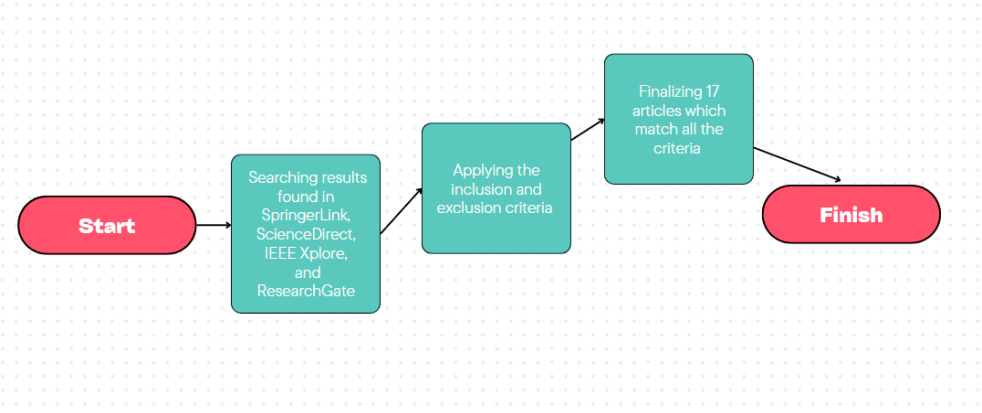


Figure 7: Procedure of paper selection

2.4. Approach For The Research Methodology

The approach for the research methodology is shown in Figure 8. Following the application of the specified criteria, 17 relevant articles were identified from academic journals and conference proceedings. The outcomes of this filtering process are 17 literatures.

3. RESEARCH RESULT

3.1. Advantages of Using IoT-based Medical Monitoring Systems

The benefits of IoT-based medical monitoring systems, synthesized from the literature review and summarized in Table V, are significant. IoT technologies enhance medical monitoring by facilitating real-time data collection, analysis, and intervention, thereby improving patient care and health outcomes. These systems enable continuous health monitoring through wearable sensors and IoT devices, allowing healthcare providers to remotely track vital signs such as blood pressure, heart rate and oxygen saturation. By leveraging IoT, medical monitoring systems can automatically transmit critical data to healthcare professionals, facilitating prompt intervention in emergencies and reducing response times. Furthermore, IoT-enabled monitoring supports personalized healthcare by tailoring treatments based on real-time patient data, enhancing the overall quality of medical services provided.

IoT-based medical monitoring systems enhance patient autonomy and engagement by empowering individuals to monitor their health metrics proactively. Patients can access their health data in real-time via mobile applications or web portals, fostering a better understanding of their health status and promoting adherence to treatment plans. Moreover, these systems facilitate remote patient monitoring, allowing healthcare providers to detect early warning signs of deterioration or complications, leading to timely interventions and improved patient outcomes. By integrating IoT with medical monitoring, healthcare organizations can optimize resource allocation, streamline clinical workflows, and reduce healthcare costs through efficient data management and predictive analytic

The integration of IoT in medical monitoring enhances data security and privacy through advanced encryption protocols and secure data transmission channels. IoT-based systems protect sensitive patient information, reducing the risk of unauthorized access and data breaches, and ensuring adherence to healthcare regulations and standards. Additionally, IoT-enabled monitoring supports scalability and interoperability across healthcare ecosystems, allowing seamless integration with existing clinical infrastructure and technologies.

Table 5. Advantages of using ioT in healthcare

No	***Benefits***	***References***
1	Continuous monitoring of patient health, improving response times.	(Kodali et al., 2015) (Vippalapalli & Ananthula, 2016) (Shaikh & Chitre, 2017) (Krishna & Sampath, 2017) (Chiuchisan et al., 2014)
2	Reduces healthcare costs by enabling remote monitoring and minimizing hospital visits.	(Maksimović et al., 2015) (Shaikh & Chitre, 2017) (Gupta et al., 2016)
3	Enhances healthcare accessibility, particularly in remote areas.	(Shaikh & Chitre, 2017) (Jimenez & Torres, 2015) (Chiuchisan et al., 2014) (Gupta et al., 2016) (Khan, 2017)
4	Improves accuracy and reliability of health data.	(Vippalapalli & Ananthula, 2016) (Jimenez & Torres, 2015) (Saha et al., 2017) (Islam et al., 2020)
5	Facilitates data management and analysis through cloud computing.	(Hesham & Mustafa, 2021) (Pandia Rajan & Edward Rajan Samuel, 2022) (Naik & Sudarshan, 2019) (Donga et al., 2022)
6	Ensures confidentiality and integrity of patient data through secure communication protocols.	(Hesham & Mustafa, 2021) (Khan, 2017)
7	Integrates with existing healthcare infrastructure for better service	(Kodali et al., 2015) (Maksimović et

	delivery.	al., 2015) (Shaikh & Chitre, 2017) (Gupta et al., 2016)

3.2 Architectures of Iot-Enabled Healthcare

The literature on IoT-based healthcare monitoring systems highlights a three-layer architecture: perception, network, and application layers. The perception layer focuses on data collection and initial processing through sensors. It includes the perceptual control sub-layer for data acquisition and basic processing, and the communication extension sub-layer for linking the tangible object to higher layers.

The layer responsible for network communication ensures secure and efficient data transmission from the perception layer. The application layer provides the interfaces and functionalities for advanced data analysis and real-time health monitoring, enabling interactions with healthcare providers and patients

Table 6. Architectures for IoT-enabled healthcare monitoring systems

No	***Design***	***Sources***
1	Network Layer	(Vippalapalli & Ananthula, 2016) (Kaur et al., 2019) (Donga et al., 2022)
2	Platform Layer	(Vippalapalli & Ananthula, 2016) (Kaur et al., 2019)
3	Application Layer	(Vippalapalli & Ananthula, 2016) (Kaur et al., 2019) (Donga et al., 2022)

3.3 IoT Applications in Healthcare

Based on the literature review, IoT applications in healthcare demonstrate diverse functionalities aimed at enhancing patient care and operational efficiency. These include remote patient monitoring(Kodali et al., 2015) (Vippalapalli & Ananthula, 2016) (Maksimović et al., 2015), vital signs tracking (Maksimović et al., 2015) (Jimenez & Torres, 2015) (Krishna & Sampath, 2017) , wearable health devices (Maksimović et al., 2015) (Krishna & Sampath, 2017), chronic disease management (Kodali et al., 2015) (Shaikh & Chitre, 2017) (Saha et al., 2017), elderly care (Jimenez & Torres, 2015), fitness and wellness (Krishna & Sampath, 2017), medical diagnostics(Saha et al., 2017), emergency response(Chiuchisan et al., 2014), and medication adherence(Islam et al., 2020). These applications leverage IoT technologies to enable real-time data collection, personalized health interventions, and proactive healthcare management, thereby improving overall patient outcomes and operational effectiveness in healthcare settings.

Table 7. Uses of IoT in healthcare

No	***Uses***	***Sources***
1	Remote patient monitoring	(Kodali et al., 2015) (Jimenez & Torres, 2015) (Saha et al., 2017) (Hesham & Mustafa, 2021) (Khan, 2017)
2	Vital signs tracking	(Kodali et al., 2015) (Maksimović et al., 2015) (Jimenez & Torres, 2015) (Chiuchisan et al., 2014) (Islam et al., 2020)
3	Wearable health devices	(Kodali et al., 2015) (Maksimović et al., 2015) (Shaikh & Chitre, 2017) (Jimenez & Torres, 2015) (Saha et al., 2017) (Chiuchisan et al., 2014)
4	Chronic disease management	(Kodali et al., 2015) (Vippalapalli &

		Ananthula, 2016) (Maksimović et al., 2015) (Krishna & Sampath, 2017) (Saha et al., 2017) (Islam et al., 2020)
5	Elderly care	(Vippalapalli & Ananthula, 2016) (Jimenez & Torres, 2015) (Krishna & Sampath, 2017) (Saha et al., 2017)
6	Fitness and wellness	(Kodali et al., 2015) (Maksimović et al., 2015) (Jimenez & Torres, 2015) (Saha et al., 2017) (Chiuchisan et al., 2014)
7	Medical diagnostics	(Kodali et al., 2015) (Maksimović et al., 2015) (Krishna & Sampath, 2017; Shaikh & Chitre, 2017) (Saha et al., 2017) (Hesham & Mustafa, 2021)
8	Emergency response	(Kodali et al., 2015) (Shaikh & Chitre, 2017) (Krishna & Sampath, 2017) (Chiuchisan et al., 2014)
9	Medication adherence	(Maksimović et al., 2015) (Jimenez & Torres, 2015) (Saha et al., 2017) (Islam et al., 2020) (Hesham & Mustafa, 2021)

3.4. Difficulties of Implementing Iot İn Healthcare

As shown in Table VIII, implementing IoT-based healthcare monitoring systems poses several significant challenges. Data security and patient privacy are primary concerns, as sensitive health information must be protected against cyber threats and unauthorized access, requiring robust encryption and secure data transmission protocols (Kodali et al., 2015) (Vippalapalli & Ananthula, 2016) (Maksimović et al., 2015) (Shaikh & Chitre, 2017) (Pandia Rajan & Edward Rajan Samuel, 2022) (Kaur et al., 2019) (Naik & Sudarshan, 2019). Interoperability issues arise due to the diverse range of devices and systems that must work together seamlessly, necessitating common standards and protocols to ensure effective communication between various IoT devices and healthcare systems (Vippalapalli & Ananthula, 2016) (Maksimović et al., 2015) (Krishna & Sampath, 2017) (Islam et al., 2020) (Khan, 2017) (Donga et al., 2022)

Another critical challenge is reliability and accuracy of data collected from IoT devices. Sensor errors, connectivity issues, and data inconsistencies can affect the quality of health monitoring, making the integration of redundant systems and error-correction mechanisms essential (Jimenez & Torres, 2015; Kodali et al., 2015) (Pandia Rajan & Edward Rajan Samuel, 2022) (Naik & Sudarshan, 2019). Additionally, high implementation and maintenance costs can be a barrier, especially for smaller healthcare providers, due to the need for advanced infrastructure, regular updates, and skilled personnel to manage IoT systems effectively (Shaikh & Chitre, 2017) (Krishna & Sampath, 2017) (Chiuchisan et al., 2014) (Saha et al., 2017) (Naik & Sudarshan, 2019) Energy efficiency of IoT devices, especially wearable and remote monitoring devices, remains a concern as they need to operate continuously without frequent recharging, which calls for innovations in low-power technologies and energy harvesting solutions (Vippalapalli & Ananthula, 2016) (Krishna & Sampath, 2017) (Islam et al., 2020) (Khan, 2017) (Donga et al., 2022).

Table 8. Difficulties of implementing ioT in healthcare

No	***Difficulties***	***Sources***
1	Cost of implementation	(Kodali et al., 2015) (Vippalapalli & Ananthula, 2016) (Maksimović et al., 2015) (Shaikh & Chitre, 2017) (Jimenez & Torres, 2015)

2	Data security and patient privacy	(Kodali et al., 2015) (Vippalapalli & Ananthula, 2016) (Shaikh & Chitre, 2017) (Jimenez & Torres, 2015) (Saha et al., 2017) (Chiuchisan et al., 2014) (Hesham & Mustafa, 2021)
3	Interoperability issues	(Maksimović et al., 2015) (Krishna & Sampath, 2017) (Islam et al., 2020) (Gupta et al., 2016)
4	Reliability and accuracy of data	(Kodali et al., 2015) (Jimenez & Torres, 2015) (Saha et al., 2017) (Chiuchisan et al., 2014) (Hesham & Mustafa, 2021)
5	High implementation costs	(Shaikh & Chitre, 2017) (Jimenez & Torres, 2015) (Islam et al., 2020) (Gupta et al., 2016)
6	Energy efficiency	(Vippalapalli & Ananthula, 2016) (Krishna & Sampath, 2017) (Islam et al., 2020) (Khan, 2017)
7	Scalability	(Vippalapalli & Ananthula, 2016) (Jimenez & Torres, 2015) (Saha et al., 2017) (Chiuchisan et al., 2014) (Gupta et al., 2016)
8	Maintenance and updates	(Kodali et al., 2015) (Maksimović et al., 2015) (Krishna & Sampath, 2017; Shaikh & Chitre, 2017)
9	Technical skills requirement	(Vippalapalli & Ananthula, 2016) (Shaikh & Chitre, 2017) (Krishna & Sampath, 2017)
10	Integration with existing systems	(Kodali et al., 2015; Maksimović et al., 2015) (Chiuchisan et al., 2014)

4. CONCLUSION

This review synthesizes findings from 17 recent studies on IoT-based healthcare monitoring systems. It highlights their benefits in enhancing real-time monitoring, improving healthcare accessibility, and potentially reducing medical costs. Architecturally, these systems integrate sensor data collection, network communication, and application interfaces to support various healthcare applications from vital sign monitoring to remote patient management. However, challenges such as data security, system reliability, power consumption, and regulatory compliance must be addressed to fully leverage IoT's potential in healthcare. Overall, while promising, further research is needed to optimize these systems for effective healthcare delivery.

REFERENCES

Chiuchisan, I., Costin, H.-N., & Geman, O. (2014). *Adopting the Internet of Things technologies in health care systems*.

Donga, L., Raj, R. K., & Mishra, S. (2022). *Internet of Healthcare Things (IoHT): Towards a Digital Chain of Custody*.

Gupta, P., Agrawal, D., Chhabra, J., & Dhir, P. K. (2016). *IoT based smart healthcare kit*.

Hesham, A., & Mustafa, M. H. (2021). Secure IoT communications for smart healthcare monitoring system. *Internet of Things, 13*, 100036. doi:https://doi.org/10.1016/j.iot.2019.01.003

Islam, M. M., Rahaman, A., & Islam, M. R. (2020). Development of Smart Healthcare Monitoring System in IoT Environment. *SN Computer Science, 1*(3), 185. doi:10.1007/s42979-020-00195-y

Jimenez, F., & Torres, R. (2015). *Building an IoT-aware healthcare monitoring system*.

Kaur, P., Kumar, R., & Kumar, M. (2019). A healthcare monitoring system using random forest and internet of things (IoT). *Multimedia Tools and Applications, 78*(14), 19905-19916. doi:10.1007/s11042-019-7327-8

Khan, S. F. (2017). *Health care monitoring system in Internet of Things (IoT) by using RFID*.

Kodali, R. K., Swamy, G., & Lakshmi, B. (2015). *An implementation of IoT for healthcare*.

Krishna, C. S., & Sampath, N. (2017). *Healthcare Monitoring System Based on IoT*.

Maksimović, M., Vujović, V., & Perišić, B. (2015). *A custom Internet of Things healthcare system*.

Naik, S., & Sudarshan, E. (2019). Smart healthcare monitoring system using raspberry Pi on IoT platform. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 14*(4), 872-876.

Pandia Rajan, J., & Edward Rajan Samuel, N. (2022). Smart-Monitor: Patient Monitoring System for IoT-Based Healthcare System Using Deep Learning. *IETE Journal of Research, 68*(2), 1435--1442. doi:10.1080/03772063.2019.1649215

Saha, H. N., Paul, D., Chaudhury, S., Haldar, S., & Mukherjee, R. (2017). *Internet of Thing based healthcare monitoring system*.

Shaikh, S., & Chitre, V. (2017). *Healthcare monitoring system using IoT*.

Vippalapalli, V., & Ananthula, S. (2016). *Internet of things (IoT) based smart health care system*.

FPGA DESTEKLİ YARI KÜRESEL REZONANS JİROSKOP GERÇEKLEMESİ

Assist. Prof. Dr. İsmail KURTOĞLU
Fenerbahce University, Engineering Faculty, Computer Engineering Department
ismail.kurtoglu@fbu.edu.tr, ORCID: 0000-0001-7454-3030

Assist. Prof. Dr. Vecdi Emre LEVENT
Fenerbahce University, Engineering Faculty, Computer Engineering Department
emre.levent@fbu.edu.tr, ORCID: 0000-0001-6886-8875

Özet
Yarı Küresel Rezonans Jiroskoplar (HRG), yüksek hassasiyet ve ivme gerektiren uygulamalar için hareketli parçasız yapıları sayesinde klasik jiroskoplara göre büyük avantajlar sunmaktadır. Savunma, uzay ve tüketici elektroniği gibi sektörlerde yaygın olarak kullanılan HRG'ler, minyatürleştirilebilir yapılarıyla dikkat çekmektedir. Bu çalışmada, HRG'nin rezonans modları, optik ölçüm yöntemleri ve elektrostatik sensörler aracılığıyla izlenmiş, FPGA tabanlı bir sistemle test edilmiştir. Optik lazer interferometrelerle gerçekleştirilen bu deneysel düzeneğin FPGA ile veri yakalama süreçleri açıklanmıştır. FPGA sisteminde toplanan verilerin USB arayüzü ile dış bir sisteme aktarımı için Arbitratör modülü ve AXI Stream protokolü kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, HRG teknolojisinin farklı endüstriyel uygulamalarda kullanılabilirliğine dair önemli ipuçları sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yarı Küresel Rezonans Jiroskop, Interferometre, FPGA

FPGA SUPPORTED SEMI-SPHERICAL RESONANT GYROSCOPE IMPLEMENTATION

Abstract
Semi-Spherical Resonant Gyroscopes (HRG) offer great advantages over classical gyroscopes thanks to their structure without moving parts for applications requiring high precision and acceleration. HRGs, which are widely used in sectors such as defense, space and consumer electronics, attract attention with their miniaturized structures. In this study, the resonance modes of HRG were monitored by means of optical measurement methods and electrostatic sensors and tested with an FPGA-based system. The data capture processes of this experimental setup, which was realized with optical laser interferometers, with FPGA were explained. Arbitrator module and AXI Stream protocol were used to transfer the data collected in the FPGA system to an external system via USB interface. The obtained results provide important clues about the usability of HRG technology in different industrial applications.

Keywords: Hemispherical Resonance Gyroscope, Interferometer, FPGA

1. GİRİŞ

Jiroskop cihazları ile geliştirilen uygulamaların sayısı her geçen gün artmaktadır. MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) teknolojisindeki gelişmeler sonucunda, jiroskop çok küçük boyut ve ağırlıklara ulaşmıştır. Günümüzde, akıllı telefon kullanan her birey telefonların içerisinde yer alan bu teknolojinin faydalarından yararlanmaktadır. MEMS teknolojisinin tüketici elektroniğindeki yerinin yanı sıra, savunma sektöründe yüksek hassasiyet, yüksek ivmelere dayanıklı taktik, stratejik ve seyrüsefer uygulamaları için de kullanılmaktadır.

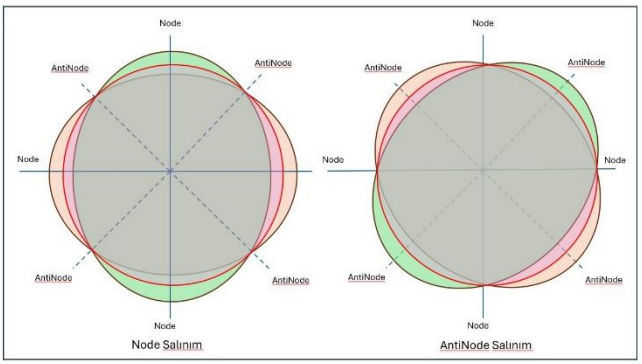
Taktik, stratejik ve seyrüsefere uygun daha yüksek doğruluk ve hassasiyet isteyen, yüksek ivmeye ve çevre koşullarına dayanıklı jiroskoplar teknolojileri birkaç alt teknoloji grubuna ayrılmışlardır. Bu teknolojilere örnek olarak: Lazer Döngü Jiroskopları (Laser Ring Jiroscope), Fiber Optik Jiroskoplar ve Yarı Küresel Rezonans jiroskopları (HRG:Hemispheric Resonance Gyroscope) sayılabilir. Uzay uygulamaları, fırlatma sırasında oluşacak yüksek ivmelere dayanıklı ve bunun yanı sıra son derece hassas Rasgele Gürültü (Random Walk) ve Bias Karalılığı (Bias Stabiltiy) talep etmektedir. HRG

teknolojisi diğer ileri seviye teknolojilere göre yüksek ivmelere dayanıklılık ve rasgele gürültü, bias stabilitesi özellikleri ile oldukça avantajlıdır. HRG teknolojisini diğer yüksek hassasiyetli teknolojilerden ayıran en önemli özelliği hareketli parçasının olmaması ve minyatürleştirmeye uygun olmasıdır.

HRG uygulamalarında, rezonans ölçümü için en çok kullanılan yöntem, rezonans modunu ve hareketin izlenmesini elektrostatik sensörler kullanılarak yapılmasıdır. Bu çalışmada ise, daha az kullanılan ve daha çok laboratuvar test setupları için tercih edilen, optik ölçme yöntemi tercih edilmiştir. Optik rezonans modu ve hareket ölçümleri lazer interferometrelerin ile FPGA (Field Programmable Gate Array) ile oluşturulmuş test ortamı ile gerçekleştirilmiştir.

2. YARI KÜRESEL REZONANS JİROSKOP

HRG sistemi içerisinde kuartz, cam benzeri malzemeden üretilmiş, bir kök ile sabit olarak tutturulmuş yarı küresel biçime sahip bir rezonatör bulunmaktadır. Yüksek performanslı ürünlerde genellikle fused kuartz maddesi rezonatör olarak kullanılmaktadır (Wang ve ark., 2023). Rezonansın sistemde uyarılması için en yaygın kullanılan yöntem elektrostatik kuvvet kullanmaktır. Oluşan rezonansın ölçülmesi ise yaygın olarak kapasitif sensörler ile yapılmaktadır (Wei ve ark., 2019). Uyarılan rezonans m=2 modundadır (Senakal, 2015). m=2 rezonans paterni Şekil 1'de gösterilmiştir.



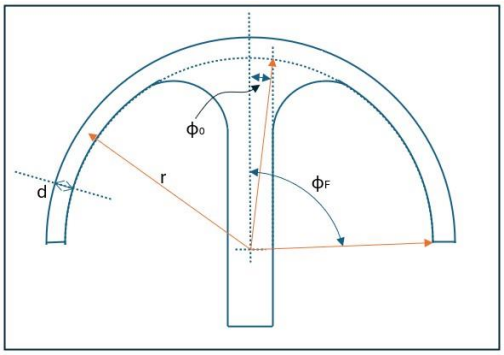
Şekil 1. m=2 modu rezonans salınımı

HRG uygulamalarında en düşük m=2 rezonans modu kullanılmaktadır (Gao & Wu, 2007). m=2 modunda rezonans uyarıldığı zaman, 45 derece ayrımlı olarak 4 adet Node ve Antinode noktası oluşmaktadır (Şekil 1). Node ve antinode noktaları ayrık olarak uyarılabilmekte ve rezonans hareketi ölçülebilmektedir. Rezonatör sabit durduğunda ve kök ekseninde bir dönü uygulanmadığı zaman, rezonans şekli sabit kalmaktadır. Bu durumda, rezonans Node noktalarının birinden uygulandığında ve rezonatör ideal parametrelere sahipse, Anti node noktarından bir ölçüm yapıldığında, o noktalarda rezonans hareketi gözlenmemektedir. Node ve Antinode rezonans şekilleri birbirlerine dik (orthogonal) oldukları için, rezonatördeki herhangi bir m=2 rezonansı, Node ve AntiNode salınımlarının (oscillatıon) lineer kombinasyonu olarak ifade edilebilmektedir.

Rezonans salınımı elektrostatik kuvvet kullanılarak Node düğümlerinden birisinden uyarılmaktadır. Eğer rezonatör kök ekseninde dönüye sahip değilse, uygulanan rezonans salınımı uyarıldığı modda sınırlı kalmaktadır. Salınımın uyarıldığı açıyı $\Phi=0$ olarak kabul edersek oluşan salınımın tepe yönü (azimut) salınım yönü $\Phi=0$ yönündedir. Rezonatöre kök ekseni üzerinde Θ radyanlık bir dönü uygulandığı zaman bir coriolis kuvveti oluşur. Coriolis kuvveti sebebiyle rezonatördeki salınımda bir presesyon oluşur. Oluşan bu presesyon, rezonatördeki salınımın yönünü $\Phi= \Theta_0$ açısına getirir. ($\Theta_0 < \Theta$). Salınımın tepe yönü artık sadece Node düğümleri ile aynı yönde olmadığı için, resonatör AntiNode düğümlerinde de salınmaktadır. Sonuç olarak, toplam salınım Node ve AntiNode salınımlarının bir lineer bileşeni olara ifade edilebilir. Bileşke salınımın yönü, uygulanan gerçek dönü miktarını $\Theta - \Theta_0$ kadar geriden takip etmektedir. Uygulanan gerçek dönü açısı (Θ) ile presesyon kaynaklı olarak resonans salınımı sonucu oluşan açı (Θ_0) arasındaki ifade aşağıdaki denklem 1 ile belirlenir. Bu κ parametresi HRG de kullanılan rezonatörün fiziksel şekil ve malzeme özellikleri ile belirlenmektedir.

$$\Theta_0 = K\,\Theta \qquad (1)$$

Yarı küresel rezonatörün fiziksel özelliklerine bağlı olan K faktörünün hesaplanması için gerekli Denklemler, Denklem 2 ve Denklem 3'te verilmektedir (Yang ve ark., 2006). Şekil 2'de denklemlerde kullanılan Yarı küresel rezonatörün parametreleri gösterilmektedir.



Şekil 2. Yarı Küresel Rezonatör

$$K = \frac{P}{\Omega_x} = \frac{-2G_1}{nG_2} \qquad (2)$$

$$G_1 = \int_{\varphi_0}^{\varphi_F} (n - \cos\varphi)\sin^2\varphi \tan^n\frac{\varphi}{2} d\varphi - \sin^3\varphi_F \tan^n\frac{\varphi_F}{2}$$

$$G_2 = \int_{\varphi_0}^{\varphi_F} 2\sin^2\varphi \tan^n\frac{\varphi}{2} d\varphi - \sin\varphi_F (n + \cos\varphi_F)\tan^n\frac{\varphi_F}{2} \qquad (3)$$

Φ_0: Kök başlangıcının açısal değeri, Φ_F: rezonatör eteğinin bitim açısı, (yarı küresel rezonatör için Φ_F= pi/2 radyan). N=2 modu için doğal özfrekans (natural resonance), **ω** = Mode N için doğan rezonans frekansını göstermektedir.

$$\omega = \frac{n(n^2-1)}{r^2}\sqrt{\frac{E \cdot I(n,h)}{3(1+\mu)\rho \cdot J(n,h)}} \qquad (4)$$

Denklem 4'te gösterilmiş parametrelerin tanımları aşağıda açıklanmıştır.
E: Young modulus
ρ: Yoğunluk
μ : Poisson oranı
r : Rezonatör kabuk nötr yarıçapı
h : Rezonatör kabuğun kalınlığı
Yarı Küresel Titreşim Dönü ölçer (HRG) dönü ölçme işlemini iki ayrı çalışma modda ölçebilir. Bu iki çalışma modu: Dönü Miktarı integral Modu ve Tüm Açı modudur (Mayberry, 2014).

Dönü Miktarı İntegral çalışma modu: Bu modda çalışırken bir kapalı devre kontrol döngüsü kullanılmaktadır. Node ve AntiNode salınımını ölçen sensörler ile Node Düğümlerine ve AntiNode salınımlarını indükleyen elektrostatik uyarlayıcılar kapalı devre kontrol sisteminin parçalarıdır. Dönü algılandığı zaman Antinode Düğüm algılayıcı sensörler, presesyondan kaynaklanan AntiNode modundaki salınımı tespit eder ve kapalı devre kontrol sistemi bu salınımı sıfırlayacak kadar bir enerjiyi tespit edilen AntiNode modunu sıfırlamak için kullanır. Uygulanan enerjinin miktarı, dışarıdan uygulanan dönü miktarı ile orantılıdır. Bu miktar kullanılarak uygulanan dönü miktarı ölçülmüş olur.

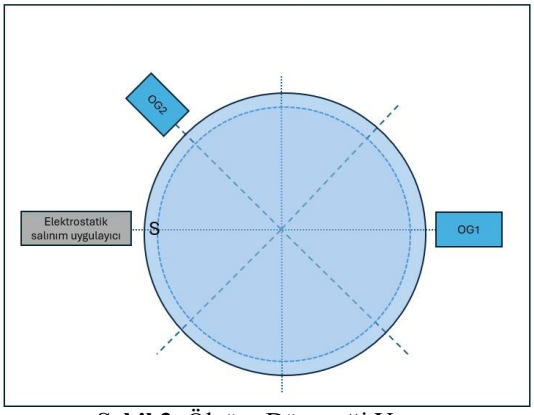
Tüm Açı Çalışma Modu: Bu çalışma şeklinde, uygulanan dönü sonucu oluşan presesyon kuvvetleri sebebi ile indüklenen AntiNode salınımına bir herhangi bir müdahale yapacak kapalı devre kontrol sistemi bulunmamaktadır. Algılayıcılar Node ve AntiNode düğümlerinden ilgili salınım ölçmelerini yaparak, her iki modun lineer bileşkesini oluşturan toplan salınımın, dönü açısı Θ_0 yu hesaplar ve

Denklem 1'i kullanarak, dönü açısı Θ hesaplanır.
Her iki çalışma modunda, rezonans salınımında çeşitli kayıplardan kaynaklanan zayıflama (Q losses), bu zayıflama enerjisine eşit miktarda bir enerji ile rezonatöre uygulanarak, salınımın devamlılığı sağlanır.

3. HGR GERÇEKLEMESİ

HRG dönü ölçerlerde, dönü ölçümü temel ve yan rezonans modunun ölçülerek, dönü sırasında iki mod arasındaki oranın dönü miktarına bağıntısı kullanılmaktadır. Bu ölçüm temel fiziksel parametreler düşünüldüğünde, rezonatörün çeşitli noktalarından rezonatörün dışında yer alan simetrik bir çembere olan mesafe ölçümü şeklindedir. Bu ölçüm kapasite kullanılarak, lazer doppler titreşim ölçer (LDV: laser doppler vibratometer) veya optik girişim ölçerler kullanılarak yapılabilmektedir. Bu çalışmada, optik girişim ölçer cihazı ve N=2 modunda rezonansı yaratabilmek için ise elektro kapasitif yöntem kullanılması öngörülmüştür.

Ölçüm düzeneği yapısı Şekil 3'te verilmektedir. Şekilde S noktası öz frekans salınımının, rezonatöre uygulandığı noktayı göstermektedir. Ana titreşim modu ölçümü OG1 optik girişim ölçer cihazı ile, yan titreşim modu ise OG2 optik girişim ölçer cihazı kullanılarak ölçülmektedir.

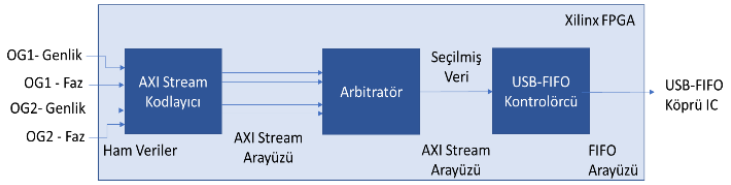


Şekil 3. Ölçüm Düzeneği Yapısı

Optik girişim ölçer cihazı olarak 2 adet 3x3 konfigürasyonunda olan 3 giriş ve 3 çıkış ucu olan ürün kullanılması öngörülmüştür. Bu tarz bir cihazın 20kHz frekanslı 1.5nm hareket aralığına kadar titreşen bir rezonatörde standart sapması 0.4nm olan ölçümlerde kullanıldığı bildirilmiştir (Park ve ark., 2020). Her bir cihazın çıkışı 2 adet optik elektrik çevirim detektörü kullanılarak, OG1 ve OG2 noktalarındaki sinyalin hem genlik hem de faz ölçümü yapması sağlanmıştır.

Fused quartz malzemeden gerçeklenecek olan yarı küresel resonatörün tasarım parametreleri olarak, r=30mm, h=1.3mm, Φ_0:6 derece, Φ_F:86 derece alınmıştır. Node ve Antinode doğal rezonans frekansları 1680Hertz ve formulu (1) de görülen K faktörü 0.3088 dir. Simulasyonumuzda elektrostatik olarak uygulanan Node resonansı maksimum tepe değeri 500nm olarak kabul edilmiştir.

Analog olarak çıktı veren optik elektrik çevirim dedektörü ADC (Analog Digital Converter) entegresi ile kullanılan AMD XC7A35T FPGA'e bağlanmıştır. Kullanılan ADC entegresi saniyede 100K örneği 12 bit çözünürlükte iletmektedir. Tasarlanan sistemde FPGA sistemde veri yakalama kartı olarak görev yapmaktadır. FPGA içi mimari Şekil 4'te verilmektedir.



Şekil 4. FPGA Veri Yakalama Altyapısı

ADC'lerden alınan OG1 ve OG2'e ait genlik ve faz verileri ham olarak yakalandıktan sonra geliştirilen sistemin üzerinde bulunan USB arayüz dönüştürücü entegresinin gereksinimlerine uygun hale getirilmiştir. Bu amaç ile alınan ham veriler AXI Stream protokolüne dönüştürülmüştür. Ardından elde edilen 4 kanal AXI Stream protokolündeki veriler USB arayüzünden gönderilmeden önce Arbitratör modülünden geçirilerek öncelik sırasına göre iletilmektedir. Öncelik algoritması Round-Robin olarak tasarlanmıştır. Seçilen veriler ile USB-FIFO kontrolcü arasında Asenkron FIFO kullanılarak USB arayüzü alanının yüksek frekanslı saat frekansına dönüştürülmüştür. Ardından USB-FIFO modülü verileri USB köprü IC'sine iletimini gerçekleştirmektedir. Bu veriler ana işlemci tarafından okunup kullanıcının senaryosuna göre işleyebilmesine izin vermektedir.

4. SONUÇ

Geliştirilen test düzeneğinde AMD firmasına ait XC7A35T model numaralı bir FPGA kullanılmıştır. Gerçeklenen veri yakalama platformunda kullanılan modüller küçük bir FPGA seçilmesi nedeniyle HLS (High Level Synthesis) tool kullanmak yerine RTL (Register Transfer Level) seviyesinde Verilog HDL (Hardware Description Language) ile gerçeklenmiştir. Sentezlenen tasarımın metrikleri Tablo 1'de verilmektedir.

Tablo 1. Fpga Sentez Sonuçları

	Slice	***LUT***	***RAMB36***	***MMCM***
Sentez Metrikleri	1520	1402	10	1

Kullanılan optik girişim ölçer cihazının çıkışına 12 bitlik bir ADC entegresi bağlanmıştır. Bu entegre ile minimum hareket 12.93 nm ve maksimum hareket 500 nm için yer değiştirme büyüklükleri ölçülmüştür. 12.93 nm antinode resonans kuplajı 2.4 derece gerçek dönüye karşılık gelmektedir.

Yapılan çalışmada HGR kullanılarak jiroskop yapımının diğer metotlara göre önemli hassasiyet avantajları olduğu görülmüştür.

Çalışmanın gerçek bir platform üzerinde denenmesi ile üretim ve ortam kaynaklı gürültülere karşı performans analizinin ortaya çıkarılması önemli bir konunu olduğu öngörülmektedir.

KAYNAKÇA

Wang, D., Strnad, N. A., Wang, Y., Parrish, A. R., Benoit, R. R., Knight, R. R., & Shkel, A. M. (2023). Indirect excitation of micro-HRG using segmented piezoelectric ALD PHT actuator. IEEE International Symposium on Inertial Sensors and Systems (INERTIAL).

Wei, Z., Yi, G., Huo, Y., Qi, Z., & Xu, Z. (2019). The synthesis model of flat-electrode hemispherical resonator gyro. Sensors, 19(7).

Senkal, D. (2015). Micro-glassblowing paradigm for realization of rate integrating gyroscopes (Doctoral dissertation, University of California, Irvine).

Gao, S., & Wu, J. (2007, August). Theory and finite element analysis of HRG. Proceedings of the International Conference on Mechatronics and Automation, Harbin, China.

Yang, Q., Yi, G., Shen, B., & Wang, H. (2006). Kinetic model analysis and testing of HRG. Proceedings of the 1st International Symposium on Systems and Control in Aerospace and Astronautics.

Mayberry, C. (2014). Interface circuits for readout and control of a micro hemispherical resonating gyroscope (Master's thesis, Georgia Institute of Technology).

Park, S., Lee, J., Kim, Y., & Lee, B. (2020). Nanometer-scale vibration measurement using an optical quadrature interferometer based on 3 fiber-optic coupler. Sensors, 20(2665).

PANKREAS KANSERİ GELİŞİMİ VE İLERLEMESİ İLE İLİŞKİLİ PROGNOSTİK BİR BİYOBELİRTEÇ OLARAK PPRC1 GENİNİN ÖNEMİ

Arş. Gör. KÜBRA SENA BAŞ TOPCU
Bartın Üniversitesi, Fen Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü
Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Biyoloji Bölümü
ksenabas@bartin.edu.tr, ORCID: 0000-0003-3161-1042

Doç. Dr. ERCAN ÇAÇAN
Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü
ercan.cacan@gop.edu.tr, ORCID: 0000-0002-3487-9493

Özet
Pankreas kanseri dünya çapında kanser ölümlerinin önde gelen nedenlerinden biri olarak bilinmektedir ve 5 yıllık sağkalımı yalnızca %13'tür. Pankreas kanserinin agresif klinik seyri metastaz ve ilaç direncine neden olmaktadır. Bundan dolayı pankreas kanserine özgü potansiyel belirteçlerin tanımlanması pankreas kanseri hastalarının tedavisi ve prognostik tahmini için önem arz etmektedir. Mitokondriyal biyogenez ve hücresel metabolizmanın düzenleyicisi olan peroksizom proliferatör aktive reseptör gama koaktivatörü ile ilişkili 1 (PPRC1), çeşitli kanserlerde bir biyobelirteç olarak potansiyel göstermiştir ancak pankreas kanserinde yapılmış bir çalışma literatürde yer almamaktadır. Bu çalışma GEPIA2, UALCAN, cBioPortal ve İnsan Protein Atlas gibi biyoinformatik araçları kullanarak pankreas kanserinde PPRC1'in ekspresyonunu ve klinik önemini ele almaktadır. Sonuçlar, pankreas kanseri dokularında sağlıklı dokulara kıyasla PPRC1'in ekspresyonunun önemli ölçüde arttığını ortaya koymuş olup, bu da ileri hastalık evreleri ve kötü sağ kalım sonuçlarıyla ilişkilidir. Bu bulgular, PPRC1'in pankreas kanserinde potansiyel bir biyobelirteç ve tedavi hedefi olduğunu düşündürmekte olup, pankreas kanseri patogenezindeki rolünün açıklığa kavuşturulması için daha fazla araştırma yapılmasını gerektirmektedir.

Anahtar Kelimeler: Pankreas Kanseri, PPRC1, Tümör Progresyonu, Biyobelirteç

IMPORTANCE OF PPRC1 GENE AS A PROGNOSTIC BIOMARKER ASSOCIATED WITH PANCREATIC CANCER DEVELOPMENT AND PROGRESSION

Abstract
Pancreatic cancer is known as one of the leading causes of cancer deaths worldwide and its 5-year survival is only 13%. The aggressive clinical course of pancreatic cancer leads to metastasis and drug resistance. Therefore, identification of potential markers specific to pancreatic cancer is important for the treatment and prognostication of pancreatic cancer patients. Peroxisome proliferator-activated receptor gamma coactivator-related 1 (PPRC1), a regulator of mitochondrial biogenesis and cellular metabolism, has shown potential as a biomarker in various cancers, but no study in pancreatic cancer is available in the literature. This study investigates the expression and clinical significance of PPRC1 in pancreatic cancer using bioinformatics tools such as GEPIA2, UALCAN, cBioPortal and Human Protein Atlas. The results revealed that the expression of PPRC1 was significantly increased in pancreatic cancer tissues compared to healthy tissues, which was associated with advanced disease stages and poor survival outcomes. These findings suggest that PPRC1 is a potential biomarker and therapeutic target in pancreatic cancer, and require further investigation to elucidate its role in pancreatic cancer pathogenesis.

Keywords: Pancreatic cancer, PPRC1, Tumor progression, Biomarker

1. GİRİŞ

Pankreas kanseri en ölümcül kanser türlerinden biridir ve 5 yıllık sağkalımı yalnızca %13'tür. Cerrahi müdahaleye ragmen hastaların yaklaşık dörtte üçü yaklaşık iki yıllık süre içinde nüks yaşamaktadır (Li

vd., 2024). Pankreas kanseri hastalarının yaklaşık %10'unda ailede hastalık öyküsü bulunmaktadır. Artan yaş, yüksek vücut kitle indeksi, sigara içmek, alkol tüketimi, diyabet ve pankreatit pankreas kanserinin risk faktörlerindendir (Paranal vd., 2024). 2022 GLOBOCAN verilerine göre pankreas kanseri 467.409 ölüm ile en ölümcül 6. kanser türü olarak belirlenmiştir (https://gco.iarc.fr/en, Erişim tarihi: 11.11.2024). Pankreas kanserinde kemoterapötik ajanlara gelişen direncin altında yatan mekanizmalar hala tanımlanamamıştır ve çeşitli faktörler pankreas kanseri tedavisindeki bu dirence katkıda bulunabilmektedir (Deng vd., 2024). Bu nedenle, pankreas kanserinde tümör ilerlemesinin moleküler mekanizmalarının ayrıntılı bir şekilde anlaşılması ve tümöre özgü potansiyel biyobelirteçlerin tanımlanması, pankreatik duktal adenokarsinom (PDAC) hastalarının erken teşhisi, tedavisi ve özellikle prognoz tahminleri açısından büyük önem taşımaktadır (Liu vd., 2023; Ruan vd., 2024).

Çeşitli transkripsiyon faktörlerinin mitokondriyal biyogenez programındaki koordinasyonu üzerine gerçekleştirilen araştırmalar, peroksizom proliferatör aktive reseptör gama koaktivatörü ile ilişkili 1 (PPRC1; PRC) geninin keşfedilmesine yol açmıştır (Vercauteren vd., 2009). PPRC1 geni 10. kromozonda bulunmaktadır ve 1664 amino asit içeren bir protein kodlamaktadır. PPRC1'in mitokondriyal fonksiyonu hücre büyümesini ve hücre apoptozunu düzenlediği bilinmektedir (Zhang vd., 2021; Slowly vd., 2024). Yapılan çalışmalarda PPRC1'in knockdown edilmesi ile ciddi solunum disfonksiyonu meydana gelmiştir. Metabolik düzenleyici rolüne ek olarak PPRC1, çoklu metabolik hasarlara karşı inflamatuar/stres yanıtının indüklenmesi için de gereklidir. Mitokondriyal bozukluk veya replikasyon stresi gibi koşullar altında PPRC1 anti-apoptotik genlerin upregülasyonunu sağlamaktadır, erken yaşlanma ve metabolik yeniden programlama ile ilişkili bir enflamatuar gen ekspresyonu programını düzenlemektedir (Gleyzer & Scarpulla, 2016). İlaveten yumurtalık ve hepatoselüler karsinomada PPRC1'in normal dokulara kıyasla daha yüksek seviyede eksprese edildiği ve PPRC1 geninin kötü prognoz ile ilişkili olması nedeniyle hastalarının hayatta kalma süresini ciddi şekilde etkilediği tespit edilmiştir (Ruan vd., 2023).

Yapılan çalışmalara rağmen PPRC1 geninin kanserde çok az çalışılmış olması ve pankreas kanseri üzerindeki rolünü inceleyen herhangi bir çalışmanın literatürde bulunmaması, bu genin pankreas kanserindeki potansiyel etkilerinin anlaşılmasını sınırlamaktadır. Bu eksiklik, pankreas kanseri patogenezinde PPRC1'in işlevsel ve biyolojik önemini araştırmaya yönelik çalışmalara olan gereksinimi ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, çalışmamız PPRC1 geninin pankreatik adenokarsinom (PAAD) üzerindeki etkilerini detaylı olarak incelemeyi amaçlamaktadır. Bu araştırma, PPRC1 ve pankreas kanseri arasındaki ilişkiye dair ilk verileri sunarak, genin hastalığın tanı, prognoz ve tedavi süreçlerindeki olası rolünü aydınlatmaya katkı sağlayacaktır.

2. ÇALIŞMANIN YÖNTEMİ

GEPIA2 (http://gepia2.cancer-pku.cn/), Kanser Genom Atlası (TCGA) veri kümesinden ve Genotip-Doku Ekspresyonu (GTEx) veritabanlarından tümör ve normal örneklere dayalı gen ekspresyon analizi yapılmasını sağlayan çevrimiçi veritabanıdır (Tang vd., 2019). Pankreatik adenokarsinomada (PAAD'da) PPRC1'in ekspresyon seviyesi TCGA normal ve GTEx verilerine dayanarak belirlendi. Log2FC'nin kesme değeri 1 olarak ayarlandı ve *p* değeri 0,05 olarak ayarlandı.

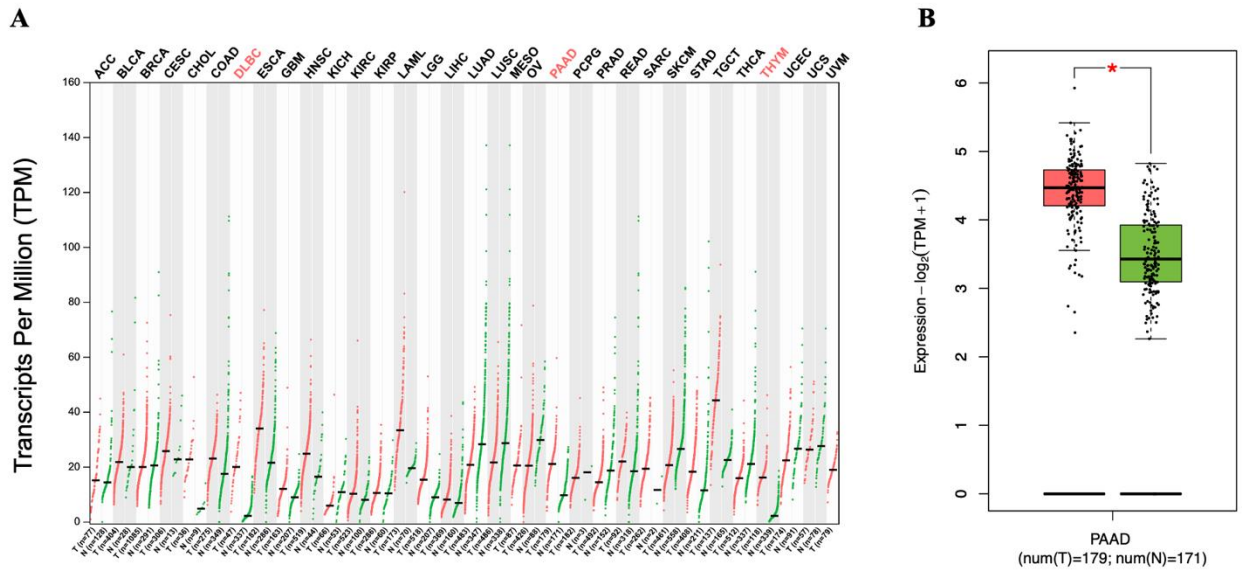
İnsan Protein Atlas (HPA) veritabanı (http://www.proteinatlas.org/), çeşitli kanser türlerine ait hücre hatlarındaki PPRC1 gen ekspresyonunun tespit edilmesi, sağlıklı pankreas ve PAAD dokularında protein seviyesi ekspresyon profillerinin belirlenmesi ve immünohistokimyasal görüntüleri elde etmek için kullanılmıştır (Uhlen vd., 2010).

PAAD'de PPRC1 geninin genomik değişikliklerini gözlemlemek için c-BioPortal veritabanı (http://cbioportal.org/) kullanılmıştır. Birçok kanserin genomik verilerini keşfetmek, görselleştirmek ve analiz etmek için tasarlanmış açık erişimli bir web sayfasıdır (Gao vd., 2013). c-BioPortal veritabanı, PAAD'de PPRC1 geninin ekspresyon profili ile gendeki mutasyonlar arasındaki ilişkiyi belirlemek için kullanıldı. PPRC1 genindeki mutasyonlar, PAAD'de 17 çalışma 4515 numune ve 4472 hasta örneği içeren verilerdeki mutasyonlar, yapısal varyantlar ve kopya sayısı değişiklikleri seçilerek analiz edildi.

UALCAN veritabanı (http://ualcan.path.uab.edu/) üzerinden PAAD'de PPRC1 geninin klinikopatolojik parametrelerde analiz edildi. Pankreas kanserinin farklı evrelerinde (Evre 1, Evre 2, Evre 3 ve Evre 4) PPRC1 ekspresyonu, normal ve PAAD dokularında PPRC1 promotör metilasyon profili ve PPRC1 ekspresyonu ile pankreas kanseri hastalarının sağkalım arasındaki ilişkisi değerlendirilmiştir. Beta değeri, DNA metilasyon seviyesini 0 (metillenmemiş) ile 1 (tamamen metillenmiş) arasında göstermektedir. 0,7 - 0,5 arası beta değeri hipermetilasyonu, 0,3 - 0,25 arası beta değeri ise hipometilasyonu göstermektedir (Mao vd., 2021; Liu vd., 2022). $p < 0,05$'in anlamlı kabul edilmiştir (*$p < 0,05$, **$p < 0,01$, ***$p < 0,01$, ****$p < 0,001$, ns: $p > 0,05$).

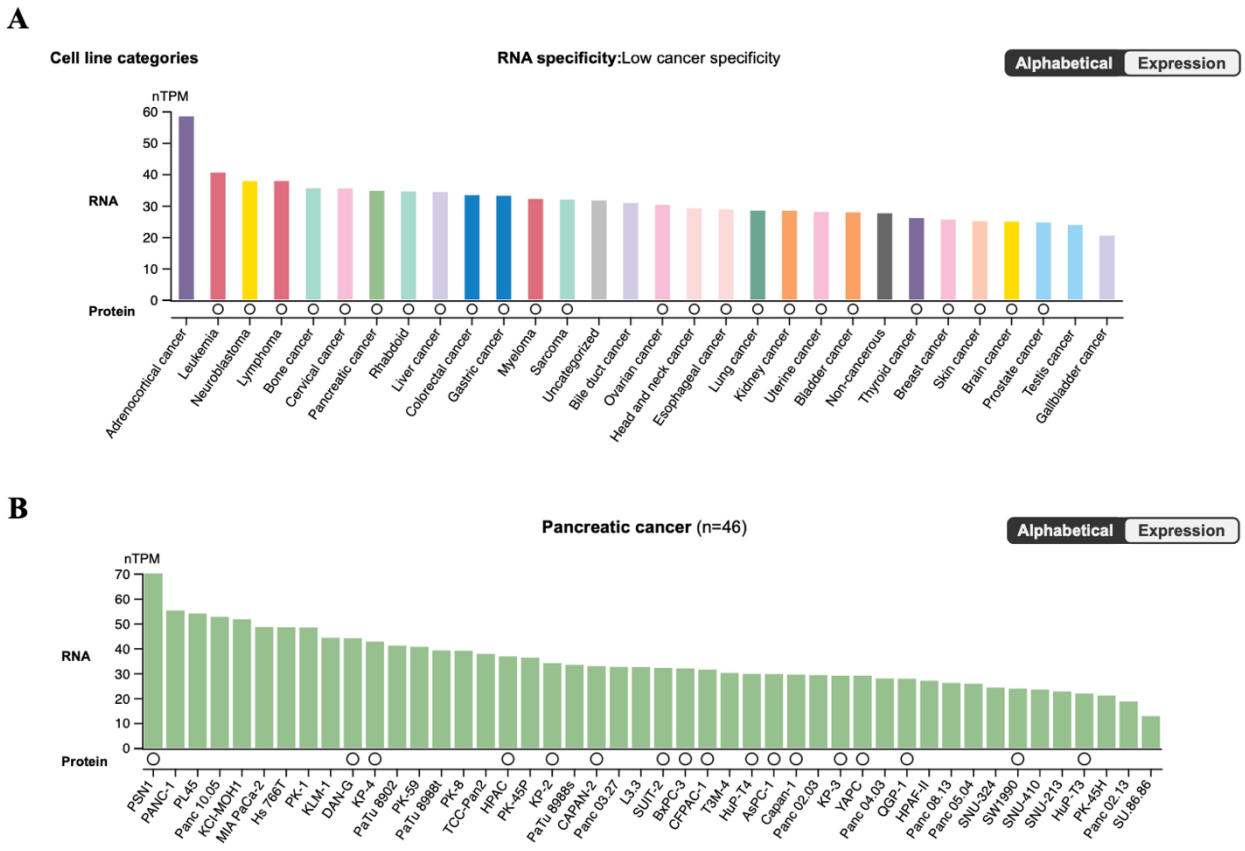
3. SONUÇ

GEPIA2 veritabanı kullanarak TCGA pan-kanser veri kümelerinde 33 tümör ve eşleşmiş normal dokularında PPRC1 gen ekspresyonunu kıyasladık. PPRC1 geni, hücresel enerji metabolizması ve mitokondriyal biyogenez ile ilişkili olduğundan, çeşitli kanser türlerinde bu genin ekspresyonundaki değişikliklerin anlaşılması tümör gelişimi açısından önem arz etmektedir. Bulgularımız lenfoid neoplazma diffüz büyük B-hücreli lenfoma (DLBC), pankreatik adenokarsinoma (PAAD) ve timoma (THYM) olmak üzere 3 tümörde normal dokulara kıyasla PPRC1 ekspresyonunun anlamlı düzeyde arttığını göstermiştir (Şekil 1.).



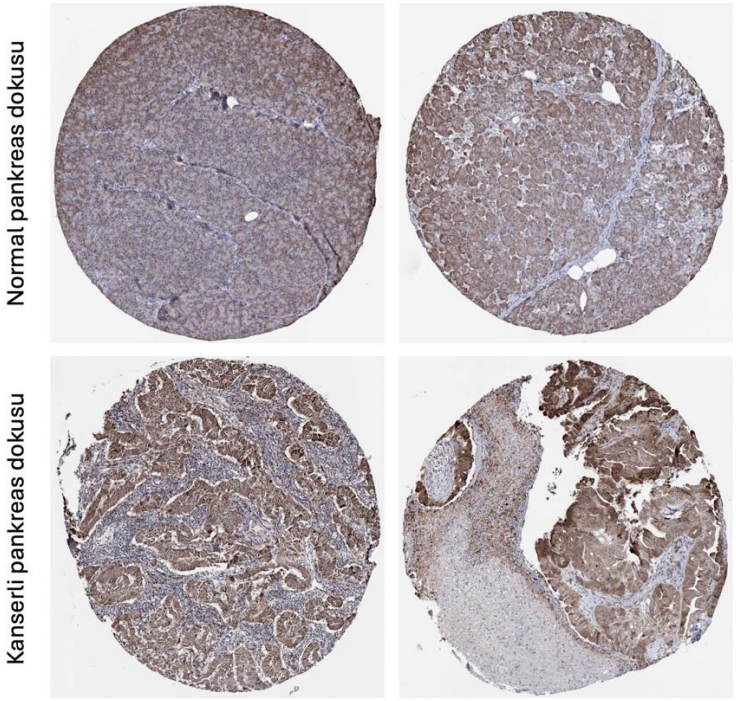
Şekil 1. PPRC1 RNA ekspresyon seviyesi A. Farklı kanser ve normal dokulardaki PPRC1 ekspresyon seviyeleri. B. PAAD (179 örnek) ve normal pankreas dokularında (171 örnek) PPRC1 ekspresyonu artış göstermektedir. |log2FC)| > 1 ve p < 0,05. Bu veriler GEPIA2 kullanılarak elde edilmiştir. (Kırmızı, tümör örnekleri; yeşil, normal örnekleri göstermektedir.) TPM (Milyon Başına Transkript)

Pankreas kanserinde upregüle edilmiş PPRC1 ekspresyonu HPA verilerine göre 30 farklı kanser hücre hattında yüksek seviyede eksprese olmaktadır. PPRC1 gen ekspresyon profili, HPA veritabanı kullanılarak 46 farklı pankreas kanseri hücre hattında görüntülenmiştir (Şekil 2.). Bu bulgular, PPRC1 geninin pankreas kanseri hücrelerinde yüksek seviyedeki ekspresyonunun tümör progresyonunda etkili olabileceğini ve PPRC1'in pankreatik adenokarsinoma gibi kanser türlerinde potansiyel bir biyobelirteç ya da terapötik hedef olarak değerlendirilebileceğini göstermektedir.



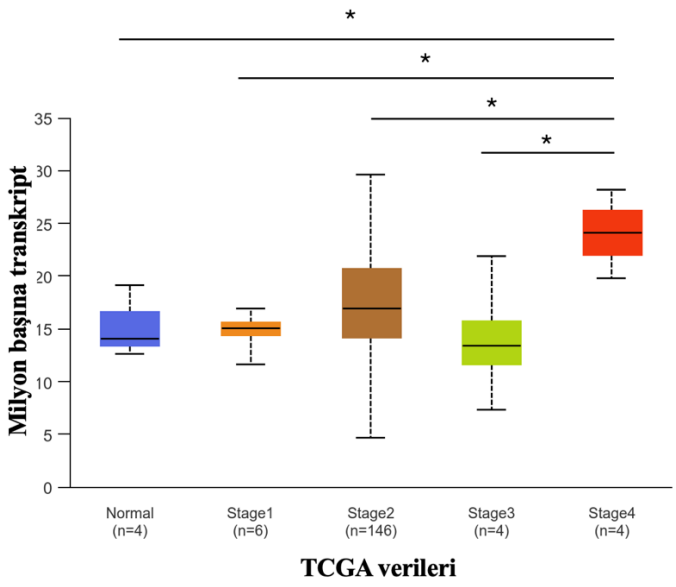
Şekil 2. HPA verilerinden elde edilen PPRC1 gen ekspresyon profili. **A**. PPRC1'in farklı kanser hücre hatlarında gen ekspresyon seviyeleri. **B**. 46 farklı pankreas kanseri hücre hatlarındaki PPRC1 gen ekspresyon seviyeleri.

Ek olarak bu sonuçları doğrulamak için pankreas sağlıklı ve kanserli dokularda PPRC1 protein ekspresyonunu analiz etmek için HPA veritabanı kullanılmıştır. Bu analiz kapsamında iki PAAD örneğinde immünohistokimyasal boyama ile yapılan incelemeler, PPRC1 protein ekspresyonunun normal dokulara kıyasla belirgin bir şekilde arttığını göstermektedir (Şekil 3.). PPRC1 geninin PAAD tanı ve prognoz sürecinde potansiyel bir belirteç olarak değerlendirilebileceğini göstermektedir.

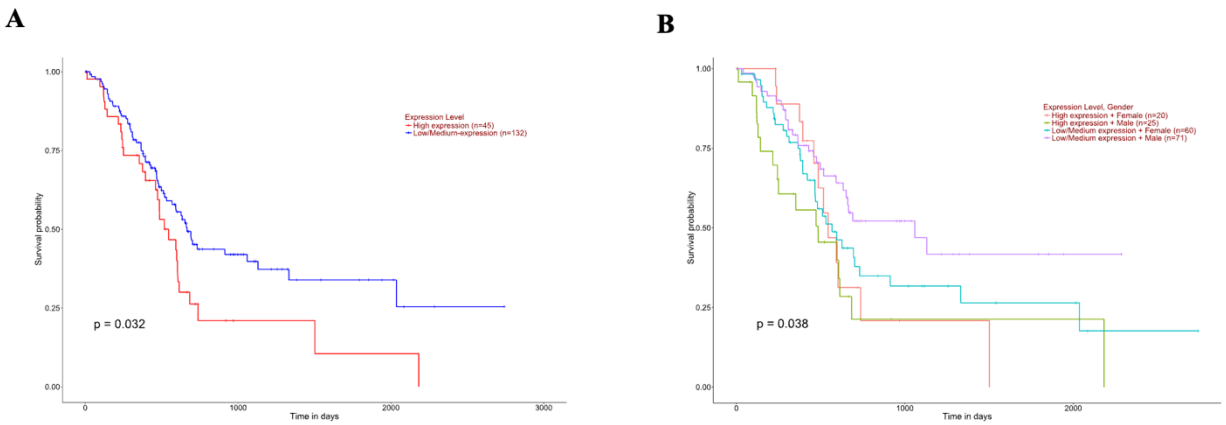


Şekil 3. Normal ve kanserli pankreas dokularında PPRC1 protein ekspresyonu. Normal pankreas dokusu ve PAAD dokularında immünohistokimyasal boyama ile PPRC1 protein boyaması yapılmıştır.

UALCAN veritabanı kullanarak pankreas kanseri hastalarında PPRC1 ekspresyonu ve prognostik değeri incelendi. Sonuçlar PPRC1 geninin normal örneklere kıyasla pankreas kanserinin 4. evrede ekspresyonunun anlamlı şekilde arttığını göstermiştir (Şekil 4, $p<0.05$). İlaveten yüksek PPRC1 ekspresyonuna sahip pankreas kanseri hastalarının (n=45), düşük ve orta PPRC1 ekspresyonu olan hastalara (n=132) kıyasla daha düşük sağkalım gösterdiği tespit edildi (Şekil 5A, $p<0.05$). Yüksek PPRC1 ekspresyonuna sahip kadın bireyler yüksek PPRC1 ekspresyonuna sahip erkek bireylere göre daha düşük sağkalım gösterirken, düşük/orta seviyede PPRC1 ekspresyonu gösteren kadınlar erkeklere kıyasla daha yüksek sağkalıma sahiptir (Şekil 5B, $p<0.05$).

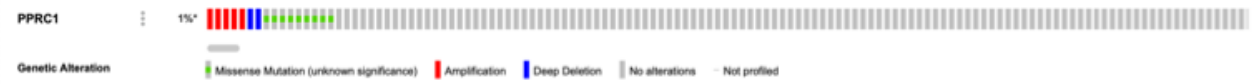


Şekil 4. Normal ve pankreas kanseri örneklerinde kanser evrelerindeki PPRC1 gen ekspresyonunun karşılaştırılması (*$p<0.05$)



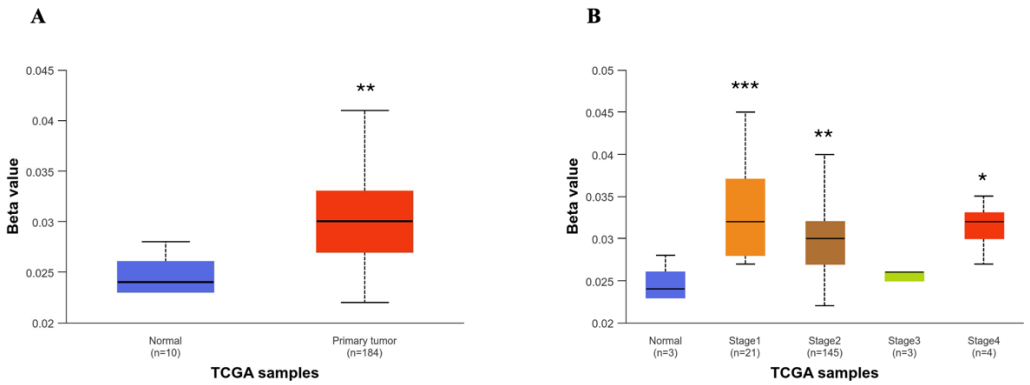
Şekil 5. PPRC1 ekspresyonunun klinik parametreler ile hasta sağkalımı ilişkisini gösteren Kaplan-Meier (KM) grafikleri. **A.** PPRC1 gen ekspresyon seviyesinin hasta sağkalımı ile ilişkisini gösteren KM grafiği. **B.** PPRC1 ekspresyon seviyelerinin cinsiyete göre ilişkisini gösteren KM grafiği. (p<0,05)

cBioPortal veritabanı analizinden elde edilen sonuçlar, TCGA'daki 4472 hastadan alınan verileri kullanarak PAAD'de PPRC1 geniyle ilişkili genetik değişim paternleri hakkında bilgi sağlamıştır. Spesifik olarak, PPRC1 geninde sadece %1 oranında missense mutasyon, amplifikasyon ve deep delesyon gibi genetik değişimler tespit edilmiştir (Şekil 6). Bu düşük mutasyon oranı PAAD'de PPRC1 geninin upregüle olarak düzenlenmesinin, CpG adacıklarındaki hipometilasyonla ilişkili olabileceğini düşündürmektedir.



Şekil 6. PAAD'de PPRC1 genindeki genomik değişiklik

Pankreas kanserinde PPRC1 geninin promotör metilasyon seviyelerini araştırmak için UALCAN veritabanını kullandık. PAAD hastaları (n=184) ve normal bireyler (n=10) arasında PPRC1 geninin promotör metilasyon seviyesinde anlamlı bir değişiklik tespit edilmedi (Şekil 7A, p <0.05). İlaveten normal bireylere (n=4) kıyasla farklı tümör evrelerinde de anlamlı bir değişiklik tespit edilmedi (Şekil 7B, p <0.05).



Şekil 7. PPRC1 geninin **A.** PAAD hastalarında **B.** farklı tümör evrelerine sahip PAAD hastalarındaki promotör bölgesinin metilasyon seviyesi

Bu çalışmada elde edilen bulgular, PPRC1 geninin pankreas kanserinde yüksek ekspresyon düzeyinin tümör progresyonu ve hasta sağ kalımıyla ilişkili olabileceğini göstermektedir. PPRC1 geninin promotör

metilasyon analizleri anlamlı bir epigenetik değişiklik ortaya koymamış olsa da, gen ekspresyon profillerinin klinik sonuçlarla ilişkili olması, PPRC1 geninin pankreas kanserindeki rolünün daha ileri analizler ile incelenmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

KAYNAKÇA

Deng, J., Deng, D., Wang, B., Donati, V., Frampton, A. E., & Giovannetti, E. (2024). Metabolites derived from gut microbiota mitigate chemoresistance in pancreatic cancer. *Expert Review of Gastroenterology & Hepatology*, 1-8.

Gao, J., Aksoy, B. A., Dogrusoz, U., Dresdner, G., Gross, B., Sumer, S. O., Sun, Y., Jacobsen, A., Sinha, R., Larsson, E., Cerami, E., Sander, C., & Schultz, N. (2013). Integrative analysis of complex cancer genomics and clinical profiles using the cBioPortal. Science signaling, 6(269), pl1. https://doi.org/10.1126/scisignal.2004088

Gleyzer, N., & Scarpulla, R. C. (2016). Concerted action of PGC-1-related coactivator (PRC) and c-MYC in the stress response to mitochondrial dysfunction. *Journal of Biological Chemistry*, *291*(49), 25529-25541.

Li Y, Du Y, Li R, Zhong W, Zou X, Li L, Xu L, Wu L, Che X. Spatial transcriptomics in pancreatic cancer: Advances, prospects and challenges. Crit Rev Oncol Hematol. 2024 Nov;203:104430. doi: 10.1016/j.critrevonc.2024.104430. Epub 2024 Jun 26. PMID: 38942220.

Liu K, Li L, Han G. CHST12: a potential prognostic biomarker related to the immunotherapy response in pancreatic adenocarcinoma. Front Endocrinol (Lausanne). 2024 Jan 25;14:1226547. doi: 10.3389/fendo.2023.1226547. PMID: 38333724; PMCID: PMC10850383.

Liu, L., Qin, J. F., Zuo, M. Z., & Zhou, Q. (2022). Multi-omics of the expression and clinical outcomes of TMPRSS2 in human various cancers: A potential therapeutic target for COVID-19. *Journal of Cellular and Molecular Medicine*, *26*(3), 709-724.

Mao XH, Ye Q, Zhang GB, Jiang JY, Zhao HY, Shao YF, Ye ZQ, Xuan ZX, Huang P. Identification of differentially methylated genes as diagnostic and prognostic biomarkers of breast cancer. World J Surg Oncol. 2021 Jan 26;19(1):29. doi: 10.1186/s12957-021-02124-6. PMID: 33499882; PMCID: PMC7839189.

Paranal RM, Wood LD, Klein AP, Roberts NJ. Understanding familial risk of pancreatic ductal adenocarcinoma. Fam Cancer. 2024 Nov;23(4):419-428. doi: 10.1007/s10689-024-00383-2. Epub 2024 Apr 12. PMID: 38609521.

Ruan S, Wang H, Zhang Z, Yan Q, Chen Y, Cui J, Huang S, Zhou Q, Zhang C, Hou B. Identification and validation of stemness-based and ferroptosis-related molecular clusters in pancreatic ductal adenocarcinoma. Transl Oncol. 2024 Mar;41:101877. doi: 10.1016/j.tranon.2024.101877. Epub 2024 Jan 22. PMID: 38262107; PMCID: PMC10832490.

Ruan, X., Cui, G., Li, C., & Sun, Z. (2023). Pan-cancer analysis reveals PPRC1 as a novel prognostic biomarker in ovarian cancer and hepatocellular carcinoma. *Medicina*, *59*(4), 784.

Slowly M, Domingo-Relloso A, Santella RM, Haack K, Fallin DM, Terry MB, Rhoades DA, Herreros-Martinez M, Garcia-Esquinas E, Cole SA, Tellez-Plaza M, Navas-Acien A, Wu HC. Blood DNA methylation and liver cancer in American Indians: evidence from the Strong Heart Study. Cancer Causes Control. 2024 Apr;35(4):661-669. doi: 10.1007/s10552-023-01822-8. Epub 2023 Nov 27. PMID: 38010586; PMCID: PMC10960679.

Tang, Z., Kang, B., Li, C., Chen, T., & Zhang, Z. (2019). GEPIA2: an enhanced web server for large-scale expression profiling and interactive analysis. *Nucleic acids research*, *47*(W1), W556-W560.

Uhlen, M., Oksvold, P., Fagerberg, L., Lundberg, E., Jonasson, K., Forsberg, M., ... & Ponten, F. (2010). Towards a knowledge-based human protein atlas. *Nature biotechnology*, *28*(12), 1248-1250.

Vercauteren, K., Gleyzer, N., & Scarpulla, R. C. (2009). Short hairpin RNA-mediated silencing of PRC (PGC-1-related coactivator) results in a severe respiratory chain deficiency associated with the proliferation of aberrant mitochondria. *Journal of Biological Chemistry*, *284*(4), 2307-2319.

Zhang XJ, Gu Y, Fu W. A novel PPRC1 point mutation in a Chinese family with premature ovarian failure: A case study. J Gene Med. 2021 Jun;23(6):e3335. doi: 10.1002/jgm.3335. Epub 2021 Apr 19. PMID: 33818872.

YAZILIM TANIMLI AĞLARDA GÜVENLİK VE GİZLİLİĞE DUYARLI KAYNAK YÖNETİMİ YAKLAŞIMLAR İÇİN KAPSAMLI BİR ANALİZİ: FIRSATLAR VE ZORLUKLAR

Öğr.Gör. MONIRE NOROUZI
Haliç Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Bilgisayar Teknolojisi Programı, İstanbul, Türkiye
monirenorouzi@halic.edu.tr, ORCID: 0000-0002-0630-7762

SELİN GÜVEN
Haliç Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Bilgisayar Teknolojisi Programı, İstanbul, Türkiye
selingv72@gmail.com

Özet
Gelişen teknolojilerin hızla büyümesi ve 5G iletişiminin sayısız avantajının uygulanmasıyla birlikte, veri iletiminin güvenliği ve gizliliği ile yazılım tanımlı ağların (SDN) kaynak yönetimi arasında kritik bir boşluk var. Nesnelerin İnterneti (IoT) cihazları ve akıllı uygulamalar için güvenli bir iletişim perspektifi sağlamak amacıyla, kaynak yönetiminde ağ dilimleme şu anda önemli bir konudur ve SDN'de yaygın olarak incelenmektedir. SDN'nin çeşitli yönlerinde güvenlik ve gizliliğe duyarlı kaynak yönetiminin önemi nedeniyle, bu araştırma, IoT ortamlarında SDN iletişimi için mevcut teknik sınıflandırmanın ve kaynak yönetimi yaklaşımlarının derinlemesine ayrıntılı kategorizasyonunun yeni ve kapsamlı bir incelemesini sunmayı amaçlamaktadır. Her kategori temelinde, IoT ortamlarındaki çeşitli güvenlik ve gizliliğe duyarlı platformları göstermek için teknik bir sınıflandırma sunulmaktadır. Tartışılan en son teknolojiye sahip kapsamlı teknik incelemeye uygun olarak, her bir vaka çalışmasının bazı önemli değerlendirme faktörleri, ana metodolojileri, avantajları ve dezavantajları ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Sonuç olarak, gelecekteki bilimsel çabalar için bazı önemli yeni araştırma yönleri ve açık zorluklar sunulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Nesnelerin İnterneti, Yazılım Tanımlı Ağlar, Kaynak Yönetimi, Güvenlik, Gizlilik

A COMPREHENSIVE ANALYSIS FOR SECURITY AND PRIVACY-AWARE RESOURCE MANAGEMENT APPROACHES IN SOFTWARE-DEFINED NETWORKS: OPPORTUNITIES AND CHALLENGES

Abstract
With the rapid growth of emerging technologies and the application of numerous advantages of 5G communication, there is a critical gap between the security and privacy of data transmission and the resource management of software-defined networks (SDN). To provide a secure communication perspective for Internet of Things (IoT) devices and smart applications, network slicing in resource management is currently an important issue and is widely studied in SDN. Due to the importance of security and privacy-aware resource management in several aspects of SDN, this research aims to present a new comprehensive review of existing technical classification and deep-detailed categorization of resource management approaches for SDN communication in IoT environments. On the basis of each category, a technical taxonomy is presented to show various security and privacy-aware platforms in IoT environments. In accordance with the main state-of-the-art discussed comprehensive technical review, some important evaluation factors, main methodologies, advantages, and disadvantages of each case study are elaborated. In conclusion, some important new research directions and open challenges are presented for future scientific efforts.

Keywords: Internet of Things, Software Defined Networks, Resource Management, Security, Privacy

1. GİRİŞ

Günümüzde bilgisayar ağları, çeşitli uygulama ve sistemler için Nesnelerin İnterneti (IoT) teknolojilerinin avantajlarından büyük ölçüde faydalanabilmektedir. Bununla birlikte, heterojenliği,

ucuz cihazlara yönelik güvenlik politikalarının göz ardı edilmesi, sürekli yazılım güncellemeleri ve büyük ölçekli IoT dağıtımları gibi çeşitli IoT yönleri çeşitli tehditlere ve saldırılara maruz kalmaktadır. Bilişim sistemleri ve uygulamalarının önemi nedeniyle IoT ortamında güvenlik ve gizlilik bizim için çok önemli bir konudur (Haseeb, Ahmad, Awan, Lloret, & Bosch, 2021). Prosedürlerinde ve hizmetlerinde herhangi bir kesinti önemli sonuçlar doğurabilir ve siber saldırılar açısından büyük güvenlik riskleri oluşturabilir. Büyük veri ve IoT gibi yeni teknolojilerin yükselişi, bant genişliğini tüketen uygulamaların ortaya çıkmasına yol açarak veri merkezi trafiğinde önemli bir artışa neden oldu. Yazılım tanımlı ağ (SDN), veri merkezlerindeki büyük ölçekli trafiğin verimli yönetimi için önerilmektedir. Ayrıca SDN'nin merkezi kontrolü ve küresel ağ görünümü, altyapı sağlayıcılarının optimum kaynak yönetimine ulaşmasını sağlar. Ayrıca bant genişliğinin arttırılması ve IoT iletişiminden kaynaklanan gecikmenin en aza indirilmesiyle hizmet kalitesi sağlanabilir. Bir SDN, dilim taleplerini gerçekleştirebildiği ve veri trafiği tahsisi ve planlamasını tamamlayabildiği için ağ dilimleme ve kaynak yönetimi mekanizmaları için uygun desteği sağlar. SDN'ler, şu anda birden fazla uygulama için mevcut çalışmalara odaklanan QoS bilinçli kaynak yönetimi gibi çeşitli teknik noktaları hazırlamaktadır. Bunlar güvenilir kaynak tedariği, akıllı cihazlar arasında uzun mesafeli iş birliği ve optimizasyon problemlerinin açıklamalarını içerir. Güvenlik stratejilerine ve yönlerine odaklanıldığında ve analiz edildiğinde, günümüzün güvenlik duvarından oluşturulan bilgisayar sistemlerinde bu stratejilerin genellikle birinci düzey koruma stratejilerini içerdiği ortaya çıktı. Bilgisayar ağının uç seviyesinde, güvenlik duvarı, yerleşik güvenlik standartlarına ve yönergelerine dayalı olarak gönderilen veya alınan tüm paketleri temizlemeye çalışır. Ayrıca bu yöntem ağ içindeki kötü niyetli varlıkların neden olduğu saldırılara karşı koruma sağlamaz. Sonuç olarak, her güvenlik seviyesinde ek güvenlik sistemlerinin kurulması gerekmekte, bu da yüksek satın alma ve denetim maliyetleri yaratmaktadır (Kumar, Nair, Roy, Rajalingam, & Kumar, 2021).

SDN tabanlı güvenlik sistemleri ve uygulamalarının, ağ güvenliği ve gizlilik hususlarını iyileştirip tatmin etmesi ve sistem işletim maliyetlerini azaltması önerilmiştir. SDN platformunun kontrol düzlemi, ağ operatörünün merkezi bir arayüz kullanarak akışları otomatik olarak çalıştırabilmesi için veri düzleminden bölünmüştür. Bu prosedür, güvenlik ve gizlilik politikalarını ve standartlarını karşılayabilir ve ağ güvenlik düzeylerini önemli ölçüde geliştirebilir. SDN ve IoT iletişiminin kaynak yönetimine ilişkin yukarıda belirtilen sorun açıklamalarına göre, anormalliklere, izinsiz giriş durumlarına ve saldırılara karşı güvenlik sorunlarını geliştirmek için mevcut güvenlik ve gizliliğe dayalı model ve mimarileri karşılaştırmaya yönelik ayrıntılı ve yaygın bir analitik tartışma yoktur. Bu nedenle, bu yazıda SDN'deki mevcut güvenlik ve gizliliğe duyarlı kaynak yönetimi yaklaşımlarının kapsamlı bir incelemesini sunuyoruz. Bu sistematik çalışma üzerinde çalışırken ana yöntemler keşfedildi, daha önceki zorluklar gözden geçirildi, en son yöntemler incelendi ve gelecekteki araştırma boşluklarının ana hatları çizildi.

Özetle bu çalışma aşağıdakilere katkıda bulunmaktadır:

- SDN güvenliği ve gizliliğe duyarlı kaynak yönetimindeki mevcut zorlukları vurgulamak;
- Mevcut SDN güvenliğine duyarlı kaynak yönetimi yaklaşımlarını kategorize etmek için yeni bir teknik sınıflandırma sunmak;
- Önerilen güvenlik ve gizliliğe duyarlı kaynak yönetimi yöntemlerinin kapsamlı bir analizinin sağlanması;
- Her vaka çalışması için mevcut değerlendirme faktörlerini tartışması, açık konuları belirlemek ve gelecekteki talimatların ana hatlarını çizmek.

Bu çalışmanın geri kalanı şu şekilde organize edilmiştir: Bölüm 2, bu çalışmada kullanılan araştırma metodolojisini açıklamaktadır. Bölüm 3, SDN'lerdeki mevcut güvenlik ve gizliliğe duyarlı kaynak yönetimi çalışmalarını gözden geçirmektedir. Bölüm 4'te mevcut yöntemlerin bir tartışması ve analitik karşılaştırması sunulmaktadır. Bölüm 5'te gelecekteki çalışmalar için açık konuları ve yönergeleri sunuyoruz. Son olarak, sonuçlar Bölüm 6'da sunulmaktadır.

2. ARAŞTIRMA METODOLOJİSİ

Bu bölümde mevcut SDN güvenliğine duyarlı kaynak yönetimi yaklaşımlarını araştırmak için kullanılan araştırma metodolojisini inceliyoruz. Şekil 1'de gösterildiği gibi inceleme sürecinde dört ana adım vardır. İlk adım araştırma hedeflerini ve sorularını tanımlamaktır. İkinci adımda bazı standartlara uygun makaleler aranır ve seçilir. Ayrıca bilimsel veri tabanlarında arama yapmak için bir dizi teknik anahtar kelime seçilir. Niteliksel metriklere dayanarak üçüncü adımda seçilen yöntemleri inceliyoruz. Son aşamada ise alınan sonuçlar raporlanır, çözülemeyen sorunlar tartışılır ve gelecek incelemeler için öneriler sunulur. Bu adımın temelinde, SDN güvenlik bilinçli kaynak yönetimi yaklaşımlarında her kategorinin mevcut teknik noktalarını tartışmak için bazı önemli sorular tanımlanacaktır.

Şekil 1. Araştırma metodolojisi adımları

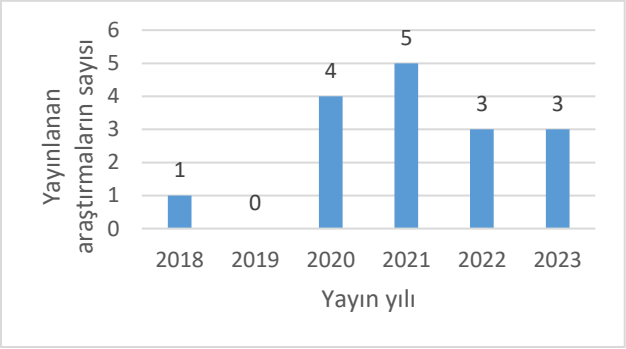
Sistematik bir literatür taraması oluşturmak amacıyla araştırma metodolojisini yönlendirmek için temel araştırma sorularına ihtiyaç vardır. Yöntemlerin gözden geçirilmesi sırasında daha önce yapılan çalışmalara dayanarak aşağıdaki araştırma sorularının yanıtlanması öngörülmektedir.

- S1: SDN güvenliğine ve gizliliğe duyarlı kaynak yönetimi yöntemlerine yönelik önemli yaklaşımlar nelerdir?
- S2: SDN'de güvenlik ve gizliliğe duyarlı kaynak yönetimi yöntemlerini analiz etmek ve araştırmak için değerlendirme parametreleri nelerdir?
- S3: En yaygın simülasyon ortamları nelerdir?

Yüksek itibara sahip araştırma makalelerini incelemek için kapsamlı ve ayrıntılı bir araştırma yaptık. Yaygın olarak kullanılan çevrimiçi elektronik dijital kütüphaneler aşağıdaki arama dizisi kullanılarak seçilmiş ve aranmıştır.

"Güvenlik" VE "Gizlilik" "Kaynak Yönetimi" VEYA "Hizmet Yönetimi" VE "Yazılım Tanımlı Ağlar" VEYA "SDN"

Mayıs 2023'te, 2018 ile 2023 yılları arasında makaleler için makale başlıklarına göre otomatik arama işlemi yapıldı ve dergilerde, konferanslarda ve kitaplarda 76 çalışma bulundu. Daha sonra inceleme makaleleri, çalışma raporları, notlar ve İngilizce olmayan çalışmalar, en yüksek kalitede makalelerin seçilmesi için inceleme sürecinden çıkarıldı. Son adımda, doğrudan SDN'deki güvenliğe duyarlı kaynak yönetimi yöntemlerine odaklanan inceleme için uygun çalışmaları seçmek amacıyla yazarlar, geri kalan çalışmaların tam metnini dikkatle incelediler. Sonunda 16 makale seçildi. Ayrıca Şekil 2, SDN'de güvenliğe duyarlı kaynak yönetimi yaklaşımları alanında seçilen çalışmaları kısaca detaylandırmaktadır.



Şekil 2. SDN'de güvenliğe ve gizliliğe duyarlı kaynak yönetimi yaklaşımları alanında yayınlanmış çalışmalar.

2.1. SDN

Yazılım tanımlı ağ, ağ kontrol düzleminin sevk düzleminden fiziksel olarak ayrılması ve bir kontrol düzleminin çeşitli aygıtları denetlemesini sağlar. Yazılım tanımlı ağ, günümüz uygulamalarının yüksek bant genişliği ve dinamik yapısı için ideal hale getiren, dinamik, yönetilebilir, uygun maliyetli ve

uyarlanabilir yeni bir mimaridir. Bu mimari, ağ denetiminin doğrudan programlanabilmesini ve altyapının, uygulamalar ve ağ hizmetleri için soyutlanmasını sağlayan ağ kontrol ve yönlendirme işlevlerini ayrıştırır. OpenFlow protokolü, SDN çözümleri oluşturmak için temel bir unsurdur (Sugadev et al., 2022).

2.2. Kaynak Yönetimi

Kaynak yönetimi, hem insan hem de insan dışı kaynakların etkili ve verimli bir şekilde planlanması, tahsis edilmesi ve yönetilmesine ilişkin sistematik süreci ifade eder. Optimum proje performansı için doğru kaynakların doğru zamanda mevcut olmasını sağladığından ve sonuçta projenin başarılı bir şekilde tamamlanmasına ve müşteri memnuniyetine yol açtığından hayati öneme sahiptir (Rahman et al., 2021).

3. GÜVENLİK VE GİZLİLİK DUYARLI KAYNAK YÖNETİMİ YAKLAŞIMLARININ İNCELENMESİ

Şekil 3'te gösterildiği gibi, bu çalışmada SDN tabanlı ve güvenlik ve gizliliğe duyarlı yönetimlerin kaynak yönetimini çalışmalarını iki bölüme ayırıyoruz: Operasyonel ve Altyapı. Operasyonel bölümünde incelenen yazılara göre dört alt bölüm oluşturuyoruz: Görev Planlama, Hizmet Boşaltma, Kümelenme ve Sınıflandırma. Altyapı bölümünü bir alt bölüme ayırıyoruz: SDN Denetleyicisi. Daha sonra oluşturduğumuz alt bölümlere ilgili çalışmaları ekliyoruz.

Şekil 3. Güvenlik ve gizliliğe duyarlı yönetim yaklaşımlarının sınıflandırması.

3.1. Operasyonel

Bir organizasyonun veya sistemin günlük işleyişi ve işlevselliği ile ilgili tüm faaliyetleri ifade eder. Bu terim, genellikle süreçlerin, görevlerin ve operasyonların verimli bir şekilde yürütülmesini sağlamak için yapılan çalışmaları kapsar. SDN tabanlı kaynak yönetimi bağlamında, ağın günlük yönetimi ve işleyişi ile ilgili süreçleri ifade eder (Restuccia, D'oro, & Melodia, 2018).

3.1.1 Görev Planlama

Belirli görevlerin veya işlerin belirli zamanlarda ve belirli kaynaklarla yürütülmesi için düzenlenmesi işlemidir. Bu, kaynakların verimli kullanımını sağlamak, görevlerin zamanında tamamlanmasını garanti altına almak ve sistem performansını optimize etmek için kritik bir süreçtir.

İlk çalışma olarak, (Tayyaba et al., 2020) SDN tabanlı araç ağları için iki katmanlı sanallaştırmayı temel alan akış tabanlı bir politika çerçevesi öneriyor. Bu çerçeve, araçtan araca iletişimi (V2V) güvenlikle ilgili ve güvenlikle ilgili olmayan akışlar olarak sınıflandırarak yönetir ve denetleyicinin genel ağ trafiğini yönetmesini sağlar. Makale, modern araç internet altyapısının ihtiyaçlarını karşılamak için makine öğrenimi destekli bir mimari önerir. Ayrıca, SDN Floodlight denetleyicisi kullanılarak geliştirilen bir geliştirme ortamında yapılan deneylerle önerilen çerçevenin etkinliğini değerlendirir. Bu çalışma, derin öğrenme tabanlı bir API'nin SDN'lerdeki karmaşık kaynak talebini tespit etmek için

kullanımını amaçlar. Ve (Restuccia et al., 2018) öncelikle bir taksonomi sunulup durum inceleniyor. ıot güvenlik araştırmalarındaki sanat ve somut yol haritaları oluşturulup ML ve SDN'nin uygulanmasıyla ilgili araştırma zorlukları mevcut ve yeni nesil ıot güvenlik tehditlerini ele alıyor. Tehditlerin öğrenme yoluyla tespit edildiği, tasarım gereği güvenli IoT sistemlerinin tasarımına farklı bir yaklaşıma duyulan ihtiyacı savunuluyor ve polimorfik yazılım ve donanım mimarileri aracılığıyla hafifletilir. Iot güvenlik tehtidleri bu makalenin nihai amacı değildir. Bunun yerine, işin temellerini ortaya koyan araştırma çabalarını teşvik etme amaçlanmaktadır. Yeni gelişmiş güvenliğin geliştirilmesi için önemli bir temel. Yeni nesil sistemler, algoritmalar ve metodolojiler sunuluyor.

3.1.2 Hizmet Boşaltma

Bir sistemde veya cihazda gerçekleştirilen belirli işlemlerin veya hizmetlerin, iş yükünü azaltmak ve performansı artırmak amacıyla başka bir sistem veya cihaza aktarılması işlemidir. Bu kapsamda, (Kumar et al., 2021) ilk olarak yerel Paillier Homomorfik Şifreleme ve diferansiyel gizlilik ile 5G ağlarının ötesinde gizliliği artırılmış uç zeka modeli için birleştirilmiş bir makine öğrenimi mekanizmasını tanımlamaktadır. İkinci olarak, ağın ihtiyaca göre sorunsuz ve güvenli veri iletimi yaşayabilmesi için uç ağda anormalliğe neden olan düğümleri izlemek ve sınıflandırmak üzere Yapay Bağışıklık Saldırı Tespit Sistemi tasarlanmıştır. Deneyler ve karşılaştırma sonuçları, önerilen sistemin mevcut uç güvenlik modellerine göre daha optimum ve güvenli olduğunu göstermektedir.

Ve ayrıca, (Alsulami et al., 2022) artan ağ bilgisi ile etki alanının belirli bir eşiğin üzerine düşürülmesi arasındaki dengeyi ele alıyor. Gauss süreci regresyonu (GPR) kullanarak etki alanının geleceğini tahmin etmeye odaklanıyor ve dinamik araç ağlarında denetimsiz öğrenmenin etkili olduğunu gözlemliyor. Araştırmacılar, kullanıcı ilişkilendirmesini kaynak tahsisi ile birleştiriyor ve bu yöntemlerin iletim gecikmelerini azaltmaya yardımcı olduğunu belirtiyorlar. SDV-F'ye (yazılım tanımlı araç tabanlı sis bilişimi) odaklanarak sis sunucularının işlemlerini hızlandırmak için DRL (derin pekiştirmeli öğrenme) yöntemini kullanıyorlar. Ayrıca, 5G ve 6G mobil ağların QoS (hizmet kalitesi)standartlarını karşılayabilmek için daha fazla araştırmaya ihtiyaç olduğunu vurguluyorlar. Sonuç olarak, çalışma geleneksel optimizasyon teorisi, makine öğrenimi ve DRL tabanlı kaynak yönetimi alanlarında en son teknolojik gelişmeleri inceliyor ve gelecekteki araştırmalara yeni fırsatlar sunuyor. Devamında, (Singh, Singh, Hedabou, & Kumar, 2023) makalede, Fog Computing ortamında kaynak tahsisinin önemini vurgulayarak, geleneksel yöntemlerin modern uygulamalara uygun olmadığını belirtmektedir. Makale, İşbirliğine Dayalı Makine Öğrenimi (CML) ile SDN (Yazılım Tanımlı Ağ) destekli bir kaynak tahsis tekniği önermektedir. Bu önerilen teknik, gecikme sürelerini azaltmayı, enerji tüketimini düşürmeyi ve işlem sürelerini iyileştirmeyi amaçlamaktadır. Önerilen yöntem, FogBus ve iFogSim simülasyonları üzerinde test edilmiş ve mevcut tekniklere göre daha iyi performans sergilediği görülmüştür. Sonuç olarak, makale, Fog Computing ortamında optimum kaynak tahsisi için yeni bir yaklaşım sunmaktadır ve gelecekteki araştırmalar için bir temel oluşturmayı amaçlamaktadır.

Bu kapsamda, (Uddin & Kumar, 2023) uzay iletişimi açısından uydu-IoT entegrasyonunu güvence altına almak için SDN ve birleşik öğrenmeye dayalı bir yaklaşım önermektedir. Önerilen sistem, veri ihlallerini önlemek ve kötü niyetli trafik akışlarını engellemek amacıyla SDN omurgası üzerinde çalışmaktadır. Bu omurga, trafik düzenleyici ve sanal güvenlik duvarı gibi mekanizmalarla donatılarak, kötü amaçlı trafiği doğru bir şekilde sınıflandırıp engelleyebilmekte ve IoT cihazları arasında güvenli veri aktarımını sağlamaktadır. Makale, OpenMined tabanlı birleştirilmiş öğrenme yönteminin uygulanmasını ele alarak, bu yöntemin saldırı tespitinde %79,47'lik doğruluk oranıyla umut verici sonuçlar verdiğini belirtmektedir. Gelecekteki çalışmalar, birleşik öğrenmeye dayalı yaklaşımın doğruluğunu artırmaya ve önerilen çerçevenin mahremiyetle ilgili avantajlarını göstermek için farklı mahremiyete dayalı yaklaşımları yürütmeye odaklanacaktır. Ayrıca, makale uzay kolonizasyonu ve IoT teknolojilerinin yaygınlaşması arasındaki bağlantıyı incelemekte, yapay zekâ destekli IoT'nin uzay iletişiminde ve kolonileşme çabalarında nasıl kullanılabileceğini tartışmaktadır. Uydu-IoT entegrasyonunun, uzak bölgelere erişimde ve uzay kolonilerinde iletişimde kritik bir rol oynayabileceği vurgulanmaktadır. SDN tabanlı çerçeve, veri gizliliğini korumak ve güvenliği sağlamak için birleşik öğrenme tekniklerini kullanarak uzay-IoT ağlarını güvence altına almayı amaçlamaktadır. Sonuç olarak, makale, uzay iletişimi için güvenli ve güvenilir bir ağ altyapısının kurulması gerekliliğine dikkat

çekmekte ve önerilen SDN tabanlı çerçevenin, veri gizliliğini koruma ve güvenliği sağlama açısından umut vaat eden bir yaklaşım olduğunu ortaya koymaktadır.

3.1.3 Kümelenme

Benzer veri noktalarını gruplamak için kullanılan bir veri analizi yöntemidir. K-Means, Hiyerarşik Kümelenme gibi çeşitli algoritmalar kullanılarak gerçekleştirilir. SDN tabanlı ağ yönetiminde kümelenme, ağ trafiğinin ve cihazların verimli bir şekilde yönetilmesini sağlar. Bu, performans optimizasyonu, kaynak yönetimi ve güvenlik politikalarının etkin uygulanmasını mümkün kılar.

Bu kapsamda, (Sugadev et al., 2022) tıbbi kararların zamanında verilmesi ve büyük verilerin IoT tabanlı kaynaklar kullanılarak etkin bir şekilde yönetilmesi gibi önemli araştırma sorunlarını ele alıyor. İleriye yönelik tahminlere göre, internete bağlı cihazların sayısında önemli bir artış beklenirken, IoMT platformunun sağlık sektöründe biyomedikal verilerin toplanması ve işlenmesinde kritik bir rol oynayacağı öngörülüyor. Ancak, bu sistemlerin dağınık doğası, bilgi sızıntısı riskini artırabilir ve ağ bütünlüğünü tehlikeye atabilir. ayrıca, makale ağ yönetimi, QoS, güvenlik ve gizlilik gibi endişe verici konulara da değiniliyor. Bu bağlamda, SDN özellikli güvenlik ve makine öğrenimi yaklaşımı ile IoT hizmetlerinin zamanında sunulması için bir çözüm öneriliyor. Bu yaklaşım, SDN merkezli mimari kullanarak kontrol düzlemindeki ek yükü azaltmayı ve yönlendirme verimliliğini artırmayı amaçlamaktadır. Gelecekteki çalışmalarda ise aşırı yük bağlantılarının yönlendirme kararlarında dikkate alınacağı vurgulanıyor. Sonuç olarak, IoMT'un sağlık alanında geniş hizmetler sunarken gizlilik ve güvenlik zorluklarını da beraberinde getirdiği belirtiliyor. Bu makale, IoT tabanlı sistemlerin etkin bir şekilde yönetilmesi ve güvenlik zorluklarının üstesinden gelinmesi için çeşitli öneriler sunmaktadır.

Başka bir çalışmada, (Rahman et al., 2021) optimize edilmiş enerji kullanımı ve güvenli ağ iletişimi gibi özellikleri sağlayan bir Blockchain tabanlı, yazılım tanımlı IoT çerçevesini tanıtıyor. SDN ve Blockchain teknolojilerinin birleşimi ile IoT ekosisteminde güvenli ağ iletişimi sağlanabildiği kanıtlanmıştır. Ancak, bu tür bir çerçevenin eksikliği bulunmaktadır. Bu nedenle, makalede, verimli küme başı seçimi ve güvenli ağ iletişimini sağlamak için dağıtılmış ancak verimli bir Blockchain özellikli SDN-IoT çerçevesinin katmanlı bir hiyerarşik mimarisini sunuyoruz. Ayrıca, önerilen çerçevenin performansını bir simülasyon ortamında değerlendiriyoruz ve optimize edilmiş enerji kullanımı, uçtan uca gecikme ve verim elde edebildiğini gösteriyoruz. Genel olarak, bu makale, Blockchain özellikli SDN-IoT mimarisinin güvenlik, verimlilik ve performans açısından klasik Blockchain mimarisine göre daha iyi bir performans sergilediğini öne sürüyor.

3.1.4 Sınıflandırma

Veri noktalarını belirli sınıflara veya kategorilere ayırmak için kullanılan bir veri analizi yöntemidir. KNN, SVM, Karar Ağaçları, Naive Bayes ve Yapay Sinir Ağları gibi çeşitli algoritmalar kullanılarak gerçekleştirilir. SDN tabanlı ağ yönetiminde sınıflandırma, ağ trafiğinin ve cihazların etkin bir şekilde yönetilmesini sağlar.

Bu kapsamda, (Bagaa, Taleb, Bernabe, & Skarmeta, 2020) IoT güvenliği ile ilgili genişleyen tehditlere karşı yeni bir makine öğrenimi tabanlı güvenlik çerçevesi sunar. Bu çerçeve, SDN ve NFV teknolojilerini kullanarak çeşitli tehditleri azaltmak için tasarlanmıştır. Anormallik tabanlı izinsiz giriş tespiti ve ağ desenleri analizi gibi teknikleri bir araya getirerek, çeşitli ML modellerini kullanarak IoT sistemlerinde güvenlik sağlamayı amaçlar. Deneyler, çerçevenin etkinliğini göstermektedir, özellikle de saldırı tespiti konusunda yüksek doğruluk oranları (%99,71) elde edilmiştir. Bu çerçeve, SDN, NFV ve makine öğrenimi çözümlerini birleştirerek, IoT güvenliği için kapsamlı bir yaklaşım sunar. Ve (Haseeb et al., 2021) Tıbbi Nesnelerin İnternet'ini (IoMT) kullanan akıllı şehirlerde sağlık uygulamalarının yaygınlaşmasıyla ortaya çıkan zorlukları ele almaktadır. Bu zorluklar arasında büyük verilerin verimli yönetimi, bilgi sızıntısı tehditleri ve ağ bütünlüğüne zarar verme riski bulunmaktadır. Bu makalede, SDN özellikli güvenli bir makine öğrenimi modeli sunularak bu sorunlara çözüm önerilmektedir. Önerilen model, ağ kaynaklarının tahmin edilmesi ve sensör verilerinin etkin bir şekilde dağıtılması için kullanılmaktadır. Ayrıca, SDN mimarisi ve güvenlik algoritmalarıyla birlikte kullanılarak ağ tehditlerinin üstesinden gelinmektedir. Yapılan simülasyonlar, önerilen modelin ağ verimliliğini artırdığını ve diğer yöntemlere kıyasla daha iyi performans sergilediğini göstermektedir. Bu çalışmanın

temel amacı, IoMT sistemlerinin güvenilirliğini artırmak ve sağlık verilerinin etkili bir şekilde yönetilmesini sağlamaktır.

3.2. Altyapı

Bir sistemin veya organizasyonun temel fiziksel ve teknolojik yapılarını ifade eder. SDN tabanlı ağlarda altyapı, veri düzlemi ve kontrol düzlemi olmak üzere iki ana bileşenden oluşur. Veri düzlemi, ağ cihazlarının veri iletimini sağlar, kontrol düzlemi ise ağın merkezi yönetim ve kontrol işlevlerini yerine getirir.

3.2.1 SDN Denetleyicisi

Yazılım tanımlı ağlarda merkezi yönetim ve kontrol işlevlerini yerine getiren yazılım bileşenidir. Ağın kontrol düzleminde bulunur ve veri düzlemindeki cihazları yönetir, yönlendirir ve ağ politikalarını uygular.

Bu kapsamda, (Bhayo et al., 2023) SDN-WISE IoT denetleyicisindeki DDoS saldırılarını tespit etmek için makine öğrenimi tabanlı bir yaklaşım sunuyor. Denetleyiciye entegre edilen bir algılama modülü sayesinde, DDoS saldırı trafiği oluşumu simüle edilerek, farklı makine öğrenimi algoritmaları kullanılarak saldırıların tespit edilmesi amaçlanıyor. Önerilen çerçeve, Naive Bayes, Karar Ağaçları ve Destek Vektör Makineleri gibi farklı sınıflandırıcılarla SD-IoT ağ paketlerini sınıflandırıyor. Makale, önerilen çerçevenin performansını farklı trafik simülasyon senaryoları kullanarak değerlendiriyor. Sonuçlar, önerilen çerçevenin yüksek doğruluk oranlarına ulaştığını ve SDN-WISE IoT ortamında DDoS saldırılarını etkili bir şekilde tespit ettiğini gösteriyor. Ayrıca, önerilen çerçeve, CPU kullanımı ve bellek kullanımı gibi faktörleri analiz ederek SD-IoT ağının performansını ölçüyor. Bu Araştırma, makine öğrenimi ve SDN özelliklerine dayalı dinamik bir sistem ile DDoS saldırılarının etkili bir şekilde tespit edilmesine odaklanıyor.

Ayrıca, (Perez-Diaz, Valdovinos, Choo, & Zhu, 2020) SDN ortamlarında LR-DDoS saldırılarını tespit etmek ve azaltmak için esnek bir modüler mimari sunuyor. Altı farklı makine öğrenimi modelini kullanarak IDS sistemini eğiten ve performanslarını değerlendiren bir çerçeve sunar. Bu çerçeve, LR-DDoS saldırılarını %95 oranında doğrulukla tespit edebildiği bulgusunu sunar. Ayrıca, mimariyi Mininet sanal makinesi üzerinde ONOS denetleyicisi ile dağıtarak gerçek dünya üretim ortamına benzer bir simülasyon elde edilmiştir. Bu dağıtım, IDS tarafından tanımlanan tüm saldırıların başarıyla hafifletildiğini göstermektedir. Bu çalışma, SDN ortamlarındaki LR-DDoS saldırılarının etkili bir şekilde tespit edilmesi ve azaltılması için esnek bir güvenlik mimarisi sağlar.

Ve (Yazdinejad, Rabieinejad, Dehghantanha, Parizi, & Srivastava, 2021) İnsansız Hava Araçları (İHA) veya drone'ların artan kullanımıyla ilgili olarak etkin bir yönetim çerçevesi önermektedir. Makine Öğrenimi (ML) tabanlı SDN kullanarak, her drone'un tipini ve uygulamasını tespit ederek, kimlik doğrulama ve iletişim kurallarını belirlemeyi amaçlamaktadır. Önerilen çerçeve, farklı bölgelerdeki drone'ların güvenli bir şekilde faaliyet göstermesini sağlamak için DAG tabanlı Dağıtılmış Defter Teknolojisi (DLT) kullanarak kimlik doğrulama bilgilerini saklar. Makale, önerilen çerçevenin kimlik doğrulama sürelerini azalttığını ve farklı ML algoritmaları kullanılarak yapılan drone tipi sınıflandırmasında en iyi performansı %92,81 ile Random Forest [rastgele karar ağacı (RF)] algoritmasının gösterdiğini belirtmektedir. Son olarak, gelecekteki çalışmalar için derin sinir ağlarının (deep neural network) ve yeni işlevlerin eklenmesi gibi öneriler sunulmaktadır. Kısacası, makale İHA'ların etkin bir şekilde yönetilmesi için ML tabanlı SDN çerçevesi önermektedir ve bu çerçeve drone'ların güvenli ve verimli bir şekilde çalışmasını sağlamayı amaçlamaktadır.

Ayrica, (Balasubramanian, Aloqaily, Reisslein, & Scaglione, 2021) mobil IoT ağlarının güvenlik ve kesintisiz bağlantı gibi temel yönlerini ele alır. Birleşik öğrenme mimarisi kullanarak makine öğrenimi modellerini eğitmek için FL'a dayanır. Uç bilişim alanında FL kavramlarını, özellikle önbelleğe alma gibi IoT kullanım durumlarını inceler. SDN kontrollü FL çerçevesi önerir ve bir vaka çalışması simüle ederek performansını değerlendirir. Bu çerçeve, güvenli ve kesintisiz iletişim sağlamak için mobil cihazların hesaplama ve önbellekleme kaynaklarını kullanmasını sağlar. Sonuç olarak, SDN destekli (Birleşik Öğrenme) FL çerçevesi, mobil IoT ağlarında hizmet kalitesini artırabilir ve kaynak yönetimini

iyileştirebilir. Devamında, (Mustafa Hilal et al., 2022) çalışmada, Endüstriyel Nesnelerin İnterneti (IIoT) alanında ortaya çıkan yüksek siber saldırı risklerini ele almaktadır. IoT sistemlerini güvenli hale getirmek için blockchain teknolojisinin entegrasyonuyla ilgilenmektedir. Özellikle, 6G ortamında Endüstriyel IoT için derin öğrenme ile bir Gizlilik Koruma Blockchain modeli geliştirilmiştir. Model, ağ içindeki sızıntıları tespit etmeyi amaçlamaktadır. Bunun için, Kaos Oyunu Optimizasyonu [chaos game optmization (CGO)] ile [gated recurrent neural network Çift Yönlü Geçitli Tekrarlayan Sinir Ağı (BiGRNN)] tekniği kullanılmıştır. Ayrıca, CGO algoritması, BiGRNN modelinin performansını iyileştirmek ve hiperparametreleri düzeltmek için uygulanmıştır. Ayrıca, SDN tabanlı IIoT sisteminin yanlış yönlendirme saldırılarını önlemek için Blockchain Etkin Bütünlük Kontrolü (BEIC) şeması tanıtılmıştır. PPBDL-IIoT tekniği, Endüstriyel kontrol Sistemi Siber Saldırı (ICSCA) veritabanı kullanılarak test edilmiş ve %91.50'lik bir hassasiyetle üstünlüğünü göstermiştir. Bu çalışma, 6G destekli IIoT ortamında izinsiz girişlerin tespiti için etkili bir yöntem sunmaktadır. Önerilen teknik, ağdaki izinsiz girişleri tespit etmek ve sınıflandırmak için derin öğrenme ve blockchain teknolojisinin birleşimini kullanmaktadır.

Son olarak, (Shahzadi et al., 2020) makalede, artan veri erişim talepleriyle mücadele eden ağ servis sağlayıcılarının karşılaştığı zorluklara odaklanmaktadır. Bu zorlukların üstesinden gelmek için SDN ve Ağ İşlev Sanallaştırması (NFV) gibi teknolojilerin kullanımının önemi vurgulanmaktadır. Makale, SDN ve NFV'nin birleşimini kullanarak ağ trafiğini kontrol etmek ve izlemek için bir çerçeve önermektedir. Bu çerçeve, ağ güvenliği yapılandırma hatalarını ortadan kaldırmayı ve ağ trafiğindeki anormallikleri tanımlamayı amaçlamaktadır. Bu anlamda, çeşitli makine öğrenimi teknikleriyle desteklenen SDN-NFV ortamının kararlılığı ve güvenlik yönetimi üzerine odaklanmaktadır. Makale, çeşitli makine öğrenimi algoritmalarının, yöntemlerin kullanılarak ağ trafiğindeki anormalliklerin tespit edilmesi ve sınıflandırılması üzerindeki etkinliğini inceliyor. Bunun yanı sıra, Python gibi araçların kullanımıyla yapılan simülasyonlar ve çeşitli saldırı türlerinin analizi de ele alınmaktadır. Makalenin amacı, SDN-NFV ortamında ağ hizmetlerini ve kullanıcı hizmet süresi kalitesini iyileştirmek için ağ trafiğindeki anormal durumların izlenmesi ve tanımlanması için bir çerçeve sunmaktır. Bu çerçeve, insan müdahalesini en aza indirerek veya ortadan kaldırarak operasyonel verimliliği artırmayı hedeflemektedir.

4. TARTIŞMA VE ANALİTİK KARŞILAŞTIRMA

Tablo 1'e göre ana fikir, değerlendirme parametreleri, simülasyon ortamı, avantajlar ve zayıflıklar gibi gerekli bazı teknik faktörler bu bölümde gözden geçirilmektedir. Bölüm 2'deki sorulara göre bunları aşağıdaki gibi analiz edip cevaplıyoruz:

- S1: SDN'de güvenliğe duyarlı kaynak yönetimi yöntemlerinin önemli yaklaşımları nelerdir ve her bir yaklaşımla ilgili kaç makale yayınlanmaktadır?

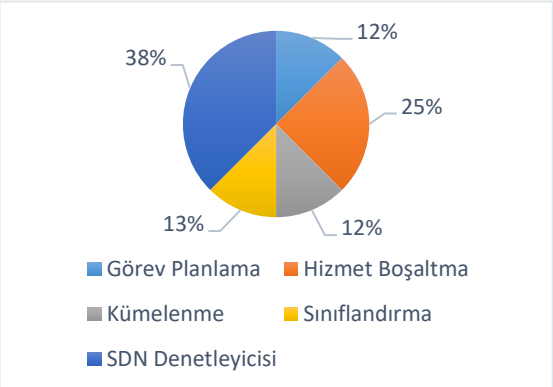
Tablo 1. Gerekli teknik faktörler

Ref.	Ana fikir	Değerlendirme parametreleri	Avantaj	Zayıflık
(Kumar et al., 2021)	5G ağlarının ötesinde gizliliği arttırılmış ve güvenli uç zekâ çözümlerinin geliştirilmesi.	Kullanım, Doğruluk, Ölçeklenebilirlik, İletişim verimliliği, Hesaplama ek yükü	Uç bilişim ve yerel yapay zekâ kullanımı, verilerin bulutta işlenmesi yerine cihazda işlenmesini sağlayarak gizlilik ve güvenlik risklerini azaltır.	Standardizasyon nedeniyle uç bilişim, son kullanıcılar arasında güven eksikliği, hesaplamada güvenlik, erişim kontrol mekanizmaları ve veri depolama gibi birçok güvenlik sorunuyla karşı karşıyadır.
(Bhayo et al., 2023)	Bir SDN-WISE IOT denetleyicisinde DDOS saldırılarını tespit etmek için makine öğrenimi tabanlı bir yaklaşım.	Kullanım Zaman Ölçeklenebilirlik CPU, bellek, kaynak kullanımı, algılama süresi.	Yazılım Tanımlı Nesnelerin İnterneti (SD-IoT), ML ile entegre olarak IoT cihazlarının karşılaştığı güvenlik sorunlarının üstesinden gelmek için çeşitli çözümler sunabilir.	IoT cihazlarının heterojen yapısından dolayı güvenlik mekanizmalarını devreye almak zordur.

(Tayyaba et al., 2020)	Makine Öğrenimi Yoluyla Radyo Erişimini İyileştirmeye Yönelik 5G Araç Ağı Kaynak Yönetimi.	Doğruluk, Gecikme, zaman, kullanım, verim	SDN ve sanallaştırma teknolojileri sayesinde kaynak tahsisi politikası ağ koşullarına ve QOS gereksinimlerine göre dinamik olarak ayarlanabilir.	SDN ve sanallaştırma teknolojilerinin uygulanması karmaşıktır ve bu nedenle yönetim ve konfigürasyon gerekebilir bu da işletme maliyetini arttırabilir.
(Alsulami et al., 2022)	5G ve 6G iletişiminde hizmet kalitesinin önemine odaklanıyor ve bu hizmet kalitesinin ağ mimarisi ve kaynak yönetimi ile yakından ilişkili olması.	Maliyet, zaman, iş gücü, depolama kapasitesi, kullanım, doğruluk, enerji kullanımı bant genişliği, gecikme.	Yeni teknolojilerin, özellikle FDRL tabanlı ve İHA destekli iletişim sistemlerinin, hizmet kalitesini optimize etme potansiyeli bulunmaktadır.	Yeni teknolojilerin, özellikle FDRL tabanlı ve İHA destekli iletişim sistemlerinin, hizmet kalitesini optimize etme potansiyeli bulunmaktadır.
(Sugadev et al., 2022)	Ağ Kaynak Tüketiminin Tahmini ve Veri Dağıtımının İyileştirilmesi İçin IoMT Sistemlerinde Büyük Veri Modeli ile Kombine Makine Öğreniminin Uygulanması.	Maliyet, Gecikme, Zaman, Verim, Bant genişliği.	Makine öğrenimi ve SDN gibi yeni teknolojiler, veri işleme ve dağıtımının güvenliğini artırabilir ve ağ yönetimini iyileştirebilir.	Dağınık veri işleme doğası, bilgi sızıntısı riskini artırabilir ve ağ bütünlüğünü tehlikeye atabilir.
(Perez-Diaz et al., 2020)	Makine öğrenimi tekniklerini kullanarak SDN ortamlarında LR-DDoS saldırı tespiti ve hafifletilmesi için yeni ve çok yönlü bir mimari sunuluyor.	Zaman, Gecikme, Doğruluk, Bant genişliği, Ölçeklenebilirlik.	IDS anormal ve normal trafik akışlarını ayırt edebilme ve gerçekleştirilen LR-DDoS saldırısının türünü belirleyebilme yeteneğine sahip olmasıdır.	Düşük oranlı hizmet reddi saldırıları, tespit edilmesi en zorlu hizmet reddi saldırı türlerinden biridir ve bu saldırılar, sunuculardaki bilgi işlem kaynaklarını tüketmek için tasarlanmıştır.
(Bagaa et al., 2020)	Nesnelerin İnternet (IoT) güvenliğine odaklanarak, bu alandaki artan tehditlere karşı çıkmak için yeni bir makine öğrenmesi tabanlı güvenlik çerçeveleri sunmaktır.	Zaman, Ölçeklenebilirlik, Doğruluk, Kullanım.	IoT güvenliği ile ilgili genişleyen tehditlere karşı yeni bir makine öğrenimi tabanlı güvenlik çerçevesi sunar. Bu çerçeve, SDN ve NFV teknolojilerini kullanarak çeşitli tehditleri azaltmak için tasarlanmıştır.	Güvenlik çerçevesi, SDN ve NFV özelliklerinden yararlanarak karmaşık bir yapay zekâ tabanlı güvenlik çözümü sunmaktadır. Bu, uygulanması ve yönetimi zor olabilir, özellikle büyük ölçekli IoT ağlarında.
(Yazdinejad et al., 2021)	İHA veya drone'ların etkili bir şekilde yönetilmesi için makine öğrenim tabanlı SDN çerçevesi.	Zaman, Ölçeklenebilirlik, Doğruluk, Maliyet, Gecikme.	Drone kimlik doğrulaması için uygulama tabanlı bir yöntem sunar, bu da kimlik doğrulama süresini en aza indirir. Bu, dronların bölgeden bölgeye geçerken zaman kazandırır.	SDN ve ML gibi gelişmiş teknolojilerin uygulanması genellikle yüksek maliyetlidir. Bu da çerçevenin geniş çapta benimsenmesini engelleyebilir.
(Singh et al., 2023)	Sis bilişim ortamında kaynak tahsisi için CML ve SDN'nin entegrasyonu.	Maliyet, Gecikme, Zaman, Doğruluk, Bant genişliği, Kullanım, Enerji tüketimi.	CML kullanımı, yerel veri kümeleri üzerinde eğitilen modelleri paylaşırken gizliliği korur. Bu, IoT cihazları ve sis düğümleri arasında güvenli veri paylaşımını sağlar.	CML kullanımı, yerel modellerin bulutla paylaşılması gerektiğinde veri güvenliği risklerini artırabilir.
(Hasseb et al., 2021)	IoMT alanında veri yönetimi, güvenlik ve ağ performansını artırmak için SDN ve makine öğrenimi tekniklerinin etkili bir şekilde kullanılması.	Doğruluk, Zaman, Ölçeklenebilirlik, Bant genişliği, Gecikme.	SDN ve makine öğrenimi kombinasyonu, ağ güvenliğini artırarak veri sızıntısı ve diğer güvenlik tehditlerine karşı koruma sağlar. Ayrıca, izinsiz giriş tespiti algoritması, ağdaki kötü niyetli saldırıları tanımlamak ve engellemek için ek bir güvenlik katmanı sağlar.	SDN ve makine öğrenimi tekniklerinin karmaşık bir kombinasyonunu içerir. Bu, uygulanması ve yönetilmesi zor olabilir ve gereksinim duyulan uzmanlık düzeyini artırabilir.
(Balasubramanian et	Mobil IoT ağlarının yönetiminde ve veri	Zaman, Gecikme, Ölçeklenebilirlik, Kabul, Bant genişliği	Yazılım tanımlı ağlar, heterojen ve dağınık mobil IoT cihazlarını kontrol etmek için önemli bir araç olarak kullanılır ve ağ	Mobil IoT ağlarının karmaşıklığı ve heterojen doğası, güvenlik tehditlerini artırabilir ve özellikle veri

al., 2021)	dağıtımında karşılaşılan sorunları ve çözümleri.		kaynaklarının verimli yönetimini sağlar.	güvenliği konusunda endişeleri beraberinde getirir.
(Mustafa Hilal et al., 2022)	Endüstriyel Nesnelerin İnterneti ortamında güvenlik açıklarını gidermek için derin öğrenme ve blockchain gibi ileri teknolojilerin entegrasyonu.	Zaman, Doğruluk, Ölçeklenebilirlik.	Derin öğrenme ve Blockchain teknolojisinin birleşimi, IIoT güvenliği için yenilikçi bir yaklaşım sunar. Bu, geleneksel güvenlik yöntemlerine kıyasla daha etkili olabilir.	Blockchain teknolojisi, doğası gereği şeffaftır, bu da veri gizliliği riski taşır.
(Restuccia et al., 2018)	ML ve SDN gibi teknolojilerin, IoT güvenliğini artırmak için nasıl kullanılabileceğini tartışarak, araştırmacılara ve endüstriye yol göstermek.	Ölçeklenebilirlik, Zaman, Bant genişliği, Doğruluk, Üretim gereksinimi, Gecikme, Maliyet.	SDN, ağ trafiğini dinamik olarak yöneterek, saldırılara karşı hızlı bir şekilde yanıt verilebilir. ML ile entegre edildiğinde, ağdaki anormallikleri tanımlayabilir ve otomatik olarak önlemler alabilir.	Iot doğası gereği kablosuz olarak kullanılıyor kablosuz ağlar çok sayıda güvenlik tehdidine karşı son derece savunmasızdır.
(Rahman et al., 2021)	Yazılım tanıma iletişimi ve Blockchain teknolojilerini bir araya getirerek, güvenli ve etkili bir IoT çerçevesi sunmak.	Zaman, Doğruluk, Kullanım, Bant genişliği, Maliyet, Gecikme.	1. Blockchain teknolojisi, iletişim güvenliğini artırır ve verilerin gizliliğini korur. 2. SDN, IoT ağlarına esneklik ve programlanabilirlik sağlar, böylece ağın dinamik ihtiyaçlara uyum sağlaması kolaylaşır.	SDN ve Blockchain teknolojilerinin birleşimi karmaşıklığı artırabilir ve uygulama geliştirme süreçlerini zorlaştırabilir.
(Uddin & Kumar, 2023)	IOT ve uzay iletişimde veri güvenlik ve gizliliği arttırmaya yönelik SDN tabanlı birleşik öğrenme yaklaşımı.	Ölçeklenebilirlik, Zaman, Gecikme, Bant Genişliği, Doğruluk, Maliyet.	Birleşik öğrenme ve SDN gibi teknolojilerin kullanılması, IoT ağlarının güvenliğini artırabilir ve veri gizliliğini koruyabilir, böylece potansiyel veri ihlallerini engeller.	SDN, birleşik öğrenme ve uydu-IoT birleşimi gibi gelişmiş teknolojilerin entegrasyonu karmaşıklığı artırabilir ve uygulama geliştirme süreçlerini zorlaştırabilir.
(Shahzadi et al., 2020)	Makine öğrenimi tekniklerini kullanarak SDN-NFV ortamında ağ güvenliği yönetimini ve hizmet kalitesini artırma.	Ölçeklenebilirlik, Zaman, Doğruluk, Kullanım, Maliyet Gecikme.	SDN-NFV ortamı, dinamik ve genellikle büyük ölçekli ağlarda kullanıldığı için, bu tür bir yaklaşımın ölçeklenebilir olması avantaj.	Yüksek kaliteli makine öğrenimi modelleri geliştirmek ve uygulamak genellikle yüksek maliyetlidir.

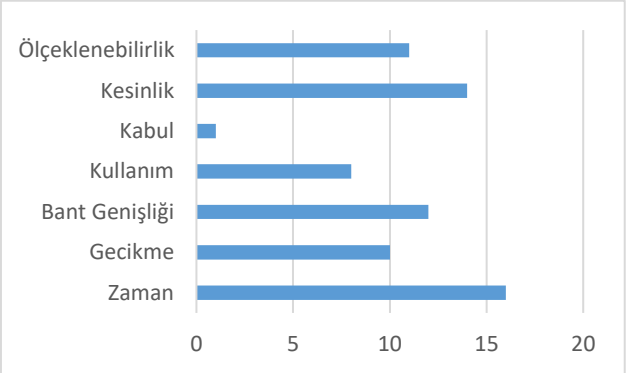
Şekil 4'e ve SDN'deki güvenlik ve gizliliğe duyarlı kaynak yönetimi yaklaşımlarıyla ilgili 16 makalenin analizine göre, güvenlik ve gizliliğe duyarlı yönetim çalışmalarını görev planlama, hizmet boşaltma, kümelenme, sınıflandırma ve SDN denetleyicisi yaklaşımları dahil olmak üzere beş kategoriye ayırdık. 16 makaleye baktığımızda en çok SDN denetleyicisinin çoğunlukta olduğunu görüyoruz.



Şekil 4. Güvenlik bilincine sahip kaynak yönetimi yaklaşımları ve her yaklaşımın yayınlanmış makaleleri

- S2: SDN'de güvenlik ve gizliliğe duyarlı kaynak yönetimi yöntemlerini analiz etmek ve araştırmak için değerlendirme parametreleri nelerdir?

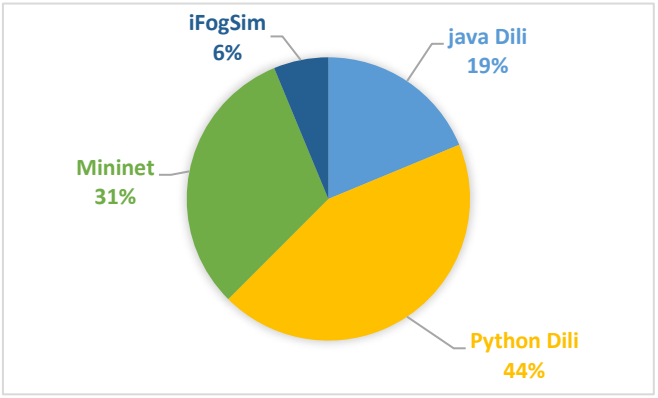
Şekil 5'te kullandığımız 16 makaleden SDN'de güvenlik ve gizliliğe duyarlı kaynak yönetimi yöntemlerini analiz etmek ve araştırmak için kullanılan değerlendirme parametrelerini görselleştirdik.



Şekil 5. Güvenlik bilincine sahip kaynak yönetimini analiz etmek için değerlendirme parametreleri

- S3: En yaygın simülasyon ortamları nelerdir?

Şekil 6'da 16 makalede kullanılan en yaygın simülasyon ortamlarını gösterdik. 16 makale içerisinde en çok kullanılan Python Dili olmuş.



Şekil 6. Güvenliğe duyarlı kaynak yönetiminde kullanılan en yaygın simülasyon ortamları

5. AÇIK SORUNLAR VE ZORLUKLAR

Bu bölüm, SDN ve IoT ortamlarındaki kaynak yönetiminin yeni yönlerine ve değerlendirme faktörlerine dayalı olarak güvenlik ve gizliliğe duyarlı metodolojilerin bir dizi açık sorununu ve ana zorluklarını sunmaktadır. Yeni optimize edilmiş meta-sezgisel algoritmalar veya makine öğrenimi yöntemleri kullanılarak aşağıdaki araştırma zorlukları değerlendirilebilir:

- IoT tarafından toplanan SDN'deki kritik bilgilerin işlenmesinin yürütme süresinin artması nedeniyle QoS faktörlerini iyileştirecek yeni bir güvenlik farkındalığına sahip mimari önerilebilir. Kritik bilgiler çalışma zamanında değerlendirilemiyorsa açık akış modelinde gizlilik koşulları kontrol edilmelidir.
- Blockchain teknolojisi SDN mimarilerinin gizliliğini ve güvenliğini koruyabilir. Veri işlemlerinin güvenliğini artırmak için akıllı cihazlar, yüksek iki aşamalı kimlik doğrulama sistemi, özel tabanlı blok zinciri ve genel geri zincir yöntemleri gibi önemli özelliklerle iş birliği yapabilir.
- SDN sistemindeki temel sorunlardan biri, çeşitli düzeylerdeki bireyler için mahremiyeti ve sınırlı erişilebilirliği destekleyen veri paylaşımı için güvenli bir yol bulmaktır. Bu nedenle makine öğrenmesi yöntemlerinin büyük verilere veri paylaşımı olmadan uygulanmasına yönelik

federe öğrenme gibi bazı stratejiler kullanılmaktadır. Birleşik öğrenme teknikleri, SDN sistemlerinin güvenlik ve gizlilik gereksinimlerini karşılayabilir, uygulanabilir ve incelenebilir.

- SDN'ye farklı stratejilerde formal yöntem teknikleri uygulanarak ana hataları önemli ölçüde azaltmak için de kullanılabilir ve IoT hizmetlerini almak için yeni açık akış yöntemleri kullanılabilir. Resmi yöntemlerde, SDN sisteminin davranışsal modelinin doğruluğunu bazı kritik kurallarla kanıtlamak için model kontrolü kullanılabilir.

6. SONUÇLAR

Bu çalışma, hızla gelişen teknolojiler ve 5G iletişiminin avantajları bağlamında, veri iletiminin güvenliği ve gizliliği ile yazılım tanımlı ağların kaynak yönetimi arasındaki kritik boşluğu ele almıştır. Özellikle, Nesnelerin İnterneti cihazları ve akıllı uygulamalar için güvenli iletişim sağlama perspektifi sunarak, kaynak yönetiminde ağ dilimleme konusunun önemine dikkat çekmiştir. Bu kapsamlı inceleme, SDN'nin IoT ortamlarındaki güvenlik ve gizliliğe duyarlı kaynak yönetiminde oynadığı rolü detaylandırmış, mevcut teknik yaklaşımları kategorize ederek çeşitli güvenlik ve gizlilik platformlarını göstermiştir. Her bir kategori temelinde, teknik sınıflandırma ve vaka çalışmaları detaylı bir şekilde ele alınmış, ana metodolojiler, avantajlar ve dezavantajlar incelenmiştir. Araştırma, SDN tabanlı güvenlik sistemlerinin ağ güvenliği ve gizliliği iyileştirme potansiyeline sahip olduğunu, aynı zamanda sistem işletim maliyetlerini azaltabileceğini göstermiştir. SDN platformunun merkezi kontrol düzlemi sayesinde, ağ operatörleri güvenlik politikalarını ve standartlarını daha etkili bir şekilde uygulayabilmektedir. Sonuç olarak, bu çalışma, SDN ve IoT iletişiminin kaynak yönetimine ilişkin mevcut zorlukları ve açık araştırma alanlarını belirlemiş, güvenlik ve gizliliğe duyarlı kaynak yönetimi yaklaşımlarını kategorize ederek önemli katkılar sağlamıştır. Gelecekteki araştırmalar, bu alandaki tekniklerin daha da geliştirilmesine ve pratik uygulamalarının iyileştirilmesine odaklanabilir. Özellikle, güvenlik ve gizlilik konularının daha da derinlemesine ele alınması ve yeni yöntemlerin geliştirilmesi, IoT ve SDN entegrasyonunun güvenli ve verimli bir şekilde gerçekleştirilmesine katkı sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

Alsulami, H., Serbaya, S. H., Abualsauod, E. H., Othman, A. M., Rizwan, A., & Jalali, A. (2022). A federated deep learning empowered resource management method to optimize 5G and 6G quality of services (QoS). *Wireless Communications and Mobile Computing*, *2022*(1), 1352985.

Bagaa, M., Taleb, T., Bernabe, J. B., & Skarmeta, A. (2020). A machine learning security framework for iot systems. *IEEE Access*, *8*, 114066-114077.

Balasubramanian, V., Aloqaily, M., Reisslein, M., & Scaglione, A. (2021). Intelligent resource management at the edge for ubiquitous IoT: An SDN-based federated learning approach. *IEEE network*, *35*(5), 114-121.

Bhayo, J., Shah, S. A., Hameed, S., Ahmed, A., Nasir, J., & Draheim, D. (2023). Towards a machine learning-based framework for DDOS attack detection in software-defined IoT (SD-IoT) networks. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, *123*, 106432.

Haseeb, K., Ahmad, I., Awan, I. I., Lloret, J., & Bosch, I. (2021). A machine learning SDN-enabled big data model for IoMT systems. *Electronics*, *10*(18), 2228.

Kumar, K. S., Nair, S. A. H., Roy, D. G., Rajalingam, B., & Kumar, R. S. (2021). Security and privacy-aware artificial intrusion detection system using federated machine learning. *Computers & Electrical Engineering*, *96*, 107440.

Mustafa Hilal, A., Alzahrani, J. S., Abunadi, I., Nemri, N., Al-Wesabi, F. N., Motwakel, A., . . . Sarwar Zamani, A. (2022). Intelligent Deep Learning Model for Privacy Preserving IIoT on 6G Environment. *Computers, Materials & Continua*, *72*(1).

Perez-Diaz, J. A., Valdovinos, I. A., Choo, K.-K. R., & Zhu, D. (2020). A flexible SDN-based architecture for identifying and mitigating low-rate DDoS attacks using machine learning. *IEEE Access*, *8*, 155859-155872.

Rahman, A., Islam, M. J., Montieri, A., Nasir, M. K., Reza, M. M., Band, S. S., . . . Mosavi, A. (2021). Smartblock-sdn: An optimized blockchain-sdn framework for resource management in iot. *IEEE Access*, *9*, 28361-28376.

Restuccia, F., D'oro, S., & Melodia, T. (2018). Securing the internet of things in the age of machine learning and software-defined networking. *IEEE Internet of Things Journal, 5*(6), 4829-4842.

Shahzadi, S., Ahmad, F., Basharat, A., Alruwaili, M., Alanazi, S., Humayun, M., . . . Naseem, S. (2020). Machine learning empowered security management and quality of service provision in SDN-NFV environment. *Computer, Materials and Continua, 66*(3), 2723-2749.

Singh, J., Singh, P., Hedabou, M., & Kumar, N. (2023). An efficient machine learning-based resource allocation scheme for sdn-enabled fog computing environment. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*.

Sugadev, M., Rayen, S. J., Harirajkumar, J., Rathi, R., Anitha, G., Ramesh, S., & Ramaswamy, K. (2022). Implementation of combined machine learning with the big data model in IoMT systems for the prediction of network resource consumption and improving the data delivery. *Computational Intelligence and Neuroscience, 2022*(1), 6510934.

Tayyaba, S. K., Khattak, H. A., Almogren, A., Shah, M. A., Din, I. U., Alkhalifa, I., & Guizani, M. (2020). 5G vehicular network resource management for improving radio access through machine learning. *IEEE Access, 8*, 6792-6800.

Uddin, R., & Kumar, S. A. (2023). Sdn-based federated learning approach for satellite-iot framework to enhance data security and privacy in space communication. *IEEE Journal of Radio Frequency Identification, 7*, 424-440.

Yazdinejad, A., Rabieinejad, E., Dehghantanha, A., Parizi, R. M., & Srivastava, G. (2021). *A machine learning-based sdn controller framework for drone management.* Paper presented at the 2021 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps).

FİNANSAL TEKNOLOJİ UYGULAMALARININ FİNANSAL PERFORMANSA ETKİSİ: OTOMATİK MUHASEBELEŞTİRME VE ERP ÇÖZÜM YAKLAŞIMI

Mühendis EBRU ÇAKMAK
Nagarro+MBIS, AR-GE Merkezi, ebru.cakmak@nagarro.com
ORCID: 0009-0006-1812-0619

Özet

Günümüzde dijital teknoloji, modern yaşamın her alanında kullanılan, bilgi ve verilerin dijital formatta işlenmesini, saklanmasını, raporlanmasını ve iletilmesini sağlayan araçlar, sistemler ve uygulamalar bütünüdür. Hızla gelişen bu teknolojiler, verimliliği artırırken, iş modellerini değiştirir ve hayatımızın her alanında yenilikler sunar. Dijital teknolojiler; iş dünyasında, özellikle finans ve muhasebe alanlarında süreç verimliliğinin ve işletmelerin dijital yetkinlik seviyesinin artması gibi kazanımlar nedeniyle önemli bir role sahiptir. Dijitalleşen dünyada finans-muhasebe işlemleri ERP gibi yazılımlarda saklanmaktadır. Kurumsal Kaynak Planlaması (ERP) yazılımları, işletmelerin tüm iş süreçlerini tek bir çatı altında toplayarak operasyonel verimliliği artırmayı amaçlayan yazılımlardır. Dünyada ve Türkiye'de yaygın olarak kullanılan ERP yazılımı olan SAP, firmaların tüm finansal işlemlerini kendi sistemlerinde gerçekleştirmelerine ve bu işlemleri raporlamalarına olanak tanır. Yazılım mühendisliğinin gelişimi ve veri analitiği araçlarının ERP sistemlerine entegre edilmesi, bu platformların daha dinamik ve işlevsel olmasını sağlamaktadır. Finans ve muhasebe alanında dijital yetkinliğe katkı sağlayacak önemli süreçlerden biri olan bankacılık uygulamaları, güvenlik, hız ve maliyet avantajı sağlamanın yanı sıra kullanıcı ve müşteri memnuniyeti konuları için de önemlilik arz etmektedir. Bankalarda gerçekleşen işlemlerin kuruluşların finans-muhasebe yönetimi yaptıkları sistemlerde takip edilmesi gerekmektedir. Banka hesap hareketlerinin doğru bir şekilde muhasebeleştirilmesi, bir şirketin finansal yönetimi için temel bir gerekliliktir. Şirketlerin finansal operasyonlarını yönetirken karşılaştığı en büyük zorluklardan biri; birden fazla banka hesabını ve bu banka hesaplarına ait işlemleri anlık olarak takip edebilmektir. Hesap hareketlerinin çok kısa sürelerde ERP'ye aktarılması ve bu hareketlerin muhasebeleştirilmesi istendiğinde süreç yönetilemez hale gelmektedir. Alışılmış yöntemlerle her bir banka hesabına internet bankacılığı üzerinden ayrı ayrı giriş yaparak hesap hareketlerini kontrol etmek ve hareketleri manuel olarak muhasebeleştirmek zaman alıcı olduğu gibi aynı zamanda insan hatasına da açık bir süreçtir. Manuel yürüyen bu süreçlerin takip zorluğu muhasebe ekibinin yoğunluğunu artırmakta ve gerçek zamanlı hesap hareketi takibi sağlamayı oldukça zorlaştırmaktadır. Mühendislik ve teknolojinin hızla gelişmesiyle birlikte dijitalleşmenin her alanda yaygınlaşması, işletmelerin finansal süreçlerini daha etkin bir şekilde yönetme ihtiyacı doğurmuştur. Bu bağlamda, SAP sistemi üzerinden hızlı ve doğru bir şekilde hesap hareketlerinin muhasebeleştirilmesini sağlayan bir SAP paket yazılımı büyük ve önemli bir ihtiyaçtır. Bu yazılımın kapsamına dair ihtiyaçların, yöntemin ve gerekliliklerin değerlendirilerek SAP sistemine özgü banka çözümünün sunulması bu çalışmanın amacını oluşturmaktadır.

Anahtar Kelimeler: ERP/SAP, Dijital Teknoloji, Mühendislik ve Teknoloji, e-Banka, Hesap Hareketleri, Otomatik Muhasebeleştirme

THE IMPACT OF FINANCIAL TECHNOLOGY APPLICATIONS ON FINANCIAL PERFORMANCE: AUTOMATIC ACCOUNTING AND ERP SOLUTION APPROACH

Abstract

Digital technology is a comprehensive set of tools that facilitate the processing, storage and transmission of information and data in digital format, used in every aspect of modern life. These rapidly developing technologies transform business models and bring innovations to every aspect of our lives. In the digitalized world, financial and accounting transactions are stored in software like ERP. Enterprise Resource Planning (ERP) software aims to increase operational efficiency by bringing together all business processes of organizations under a single platform. SAP, an ERP software widely used around the world and Türkiye, enables companies to perform all their financial transactions within their own systems and to report these transactions. The development of software engineering and the integration of data analytics tools into ERP systems make these platforms more functional. One of the important processes that contribute to digital competence in the field of finance is banking applications, which provide advantages in terms of security, speed and cost. The correct accounting of bank account transactions

is a fundamental requirement for a company's financial management. The biggest makes difficult to companies encounter when managing their financial operations is being able to track transactions related to their bank accounts in real time. When bank account transactions need to be transferred to the ERP system in very short periods and accounted for, the process becomes unmanageable. Using traditional methods to log into each bank account individually through online banking to check transactions and manually accounting for them is not only time-consuming but also prone to human error. This situation increases the workload of the accounting department and makes difficult to provide real-time account transactions tracking. The rapid advancement of engineering and technology and the widespread adoption of digitalization across all areas have created the need for businesses to manage their financial processes more quickly and efficiently. In this context, an SAP package software that allows for the fast and accurate accounting of account transactions through the SAP system is a significant need. The purpose of this study is to present a banking solution specific to the SAP system by evaluating the needs, methods, and requirements related to the scope of this software.

Keywords: ERP/SAP, Digital Technology, Engineering and Technology, e-Bank, Account Transactions, Automatic Accounting

1.GİRİŞ

Teknolojinin önemi her geçen gün artmakta ve tüm insanların, kurumların ve kuruluşların yaşamlarını etkilemektedir. Özellikle günümüz dünyasında işletmeler, finansal süreçlerini optimize etmek ve rekabet avantajı elde etmek için teknolojiyi etkin bir şekilde kullanmak zorundadır. Bu bağlamda, Finansal Teknoloji (Akbaş, 2023) kavramı, finans ve muhasebe sektöründe, özellikle bankacılık alanında köklü yenilikler getirmiştir. Finansal teknoloji uygulamaları, şirketlerin finansal performansı üzerindeki etkilerini önemli ölçüde dönüştüren stratejik bir araç olarak ön plana çıkmaktadır. Finansal teknolojiler, işletmelere daha hızlı, etkin ve şeffaf iş süreçleri sunarak operasyonel verimliliği artırmaktadır. Bu süreçte, firmaların finans ve muhasebe işlemlerini titizlikle yönetmesi kritik bir sorumluluk haline gelmiştir. Özellikle işletmelerin kurumsal kaynak planlama (ERP) sistemleri ile elektronik bankacılık sistemlerini (e-banka) entegre etmeleri ve hesap hareketlerini bu sistemler üzerinden otomatik olarak muhasebeleştirmeleri büyük avantaj sağlamaktadır. ERP sistemleri, şirketlerin operasyonel süreçlerini bir bütün olarak yönetirken, SAP gibi yaygın olarak kullanılan yazılımların bu entegrasyona katkısı dikkate değerdir. Bu teknolojiler arasında öne çıkan otomatik muhasebeleştirme ve Kurumsal Kaynak Planlaması (ERP) çözüm yaklaşımları, finansal operasyonların etkin bir şekilde yönetilmesine yönelik yenilikçi çözümler sunmaktadır (Keçek & Yıldırım, 2009). Muhasebe kayıt süreci, bir işletmenin finansal işlemlerinin düzenli ve doğru bir şekilde kaydedilmesini sağlayan temel süreçlerden biridir. Bu kayıtlar, işletmenin finansal durumunu anlamak, izlemek ve yönetmek için kritik bir araç olarak işlev görmektedir.

Otomatik muhasebeleştirme, manuel süreçleri ortadan kaldırarak muhasebe işlemlerinde zaman ve maliyet tasarrufu sağlamaktadır. Bunun yanı sıra, finansal verilerin hızlı ve doğru bir şekilde işlenmesi, yönetim kararlarını destekleyen güncel ve güvenilir bilgi akışını mümkün kılmaktadır. ERP sistemleri ise, şirket kaynaklarının entegre bir şekilde yönetilmesini sağlayarak operasyonel etkinliği artırmakta ve finansal raporlama süreçlerini kolaylaştırmaktadır. Bu çözümler, işletmelerin kısa ve uzun vadeli stratejik hedeflerine ulaşmalarında önemli bir rol oynamaktadır. Bu makalede, otomatik muhasebeleştirme ve ERP çözüm yaklaşımlarının şirketlerin finansal performansı üzerindeki etkileri ele alınacaktır. Öncelikle, bu teknolojilerin temel özellikleri ve sağladığı avantajlar tartışılacak; ardından, bu uygulamaların finansal performansa olan katkıları analiz edilecektir. Son olarak, söz konusu yeniliklerin dijital dönüşüm süreçlerine etkisi ve işletmelerin stratejik hedeflerine sağladığı katkılar değerlendirilecektir.

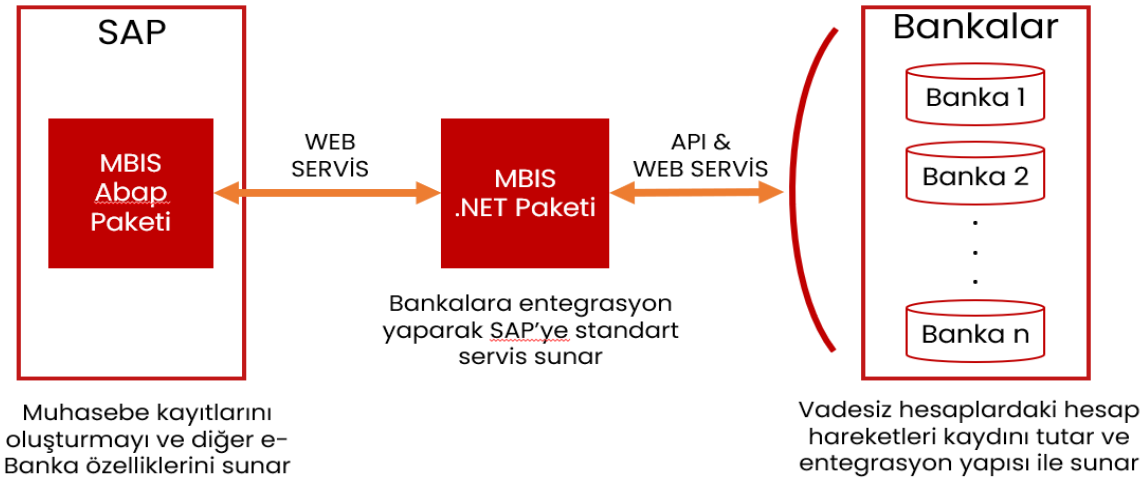
2.ÇALIŞMANIN YÖNTEMİ

SAP (SAP) sistemi içerisinde bir add-on olarak ABAP kodlama dilinde veya yeni teknolojilere uyum sağlayabilmek adına SAP Cloud tabanlı BTP (*SAP Business Technology Platform*) teknolojisinde SAP Cloud Application Programming Model (SAP Cloud Application Programming Model) kullanılarak geliştirilmekte olan bir çözümle, banka hareketleri sistem üzerinden takip edilip, muhasebeleştirilebilmektedir. Hesap hareketlerinin otomatik olarak çekilip, sisteme aktarılması ve

müşteri tahsilatları, satıcı ödemeleri, ana hesap kayıtları, Havale/EFT, arbitraj işlemlerinin otomatik muhasebeleştirilmesi çözüm için gerekliliklerdir.

2.1. Ana Fonksiyon

e-Banka ürünü, kullanıcıların SAP kokpit ekranına giriş yapmasıyla başlayıp, hesap hareketlerini görüntüleme ve hesap hareketlerini muhasebeleştirme işlemlerini otomatik olarak tek bir ekran üzerinden gerçekleştirdikleri bir süreçtir. İlk adımda, bankalar ile API & Web Servis aracılığıyla entegrasyon sağlanarak banka hesap hareketleri .NET veri tabanına ve .NET üzerinden de hesap hareketleri SAP sistemine hızlı ve eksiksiz bir şekilde aktarılır. Banka entegrasyonlarının sağlandığı .NET katmanında ara sunucu (proxy) ihtiyacı olması durumunda, esnek ve güvenli bir yapı oluşturulmuştur. Hesap hareketleri SAP sistemine aktarıldıktan sonra, kullanıcılar otomatik muhasebeleştirme süreci için hesap hareketlerine göre kural setlerini oluşturmaktadır. Kural seti oluşturulurken en yaygın kural tanımlama şekli banka ekstre açıklamasına göre kuralların belirlenmesidir. Kullanıcılar, ekstre açıklamasındaki açıklamaya göre muhasebe kaydı atarken girdikleri karşı hesap bilgisini ve belge türünü belirlemektedir. Kural setlerinin oluşturulmasının adından otomatik muhasebe kaydı job'larının kurulması ile otomatik muhasebeleştirme süreci sağlanmaktadır. Otomatik muhasebeleştirme süreci ile kuruluşlar, muhasebeleştirme işlemlerini hızlı ve kolay bir şekilde gerçekleştirirler. Böylece, kuruluşların finansal işlemlerini anında yönetmiş olmalarına ve zamanı verimli bir şekilde kullanmalarına olanak tanır. Bakiyeler, hareket sayıları, Muhasebeleşmiş/Muhasebeleşmemiş kayıt sayıları vb. işlemler sistemde otomatik olarak güncellenir ve banka raporlama kokpitine aktarılır. Banka raporlama kokpiti, firmalara anlık veri ve analiz sunarak, süreçlerin ilerleyişini takip etmelerini sağlar. Kullanıcılar, buradan banka hesap hareketlerini gözlemleyebilir, güncel bakiyelerini, banka açılış/kapanış bakiyelerini takip edebilirler ve aynı zamanda hatırlatıcı bildirimler alabilirler. Bu sistematik yaklaşım, kuruluşların üst düzey yöneticilerin, gerektiğinde raporlar aracılığıyla işlem verilerine ve istatistiklere kolayca erişebilmelerine, işletmelerin finansal durumlarının daha iyi anlaşılmasına ve bu bilgilere dayanarak stratejik kararlar almalarına yardımcı olur.

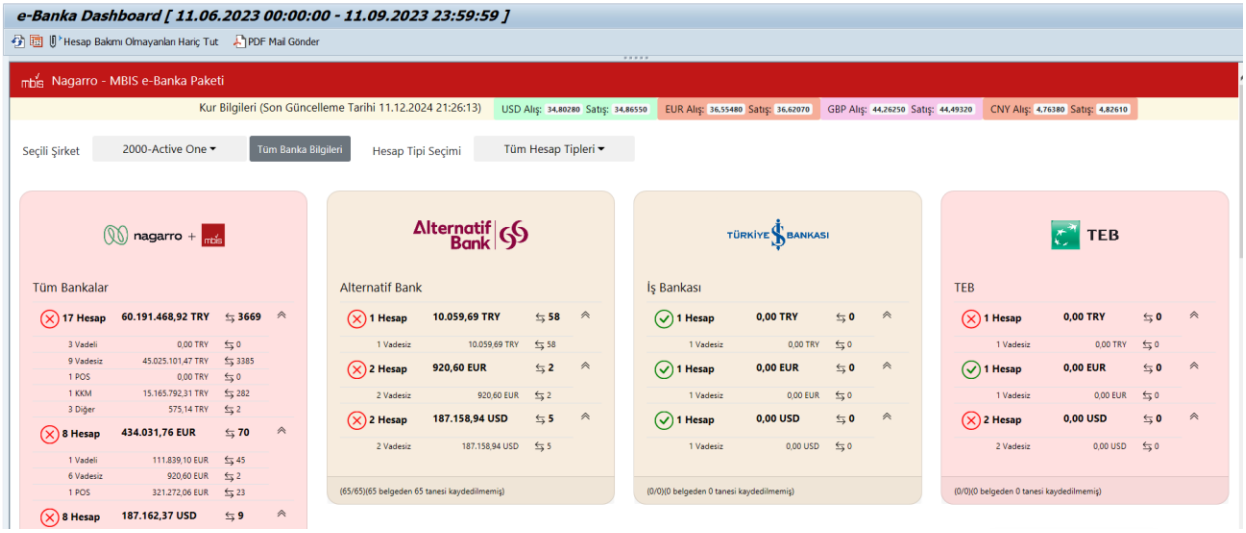


Şekil 1: e-Banka Ana Fonksiyon

2.2. Dashboard

Dashboard ekranı, entegrasyonu sağlanan her bir banka için para birimi bazında hesap sayısının, güncel bakiye bilgisinin ve işlem sayısının gösterildiği ekrandır. Bu ekran, günlük çalışmaktadır. Her bir banka ayrı bir kart şeklinde sunulmaktadır ve en başta bulunan kart ise tüm bankalardaki para birimi bazlı toplam hesap sayısını, toplam bakiyeyi ve toplam işlem sayısını göstermektedir. Aynı zamanda ekranda merkez bankasından güncel olarak çekilen kur bilgisi yer almaktadır. Kullanıcılar, ekranda yer alan hesap sayısı üzerinden hesapların detay bilgilerine erişilebilmektedir. Vadeli, vadesiz, POS, KKM vb.

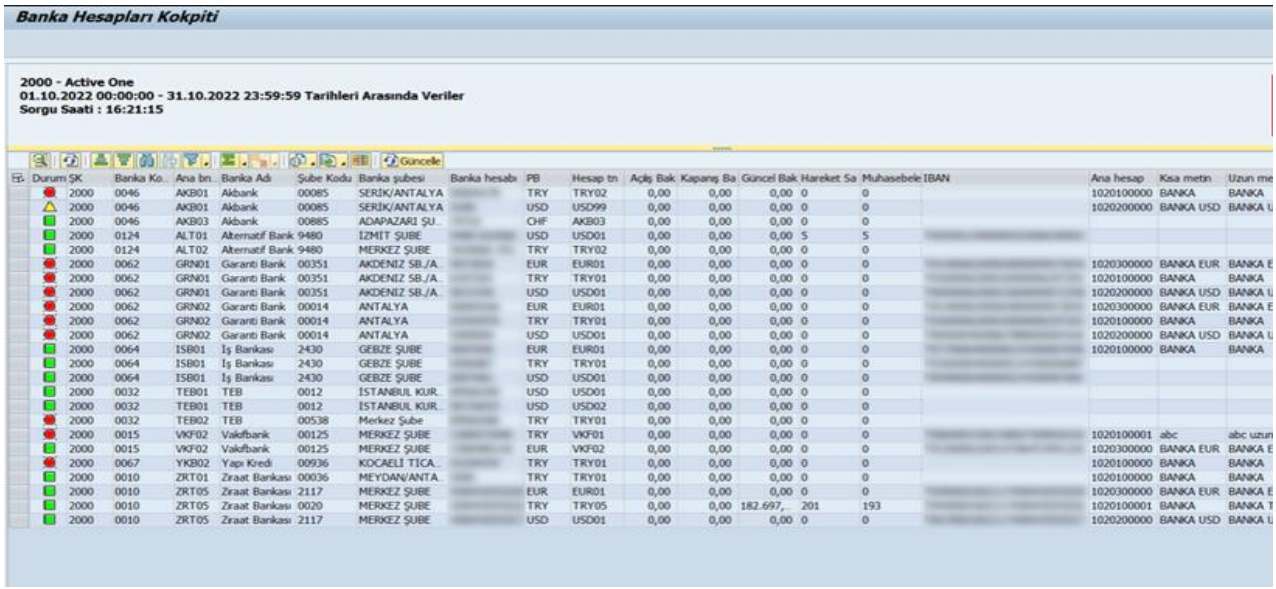
şeklinde hesap kırılımları mevcuttur. Hesap türü kırılımlarına göre ve şirket koduna göre filtreleme yapılması mümkündür. Dashboard ekranı sayesinde, kolaylıkla hesapların ve hesaplara ait güncel bakiyelerin, hareket sayılarının takibi yapılmaktadır.



Şekil 2: e-Banka Dashboard Ekranı

2.3. Hesap ve Bakiye Kontrolü

Banka hesapları kokpit ekranında, entegrasyona tabii olan bütün bankalar ve banka hesapları listelenmektedir. Bu ekranda durum, şirket kodu, ana banka, banka adı, şube kodu, banka şubesi, banka hesabı, para birimi, hesap türü, banka açılış/kapanış bakiyeleri, güncel bakiye, hareket sayısı, muhasebeleşmemiş kayıt sayısı, ana hesap ve kısa metin, uzun metin bilgilerine ulaşılmaktadır. Bankalar ile sağlanan entegrasyonun durumu 'Durum' sütununda gösterilmektedir. Başarılı bir şekilde entegrasyon sağlanmış ve hesap hareketleri başarılı bir şekilde içeri alınmış ise yeşil statüde gösterilmektedir. İlgili hesap için bankaya herhangi bir istek atılmamış ise sarı statüde gösterilmektedir. Eğer banka ile entegrasyon sağlanırken herhangi bir hata meydana gelmiş ise kırmızı statüde gösterilmektedir.

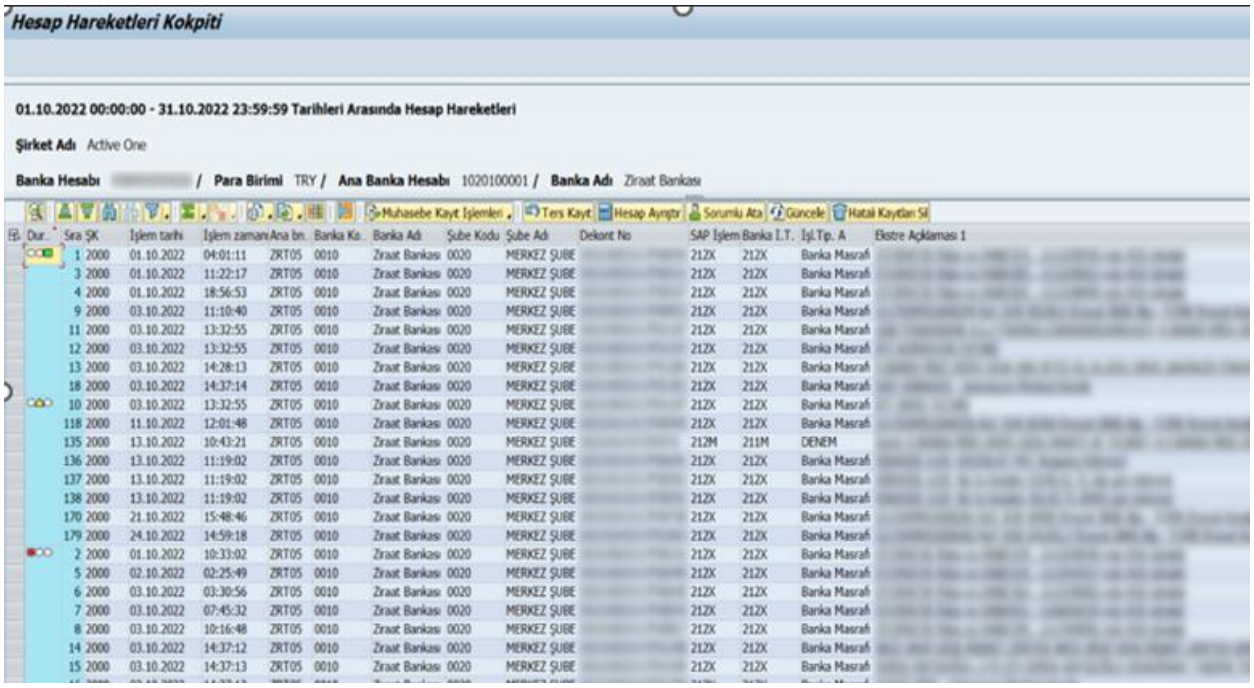


Şekil 3: Banka Hesapları Kokpit Ekranı

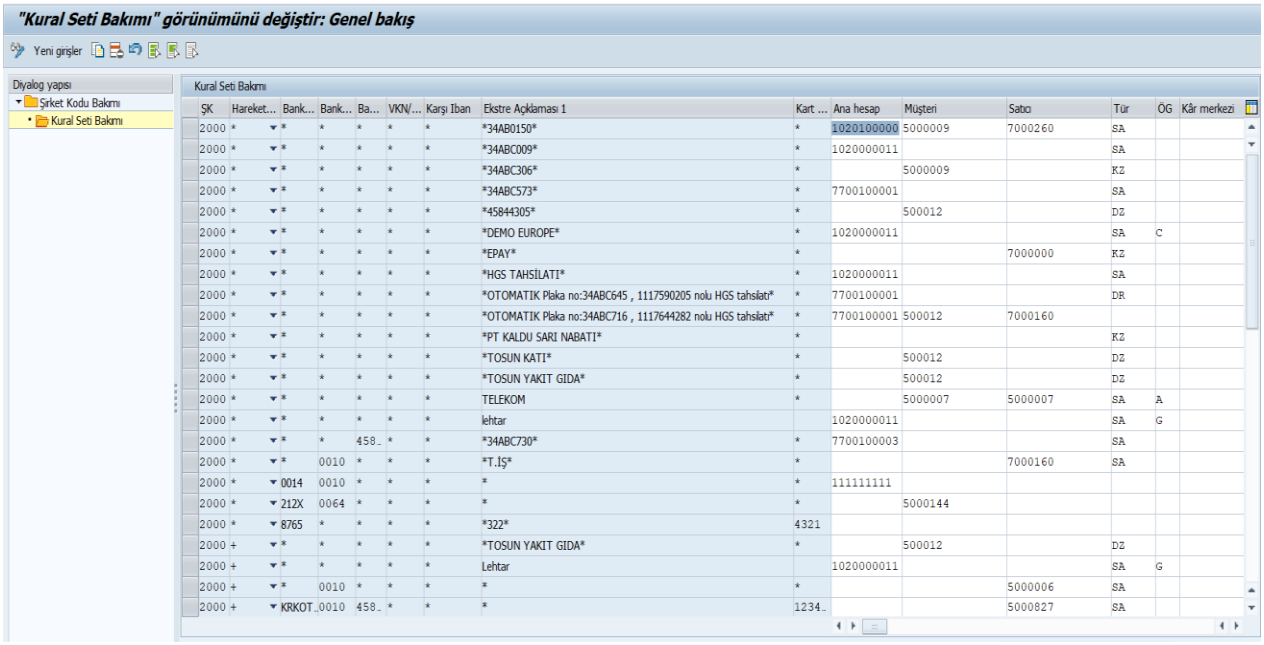
2.4. Otomatik Muhasebeleştirme Süreci

Otomatik muhasebeleştirme süreci, e-Banka sisteminin en güçlü yönlerinden biridir. Bankalar ile başarılı bir şekilde entegrasyon sağlanarak hesap hareketleri kokpit ekranında hareketler görüntülenir. Yeşil statüdeki hareketler muhasebeleşmiş kayıtları, sarı statüdeki kayıtlar muhasebeleştirmeye hazır kayıtları ve kırmızı statü ise henüz muhasebeleşmemiş ve muhasebeleştirmeye hazır olmayan kayıtları sunmaktadır. Doğru kural tanımlanmış bir hareket için statü sarı olacaktır. Aynı zamanda, hesap hareketleri ekranında ekstre açıklaması sütunu yer almaktadır. Ekstre açıklamaları verisi direkt olarak bankadan çekilmektedir.

Kullanıcılar ekstre açıklamalarında yazan ifadelere göre kendi kural setlerini oluşturmaktadır. Kural setleri oluşturulurken, bir muhasebe kaydının atılabilmesi için 'Belge Türü' ve 'Ana Hesap/Müşteri/Satıcı' alanlarından en az bir tanesinin dolu olması zorunluluğu göz önünde bulundurularak kurallar oluşturulmalıdır. Burada doldurulan bilgiler Hesap Hareketleri Kokpitinde ilgili sütunlarda dolu gelmektedir ve böylelikle hesap hareketleri job'a bağlanarak sarı statüde olan kayıtların otomatik muhasebeleştirme işlemi gerçekleşir. Muhasebe kayıt işlemlerinin otomatik gerçekleştirilmesi sayesinde, muhasebe ve finans departmanlarının iş yükü büyük ölçüde azaltılarak, insan kaynaklı hataların minimize edilmesi sağlanmıştır.



Şekil 4: Hesap Hareketleri Kokpit Ekranı

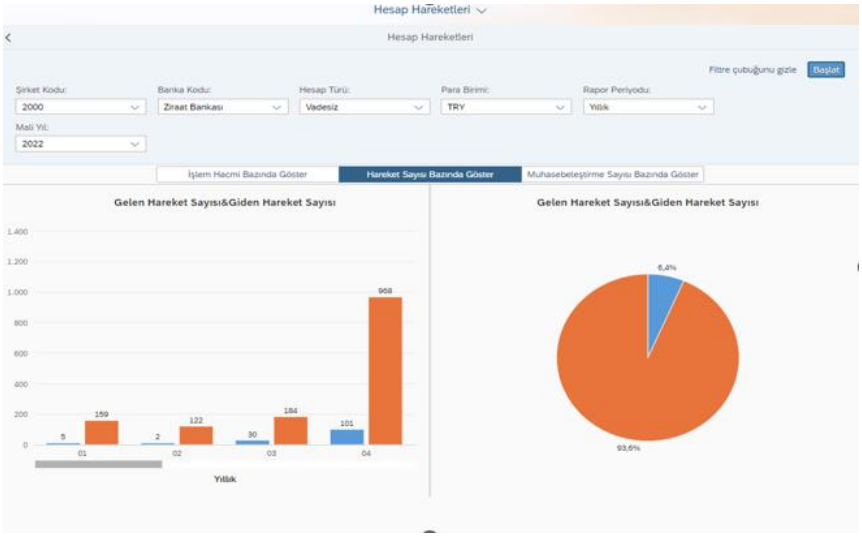


ŞK	Hareket...	Bank...	Bank...	Ba...	VKN/...	Karşı Iban	Ekstre Açıklaması 1	Kart ...	Ana hesap	Müşteri	Satıcı	Tür	ÖG	Kâr merkezi
2000	*	*	*	*	*	*	*34AB0150*	*	1020100000	5000009	7000260	SA		
2000	*	*	*	*	*	*	*34ABC009*	*	1020000011			SA		
2000	*	*	*	*	*	*	*34ABC306*	*		5000009		KZ		
2000	*	*	*	*	*	*	*34ABC573*	*	7700100001			SA		
2000	*	*	*	*	*	*	*45844305*	*		500012		DZ		
2000	*	*	*	*	*	*	*DEMO EUROPE*	*	1020000011			SA	C	
2000	*	*	*	*	*	*	*EPAY*	*			7000000	KZ		
2000	*	*	*	*	*	*	*HGS TAHSİLATI*	*	1020000011			SA		
2000	*	*	*	*	*	*	*OTOMATIK Plaka no:34ABC645 , 1117590205 nolu HGS tahsilatı*	*	7700100001			DR		
2000	*	*	*	*	*	*	*OTOMATIK Plaka no:34ABC716 , 1117644282 nolu HGS tahsilatı*	*	7700100001	500012	7000160			
2000	*	*	*	*	*	*	*PT KALDU SARI NABATI*	*				KZ		
2000	*	*	*	*	*	*	*TOSUN KATI*	*		500012		DZ		
2000	*	*	*	*	*	*	*TOSUN YAKIT GIDA*	*		500012		DZ		
2000	*	*	*	*	*	*	TELEKOM	*		5000007	5000007	SA	A	
2000	*	*	*	*	*	*	lehtar		1020000011			SA	G	
2000	*	*	*	*	458_	*	*34ABC730*	*	7700100003			SA		
2000	*	*	*	0010	*	*	*T.İŞ*	*			7000160	SA		
2000	*	*	0014	0010	*	*	*	*	111111111					
2000	*	*	212X	0064	*	*	*	*		5000144				
2000	*	*	8765	*	*	*	*322*	4321						
2000	+	*	*	*	*	*	*TOSUN YAKIT GIDA*	*		500012		DZ		
2000	+	*	*	*	*	*	Lehtar		1020000011			SA	G	
2000	+	*	*	0010	*	*	*	*			5000006	SA		
2000	+	*	KRKOT_	0010	458_	*	*	1234_			5000827	SA		

Şekil 5: Kural Seti Uyarlama Ekranı

2.5. Raporlama Süreci

e-Banka çözüm paketi, raporlama ve takip süreçlerinde de önemli avantajlar sunar. Dashboarda yansıtılan ve ayrıca zengin raporlarla sunulan veriler sayesinde, vadesiz hesaplardaki hesap hareketlerinin izlenebilirliği ve muhasebeleşme durumlarının kolayca takibi sağlanabilmektedir. Raporların sağladığı işlem verileri ve istatistiklerle yöneticilerin kolayca istedikleri bilgileri alabilmeleri sağlanabilecektir. Fiori (Fiori) kullanılarak geliştirilen rapor sayfaları ile, modern ve kullanıcı dostu bir arayüz sunarak iş süreçlerinin verimliliğini artırırken, farklı cihazlarda (masaüstü, tablet, mobil) da erişilebilir olması sayesinde kullanıcıların işlerini herhangi bir yerden yönetilmesi sağlanacaktır. Bu işlevsellik, kullanıcıların banka sürecini ayrıntılı bir şekilde izlemelerine ve yönetmelerine olanak tanır.



Şekil 7: Hesap Hareketleri Grafik Kokpiti

2.6. e-Banka Uyarlamalar

e-Banka uygulamasına ilişkin programlar yürütülmeden önce temel ayarların ve ön tanımlamaların yapılabilmesi için, ayrıca çözüm farklı firmalarda uygulamaya alındığında ilgili firmaya özel durumları yönetebilmek adına çözüm içerisinde bir konfigürasyon ekranı olması bir gerekliliktir. Bu ekran

üzerinden, kullanıcılar çeşitli ayarları yaparak banka deneyimlerini ihtiyaçlarına uygun hale getirebilirler. Örneğin, dashboard için her bir kartın rengi değiştirilebilmekte ve kullanıcı bazlı olarak dasboard'taki bankaların sıralaması değiştirilebilmektedir. Böylelikle çok fazla banka ile çalışan kuruluşlar en çok hareket gören banka bilgisini dashboard'ta en üstte görebilmektedir. Ayrıca, bilgilendirme maili gönderme ayarları da buradan yapılabilir. Kullanıcılar, entegrasyon hataları, muhasebeleşmemiş kayıt sayıları gibi konularda bilgilendirme maili gönderilmesini sağlayarak süreçlerin zamanında ilerlemesini sağlar. Sonuç olarak, uyarlamalar ekranı, e-Banka süreçlerini optimize etme ve kullanıcı deneyimini geliştirme fırsatı sunarak, tüm işlemlerin daha düzenli ve verimli bir şekilde yürütülmesine katkıda bulunur.

Şekil 8: e-Banka Konfigürasyonlar

3.SONUÇ

Bu çalışmada, finansal teknoloji uygulamalarının, otomatik muhasebeleştirme işleminin finansal performansı üzerindeki etkileri ve ERP (Kurumsal Kaynak Planlama) çözümlerinin bu süreçlere katkıları incelenmiştir. SAP R/3 (SAP R/3) ve SAP S/4HANA sistemleri üzerinde geliştirilen e-banka çözümünü ele almıştır. Çalışmanın temel hedefleri, dijital teknolojilerin işletmeler için sunduğu avantajları ortaya koymak ve sistem tasarımının nasıl gerçekleştirilebileceğini açıklamaktır. Araştırma bulguları, dijitalleşmenin doğru bir şekilde uygulanmasının işletmelere önemli ölçüde operasyonel verimlilik, maliyet tasarrufu ve finansal karar alma süreçlerinde hız kazandırdığını göstermektedir. Tüm bilgi ve ihtiyaçlar göz önünde bulundurularak ve SAP sisteminde ABAP kodlama dilinde yazılmış olan bir e-banka çözümü üzerinden örneklendirerek, e-banka uygulaması için bir ERP yazılımında olması gereken işlevler değerlendirilmiştir. SAP S/4HANA (SAP S/4HANA) gibi gelişmiş yazılım çözümleri, firmaların ana verilerini güvenli bir şekilde yönetmelerini sağlarken, üçüncü parti sistemlere bağımlılığı ortadan kaldırmaktadır. Bu hem veri güvenliğini artırmakta hem de operasyonel verimliliği geliştirmektedir. Dijital dönüşüm projelerinde SAP sistemleri, iş süreçlerini daha verimli yönetme konusunda merkezi bir rol üstlenmektedir. SAP'nin yeni nesil ürünü SAP S/4HANA (Şahbazoğlu ve Temurtaş, 2012), gerçek zamanlı analiz, hızlı veri işleme ve bulut tabanlı entegrasyon gibi özellikler sunarak işletmelerin e-banka uygulamalarından elde ettiği avantajları önemli ölçüde artırmaktadır. Bu özellikler, işletmelerin süreçlerini daha etkin ve esnek hale getirmesine olanak tanır. Bu bağlamda, ERP çözümlerinin kullanımı, veri doğruluğunu ve tutarlılığını artırarak mali işlemlerin daha etkin bir şekilde yönetilmesine olanak tanımaktadır. SAP S/4HANA gibi gelişmiş yazılım çözümleri, firmaların veri güvenliğini sağlarken, aynı zamanda süreçlerin otomatikleştirilmesi ve entegre edilmesi yoluyla operasyonel verimliliği artırmaktadır. Bu durum, firmaların mali hesaplarını daha şeffaf, izlenebilir ve

denetlenebilir hale getirir. Ayrıca, SAP'nin sunduğu çözümler sayesinde firmalar, banka süreçlerini daha etkin bir şekilde izleyip, muhasebeleştirebilir bu da işlemlerin şeffaflığını artırmaktadır. Araştırma bulguları, süreçlerin dijitalleşmesinin firmaların banka işlemlerini daha hızlı, güvenli ve verimli bir şekilde yürütmelerine olanak tanıdığını göstermektedir. Özellikle, ERP sistemleri üzerinden çalışan çözümler verilerin doğruluğunu ve tutarlılığını artırarak firmaların mali işlemlerini daha etkin bir şekilde yönetmelerine yardımcı olmaktadır. E-Banka çözümü, kullanıcıların internet bankacılığına tek tek kullanıcı adı ve şifreleriyle giriş yapıp, hesap hareketlerini tek tek manuel muhasebeleştirirken süreçlerinin yönetilememesi ve hesap hareketi takibi zorluğunu ortadan kaldırmakta ve muhasebeleştirme sürecini hızlandırmaktadır. Bu bağlamda, çalışma, ABAP programlama dili ve .NET platformları kullanılarak geliştirilen entegrasyon çözümlerinin mühendislik bakış açısını ortaya koymuştur. Sonuç olarak, bu çalışma, dijital dönüşümün banka hesap hareketlerinin takibi ve muhasebeleştirilmesi süreçlerinde sunduğu yenilikleri ve bu süreçlerin SAP sistemleri aracılığıyla nasıl optimize edilebileceğini kapsamlı bir şekilde analiz etmiştir. Araştırma, yazılım geliştiriciler ve SAP kullanıcıları için değerli bir bilgi kaynağı oluşturmakta olup, dijital dönüşüm projelerinin etkin bir şekilde uygulanmasına yönelik rehberlik sağlamaktadır.

KAYNAKÇA

Akbaş, F. (2023). Bankacılıkta Dijital Dönüşüm ve FinTech. Uluslararası Ekonomik Araştırmalar Dergisi, 9(2), 1-12.

Keçek, G., & Yıldırım, E. (2009). KURUMSAL KAYNAK PLANLAMASI (ERP) VE İŞLETME AÇISINDAN ÖNEMİ. Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi, 8(29), 240-258.

SAP. *SAP ile ilgili Genel Bilgiler*, SAP Erişim adresi, https://www.sap.com/turkey/about/what-is-sap.html

SAP Business Technology Platform . *SAP Business Technology Platform Genel Bilgiler*, Erişim adresi https://www.sap.com/turkey/products/technology-platform/what-is-sap-business-technology-platform.html#:~:text=SAP%20Business%20Technology%20Platform%20(SAP,getiren%20Ak%C4%B1ll%C4%B1%20S%C3%BCrd%C3%BCr%C3%BClebilir%20%C4%B0%C5%9Fletmenin%20temelidir

SAP Cloud Application Programming Model . *SAP Cloud Application Programming Model Genel Bilgiler*, Erişim Adresi
https://help.sap.com/docs/SAP_CAP?locale=en-US

Fiori . *SAP Fiori Tanımı*, Erişim adresi
https://sapuzman.com/sap-fiori-fiori-launchpad-sap-fiori-kullanimi-fiori-demo-ortami/

SAP R/3 . *SAP R/3 Genel Bilgiler* Erişim adresi
https://help.sap.com/doc/a7b666550852bd7de10000000a44538d/700_SFIN20%20006/en-US/141cbf53d25ab64ce10000000a174cb4.html

SAP S/4HANA . *SAP S/4HANA Genel Bilgiler*, Erişim adresi
https://help.sap.com/docs/SAP_S4HANA_ON-PREMISE?locale=en-US

Şahbazoğlu, C., & Temurtaş, F. (2012). ERP: Enterprise Resource Planning. Electronic Letters on Science and Engineering, 8(2), 1-5.

MUHASEBE BELGE YÖNETİMİ İLE ERP SİSTEMLERİNDE DİJİTAL DÖNÜŞÜM: SAP TABANLI ENTEGRE ÇÖZÜMLER

ONUR BİLEN TÜRKMEN
Nagarro+Mbis AR-Ge Merkezi
onur.turkmen@nagarro.com, ORCID: 0009-0003-9577-0795

ENİS ATA IŞIM
Nagarro+Mbis AR-Ge Merkezi
ata.isim@nagarro.com, ORCID: 0009-0003-1771-6179

Özet

Dünyada, küreselleşme ile teknolojik gelişmeler ve dijital dönüşüm, hayatımızın her alanında kendini göstermeye başlamış ve sunduğu hizmetlerle hayatlarımızı kolaylaştırmıştır. Öncelikli olarak kamusal alanda karşılık bulan e-dönüşüm, tüm dünyada devletlerin, kurumların, işletmelerin ve hatta bireylerin hem çalışma hem de yaşam tarzlarını değiştirmektedir. E-dönüşüm, işletmelerin dijital teknolojilerle uyumlu hale gelerek süreçlerini optimize ettiği, maliyetlerini düşürdüğü ve rekabet gücünü artırdığı bir dönüşüm sürecidir. Bilgilerin elektronik ortama taşınması, özellikle muhasebe sisteminde vergi beyanlarıyla elektronik belge (e-Belge) ve elektronik defterler (e-Defter) sürecini başlatmıştır. Türkiye'de, Elektronik Fatura Kayıt Sistemi (EFKS), 2008 yılında pilot uygulama olarak e-fatura için kullanılmaya başlanmış; sonrasında ise diğer e-belge uygulamaları devreye girmiştir. Gelir İdaresi Başkanlığı (GİB) tarafından yürütülen e-Fatura, e-İrsaliye, e-Arşiv ve e-Defter uygulamaları, bu sürecin temel bileşenleri olarak öne çıkmaktadır. Bu uygulamalar, dijital dönüşümün sağladığı avantajlarla muhasebe işlemlerinin daha hızlı, doğru ve güvenli bir şekilde gerçekleşmesine önemli katkı sağlamaktadır. Üretim süreçleri ve kaynak yönetiminin verimliliği açısından değerlendirildiğinde, bütünleşmiş sistem kullanımına ihtiyaç duyan büyük ve orta ölçekli firmalar, Türkiye'de yaygın olarak kullanılan SAP (Systems, Applications and Products in Data Processing) gibi büyük ERP (Enterprise Resource Planning) sistemlerini kullanmakta, e-dönüşümlerini ve tüm muhasebe kayıtlarını bu ERP sistemleri üzerinden yönetmektedirler. SAP sistemi, iş süreçlerini otomatikleştirerek belgelerin dijital olarak düzenlenmesini kolaylaştırmakta, veri doğruluğunu arttırmakta ve süreçleri hızlandırmaktadır. Ayrıca, SAP'nin kendi programlama dili ABAP ile geliştirilen yazılımlar, e-dönüşüm uygulamalarının mühendislik perspektifiyle tasarlanabilmesini sağladığı ve entegrasyonu mümkün kıldığı için bu sistemde geliştirilen e-dönüşüm yazılım uygulamalarına duyulan ihtiyaç da devam edecektir. Sonuç olarak, bu ihtiyaç doğrultusunda, e-belge (e-Fatura, e-Arşiv, e-İrsaliye) ve e-Defter yönetimini SAP sistemi üzerinden doğru ve hızlı bir şekilde sağlayan örnek bir paket yazılımın kapsamı bu çalışmada değerlendirilmiş ve buna dair ihtiyaçlar, yöntemler ve uygulamalar çalışmanın içeriğini oluşturmuştur.

Anahtar Kelimeler: Muhasebe Yönetimi, Dijital Dönüşüm, e-Dönüşüm, ERP, SAP, Teknolojik Entegrasyon

DIGITAL TRANSFORMATION IN ERP SYSTEMS WITH ACCOUNTING DOCUMENT MANAGEMENT: SAP-BASED INTEGRATED SOLUTIONS

Abstract

In the world, globalization, technological developments and digital transformation have started to manifest themselves in all areas of our lives and have made our lives easier with the services they offer. The e-transformation, which is primarily found in the public sphere, is changing both the working and lifestyles of states, institutions, businesses and even individuals all over the world. E-transformation is a process in which businesses adapt to digital technologies, optimizing their processes, reducing costs, and increasing their competitive advantage. The transfer of information to the electronic environment

has initiated the process of electronic documents (e-Document) and electronic books (e-Ledger), especially in the accounting system with tax declarations. In Turkey, the Electronic Invoice Recording System (EIRS) was introduced in 2008 as a pilot application for e-invoices, followed by other e-document applications. The e-Invoice, e-Waybill, e-Archive and e-Ledger applications carried out by the Turkish Revenue Administration (TRA) stand out as the main components of this process. These applications contribute significantly to faster, more accurate and more secure accounting transactions with the advantages provided by digital transformation. In terms of the efficiency of production processes and resource management, large and medium-sized companies use large ERP systems such as SAP (Systems, Applications, and Products in Data Processing), which are widely used in Turkey, and manage their e-transformation and all accounting records through these ERP systems. The SAP system automates business processes, facilitating the digital editing of documents, improving data accuracy and speeding up processes. In addition, since software developed with SAP's own programming language ABAP allows e-transformation applications to be designed with an engineering perspective and enables integration, the need for e-transformation software applications developed in this system will continue. As a result, in line with this need, the scope of a sample package software that provides e-document (e-Invoice, e-Archive, e- Waybill) and e-Ledger management accurately and quickly through the SAP system has been evaluated in this study and the needs, methods and applications related to this have constituted the content of the study.

Keywords: Accounting Management, Digitalization, e-Solution, ERP, SAP, Technological Integration

1. GİRİŞ

Küreselleşme, dijital dönüşüm ve bilgi teknolojilerindeki hızlı gelişmeler, işletmelerin iş süreçlerini yeniden şekillendirmektedir. Bu dönüşüm sürecinin en önemli bileşenlerinden biri olan e-dönüşüm, muhasebe belgelerinin dijitalleşmesi ve iş süreçlerinin otomasyonu ile işletmelere rekabet avantajı sunmaktadır. Elektronik fatura (e-Fatura), elektronik arşiv (e-Arşiv), elektronik irsaliye (e-İrsaliye) ve elektronik defter (e-Defter) gibi e-belge uygulamaları, Türkiye'de Gelir İdaresi Başkanlığı (GİB) tarafından yürütülen dijital dönüşüm projelerinin temel unsurlarını oluşturmaktadır. Bu belgelerin dijital ortamda düzenlenmesi, iletilmesi ve arşivlenmesi süreçlerin hızlanmasını, maliyetlerin düşmesini ve veri doğruluğunun artmasını sağlamaktadır.

Türkiye'de, dijital dönüşüm projelerinin mihenk taşı olan e-Fatura sistemi, 2008 yılında pilot uygulama olarak başlatılmış ve kısa sürede geniş bir kullanıcı kitlesine ulaşmıştır. e-Fatura, elektronik ortamda düzenlenen ve iletilen, kağıt fatura ile aynı hukuki niteliklere sahip bir belgedir. e-Arşiv ise e-Fatura'nın tamamlayıcısı olarak, fatura gönderiminde elektronik ortamı zorunlu olmayan kullanıcılarla olan işlemleri kapsar. e-İrsaliye, mal sevkiyat süreçlerinin dijitalleşmesini sağlayarak lojistik süreçlerde kolaylık ve hız sunar. e-Defter, ticari defterlerin dijital ortamda oluşturulmasını, onaylanmasını ve saklanmasını sağlayarak muhasebe süreçlerinde standartlaşmayı ve güvenliği artırır. Gelir İdaresi Başkanlığı tarafından belirlenen standartlara uygun olarak geliştirilen bu uygulamalar hem işletmelerin vergi uyumluluğunu sağlar hem de iş süreçlerini hızlandırarak maliyet avantajı yaratır. (Gib, 2023)

2024 yılı itibarıyla Türkiye'de e-Fatura mükellef sayısı bir buçuk milyona ulaşmışken, e-Arşiv, e-İrsaliye ve e-Defter kullanan mükellef sayıları da her geçen yıl artış göstermektedir. Vergisel yükümlülüklerin dijitalleşmesi, sadece büyük ölçekli işletmelerin değil, orta ve küçük ölçekli işletmelerin de (KOBİ) bu sistemlere entegrasyonunu zorunlu kılmıştır. Bu durum, işletmelerin dijitalleşme seviyelerini artırırken, aynı zamanda iş yapma biçimlerinde de köklü bir değişim yaratmıştır. (Kayıtlı Kullanıcı, 2022)

Bu çalışma, SAP üzerinde geliştirilen e-Fatura, e-Arşiv, e-İrsaliye ve e-Defter ürünlerini temel almakta ve bu kapsamda dijital dönüşümün muhasebe belge yönetimine etkisini analiz etmektedir. Çalışma, bu ürünlerin SAP sistemiyle bütünleşik yapısını, entegrasyon süreçlerini ve sistem mimarisini ele almaktadır. (Sap, 2022)

SAP'nin programlama dili olan ABAP ile geliştirilen entegrasyon çözümleri, mühendislik perspektifiyle incelenmiş ve bu çözümlerin uygulama süreçleri açıklanmıştır. e-Fatura, e-Arşiv, e-İrsaliye ve e-Defter gibi dijital belge yönetim sistemlerinin SAP kullanan müşterilere sağladığı kolaylıklar ve avantajlar bu çalışmanın ana odak noktalarından biridir. (Mükellef, 2022) Bu ürünlerin süreçleri hızlandırması, maliyetleri düşürmesi ve hata oranlarını azaltması, işletmelerin dijital dönüşüme daha hızlı uyum sağlamasına olanak tanımaktadır. Bu bağlamda, makale, akademisyenler, yazılım geliştiriciler ve SAP kullanıcıları için önemli bir başvuru kaynağı olmayı hedeflemektedir.

Günümüzde, dijital dönüşüm projelerinin başarısı büyük ölçüde ERP (Kurumsal Kaynak Planlama) sistemlerinin etkin kullanımıyla ilişkilendirilmektedir. ERP sistemleri, işletmelerin tüm süreçlerini entegre bir yapı içinde yönetmelerine olanak tanır. Bu bağlamda, dünyanın önde gelen ERP sistemlerinden biri olan SAP, dijital dönüşüm projelerinde merkezi bir rol oynamaktadır. SAP'nin yeni nesil ürünü olan SAP S/4HANA, (SAP HANA, 2023) işletmelere daha hızlı veri işleme, gerçek zamanlı analiz ve bulut tabanlı entegrasyon gibi gelişmiş yetenekler sunarak, e-Fatura, e-Arşiv, e-İrsaliye ve e-Defter süreçlerinin yönetimini kolaylaştırmaktadır. Bu çalışma, SAP R/3 (Sap, 2022) ve SAP S/4HANA'nın sunduğu olanakları, muhasebe belge yönetiminde dijital dönüşümü destekleyen yazılım çözümleri ile ilişkilendirmekte ve bu sistemlerin e-dönüşüm süreçlerindeki kritik rolünü ortaya koymaktadır.

2. ÇALIŞMANIN YÖNTEMİ

Bu çalışmanın yöntemi, SAP R/3 ve SAP S/4HANA sistemleri üzerinde geliştirilen e-Fatura, e-Arşiv, e-İrsaliye ve e-Defter çözümlerinin tasarımı, entegrasyonu ve test edilmesi süreçlerini kapsamaktadır. Bu bölümde, çalışmanın yürütülmesinde izlenen aşamalar ve kullanılan yöntemler sistematik bir şekilde açıklanmaktadır.

Çalışmanın temel bileşenleri arasında GİB Entegrasyon Yöntemleri, SAP ERP Sistemleri ile Entegrasyon, XML (Genişletilebilir Biçimleme Dili) Veri Formatı ve Kullanıcı Arayüzleri bulunmaktadır. Geliştirilen sistem, Gelir İdaresi Başkanlığı (GİB) ile Doğrudan Entegrasyon ve Özel Entegrasyon yöntemleriyle tam uyumlu çalışmaktadır. Doğrudan Entegrasyon yönteminde, belgelerin imzalama işlemi mali mühür kullanılarak yapılırken, Özel Entegrasyon yönteminde bu imzalama işlemi yetkilendirilmiş entegratör firma tarafından gerçekleştirilir. Bu kapsamda, sistem GİB'in belirlediği standartlara uygun XML (Genişletilebilir Biçimleme Dili) formatında veri üretmekte ve bu veriyi GİB'e güvenli bir şekilde iletmektedir. Bu yöntem, kullanıcıların belgeleri kolayca göndermesine ve takibini yapmasına olanak tanır. (Xml,2013)

Ana kaynak belge yönetimi, SAP R/3 ve SAP S/4HANA sistemleri ile entegre çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Bu sistemler, muhasebe belgelerinin dijitalleştirilmesi sürecinde ihtiyaç duyulan finansal verilerin doğru ve eksiksiz bir şekilde alınmasını sağlar. SAP 'den çekilen belge verileri, e-Fatura, e-Arşiv, e-İrsaliye ve e-Defter gibi dijital belgelerin oluşturulmasında kullanılır. e-Fatura, e-Arşiv, e-İrsaliye ve e-Defter için kullanılan belgeler, GİB'in belirlediği şemalara uygun şekilde XML (Genişletilebilir Biçimleme Dili) veri formatına dönüştürülmektedir. Bu dönüştürme süreci, veri bütünlüğünü korurken yasal uyumluluğu da sağlar. Kullanıcıların işlemlerini kolayca gerçekleştirmeleri için tasarlanmış kullanıcı dostu ekranlar ve arayüzler, bu çalışmanın temel unsurları arasında yer alır. Kullanıcılar bu ekranlar üzerinden e-Fatura, e-Arşiv, e-İrsaliye gönderme ve e-Defter işlemlerini izleyebilir, takip edebilir ve belge detaylarını görüntüleyebilir.

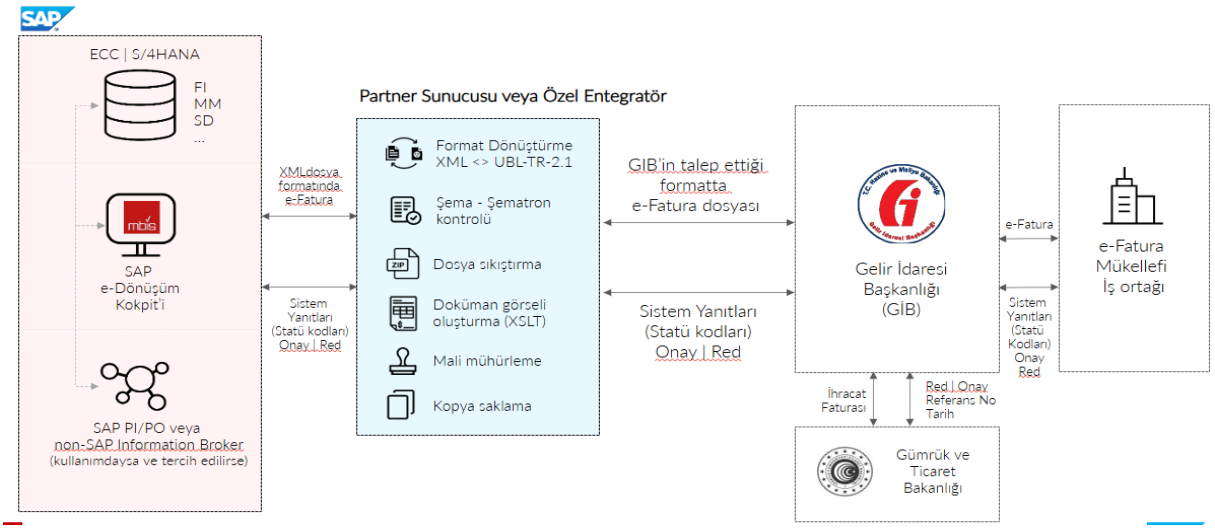
Çalışmada izlenen yöntemler gereksinim analizi ve tasarım, geliştirme süreci ve test süreçlerini kapsamaktadır. Çalışmanın ilk aşamasında, Gelir İdaresi Başkanlığı (GİB) tarafından belirlenen yasal düzenlemeler ve teknik gereklilikler göz önünde bulundurularak, e-Fatura, e-Arşiv, e-İrsaliye ve e-Defter çözümleri için bir gereksinim analizi yapılmıştır. Bu süreçte, SAP müşterilerinin ihtiyaçları ve kullanıcı deneyimi de dikkate alınmıştır. GİB tarafından yayınlanan teknik kılavuzlar ve XML (Genişletilebilir Biçimleme Dili) şemaları incelenmiş, bu kılavuzlar, belgelerin hangi formatta ve hangi içerikte hazırlanması gerektiği konusunda yol gösterici olmuştur. Doğrudan Entegrasyon ve Özel

Entegrasyon yöntemlerine uygun bir sistem mimarisi oluşturulmuş ve veri akışı, SAP sisteminden belge verilerinin alınmasını, XML (Genişletilebilir Biçimleme Dili) formatına dönüştürülmesini ve GİB'e gönderilmesini sağlayacak şekilde tasarlanmıştır.

SAP R/3 ve SAP S/4HANA üzerinde e-Fatura, e-Arşiv, e-İrsaliye ve e-Defter çözümleri için yazılım geliştirme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu süreçte ABAP kod geliştirme, .Net geliştirme, veri dönüşümü ve XML (Genişletilebilir Biçimleme Dili) üretimi ile test ve doğrulama çalışmaları yürütülmüştür. SAP'nin yerel programlama dili olan ABAP ile entegrasyon için özel fonksiyon modülleri, raporlar ve veri dönüşüm araçları geliştirilmiştir. Bu modüller, SAP ERP sisteminden veri çekmeyi, bu verileri dönüştürmeyi ve belge formatına uygun hale getirmeyi sağlamıştır. Doğrudan Entegrasyon yönteminde, GİB'e veri iletimini sağlamak ve gerekli dönüşüm süreçlerini yürütmek için .Net yazılım dili kullanılmıştır. Bu sayede, verilerin güvenli bir şekilde imzalanması ve GİB'e iletilmesi sağlanmıştır. SAP ERP'den alınan finansal veriler, GİB'in belirlediği XML (Genişletilebilir Biçimleme Dili) şemalarına uygun şekilde dönüştürülmüş ve veri, GİB'e gönderilmeye hazır hale getirilmiştir. Geliştirilen çözümlerin GİB tarafından belirlenen standartlara uygunluğu test edilmiştir. Bu süreçte, hatalı belge üretimini önlemek amacıyla test ortamlarında yoğun bir test süreci gerçekleştirilmiştir. Her bir e-Fatura, e-Arşiv, e-İrsaliye ve e-Defter belgesinin, GİB sistemine uygunluğu kontrol edilmiştir. (Ebelge, 2023), (Edefter, 2023)

Sonuç olarak, bu çalışma yöntemi, SAP R/3 ve SAP S/4HANA sistemleri üzerinde entegre edilen e-Fatura, e-Arşiv, e-İrsaliye ve e-Defter çözümlerinin, GİB ile uyumlu şekilde çalışmasını sağlamaktadır. Tasarlanan çözümler, kullanıcıların SAP sistemlerinden belge verilerini kolayca çekmelerini, bu verileri yasal gerekliliklere uygun şekilde dönüştürmelerini ve belgeyi güvenli bir şekilde GİB'e iletmelerini mümkün kılmaktadır. Bu yöntem, dijital dönüşüm sürecinde muhasebe işlemlerinin hızlandırılması, doğruluk oranının artırılması ve süreçlerin otomatikleştirilmesi açısından önemli avantajlar sunmaktadır.

2.1. Dijital Dönüşüm Mimarisi

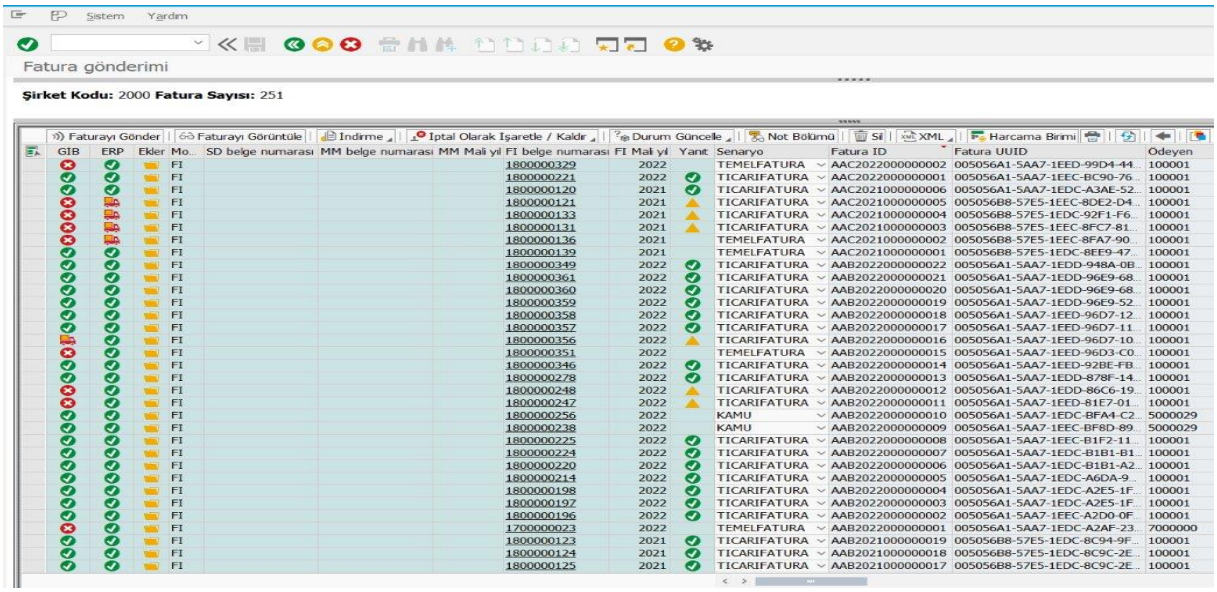


Şekil 1: Dijital Dönüşüm Mimarisi

2.2. e-Fatura & e-Arşiv Fatura Gönderim Ekranı

SAP sistemi üzerinde yer alan Fatura Gönderimi ekranı, şirketlerin fatura süreçlerini elektronik ortamda yönetmelerine olanak sağlar. Bu ekran, kullanıcıların fatura görüntülemesine ve indirmesine, gönderim işlemlerini takip etmesine, fatura detay bilgilere erişmesine, durum güncellemelerini takip ve gerektiğinde müdahale etmesine yardımcı olur. Fatura gönderim ekranı aynı zamanda şirketlerin e-Fatura ve e-Arşiv süreçlerini izleyebilmesi için bir raporlama aracı olarak da kullanılabilir. Hataların

minimize edilmesi, süreçlerin hızlandırılması ve raporlama fonksiyonlarının kullanılması sayesinde operasyonel verimlilik artar.



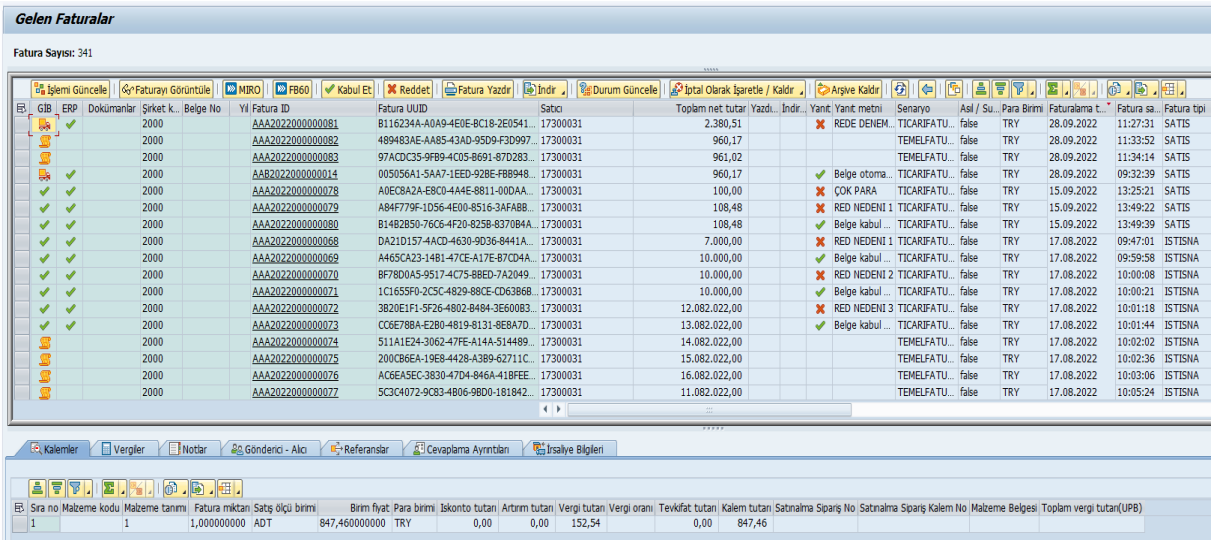
Şekil 2: Fatura Gönderim Ekranı

2.3. Gelen e-Faturalar Takip Ekranı

SAP sistemi üzerindeki Gelen e-Faturalar ekranı, şirketlerin diğer firmalardan aldıkları e-fatura süreçlerini takip etmelerine ve yönetmelerine olanak tanır. Bu ekran, kullanıcıların fatura durumlarını kontrol etmelerine ve detayları incelemelerine yardımcı olur.

Ekranda çeşitli işlemler yapmak mümkündür. İşlem güncelle butonu faturaların durum bilgilerini yenilerken, fatura görüntüle seçeneği faturanın HTML formatında görüntüsünü sağlamaktadır. MIRO ve FB60 gibi işlemler faturaların SAP 'ye kaydını başlatır. "KABUL ET" veya "REDDET" seçenekleri ile e-Faturalara cevap verilebilmektedir.

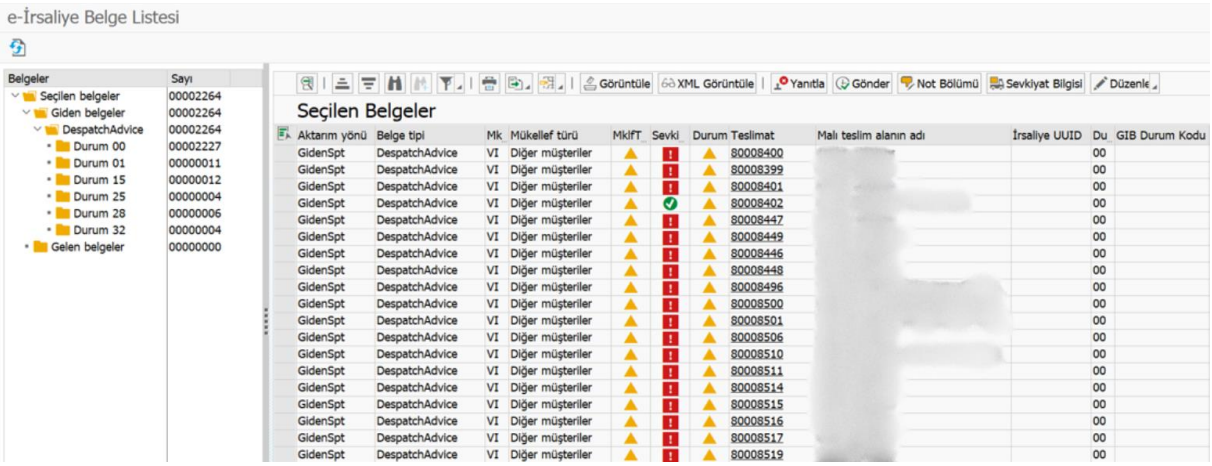
Ekranın alt kısmında seçili faturaya ilişkin detaylı bilgiler yer alır. Bu bilgiler hizmete veya ürüne ait detaylar, vergiler, gönderen ve alıcı taraf bilgileri, irsaliye bilgileri gibi alt sekmelerde gruplanmıştır. Bu alanlar, faturaların içeriğini detaylı inceleme ve doğrulama imkânı sunar. Ayrıca, faturaların türü ve senaryosu ekran üzerinden görüntülenebilir.



Şekil 3: Gelen e-Faturalar Takip Ekranı

2.4. e-İrsaliye Takip Ekranı

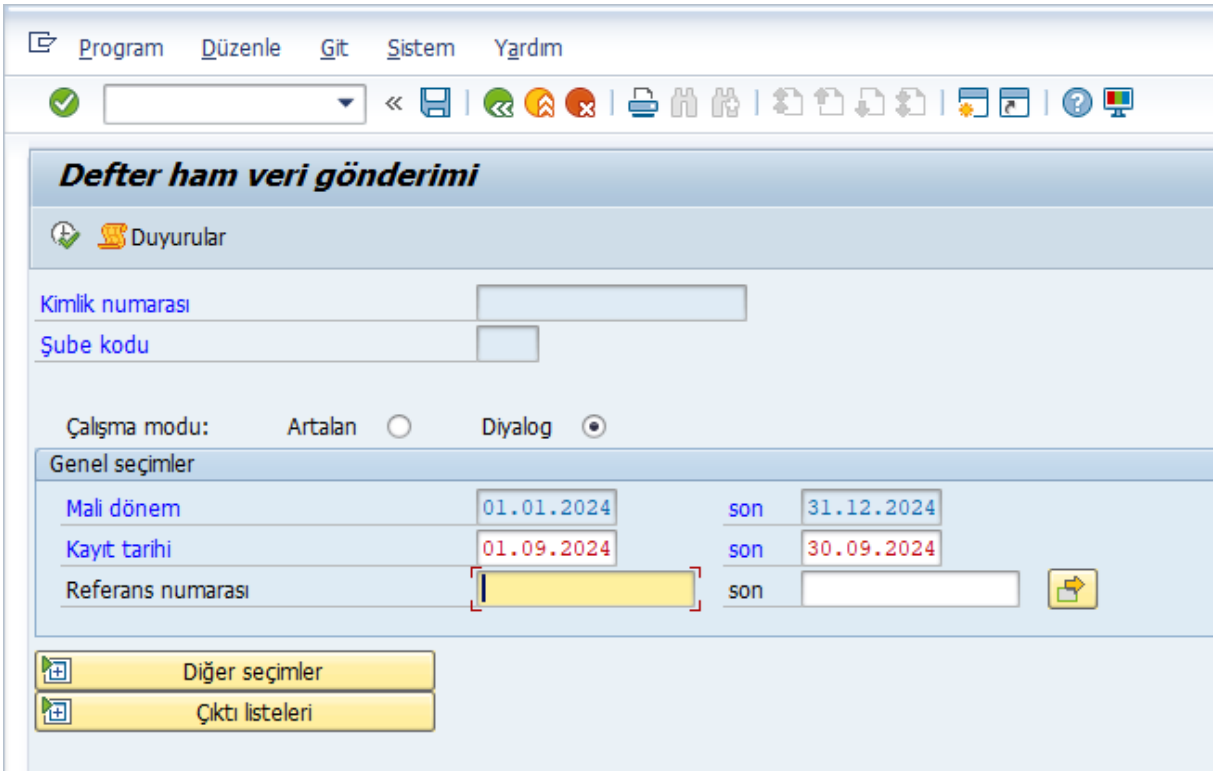
SAP sistemi üzerinde yer alan e-İrsaliye Takip Ekranı, e-İrsaliyeye konu olabilecek kaynak belgelere istinaden gönderim işlemlerinin gerçekleştirilebilmesine, gelen e-İrsaliyelerin takibine ve yanıt verilebilmesine olanak sağlar. E-İrsaliye de zorunlu bilgiler arasında yer alan nakliyeci veya şoför ve plaka bilgilerinin girilebilmesine imkân tanıyan işlev ekran üzerinde mevcuttur. Bununla birlikte e-İrsaliye üzerinden çıkması istenen ek açıklamalar için de Not bölümü kullanılabilmektedir. E-İrsaliyeye ait görüntü elde edilmesi, PDF formatında indirilebilmesi ve yazdırılması mümkündür.



Şekil 4: e-İrsaliye Takip Ekranı

2.5. e-Defter Gönderim Ekranı

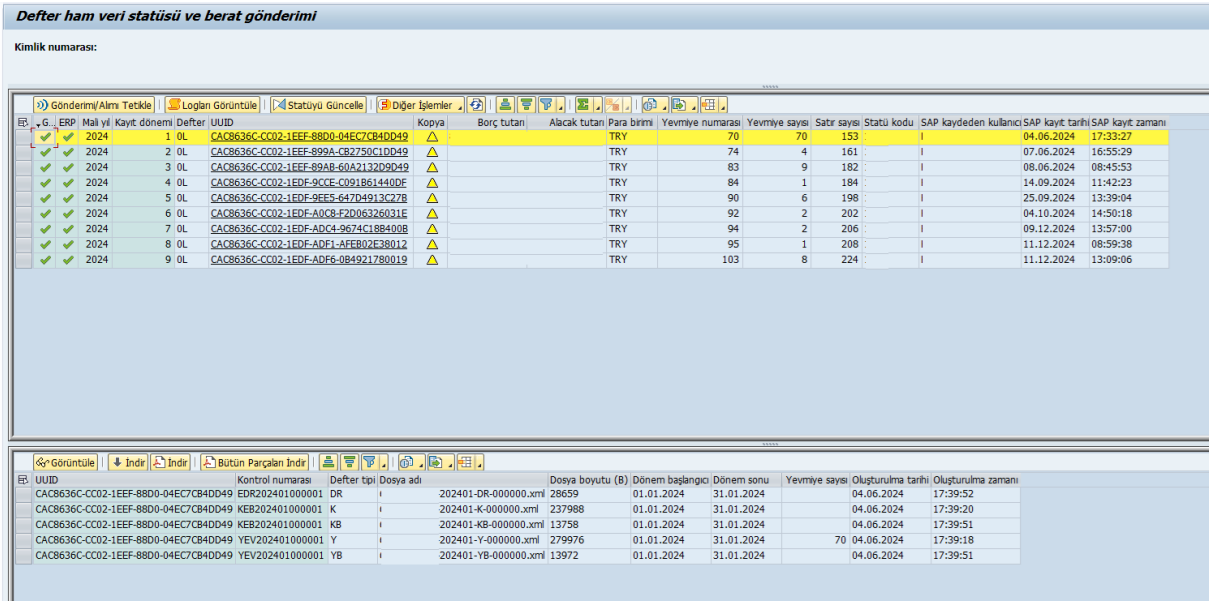
Bu ekran, SAP üzerinden e-Defter hazırlama ve gönderme işlemlerinin tüm süreçlerini yönetmek için kapsamlı bir araçtır. E-Defteri gönderilecek şirkete ait vergi kimlik numarası seçimi yapılarak ilgili şirkete ait SAP 'de oluşan kayıtların ilgili dönem itibariyle oluşturulmasını ve ekranda kullanıcıya tüm detaylarıyla sunmasına olanak sağlamaktadır. E-Defter bakiyesi ve mizan kontrollerinden sonra ekran üzerinden e-Defter gönderim süreci başlatılabilmektedir.



Şekil 5: e-Defter Gönderim Ekranı

2.6. e-Defter Takip ve Raporlama Ekranı

Bu ekran, gönderim süreci başlamış e-Defterlerin takibini, ilgili döneme ait borç-alacak bakiye tutarını, oluşan e-deftere ait parçaların görüntülenmesini-XML veya PDF formatında indirilmesine olanak sağlamaktadır. E-Defter süreçlerinde izlenebilirlik, vergi uyumluluğu açısından kritik öneme sahiptir. Bu tür bir ekran, şirketlerin her bir e-Defter kaydını detaylı şekilde incelemesine olanak tanır.



Şekil 5: e-Defter Takip ve Raporlama Ekranı

3. SONUÇ

Bu çalışma, dijital dönüşümün muhasebe belge yönetimi üzerindeki etkilerini inceleyerek, SAP R/3 ve SAP S/4HANA sistemleri üzerinde geliştirilen e-Fatura, e-Arşiv, e-İrsaliye ve e-Defter çözümlerini ele

almıştır. Çalışmanın temel hedefleri, bu çözümlerin entegrasyon süreçlerini anlamak, dijitalleşmenin işletmeler için sunduğu avantajları ortaya koymak ve Gelir İdaresi Başkanlığı (GİB) standartlarına uygun sistem tasarımının nasıl gerçekleştirilebileceğini açıklamaktır.

Araştırmanın bulguları, dijital belge yönetim sistemlerinin işletmelere sağladığı en önemli faydaların süreçlerin hızlanması, maliyetlerin düşmesi ve veri doğruluğunun artması olduğunu göstermektedir. Özellikle, SAP ERP sistemlerinin güçlü entegrasyon yetenekleri sayesinde, muhasebe belgelerinin dijitalleştirilmesi ve yasal düzenlemelere uygun bir şekilde yönetilmesi mümkün hale gelmiştir. e-Fatura, e-Arşiv, e-İrsaliye ve e-Defter çözümleri, kullanıcıların belge düzenleme, iletme ve saklama süreçlerinde karşılaştıkları zorlukları en aza indirmekte ve dijital dönüşüm sürecini hızlandırmaktadır.

Bu bağlamda, çalışma, ABAP programlama dili ve .Net platformları kullanılarak geliştirilen entegrasyon çözümlerinin mühendislik perspektifini ortaya koymuştur. Özellikle, GİB tarafından belirlenen XML (Genişletilebilir Biçimleme Dili) şemalarına uygun veri üretimi ve bu verinin güvenli bir şekilde iletilmesi süreçlerinde geliştirilen yazılım çözümleri, entegrasyonun başarısında kritik bir rol oynamaktadır. Gerçekleştirilen yoğun test süreçleri, sistemin hatasız bir şekilde çalışmasını sağlamış ve GİB standartlarına uygunluğu garanti altına almıştır.

Araştırma, dijital dönüşüm projelerinde SAP sistemlerinin merkezi bir role sahip olduğunu ve bu sistemlerin iş süreçlerini daha etkin bir şekilde yönetme potansiyelini artırdığını vurgulamaktadır. SAP'nin yeni nesil ürünü SAP S/4HANA'nın sunduğu gerçek zamanlı analiz, hızlı veri işleme ve bulut tabanlı entegrasyon gibi özellikler, e-belge uygulamalarının işletmelere sunduğu avantajları daha da artırmaktadır.

Ancak, çalışmanın bazı sınırlamaları bulunmaktadır. Öncelikle, araştırma sadece SAP sistemleri üzerinde geliştirilen çözümlerle sınırlıdır ve farklı ERP sistemleri üzerinde yapılacak çalışmalar, sonuçların genellenebilirliğini artırabilir. Ayrıca, dijital dönüşüm süreçlerinde kullanıcı deneyimlerinin daha derinlemesine incelendiği araştırmalar, bu alandaki eksiklikleri tamamlayabilir. Gelecekte yapılacak çalışmalar, farklı sektörlerde e-belge uygulamalarının etkilerini inceleyerek daha kapsamlı bir değerlendirme sunabilir.

Sonuç olarak, bu çalışma, dijital dönüşümün muhasebe belge yönetiminde sunduğu yenilikleri ve bu süreçlerin SAP sistemleri ile nasıl optimize edilebileceğini detaylı bir şekilde ele almıştır. Çalışma, yazılım geliştiriciler ve SAP kullanıcıları için önemli bir bilgi kaynağı sunmakta ve dijital dönüşüm projelerinin başarılı bir şekilde yürütülmesi için rehberlik etmektedir.

KAYNAKÇA

Ebelge. (2023). Gelir İdaresi Başkanlığı E-Dönüşüm. Https://Ebelge.Gib.Gov.Tr/

Edefter. (2023). Gelir İdaresi Başkanlığı E-Defter. Https://Www.Edefter.Gov.Tr/Anasayfa.Html

Kayıtlı Kullanıcı. (2022). Türkiye'de E-Fatura Uygulamasının Mükellefler Açısından Değerlendirilmesi Muvu 2022-1

Mükellef. (2022). Türkiye'de E-Fatura Uygulamasının Mükellefler Açısından Değerlendirilmesi Https://Dergipark.Org.Tr/Tr/Pub/Muvu/İssue/66040/833908

Sap (2022). What İs Sap? Https://Www.Sap.Com/Turkey/About/What-İs-Sap.Html

Sap Hana (2023). Sap S/4hana Genel Bilgiler, Erişim Adresi Https://Help.Sap.Com/Docs/Sap_S4hana_On-Premıse?Locale=En-Us

Xml. (2013). Finansal Bilgilerin Elektronik Ortamda Paylaşımı ve E-Defter Uygulamaları Https://Dergipark.Org.Tr/Tr/Pub/Kilisiibfakademik/İssue/19256/204540

YAZILIM TANIMLI AĞLARDA SİBER SALDIRI TESPİT YAKLAŞIMLARININ MAKİNE ÖĞRENİMİ YÖNTEMLERİNİ KULLANARAK KAPSAMLI BİR ANALİZİ

Öğr.Gör. MONIRE NOROUZI
Haliç Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Bilgisayar Teknolojisi Programı, İstanbul, Türkiye
monirenorouzi@halic.edu.tr, ORCID: 0000-0002-0630-7762

EFE ÖZ
Haliç Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Bilgisayar Teknolojisi Programı, İstanbul, Türkiye
efeoz2003@outlook.com

Özet
Yazılım Tanımlı Ağlarda (SDN) siber saldırı tespit yaklaşımlarının çeşitli açılardan önemi nedeniyle, bu çalışma, Nesnelerin İnterneti (IoT) ortamlarında makine öğrenimi yöntemlerini kullanan SDN için mevcut teknik sınıflandırma ve siber saldırıların derinlemesine ayrıntılı kategorizasyonu ve SDN için siber saldırı ve DDoS tespit yaklaşımlarının yeni kapsamlı bir incelemesini sunmaktadır. Her kategori bazında IoT ortamındaki çeşitli siber saldırı tespit yaklaşımlarını gösterecek teknik bir sınıflandırma sunuyoruz. Tartışılan en son teknolojiye uygun kapsamlı teknik incelemeye uygun olarak, her bir vaka çalışmasının bazı önemli değerlendirme faktörleri, ana metodolojileri, avantajları ve dezavantajları ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Sonuç olarak, gelecekteki bilimsel araştırma çabaları için bazı önemli yeni araştırma yönlendirmeleri ve açık zorluklar sunuyoruz.

Anahtar Kelimeler: IoT, SDN, Siber Saldırılar, Makine Öğrenimi

A COMPREHENSİVE ANALYSİS OF CYBER ATTACK DETECTİON APPROACHES İN SOFTWARE DEFİNED NETWORKS USİNG MACHİNE LEARNİNG METHODS

Abstract
Due to the importance of cyber attack detection approaches in Software Defined Networks (SDN) in several aspects, this study presents a new comprehensive review of existing technical classification and deep-detailed categorization of cyber attack and cyber attack and DDoS detection approaches for SDN using machine learning methods in Internet of Things (IoT) environments. On the basis of each category, we present a technical taxonomy to show various cyber attack detection approaches in the IoT environment. In accordance with the state-of-the-art discussed comprehensive technical review, some important evaluation factors, main methodologies, advantages, and disadvantages of each case study are elaborated. In conclusion, we present some important new research directions and open challenges for future scientific research efforts.

Keywords: IoT, SDN, Cyber Attacks, Machine Learning

1. GİRİŞ

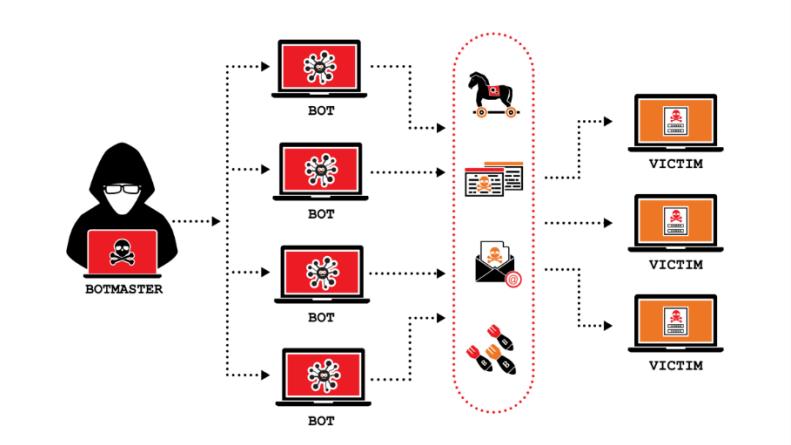
Günümüzde, ağ güvenliği giderek daha önemli hale gelmekte ve Yazılım Tanımlı Ağlarda (SDN) esneklik ve yönetim kolaylığı sunarak bu alanda öne çıkmaktadır. Ancak, SDN ağlarının genişlemesiyle birlikte DDoS saldırıları gibi tehditler de artış göstermiştir. Bu makale, SDN tabanlı ağlarda DDoS saldırılarını tespit ve hafifletmek amacıyla makine öğrenimi ve derin öğrenme algoritmalarını kullanarak etkili stratejiler geliştirmeyi hedeflemektedir. Çalışmamızda, çeşitli makalelerden elde edilen bilgiler ışığında, farklı makine öğrenimi algoritmalarının SDN ortamındaki DDoS saldırılarını nasıl tespit ettiği ve bu saldırılara karşı nasıl savunma sağladığı incelenmiştir. SDN ağ yönetimini merkezileştirerek birçok avantaj sunmasına rağmen, beraberinde bazı siber güvenlik sorunlarını da getirir. En önemli sorunlardan biri, SDN denetleyicisinin güvenliğidir. Denetleyici, ağın kontrol merkezi olduğu için, onun ele geçirilmesi veya saldırıya uğraması, tüm ağın güvenliğini tehlikeye atabilir. Denetleyiciye yönelik

DDoS saldırıları, ağın tamamında hizmet kesintilerine neden olabilir. Ayrıca, denetleyiciye yetkisiz erişim sağlanması durumunda, saldırganlar ağ politikalarını değiştirebilir ve ağ trafiğini manipüle edebilirler (Tan et al., 2020).

Bir diğer önemli güvenlik sorunu ise, veri düzlemi ile kontrol düzlemi arasındaki iletişimin güvenliğidir. SDN mimarisinde, bu iletişim genellikle standart protokoller aracılığıyla gerçekleştirilir. Bu protokoller, ağ cihazlarına kontrol komutları göndermek için kullanılır, ancak bu iletişim kanalları güvenlik açıklarına karşı savunmasız olabilir. Eğer bu kanallar yeterince güvenli değilse, saldırganlar veri trafiğini dinleyebilir, değiştirebilir veya yönlendirebilir. Bu nedenle, kontrol ve veri düzlemi arasındaki iletişimin şifrelenmesi ve kimlik doğrulama mekanizmalarının kullanılması gereklidir. Bu güvenlik açıkları, SDN'nin sağladığı esneklik ve verimlilik avantajlarına rağmen, dikkatli bir güvenlik yönetimi gerektir (Tonkal, Polat, Başaran, Cömert, & Kocaoğlu, 2021).

DDoS saldırısı, bir erişilebilirliğini engellemek amacıyla yapılan bir siber saldırıdır. Bu tür saldırılarda, saldırganlar, hedef sisteme aşırı miktarda istek göndererek veya ağ trafiğini artırarak sistemi çalışamaz hale getirmeye çalışırlar. DDoS saldırıları, çok sayıda bilgisayarın veya IoT cihazının aynı anda hedefe saldırmasını sağlamak için genellikle botnet adı verilen kötü amaçlı yazılımlar kullanılarak gerçekleştirilir. Bu cihazlar, saldırganlar tarafından uzaktan kontrol edilir ve hedef sisteme karşı koordineli bir saldırı başlatmak için kullanılır. DDoS saldırılarının etkisi, hedef sistemin performansını düşürmekten tamamen erişilemez hale getirmeye kadar değişebilir. Saldırıların yaygınlığı ve şiddeti, hedeflenen sistemin savunma mekanizmalarına ve saldırının boyutuna bağlıdır. Bazı durumlarda, DDoS saldırıları sadece birkaç dakika sürerken, diğer durumlarda saatlerce, hatta günlerce sürebilir. Bu tür saldırılar, e-ticaret siteleri, çevrimiçi oyun platformları, bankalar ve diğer kritik hizmet sağlayıcılar için büyük mali kayıplara ve itibar zararına yol açabilir (Gadze, Bamfo-Asante, Agyemang, Nunoo-Mensah, & Opare, 2021).

DDoS saldırılarına karşı korunmak için çeşitli stratejiler ve teknolojiler geliştirilmiştir. Trafik izleme ve anormallik tespiti, saldırıların erken aşamalarında tanınmasına yardımcı olabilir. Ayrıca, yük dengeleme ve trafik filtreleme gibi önlemler, saldırının etkisini azaltmaya yönelik yaygın yöntemlerdir. Bulut tabanlı DDoS koruma hizmetleri, büyük hacimli saldırıları absorbe etmek ve dağıtmak için kullanılabilir. Ancak, bu saldırıların karmaşıklığı ve sürekli evrimi, güvenlik uzmanlarının sürekli olarak yeni tehditlere karşı hazırlıklı olmasını gerektirir. Bu nedenle, DDoS saldırılarına karşı savunma, siber güvenlik stratejisinin önemli bir parçasıdır. Şekil 1 DDoS saldırılarını görselleştirilir (Banitalebi



Şekil 1. DDoS Saldırısı

Dehkordi, Soltanaghaei, & Boroujeni, 2021).
Bu makine öğrenimi yöntemleri, SDN analizi ve optimizasyonunda önemli araçlardır. Ağ yöneticileri, bu yöntemleri kullanarak ağ performansını izleyebilir, olası güvenlik tehditlerini tespit edebilir ve ağ kaynaklarını daha verimli bir şekildeyönetebilirler. Sonuç olarak, makine öğrenimi yöntemleri, SDN'nin

sağladığı avantajları artırarak, daha güvenli ve performanslı ağlar oluşturulmasına katkıda bulunur (Khedr, Gouda, & Mohamed, 2023). Bizim araştırma sürecinde, RNN LSTM, Random Forest, KNN gibi farklı algoritmaların etkinliği değerlendirildi ve bu algoritmaların saldırı tespitindeki başarı oranları analiz edildi. Ayrıca, özellik seçimi yöntemlerinin ve veri seti bölünme oranlarının bu algoritmaların performansına etkisi üzerinde durulmuştur. Önerilen yöntemler, ağ güvenliğini artırmak için SDN denetleyicileri üzerinde uygulanmış ve deneysel sonuçlarla doğrulanmıştır (Phan et al., 2019). Bu makalede, SDN tabanlı ağlarda güvenliği sağlamak için makine öğrenimi tabanlı yaklaşımların önemini vurgulamakta ve gelecekteki çalışmalar için sağlam bir temel oluşturmaktadır. Çalışmamızın sonuçları, SDN ağlarında DDoS saldırılarını tespit etme ve hafifletme konusundaki mevcut literatüre değerli katkılar sunmaktadır.

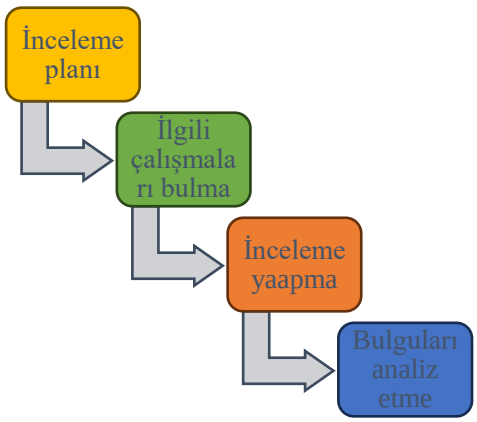
Özetle bu çalışma aşağıdakilere katkıda bulunmaktadır:

- SDN'de siber saldırı tespit yaklaşımlarına ilişkin mevcut zorlukların bir özetini sunmak;
- SDN'deki makine öğrenimi mekanizmalarına yönelik mevcut yaklaşımlara sistematik ve kategorize edilmiş bir genel bakış sunmak.
- Siber saldırı tespit yaklaşımlarında önemli olan önemli yöntemlerin SDN'deki yapısının incelenmesi;

Her bir vaka çalışması için SDN'deki siber saldırı tespit yaklaşımlarının sınıflandırılmasına ilişkin önemli faktörlerin tartışılması, açık sorunların belirlenmesi ve gelecekteki yönelimlerin ana hatlarıyla belirtilmesi. Bu çalışmanın geri kalanı şu şekilde organize edilmiştir: Bölüm 2, bu çalışmada kullanılan araştırma metodolojisini açıklamaktadır. Bölüm 3, SDN'deki mevcut siber saldırı tespit yaklaşımlarını gözden geçirmektedir. Bölüm 4'te mevcut yöntemlerin bir tartışması ve analitik karşılaştırması sunulmaktadır. Bölüm 5'te gelecekteki çalışmalar için açık konuları ve yönergeleri sunuyoruz. Son olarak, sonuçlar Bölüm 6'da sunulmaktadır.

2. ARAŞTIRMA METODOLOJISI

Bu bölümde SDN'deki mevcut siber saldırı tespit yaklaşımlarının makine öğrenmesi yöntemleri kullanılarak araştırılmasında kullanılan araştırma metodolojisi incelenmektedir. Şekil 2'de gösterildiği gibi inceleme süreci dört ana adımdan oluşur. İlk adım araştırma hedeflerini ve sorularını tanımlamaktı. İkinci adımda uygun makaleler aranır ve belirli standartlara göre seçilir. Ayrıca bilimsel veritabanlarında arama yapmak için bir dizi teknik anahtar kelime seçilir. Üçüncü adımda seçilen yöntemleri niteliksel metriklere göre inceliyoruz. Son aşamada ise elde edilen sonuçlar raporlanmakta, çözülemeyen sorunlar tartışılmakta ve gelecek çalışmalar için öneriler sunulmaktadır. Bu adımın temelinde SDN siber saldırı tespit yaklaşımlarında her kategorinin mevcut teknik noktalarını tartışmak için bazı önemli sorular tanımlanacaktır.



Şekil 2. Araştırma metodolojisi adımları.

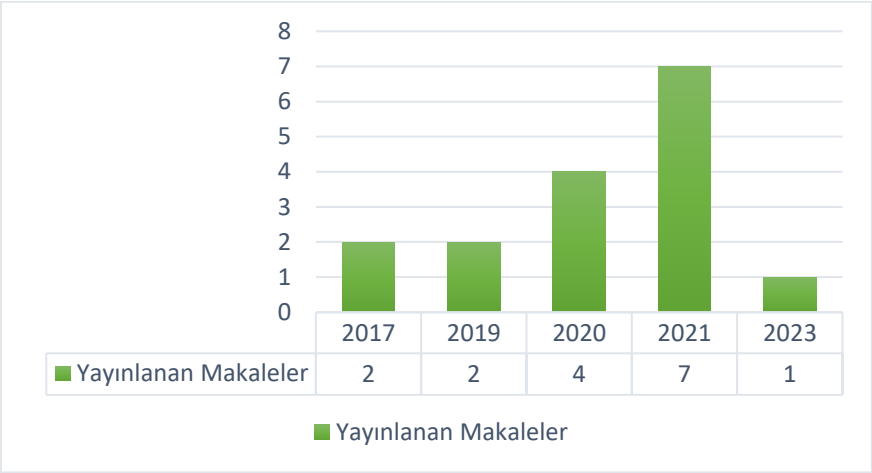
Sistematik bir literatür taraması oluşturmak amacıyla araştırma metodolojisini yönlendirmek için temel araştırma sorularına ihtiyaç vardır. Yöntemlerin gözden geçirilmesi sırasında daha önce yapılan çalışmalara dayanarak aşağıdaki araştırma sorularının yanıtlanması öngörülmektedir.

- S1: Makine öğrenimi yöntemlerini kullanan SDN'de siber saldırı tespit yaklaşımlarına yönelik önemli yaklaşımlar nelerdir?
- S2: SDN'de siber saldırı tespit yaklaşımlarını analiz etmek ve araştırmak için değerlendirme parametreleri nelerdir?
- S3: En yaygın simülasyon ortamları nelerdir?

Yüksek itibara sahip araştırma makalelerini incelemek için kapsamlı ve ayrıntılı bir araştırma yaptık. Yaygın olarak kullanılan çevrimiçi elektronik dijital kütüphaneler1 aşağıdaki arama dizisi kullanılarak seçilmiş ve aranmıştır.

"Syber Attacks" AND "Machine Learning" "SDN" OR "Software Defined Networks" OR "DDoS Attacks" AND "Machine Learning" OR "SDN"

Mart 2024'te 2017 ile 2023 yılları arasında yayınlanan makaleler için makale başlıklarına göre otomatik arama işlemi yapıldı ve dergilerde, konferanslarda ve kitaplarda 89 çalışma bulundu. 2017-2023 yılları arasında yayınlanan makaleler için makale başlıklarına göre otomatik arama süreci gerçekleştirildi. Daha sonra, inceleme makaleleri, çalışma raporları, notlar ve İngilizce olmayan çalışmalar, en yüksek kalitede makalelerin seçilmesi amacıyla inceleme sürecinden çıkarıldı. Son adımda yazarlar, doğrudan SDN'deki siber saldırı tespit yaklaşımlarına odaklanan incelemeye uygun çalışmaları seçmek için kalan çalışmaların tam metnini dikkatlice incelediler. Son olarak 17 makale yayınlanmak üzere seçildi. Ayrıca Şekil 3'te SDN'de makine öğrenimi yöntemleri kullanılarak siber saldırı tespit yaklaşımları alanında seçilmiş çalışmalar kısaca anlatılmaktadır.



Şekil 3. Makine öğrenmesi yöntemleri kullanılarak SDN'de siber saldırı tespit yaklaşımları alanında yayınlanmış çalışmalar.

2.1 SDN'deki Siber Güvenlik Sorunları

SDN, ağ yönetiminde büyük bir devrim yarattı ve ağ kaynaklarının daha esnek ve dinamik bir şekilde yönetilmesine olanak tanıdı. Ancak, bu yeni teknoloji de yeni siber güvenlik sorunlarını beraberinde getirdi. Birincisi, SDN tabanlı ağlarda merkezi bir kontrol noktası bulunması, bu kontrol noktasına erişim sağlayan herhangi bir kişinin ağı tamamen kontrol edebilecek olmasıyla potansiyel riskler taşır. Bu, yetkisiz erişim, veri sızıntısı veya hizmet reddi saldırılarına yol açabilir. İkincisi, SDN, ağ trafiğini

[1] www.ieeexplore.ieee.org, www.onlinelibrary.wiley.com, www.link.springer.com, www.elsevier.com, www.scholar.google.com, www. scopus.com and www.dl.acm.org

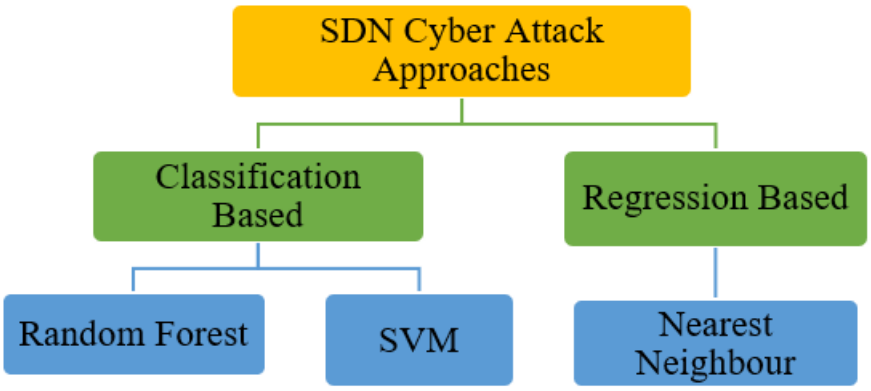
optimize etmek için akıllıca programlanmış yazılımlar kullanırken, bu yazılımların hatalarından veya kötü niyetli manipülasyonlardan kaynaklanan güvenlik açıkları potansiyel tehdit oluşturabilir. Örneğin, bir saldırganın trafiği yanlış yönlendirmesi veya güvenlik politikalarını kötüye kullanması, ağın bütünlüğünü tehlikeye atabilir veya hassas verilerin sızmasına neden olabilir. Son olarak, SDN, ağa esneklik ve ölçeklenebilirlik getirse de, bu esneklik bazen ağın güvenlik duvarlarını zayıflatabilir. Geleneksel ağlarda olduğu gibi, SDN tabanlı ağlar da doğru şekilde yapılandırılmazsa, saldırganlar için daha fazla fırsat yaratabilir. Bu nedenle, SDN tabanlı ağların güvenliği için sürekli olarak güncellenen politikalar, güvenlik duvarları ve saldırı tespit sistemleri gereklidir.

2.2 SDN Mimarisi

SDN, geleneksel ağ yönetimi modellerinden farklı bir yaklaşım sunar. SDN, ağ kontrolünü merkezi bir kontrol düzlemine odaklar ve bu kontrolü ağ cihazlarından, switch ve yönlendiricilerden ayrıştırır. Bu, ağın davranışını programlanabilir ve esnek hale getirir. SDN mimarisinde üç temel bileşen bulunur: Kontrol Düzlemi, Veri Düzlemi ve Uygulama Düzlemi. Kontrol Düzlemi, ağın genel davranışını yöneten akıllı yazılım ve kontrolcüleri içerir. Veri Düzlemi, ağ trafiğini taşıyan fiziksel cihazları switch ve yönlendiricilerini temsil eder. Uygulama Düzlemi ise, ağ hizmetleri ve uygulamalar için yazılım tabanlı arayüzleri sağlar. SDN mimarisindeki bu ayrışma, ağ yönetimini ve hizmetlerini daha esnek ve yenilikçi hale getirir. Kontrol Düzlemi, ağ politikalarını merkezi bir konumdan yöneterek, ağ yöneticilerine daha fazla kontrol ve görünürlük sağlar. Bu, ağ yöneticilerinin ağ trafiğini daha iyi optimize etmelerine, güvenlik politikalarını uygulamalarına ve hızlıca yeni hizmetler eklemelerine olanak tanır. Veri Düzlemi ise, ağ trafiğini yönlendiren fiziksel cihazları temsil eder. Bu cihazlar, Kontrol Düzlemi tarafından alınan kararları uygularlar ve veri paketlerini iletmek için fiziksel olarak kullanılırlar. Son olarak, Uygulama Düzlemi, SDN ekosisteminde üçüncü taraf uygulamaların geliştirilmesine olanak tanır. Bu, ağ yöneticilerinin ağ hizmetlerini özelleştirmelerine ve farklı iş gereksinimlerine uygun çözümler oluşturmalarına imkân tanır. Uygulama Düzlemi, API'ler ve SDK'lar aracılığıyla açık bir şekilde erişilebilir hale getirilir, böylece geliştiricilerin yeni hizmetler ve uygulamalar oluşturmaları kolaylaşır. Bu sayede, SDN mimarisi, ağ yönetimini daha dinamik, verimli ve yenilikçi bir hale getirir.

3. SDN TABANLI SİBER SALDIRI TESPİT YAKLAŞIMLARIN İNCELENMESİ

Bu bölümde, SDN Tabanlı siber saldırı tespit yaklaşımlarının sınıflandırması yapıldı. Şekil 4'te gösterdiği gibi, incelenen makalede kullanılan algoritmaları 2'ye ayıran bir sema oluşturuldu: Classification Based ve; Classification Regression Based Based kategoride en çok kullanılan algoritmalar Random Forest ve SMV olarak tespit edildi, aynı şekilde Regression Based kategoride, Nearest neighbour algoritma en çok kullanan algoritmadır.



Şekil 4. SDN Tabanlı siber saldırı tespit yaklaşımlarının sınıflandırması

3.1. Classification-Based SDN Tabanlı Siber Saldırı Tespit Yaklaşımları

Bu bölümde, Classification-Based SDN Tabanlı siber saldırı tespit yaklaşımları incelenecek, bu bölümde 10 makale yer almaktadır. İlk makale olarak, Ahuja, Singal, Mukhopadhyay, and Kumar (2021) çalışmasında DDoS saldırılarını tespit etmek için yeni özelliklerin belirlenmesidir. Bu özellikler

bir CSV dosyasına kaydedilir ve veri setini oluşturmak için kullanılır. Ardından, makine öğrenimi algoritmaları SDN veri seti üzerinde eğitilir. Önceki çalışmalar genellikle SDN dışı veri setleri veya kamuya açık olmayan veriler kullanmıştır. Sınıflandırma işlemi için yeni bir hibrit makine öğrenimi modeli kullanılmıştır. Sonuçlar, Support Vector sınıflandırıcısı ile Random Forest hibrit modelinin, çok düşük yanlış alarm oranıyla %98.8'lik en yüksek test doğruluğuna sahip olduğunu göstermektedir. Ve (Banitalebi Dehkordi et al., 2021) makale, SDN'deki DDoS saldırılarının tespiti için yeni bir yöntem önermektedir. Yöntem, toplayıcı, entropi tabanlı ve sınıflandırma olmak üzere üç bölümden oluşur. Deneyler, önerilen yöntemin diğerlerine göre daha üstün olduğunu göstermektedir. Dinamik eşik değerlerinin kullanımı, daha iyi sonuçlar vermektedir. Modelin, yüksek doğruluk sağladığı belirtilmiştir. Başka bir çalışmada, Santos, Souza, Santo, Ribeiro, and Moreno (2020) DDoS saldırılarını sınıflandırmak için dört makine öğrenimi algoritmasının (SVM, MLP, Karar Ağacı ve Random Forrest) uygulanmasını önerir. Bu algoritmaların, SDN simülasyon ortamında (Mininet 2.2.2) kullanılması hedeflenmektedir. Deney sonuçlarına göre, genel olarak Karar Ağacı'nın en iyi performansı gösterdiği bulunmuştur; bu durum, işleme süresinin en düşük olmasıyla büyük ölçüde ilişkilidir. Ve (Revathi, Ramalingam, & Amutha, 2022) çalışmada, DDoS tehdidi ve SDN hafifletme mimarisi için saldırı tespiti için bir diskret ölçeklenebilir memory-based support vector makinesi algoritması önerilmektedir. DDoS saldırı teknolojisi ve 5G ağlarındaki IoT bağlantılı cihazların artışı, DDoS saldırılarını önleme yeteneklerini etkilemektedir. Sunulan yaklaşım, çevrimiçi hizmetler için DDOS saldırılarını başarılı bir şekilde tanımlar, web hizmetleri için saldırı tespitinin güvenilirliğini artırır ve bunları etkili bir şekilde önler.

Ayrıca (Tonkal et al., 2021) çalışmasında, SDN çevresinden elde edilen veri setindeki normal ve saldırı trafiği, makine öğrenimi algoritmaları kullanılarak sınıflandırılmıştır. Veri seti, TCP, UDP ve ICMP trafiği içermekte olup istatistiksel özellikler barındırmaktadır. Etkili bir sınıflandırma için NCA algoritması kullanılmış ve 22 ağ özelliği değerlendirildikten sonra en etkili 14 özellik seçilmiştir. Özelliklerin belirlenmesi ve ön işleme adımlarının ardından, KNN, DT, ANN ve SVM algoritmalarıyla 100 binden fazla ağ kaydı sınıflandırılmıştır. Deneysel sonuçlar, DT'nin diğer algoritmalara göre %100 doğruluk oranına sahip olduğunu göstermektedir. Ve (Nadeem, Goh, Ponnusamy, & Aun, 2022) çalışmada, DDoS tespiti için makine öğreniminde kullanılan önemli özellik seçimi yöntemleri incelenmektedir. Optimal özelliklerin seçimi, makine öğrenimi tekniklerinin sınıflandırma doğruluğunu ve SDN denetleyicisinin performansını etkiler. Ayrıca, SDN saldırılarını tespit etmek için özellik seçimi ve makine öğrenimi sınıflandırıcılarının karşılaştırmalı bir analizi sunulmaktadır. Deney sonuçları, Recursive feature elimination (RFE) yöntemiyle özellik alt kümesi kullanılarak Random Forest (RF) sınıflandırıcısının %99.97'lik doğrulukla daha etkili bir model oluşturduğunu göstermektedir.

Başka bir çalışmada, (Li et al., 2018) derin öğrenmeye dayalı bir DDoS saldırısı tespit ve savunma yöntemi önerilmektedir. ISCX veri kümesi kullanılarak gerçekleştirilen model eğitimi, DDoS saldırısının doğrulama oranını %98 veya hatta %99'a kadar artırmıştır. Derin öğrenme tabanlı DDoS saldırısı tespit şemasının avantajları arasında, doğruluk artışıyla birlikte donanım ve yazılım ortamına olan bağımlılığın azalması, tespit sisteminin gerçek zamanlı güncellenmesinin kolaylaştırılması ve DDoS saldırısı tespit stratejisinin güncellenmesinin daha az zor olması bulunmaktadır. Ve (Khedr et al., 2023) araştırmada, SDN tabanlı IoT ağları için makine öğrenimine dayalı bir DDoS tespit ve azaltma çerçevesi olan FMDADM tanıtılmıştır. Bu çerçeve, saldırıları belirlemek ve etkisiz hale getirmek için özellik çıkarma ve eşleştirme işlevlerini kullanır. Tüm değerlendirme metriklerinde en yüksek başarı oranına sahip olan RF modeli, 99.95% gibi yüksek bir doğruluk oranına sahiptir ve diğer modellere göre üstünlük sağlar. FMDADM, çoklu düğüm saldırı senaryolarında DDoS'yi yüksek doğrulukla tespit edebilir ve geleneksel savunmalara kıyasla daha etkilidir.

(Polat, Polat, & Cetin, 2020) araştırmada, DDoS saldırılarını tespit etmek için geliştirilen SDN tabanlı sistemler, makine öğrenimi yöntemleriyle incelenmiştir. İlk önerilen yöntemde, akış verilerinin analiziyle saldırıların %98,3 doğrulukla tespit edilmesini sağlayan algoritmalar üzerinde durulmuştur. İkinci yöntemde ise DDoS saldırılarını normal ve saldırı trafiği olarak etiketleyerek %97,7 hassasiyetle kontrol eden KNN algoritmaları incelenmiştir. Bu yöntemler, denetleyicinin yükünü azaltarak etkili bir şekilde işlev görebilir. Ve son olarak (Nikoloudakis et al., 2021) çalışmada, NIST tarafından belirlenen siber güvenlik yaşam döngüsünün başlangıç üç adımını hedefleyen bir otomatik çerçeve sunulmuştur:

Tanımlama, Koruma ve Algılama. Çerçeve, ağdaki zayıflıkları tespit eder, her varlığı uygun bir ağ dilimine yerleştirir ve altyapıyı sürekli olarak ML tabanlı bir IDS ile izler, durumsal farkındalık paradigmasını kullanarak. ML-IDS, NetFlow ve CVE'leri kapsayan özel bir veri kümesiyle eğitilmiştir. Çerçeve, gerçek bir ortamda minimum sayıda CVE kullanılarak test edilmiştir. Değerlendirme sonuçları, sunulan ML-IDS'nin normal bir ML tabanlı IDS ile karşılaştırıldığında artan tahmin başarısını göstermektedir.

3.2. Regression-Based SDN Tabanlı Siber Saldırı Tespit Yaklaşımları

Bu bölümde, Regression-Based SDN Tabanlı siber saldırı tespit yaklaşımları incelenecek, bu bölümde 7 makale yer almaktadır. Ilk olarak (Meti, Narayan, & Baligar, 2017) makalede, SVM ve Yapay Sinir Ağı sınıflayıcılarını kullanarak sızıntılar ve DDoS saldırılarını tespit etmeyi öneriyoruz. Eğitim veri kümesiyle bir sınıflandırıcı model oluşturuyoruz ve bu model için SVM ve NN gibi iki sınıflandırma tekniği kullanılıyor. Sunucu, istemciden gelen yeni bir isteği aldığında, bu istek modelin yanına iletilir ve bağlantının normal veya anormal olduğu tahmin edilir. Bu sayede, önceki bağlantı bilgilerinden ve oluşturulan tahmin modelinden yararlanılarak, yeni bir bağlantının doğası belirlenebilir. Ve (Alamri, Thayananthan, & Yazdani, 2021) çalışmada, SDN temelli 5G ağlarını korumak için Makine Öğrenmesi temelli trafik sınıflandırmasına dayalı bir güvenlik çözümü önerilmektedir. Önerilen çözüm, DDoS saldırılarını belirlemek ve XGBoost algoritması ile hafifletmek için uygun ML algoritmalarını kullanmaktadır. Adaptif bant genişliği stratejisiyle güçlendirilen çözüm, DDoS saldırılarını yönetirken XGBoost'un güvenlik performansını artırmaktadır. Bu yaklaşım, geleceğin 5G+ ağlarını korumak için güvenlik çözümlerinin yeteneklerini artırmak için farklı dinamik eşik değerlerine odaklanmaktadır. Adaptif bant genişliği algoritması ve ML tekniğinin birleşimi, güvenlik çözümünün doğruluğunu artırırken paket kaybını azaltır.

Başka bir çalışmada, (Tan et al., 2020) çalışmada, SDN'deki DDoS saldırılarını önlemek için control ve data plane işbirliği tespit yöntemlerinin yeni bir çerçevesi önerilmektedir. Önerilen çerçeve, tespit doğruluğunu artırarak SDN'deki DDoS saldırılarını etkili bir şekilde engellemektedir. Deneyler, önerilen tespit yöntemlerinin başarılı olduğunu göstermiş ve savunma stratejisinin DDoS saldırılarını etkili bir şekilde hafiflettiğini belirtmiştir. Ancak, ağdaki büyük ölçekli trafiğin artması durumunda denetleyicinin yükü artmakta ve DDoS tespit verimliliği azalmaktadır. Ve (Tuan et al., 2020) makale, TCP-SYN ve ICMP sel saldırılarını hedef alan DDoS saldırılarını, SDN tabanlı İSP ağlarında makine öğrenimi kullanarak hafifletmeyi amaçlamaktadır.Gerçek bir test ortamında yapılan deneyler, saldırı trafiğinin %98,0'ından fazlasının algılanıp engellendiğini göstermiştir ve masum trafiğin neredeyse etkilenmediği görülmüştür.

Ayrica (Sanjeetha et al., 2021) çalışmada, SDN ortamında bir DDoS saldırısı, bir SSH botneti kullanılarak simüle edilmiştir. Saldırının tespiti ve azaltılması için bir SDN uygulaması geliştirilmiştir. Bu uygulama, denetleyici üzerinde çalışmakta ve saldırıyı tespit etmek için bir makine öğrenimi modeli kullanmaktadır. Sonrasında, saldırının etkilerini azaltmak için akış kuralları devreye alınmıştır. Tespit aşamasında, Catboost, XGBoost, Lojistik Regresyon, Gauss Naif Bayes ve Karar Ağacı gibi altı farklı model kullanılmıştır. Catboost modeli, XGBoost ve K-En Yakın Komşu modelleriyle aynı doğruluk seviyesine sahip olmasına rağmen, daha kısa eğitim süresiyle dikkat çekmiştir. Ve (Phan et al., 2019) makalede, SDN tabanlı ağlardaki gizli DoS saldırılarına etkili bir şekilde karşı koymak için Q-MIND adlı yeni bir makine öğrenimi tabanlı çerçeve önerilmiştir. Performans değerlendirme sonuçları Q-Öğrenme ajanından elde edilen optimal politikayı uygulayan Q-MIND'in, mevcut yöntemlere kıyasla daha yüksek bir gizli DoS saldırısı tespit ve hafifletme performansı sağladığını göstermektedir. Son olarak (Gadze et al., 2021) çalışma, SDN denetleyicisinde DDoS tespiti ve azaltması için uygulanabilir bir derin öğrenme algoritması olarak RNN LSTM'in etkinliğini göstermektedir. Ayrıca, eğitim ve test veri setinin bölünme oranının derin öğrenme algoritmasının performansını etkilediği tespit edilmiştir. Bu bağlamda, 70/30 bölünme oranının, 80/20 ve 60/40 bölünme oranlarına göre daha iyi bir model doğruluğu sağladığı gözlenmiştir. RNN LSTM'in SDN mimarisinde DDoS saldırılarını tespit etme ve hafifletme konusunda da etkili bir model olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

4. TARTIŞMA VE ANALİTİK KARŞILAŞTIRMA

Bu makalede, SDN tabanlı ağlarda DDoS saldırılarını tespit ve hafifletmek amacıyla çeşitli makine öğrenimi ve derin öğrenme yöntemlerini incelemek oldukça zorlu bir süreç oldu. Bu çalışmayı yapmadan önce ayrıntılı bir literatür araştırması yapılması gerekti. Farklı makalelerden elde edilen bilgiler doğrultusunda, SDN ortamında kullanılacak uygun makine öğrenimi algoritmalarını ve tespit yöntemlerini belirlemek çok önemlidir. Bu yöntemlerin ayrıntılı bir şekilde öğrenilmesi ve uygulanması, doğru sonuçlar elde etmek için kritik öneme sahiptir. Eğer bu aşamalara yeterince önem vermez ve öğrenmezsek, önemli ölçüde vakit ve kaynak kaybı yaşanabilir. Ancak, SDN ağlarının güvenliğini sağlamak ve DDoS saldırılarına karşı etkili savunma mekanizmaları geliştirmek oldukça tatmin edici ve önemli bir çalışma alanıdır. Elde edilen sonuçlar, gelecekteki araştırmalar ve uygulamalar için değerli katkılar sağlamaktadır.

Tablo 1'e göre ana fikir, değerlendirme parametreleri, simülasyon ortamı, avantajlar ve zayıflıklar gibi gerekli bazı teknik faktörler bu bölümde gözden geçirilmektedir. Bölüm 2'deki sorulara göre bunları aşağıdaki gibi analiz edip cevaplıyoruz.

Tablo 1. Ana fikir, değerlendirme parametreleri, simülasyon ortamı, avantajlar ve zayıflıklar

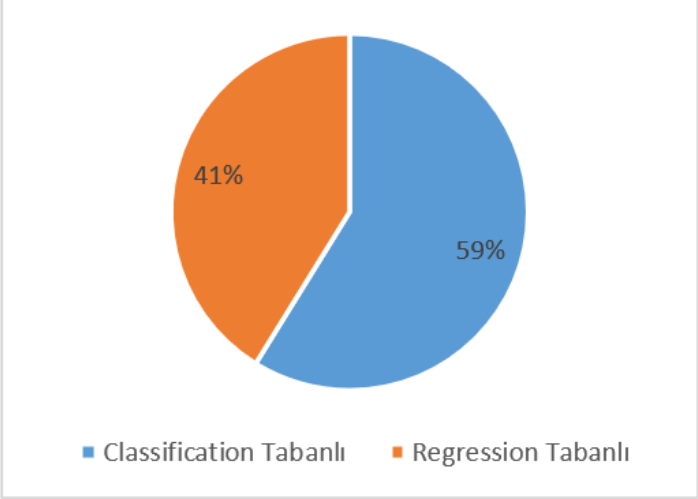
Ref.	**Ana fikir**	**Değerlendirme Parametreleri**	**Avantaj**	**Zayıflık**
(Ahuja et al., 2021)	Dağıtılmış hizmet reddi saldırılarının yazılım tanımlı ağlarda ML algoritmaları kullanılarak algılanması.	Doğruluk, Hassasiyet, Geri Çağırma, Işlem Süresi ve Kaynak Kullanımı.	SDN'nin esnekliği ağ kontrolünü ve yönlendirmeyi ayırarak güvenlik önlemlerinin kolayca uygulanmasını sağlar.	Önerilen algoritmanın genel geçerliliğini doğrulamak için daha geniş çaplı bir test setine ihtiyaç duyulabilir.
(Meti et al., 2017)	Yazılım tanımlı ağlarda otomatik DDoS saldırı tespiti.	Doğruluk, Hassasiyet, Özgüllük, Doğruluk, F1-Skoru ve Karışıklık Matrisi.	Makine öğrenimi tekniklerinin kullanımıyla DDOS saldırılarının tespit edilmesi için etkili bir yöntem önerir.	SDN ve makine öğrenimi alanlarında devam eden gelişmeler göz önüne alınmalıdır.
(Alamri et al., 2021)	SDN tabanlı 5G ağını güvence altına almak için makine öğrenim yönetmelerle DDoS saldırı tespiti.	Doğruluk, F1-Skoru.	Güvenlik performansını artırırken CPU kullanımını minimumda tutar ve enerji tüketimini azaltır.	Bilgi paylaşımının yönetimi ve denetleyici yerleştirme sorunları bulunmaktadır.
(Tan et al., 2020)	SDN ortamında DDoS saldırılarını algılama ve savunma için yeni bir çerçeve.	Kesinlik, Geri Çağırma, Yanlış Alarm Oranı.	SDN'nin merkezi kontrolü, ağdaki tüm cihazların merkezi bir konumdan yönetilmesini sağlar.	SDN, merkezi kontrolcüsüne odaklanan DDoS saldırıları gibi güvenlik riskleriyle karşı karşıyadır
(Santos et al., 2020)	Yazılım tanımlı ağlarda otomatik DDoS saldırı tespiti.	Doğruluk, Verimlilik, Algoritma Seçimi.	Makine öğrenimi algoritmaları, normal ve anormal trafik arasındaki desenleri tanımlayabilir ve DDoS saldırılarını tespit etmek için kullanılabilir.	Makine öğrenimi algoritmalarının hassaslığı ve yanlış pozitif oranları gibi performans sorunları olabilir.
(Tonkal et al., 2021)	Yazılım tanımlı ağlarda otomatik DDoS saldırı tespiti.	Dinamik Yapı, Programlanabilirlik, Merkezi Kontrol, Esneklik.	Yazılım tabanlı yapı, ağın hızla değişen gereksinimlerine uyum sağlayabilir ve yeni	SDN protokollerinin ve standartlarının eksikliği, farklı SDN çözümlerinin uyumluluğunu

			hizmetleri kolayca entegre edebilir.	zorlaştırabilir ve karmaşıklığı artırabilir.
(Tuan et al., 2020)	ISP ağlarında makine öğrenimine dayalı sdn tabanlı bir ddos saldırı azaltma şeması.	Doğruluk, Hassasiyet, Geri Çağırma, F1 Score, Fiziksel Kaynaklar Üzerindeki Etkiler, Duyarlılık ve Yanlış Pozitif Oran.	Makine öğrenimi teknikleri, güvenlik çözümünün doğruluğunu artırır ve DDoS saldırılarını tespit etmek için daha etkili hale getirir.	Bilgi paylaşımının yönetimi ve denetleyici yerleştirme sorunları bulunmaktadır.
(Li et al., 2018)	DDoS saldırılarının algılanması ve savunması.	Gerçek Zamanlı Savunma Etkinliği.	Derin öğrenme modeli, DDoS saldırılarını yüksek doğrulukla tespit edebilir, bu da ağ güvenliğini artırır.	Derin öğrenme modelleri genellikle karmaşıktır ve büyük miktarda hesaplama kaynağı gerektirebilir.
(Sanjeetha et al., 2021)	SDN ortamında CatBoost makine öğrenme algoritması kullanılarak botnet tabanlı DDoS saldırılarının tespiti ve azaltılması.	Hızlı ve Güvenilir Tespit, Etkili Müdahale.	CatBoost modeli, yüksek doğruluk seviyeleriyle DDoS saldırılarını doğru bir şekilde tespit eder ve yanlış pozitifleri en aza indirir.	CatBoost modeli gibi derin öğrenme modelleri genellikle büyük ve çeşitli veri setlerine ihtiyaç duyar, bu da veri toplama ve işleme sürecini zorlaştırabilir.
(Khedr et al., 2023)	Makine öğrenimi kullanarak SDN tabanlı IoT ağları için çok katmanlı DDoS saldırı algılama ve azaltma çerçevesi.	Doğruluk, Hassasiyet, F1 Skoru, Hatırlama, Özgünlük, Negatif Öngörülen Değer, Yanlış Pozitif Oran, Yanlış Keşif Oranı, Yanlış Negatif Oran, Ortalama Tespit Süresi.	Üç tespit modülü, eğitim, test ve tespit için gereken süreyi azaltır.	Diğer çerçevelerle doğrudan karşılaştırmalı bir analiz gerekir.
(Nadeem et al., 2022)	SDN'de makine öğrenimi teknikleri kullanarak DDoS tespiti.	Doğruluk, Hassasiyet, Geri Çağırma.	Optimal özellik alt kümeleri seçilerek sınıflandırıcıların eğitilmesi, saldırı tespitinde doğruluğu artırır ve eğitim süresini azaltır.	Gereksiz ve fazla özelliklerin kullanılması, SDN kontrolünün iş yükünü artırır ve denetleyicinin verimliliğini etkileyebilir.
(Phan et al., 2019)	Bir makine öğrenimi tabanlı savunma çerçevesi ile SDN'de gizli DDoS saldırılarının yok edilmesi.	Hassasiyet, Geri Çağırma, F-Puanı, Doğruluk, Yanlış Alarm Oranı, Stabilite, Optimal Politikalar, Algılama Süresi, Ağ Performansı.	Q-MIND, dinamik olarak öğrenme ve uyum sağlayabilen bir yapay zekâ tabanlı sistem olduğu için, saldırı türlerindeki değişikliklere hızlıca yanıt verebilir.	Q-MIND'in uygulanması, mevcut SDN altyapısına entegrasyon gerektirir ve bu, bazı operasyonel ve mali zorluklarla sonuçlanabilir.
(Banitalebi Dehkordi et al., 2021)	DDoS saldırılarının SDN'de makine öğrenimi ve istatistiksel yöntemlerle tespiti.	Saldırı Tespiti Performansı, Entropi Tabanlı Filtreleme, Dinamik Eşik Hesaplama.	Önerilen yöntem, yüksek ve düşük hacimli DDoS saldırılarını tespit etmek için istatistiksel ve makine öğrenimi tekniklerini başarıyla birleştirir.	Birden fazla denetleyicinin dahil edilmesi ve analiz etmesi gerekir.

(Revathi et al., 2022)	SDN denetleyici çerçevesi kullanarak makine öğrenimine dayalı DDoS saldırısının algılanması ve azaltılması.	Veri Ön İşleme Normalizasyon Stratejisi, Özellik Seçimi.	Veri ön işleme ve özellik seçimi gibi adımlar, önerilen sistemdeki performansı artırmak için yapılmıştır.	Önerilen yöntemin mevcut DDoS saldırılarını ne ölçüde tespit edebildiği ve engellediği net olarak belirtilmemiştir.
(Polat et al., 2020)	Özellik seçimi yöntemleri ve makine öğrenme modelleri ile yazılım tanımlı ağlarda DDoS saldırılarının algılanması.	Doğruluk, Hassasiyet, Belirlilik, Hassaslık, F1 Score.	SDN yapıları, ağ güvenliği ve performansını artırmak için esneklik sağlar ve makine öğrenimi algoritmalarının entegrasyonunu kolaylaştırır.	Özellik seçimi yöntemleri, optimal özellik alt kümesini seçmek için kullanılsa da, yanlış seçilen özellikler performansı olumsuz etkileyebilir.
(Nikoloudakis et al., 2021)	Cyber güvenliği için makine öğrenimine dayalı durumsal farkındalık çerçevesine doğru için bir SDN uygulaması.	Güvenlik Seviyesi, Saldırı Tespiti, Kesinlik, Verimlilik.	Sürekli olarak ağı izleyerek ve tehditleri tespit ederek, çerçeve anında müdahale etme yeteneği sağlar.	Çalışma, sadece belirli saldırıları içeren bir veri kümesi kullanmaktadır, bu da gerçek dünya senaryolarını tam olarak temsil etmeyebilir.
(Gadze et al., 2021)	SDN kontrolcülerinde DDoS saldırılarının algılanması ve azaltılmasında derin öğrenmenin uygulanması üzerine bir inceleme.	Model Performansı, Etkinlik, Zamanlama.	Derin öğrenme algoritmaları, geleneksel yöntemlere kıyasla DDoS saldırılarını daha etkili bir şekilde tespit edebilir.	SDN denetleyicisi tek bir noktada bulunduğundan, kontrolünün tehlikeye girmesi durumunda ağın tamamının başarısız olma riski vardır.

- S1: SDN'de makine öğrenimi yöntemlerini kullanan önemli siber saldırı tespit yaklaşımları nelerdir ve her bir yaklaşımla ilgili kaç makale yayınlanmıştır?

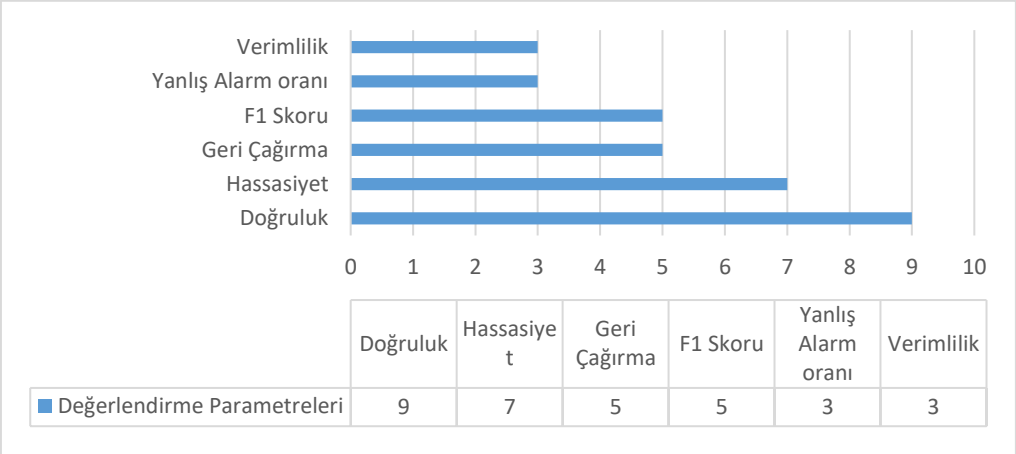
Sekil 5'te gösterdiği gibi, bu makalede SDN'de makine öğrenimi yöntemlerini kullanan önemli siber saldırı tespit yaklaşımları iki kategoride bolundu be en çok yayınlanan makaleler, classification tabanlı kategoride yer alır.



Şekil 5. SDN'de makine öğrenimi yöntemlerini kullanan önemli siber saldırı tespit yaklaşımları ve her yaklaşımın yayınlanmış makaleleri

- S2: SDN'de siber saldırı tespit yöntemlerini analiz etmek ve araştırmak için değerlendirme parametreleri nelerdir?

Bu kısımda kullandığımız 17 makaleden SDN'de siber saldırı tespit yöntemlerini analiz etmek için en az kullanılandan en çok kullanılan değerlendirme parametrelerini görselleştirdik. Şekil 6 gösterdiği gibi,

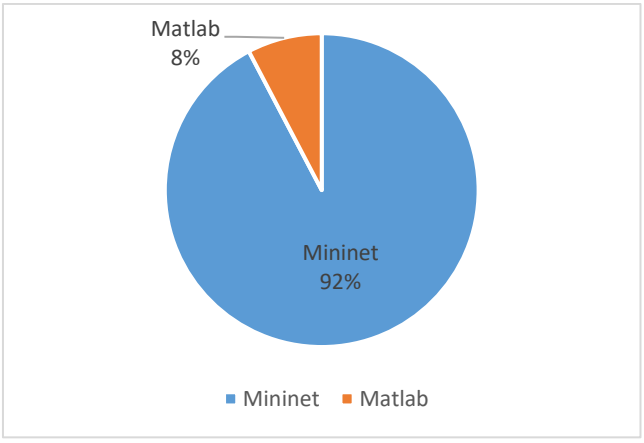


Şekil 6. SDN'de siber saldırı tespit yöntemlerini analiz etmek ve araştırmak için değerlendirme parametreleri

Doğruluk en çok kullanan parametredir.

- S3: En yaygın simülasyon ortamları nelerdir?

Bu kısımda araştırdığımız 17 makalenin kullandığı simülasyon ortamlarını görselleştirdik. Şekil 7



Şekil 7. SDN'de siber saldırı tespit yöntemlerinde kullanılan simülasyon ortamları

gösterdiği gibi, Mininet en çok kullanan simülasyon ortamıdır.

5. ONU AÇIK SORUNLAR VE ZORLUKLAR

Bu bölüm, SDN ve IoT ortamlarındaki kaynak yönetiminin yeni yönlerine ve değerlendirme faktörlerine dayalı olarak siber saldırı tespit metodolojilerinin bir dizi açık sorununu ve ana zorluklarını sunmaktadır. Aşağıdaki araştırma zorlukları, yeni optimize edilmiş meta-sezgisel algoritmalar veya makine öğrenimi yöntemleri kullanılarak değerlendirilebilir.

- SDN'de kritik bilgilerin işlenmesinin artan yürütme süresine dayanarak, QoS faktörlerini iyileştirmek için yeni bir siber saldırı tespit mimarisi önerilebilir. Kritik bilgiler çalışma zamanında değerlendirilemiyorsa, güvenlik koşullarını ve siber saldırı tespit sürecini açık akış modelinde kontrol etmek gerekir.

- Blockchain teknolojisi, SDN'de siber saldırıların tespiti için faydalıdır. Veri işlemlerinin güvenliğini iyileştirmek için akıllı cihazlar, yüksek kimlik doğrulama sistemi ve özel veya genel backchain yöntemleri gibi önemli özelliklerle iş birliği yapabilir.
- Makine öğrenme yöntemine benzer şekilde, derin öğrenme yöntemleri ve federasyonlu öğrenme, SDN'de siber saldırı tespitinde etkili olabilir.

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada, SDN tabanlı ağlarda DDoS saldırılarını tespit ve hafifletme yöntemlerinin etkinliği, çeşitli makine öğrenimi ve derin öğrenme algoritmaları kullanılarak incelenmiştir. Makalelerden elde edilen bulgular, RNN LSTM, Random Forest, KNN ve diğer algoritmaların farklı veri setleri ve özellik seçimi yöntemleriyle nasıl performans gösterdiğini ortaya koymuştur. Özellikle RNN LSTM, yüksek doğruluk oranlarıyla saldırıları tespit etmede başarılı olurken, Q-MIND çerçevesi SDN'deki gizli DoS saldırılarını etkili bir şekilde hafifletmiştir. Ayrıca, Random Forest gibi algoritmaların, Recursive Feature Elimination (RFE) yöntemiyle %99.97'lik doğruluk oranına ulaşması, bu tekniklerin DDoS tespitinde ne kadar etkili olabileceğini göstermiştir. Sonuç olarak, makine öğrenimi ve derin öğrenme tabanlı yaklaşımlar, SDN ağlarının güvenliğini sağlama konusunda büyük potansiyele sahiptir. Bu makalede ele alınan yöntemler, DDoS saldırılarına karşı etkili savunma mekanizmaları geliştirmenin mümkün olduğunu göstermektedir. Çalışmamız, farklı algoritmaların ve özellik seçimi yöntemlerinin DDoS tespit performansını nasıl etkilediğini ortaya koyarak, SDN tabanlı ağ güvenliği alanında önemli katkılar sunmuştur. Elde edilen sonuçlar, gelecekteki araştırmalar için sağlam bir temel oluşturarak, SDN ağlarının güvenliğini artırmaya yönelik daha gelişmiş ve etkili stratejilerin geliştirilmesine yardımcı olacaktır.

KAYNAKÇA

Ahuja, N., Singal, G., Mukhopadhyay, D., & Kumar, N. (2021). Automated DDOS attack detection in software defined networking. *Journal of Network and Computer Applications, 187*, 103108.

Alamri, H. A., Thayananthan, V., & Yazdani, J. (2021). Machine Learning for Securing SDN based 5G network. *Int. J. Comput. Appl, 174*(14), 9-16.

Banitalebi Dehkordi, A., Soltanaghaei, M., & Boroujeni, F. Z. (2021). The DDoS attacks detection through machine learning and statistical methods in SDN. *The Journal of Supercomputing, 77*(3), 2383-2415.

Gadze, J. D., Bamfo-Asante, A. A., Agyemang, J. O., Nunoo-Mensah, H., & Opare, K. A.-B. (2021). An investigation into the application of deep learning in the detection and mitigation of DDOS attack on SDN controllers. *Technologies, 9*(1), 14.

Khedr, W. I., Gouda, A. E., & Mohamed, E. R. (2023). FMDADM: A multi-layer DDoS attack detection and mitigation framework using machine learning for stateful SDN-based IoT networks. *IEEE Access, 11*, 28934-28954.

Li, C., Wu, Y., Yuan, X., Sun, Z., Wang, W., Li, X., & Gong, L. (2018). Detection and defense of DDoS attack–based on deep learning in OpenFlow-based SDN. *International Journal of Communication Systems, 31*(5), e3497.

Meti, N., Narayan, D., & Baligar, V. (2017). *Detection of distributed denial of service attacks using machine learning algorithms in software defined networks.* Paper presented at the 2017 international conference on advances in computing, communications and informatics (ICACCI).

Nadeem, M. W., Goh, H. G., Ponnusamy, V., & Aun, Y. (2022). DDoS Detection in SDN using Machine Learning Techniques. *Computers, Materials & Continua, 71*(1).

Nikoloudakis, Y., Kefaloukos, I., Klados, S., Panagiotakis, S., Pallis, E., Skianis, C., & Markakis, E. K. (2021). Towards a machine learning based situational awareness framework for cybersecurity: an SDN implementation. *Sensors, 21*(14), 4939.

Phan, T. V., Gias, T. R., Islam, S. T., Huong, T. T., Thanh, N. H., & Bauschert, T. (2019). *Q-MIND: Defeating stealthy DoS attacks in SDN with a machine-learning based defense framework.* Paper presented at the 2019 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM).

Polat, H., Polat, O., & Cetin, A. (2020). Detecting DDoS attacks in software-defined networks through feature selection methods and machine learning models. *Sustainability, 12*(3), 1035.

Revathi, M., Ramalingam, V., & Amutha, B. (2022). A machine learning based detection and mitigation of the DDOS attack by using SDN controller framework. *Wireless Personal Communications*, 1-25.

Sanjeetha, R., Raj, A., Saivenu, K., Ahmed, M. I., Sathvik, B., & Kanavalli, A. (2021). Detection and mitigation of botnet based DDoS attacks using catboost machine learning algorithm in SDN environment. *International Journal of Advanced Technology and Engineering Exploration, 8*(76), 445.

Santos, R., Souza, D., Santo, W., Ribeiro, A., & Moreno, E. (2020). Machine learning algorithms to detect DDoS attacks in SDN. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, *32*(16), e5402.

Tan, L., Pan, Y., Wu, J., Zhou, J., Jiang, H., & Deng, Y. (2020). A new framework for DDoS attack detection and defense in SDN environment. *IEEE Access*, *8*, 161908-161919.

Tonkal, Ö., Polat, H., Başaran, E., Cömert, Z., & Kocaoğlu, R. (2021). Machine learning approach equipped with neighbourhood component analysis for DDoS attack detection in software-defined networking. *Electronics, 10*(11), 1227.

Tuan, N. N., Hung, P. H., Nghia, N. D., Tho, N. V., Phan, T. V., & Thanh, N. H. (2020). A DDoS attack mitigation scheme in ISP networks using machine learning based on SDN. *Electronics, 9*(3), 413.

EŞLER ARASI ENERJİ TİCARETİNİN ELEKTRİK DAĞITIM ŞEBEKESİNDE UYGULANABİLİRLİĞİNİN EKONOMİK AÇIDAN DEĞERLENDİRİLMESİ: KAMU BİNASI ÖRNEĞİ

Arş. Gör. ABDULLAH CENK
Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
abdullah.cenk@marmara.edu.tr, ORCID: 0000-0002-7573-3968

Doç. Dr. MUSTAFA BAYSAL
Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü
baysal@yildiz.edu.tr, ORCID: 0000-0002-6298-918X

Özet
Günümüzde enerji arz güvenliği ve çevresel sürdürülebilirlik giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının verimli kullanımı ve dağıtım şebekelerindeki yeni ticaret modelleri büyük bir potansiyele sahiptir. Bu çalışma, elektrik dağıtım şebekelerinde eşler arası (peer-to-peer) enerji ticaretinin uygulanabilirliğini ekonomik açılardan değerlendirmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının artan önemi ve bireysel tüketicilerin enerji üretimine katılmasıyla birlikte, eşler arası enerji ticareti modeli dikkat çekici bir alternatif olarak ortaya çıkmıştır. Bu model, blokzinciri tabanlı akıllı sözleşmeler kullanarak merkezi olmayan ve güvenli bir ticaret yapısı sunmaktadır. Çalışmada, birbirine yakın kamu binaları arasında enerji ticareti simüle edilmiş ve enerji maliyetlerinde önemli ölçüde tasarruf sağlandığı görülmüştür. Ayrıca, enerji depolama sistemlerinin bu ticaret modeline etkisi de incelenmiştir. Simülasyon sonuçları söz konusu ticaret modelinin tüketici katılımını artırma ve enerji verimliliğine katkı sağlama noktasındaki potansiyeli ortaya koymuştur. Bu çalışma, yenilenebilir enerji kaynaklarının etkin kullanımı, enerji ticaretinin sürdürülebilirliği ve enerji depolama sistemlerinin ekonomik etkileri açısından önemli bulgular sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Eşler Arası Enerji Ticareti, Güneş Enerjisi, Enerji Verimliliği, Blokzinciri Tabanlı Enerji Ticareti, Enerji Depolama Sistemleri

ECONOMIC EVALUATION OF THE FEASIBILITY OF PEER-TO-PEER ENERGY TRADING IN THE ELECTRIC DISTRIBUTION NETWORK: AN EXAMPLE OF PUBLIC BUILDING

Abstract
In the current context, energy supply security and environmental sustainability have become increasingly critical issues. The efficient utilization of renewable energy resources and the integration of novel trading models within distribution networks present significant potential. This study investigates the feasibility of peer-to-peer (P2P) energy trading in electrical distribution systems from economic perspectives. With the increasing importance of renewable energy integration and the active participation of prosumers in energy generation, the P2P energy trading model has emerged as a promising alternative. This model utilizes blockchain-based smart contracts to establish a decentralized and secure trading framework. In the study, energy trading among closely located public buildings was simulated, and it was observed that significant savings in energy costs were achieved. Additionally, the impact of energy storage systems on this trading model has also been examined. The simulation results have revealed the potential of the trading model to enhance consumer participation and contribute to energy efficiency. This study provides important findings regarding the efficient use of renewable energy sources, the sustainability of energy trading, and the economic impacts of energy storage systems.

Keywords: Peer-To-Peer Energy Trading, Solar Energy, Energy Efficiency, Blockchain-Based Energy Trading, Energy Storage Systems

1. GİRİŞ

Nüfusun hızla artması ve modern çağın gereksinimleri, küresel enerji talebinde ciddi bir artışa yol açmıştır (Olabi & Abdelkareem, 2022). Yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi, dünya genelinde sürdürülebilir kalkınma ve çevre koruma hedeflerinin merkezinde yer almaktadır. Fosil yakıtların sınırlı miktarda olması ve bu kaynakların kullanımının zararlı çevresel etkileri, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimi hızlandırmıştır. Konvansiyonel enerji kaynakları olan kömür, petrol ve doğalgaz gibi fosil yakıtlar, enerji üretimi sırasında atmosfere salınan karbondioksit ve diğer sera gazlarının etkisiyle iklim değişikliği, hava kirliliği ve çevresel bozulma gibi ciddi sorunlara yol açmaktadır. Dünyada yüz yıllık süreçte sera gazı emisyon miktarlarının dramatik bir şekilde arttığı görülmektedir (Ritchie et al., 2024).

Fosil yakıt çağının zayıf yönleri ve dünya için oluşturduğu riskler artık net bir şekilde anlaşılmakta, aynı zamanda ortaya çıkan temiz enerji ekonomisinin sunduğu fırsatlar hızla genişlemektedir (Agency, 2023). Temiz enerji kaynakları, çevreye etkileri en az olacak şekilde enerji üretmektedirler. Bunlar arasında güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, hidroelektrik enerji gibi genel olarak yenilenebilir enerji kaynakları yer alır. Bu kaynaklar, geleneksel fosil yakıtlar gibi karbon yoğunluğu yüksek olan enerji kaynaklarına kıyasla daha sürdürülebilir ve çevre dostu alternatifler sunmaktadır. Çevre üzerindeki etkileri tamamen ortadan kalkmasa da mevcut geleneksel teknolojilere kıyasla çevreye daha az zarar vermeyi hedefledikleri için "temiz enerji teknolojileri" olarak adlandırılmaktadırlar (Leader, 2020). Son on yılda dünya genelinde fosil yakıtlara yapılan yatırım her yıl azalmakta, temiz enerjiye yapılan yatırım ise artmaktadır (Hannah Ritchie, 2026).

Dünyadaki trendle paralel olarak Türkiye, 2010'lu yıllardan itibaren Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanları (YEKA) gibi projelerle güneş ve rüzgâr enerjisinde önemli kapasite artışlarına gitmiştir (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2024). Aynı şekilde Avrupa Birliği de "Yeşil Mutabakat" ile yayımlanan “Avrupa İklim Paktı” 2050'de karbon nötr olmayı hedeflemektedir (European Commission, 2020).

Temiz enerji kaynaklarının çevre üzerinde olduğu kadar ekonomi üzerinde de olumlu etkileri bulunmaktadır. Temiz enerji tüketiminde %1'lik bir artışın olumsuz ekonomik göstergeler altındaki ülkeler için etkileyici ve önemli olan yaklaşık %1,26'lık ekonomik büyümeye katkıda bulunduğunu kanıtlamıştır (Rasoulinezhad & Taghizadeh-Hesary, 2022). Yenilenebilir enerji kaynakları, karbon emisyonlarını önemli ölçüde azaltma potansiyeline sahip olup, enerji arz güvenliğini sağlamada kilit rol oynamaktadır. Tablo 1’de görüldüğü üzere son yıllarda, güneş, rüzgâr ve hidroelektrik gibi yenilenebilir kaynaklara yapılan yatırımlar hızla artmış, dünya genelinde ve Türkiye’de temiz enerji kapasitesi giderek artmıştır (Ritchie et al., 2023).

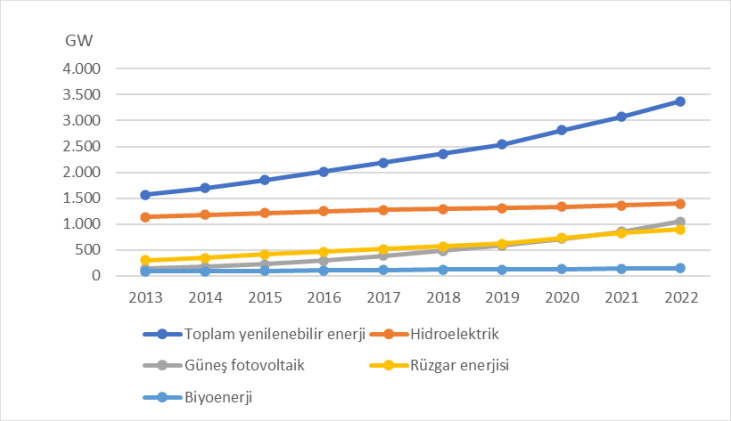
Tablo 1'de yer alan verilerde, dünya genelinde yenilenebilir enerji kapasitesindeki artış dikkat çekmektedir. Türkiye yenilenebilir enerji kurulu gücü 0,02 gigawatt’tan 9,43 gigawatt’a (GW) yükselmiştir.

Tablo 1: Türkiye ve Dünya’da yenilenebilir enerji kurulu gücünün değişimi (GW)

Ülke veya bölge	2013	2022	Mutlak Değişim	Artış Oranı
Dünya	140.51	1.053,12	+912.60	% 649
Çin	17.76	393.03	+375,27	% 2113
Avrupa Birliği	80.05	200,65	+120.60	% 151
ABD	12.33	113.02	+100,69	% 817
Brezilya	0,01	24.08	+24.07	% 192100
Türkiye	0,02	9.43	+9.41	% 50309
Almanya	36,71	66.55	+29,84	% 81

Türkiye'nin ürettiği toplam enerjide yenilenebilir enerjinin payı her geçen yıl artarken, özellikle güneş enerjisi bu büyümede kilit bir rol oynamaktadır. Güneş fotovoltaik sistemlerinin yaygınlaşması ve maliyetlerin düşmesi, Türkiye'de güneş enerjisi üretim kapasitesinin hızla artmasını sağlamıştır. Yıllara

göre güneş enerjisinin yenilenebilir enerji içindeki payı dikkate alındığında, önümüzdeki yıllarda söz konusu enerji kaynağının enerji arz güvenliğine daha fazla katkı sağlayacağı öngörülmektedir. Şekil 1'de Türkiye'nin yıllara göre yenilenebilir enerji kapasitesindeki artış ve güneş enerjisinin bu kapasite içindeki payı gösterilmektedir (Türkiye Elektrik İletim A.Ş., 2024).



Şekil 1: Türkiye'deki kurulu yenilenebilir enerji gücünün değişimi

Güneş enerjisi, büyük ölçekli santrallerden ziyade küçük çaplı, tüketici seviyesindeki güneş panelleri ile dağıtım şebekelerine entegre edilerek daha ekonomik ve yaygın bir kullanım alanı bulmaktadır. Bu durum, güneş enerjisinin hem bireysel tüketicilere hem de yerel dağıtım şebekelerine önemli fırsatlar sunduğunu ortaya koymaktadır. Güneş enerjisi teknolojilerinin maliyetlerinin hızla düşmesi ve küçük ölçekli panellerin kolay kurulumu, bireylerin enerji üretimine katılmasını daha erişilebilir kılmaktadır. Bu bağlamda, blokzincir tabanlı eşler arası (peer-to-peer, P2P) enerji ticareti modelleri, küçük çaplı üreticilerin fazladan ürettikleri enerjiyi diğer tüketicilere satabilmesi ve enerji ağlarında daha esnek, merkeziyetsiz bir yapı oluşturulması açısından büyük bir potansiyele sahiptir. Böylece, tüketici seviyesindeki güneş enerjisi üretiminin artışı, yenilikçi ticaret modelleri ile desteklenerek, enerji pazarında yeni fırsatlar ortaya çıkarmaktadır.

Blokzincir tabanlı eşler arası enerji ticareti, enerji sistemlerinde merkezi yapıları ortadan kaldırarak, bireylerin kendi aralarında enerji alışverişi yapabilmesine olanak tanıyan bir platform olarak ortaya çıkmıştır (Tushar et al., 2021). Tüketiciler ihtiyaç fazlası ürettikleri enerjiyi enerji depolama sistemleriyle depolayabildikleri gibi, elektrik şebekesine veya diğer tüketicilere satabilirler (Zhang et al., 2018). Blokzincir, güvenliği artırmak ve işlemleri merkeziyetsizleştirmek için tasarlanmış yenilikçi bir teknolojidir.

Blokzincir teknolojisi, sözleşmeler, veriler, olaylar ve parasal işlemler gibi kritik bilgileri güvenli bir şekilde barındırabilen bir tür dağıtılmış veritabanıdır (Soto et al., 2021). Bu ticaret, güvenli ve merkeziyetsiz yapısı sayesinde blokzincir teknolojisi ile desteklenir ve güvenlik, şeffaflık ve izlenebilirlik sağlar (Gai et al., 2019). Blokzincir tabanlı eşler arası enerji ticareti, geleneksel enerji piyasalarına kıyasla daha düşük işlem maliyetleri, hız, veri güvenliği ve tüketici katılımı gibi avantajlar sunar.

Blokzincir tabanlı eşler arası enerji ticareti hem maliyet hem de enerji verimliliği açısından geleneksel güç sistemlerine göre önemli avantajlar sunmaktadır. Eşler arası enerji ticareti, elektirk dağıtım şebekesinin verimliliğini artırarak, tüketen üretici (prosumer) ve tüketici arasındaki doğrudan işlemleri mümkün kılmakta ve bu sayede aracı maliyetlerini ve elektrik iletim kayıplarını azaltırken, fiyatların anlık arz-talep koşullarını daha doğru yansıtabilmesini sağlayan daha dinamik ve duyarlı bir enerji piyasasının oluşumunu teşvik etmektedir (Aoun et al., 2024).

Bu çalışmada, blokzincir tabanlı eşler arası enerji ticaretinin aynı dağıtım trafosundan beslenen birbirine fiziki olarak yakın kamu kurumları arasında uygulanabilirliği analiz edilmiştir. Ayrıca, enerji depolama sistemlerinin bulunduğu ve bulunmadığı durumlar da incelenmiş ve sonuçlar karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Makalenin bundan sonraki kısmı aşağıdaki gibi organize edilmiştir. İkinci bölümde,

yöntem ve metodolojide kullanılan simülasyon aracı olan Grid Singularity platformu tanıtılmış, simülasyon için seçilen beş kamu binasına ait elektrik üretim, tüketim ve depolama profilleri tanımlanmıştır. Üçüncü bölümde simülasyon sonuçları değerlendirilerek, enerji depolama sistemlerinin kamu binaları arasındaki enerji ticaretine etkilerinin ekonomik ve teknik açılardan analizleri yapılmıştır. Beşinci ve son bölümde elde edilen veriler doğrultusunda yapılan değerlendirmeler ve bu modelin geniş çaplı uygulamalara nasıl yayılabileceği analiz edilmiştir.

2. ÇALIŞMANIN YÖNTEMİ

Bu kısımda, blokzincir tabanlı eşler arası (peer-to-peer) enerji ticaretinin kamu binaları ve sosyal tesisler arasında uygulanabilirliğini incelemek üzere Grid Singularity platformu kullanılarak bir simülasyon çalışması gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada kullanılan Grid Singularity platformu, enerji piyasaları için blokzincir tabanlı simülasyonlar ve analizler yapabilen bir araçtır. Grid Singularity platformu, dağıtık enerji kaynakları ve enerji ticareti sistemlerini simüle etmek, verileri analiz etmek ve bu sistemlerin etkinliğini değerlendirmek için kullanılan bir platformdur. Bu platform, enerji üreticileri ve tüketicileri arasındaki eşler arası enerji ticaretini (peer-to-peer energy trading) blokzincir teknolojisi ile gerçekleştirmeye odaklanır. Simülasyon esnasında hem merkeziyetsiz enerji dağıtım modelleri hem de akıllı şebeke sistemleri test edilebilmekte ve sonuçları değerlendirilerek yeni enerji ticareti modelleri geliştirilebilmektedir (Grid Singularity, 2024b).

Grid Singularity, enerji ticaretinde blokzincir teknolojisini kullanarak, merkeziyetsiz bir yapı sağlar. Bu yapı, enerji üreticilerinin ve tüketicilerinin güvenli ve şeffaf bir ortamda enerji alışverişi yapmalarına olanak tanır. Blokzincir, enerji ticareti işlemlerini doğrular, kaydeder ve akıllı sözleşmeler aracılığıyla bu işlemleri otomatik hale getirir.

Blokzincir teknolojisi, tüm enerji ticareti işlemlerini merkezi olmayan bir defterde kaydederek veri bütünlüğü sağlar (Thukral, 2021). Bu sayede her işlem izlenebilir ve sahtecilik riski en aza indirgenir. Ayrıca tüm tarafların enerji ticareti işlemlerine şeffaf bir şekilde erişebilmesini sağlar.

Güneş paneli yönlendirmeleri, enerji tüketim profilleri ve enerji depolama gibi çeşitli parametrelerin manuel olarak girilebilmesine olanak tanır.

Platform, bir topluluktaki yapıların enerji üretim ve tüketimlerini dengeleyerek enerji alışverişi yapmalarını sağlar. Örneğin, enerji tüketim profilleri, manuel olarak belirli bir zaman dilimi için girilirken, güneş panelleri için eğim ve azimut açıları optimize edilerek enerji üretimi artırılabilir. Ayrıca, enerji depolama sistemleri, enerji arz ve talep arasında denge kurmak için entegre edilebilir.(Grid Singularity, 2024c).

Bu çalışmada blokzincir tabanlı eşler arası enerji ticaretinin uygulanabilirliğini değerlendirmek amacıyla, mesafe olarak birbirine yakın ve aynı dağıtım trafosundan beslenen beş kamu binası ve sosyal tesis kurgulanmıştır. Bu yapılar, farklı kullanım amaçlarına sahip olmasına rağmen, aynı dağıtım trafosundan beslenen fakat enerji tüketim profilleri açısından birbirinden ayrışan kamu binalarıdır.

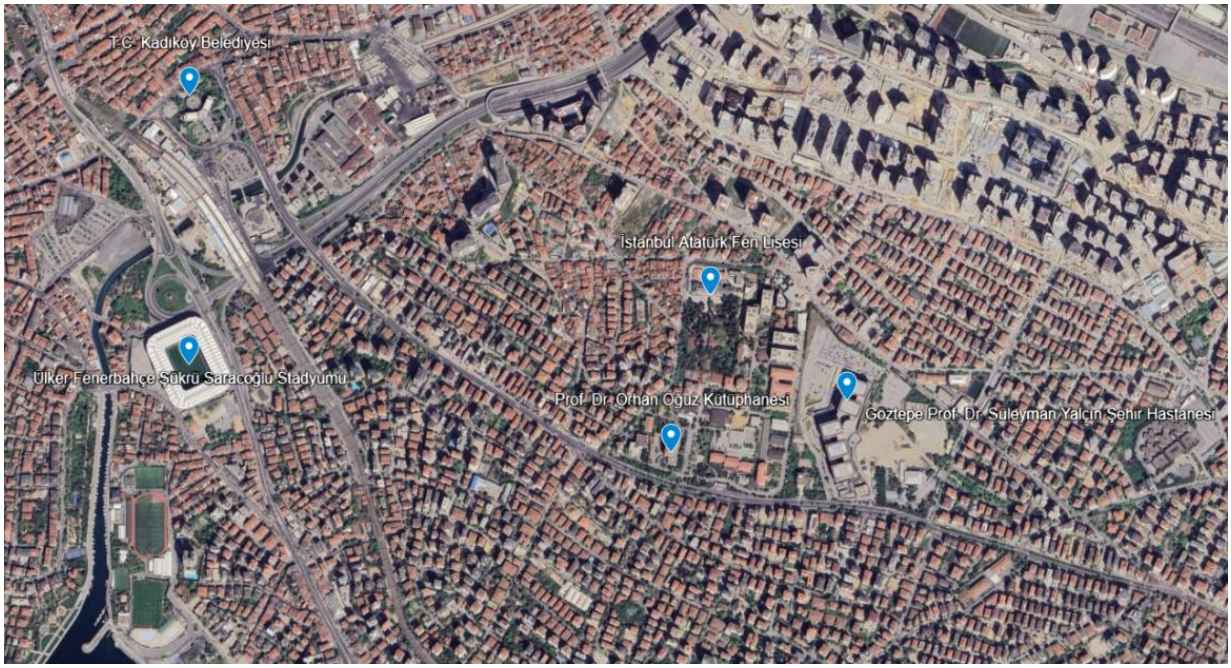
2.1. Kamu Binaları ve Tesislerin Profilleri

Çalışmada kullanılan kamu binaları ve tesisleri hastane, belediye binası, kütüphane, stadyum ve lise binası olarak belirlenmiştir.

Söz konusu yapılar, farklı kullanım amaçlarına sahip olmasına rağmen, ortak şebeke altyapısını paylaşmakta ve enerji tüketim profilleri açısından birbirleriyle etkileşim halindedir. Şekil 2'de görüldüğü üzere, seçilen yapılar belirli bir alan içinde yer almakta ve bu alan aynı dağıtım trafosundan beslenerek enerji alışverişine imkân tanımaktadır. Yapılar arasındaki bu yakınlık, yerel enerji ticaretinin verimli bir şekilde gerçekleştirilmesine olanak sağlar ve blokzincir teknolojisi ile güvenli ve şeffaf enerji transferi sağlanır.

Şekil 2: Seçilen yapıların lokasyonları ve aynı dağıtım trafosu etki alanı

Şekil 3'teki uydu görüntüsü, simülasyonda kullanılan kamu binalarını İstanbul Kadıköy ilçesinde göstermektedir. Bu yapılar, 1 kilometrelik yarıçap içerisinde yer almakta olup aynı dağıtım trafosundan beslenmektedir. Simülasyonda yer alan binalar, rastgele seçilmemiş, gerçek hayatta var olan kamu binalarından seçilerek çalışmanın uygulanabilirliği ve gerçekçiliği artırılmıştır. Aralarında bir hastane, kütüphane, stadyum, belediye binası ve okulun yer aldığı bu yapılar, coğrafi yakınlıkları ve ortak enerji altyapıları sayesinde eşler arası enerji ticareti için uygun bir model sunmaktadır.



Şekil 3: Seçilen yapıların uydu görüntüsü

Çalışmada kullanılan yapıların özellik ve karakteristikleri aşağıda özetlenmiştir:

Hastane: Sağlık hizmetleri sağlayan bu bina, sürekli yüksek enerji ihtiyacı olan kritik bir kamu kuruluşudur. Hastane binasının elektrik tüketimi, özellikle medikal cihazlar, havalandırma ve aydınlatma sistemleri nedeniyle oldukça yüksektir. Hastanelerde yüksek enerji talebi ve sürekli enerji arzı hayati önem taşımaktadır.

Lise: Bir eğitim kurumu olan lisenin enerji tüketimi, ders saatlerine ve etkinliklerin yoğunluğuna bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Lise binası, geniş çatı alanı sayesinde güneş enerjisi üretimi için uygun altyapıya sahiptir.

Belediye Binası: İdari işlevleri yerine getiren bir kamu kuruluşu olarak hizmet veren yapının enerji tüketimi, ofis kullanımı ve aydınlatma sistemlerine bağlı olarak nispeten düşüktür.

Kütüphane: Elektrikli cihazlar, aydınlatma ve iklimlendirme sistemleri nedeniyle sürekli bir enerji ihtiyacı olan bir diğer kamu binasıdır. Diğer binalara göre daha sabit bir enerji tüketim profiline sahiptir.

Stadyum: Enerji tüketimi açısından yüksek talep dönemlerine sahip olabilir. Özellikle spor etkinlikleri ve kullanıcı yoğunluğu arttığında enerji ihtiyacı yükselir. Ancak etkinlik harici tüketim miktarı sıfıra yakın olduğu için enerji fazlası söz konusudur. Ayrıca, geniş çatı alanları sayesinde güneş enerjisi üretimi için potansiyel taşımaktadır.

Şekil 4'te simülasyonda kullanılan parametrelerin yer aldığı arayüz ekranı görülmektedir. Güneş panellerinin çatıdaki yönlendirme ve eğim açılarının yer aldığı ilk ekranda panelin azimut açısı 315°, eğim açısı ise 42° olarak girilmiştir. Bu ayarlar, panellerin güneşten maksimum verim almasını sağlar. (b)'de binanın enerji tüketimi ayarlanır. Simülasyonda konum için lokasyon seçeneği tercih edildiğinde otomatik olarak İstanbul, Türkiye olarak belirlenmiştir. Her yapı için yük profili, yapıya özgü enerji tüketim özellikleri dikkate alınarak oluşturulmuş ve manuel olarak 24 saatlik bir zaman dilimini kapsayacak şekilde girilmiştir. Bu profiller, 15 dakikalık zaman dilimlerinde ölçülen tüketim değerlerini içermektedir. Tüketim profilleri, "YYYY-AA-GGTss:dd,g" (yıl, ay, gün, saat, dakika, tüketilen güç) biçiminde yapılandırılmış ve Tablo 2'te gösterildiği şekilde CSV formatında düzenlenmiştir. Örneğin:

- 2021-09-01T00:00,5 ifadesi 1 Eylül 2021 tarihinde saat 00:00'daki tüketim olan 5 kW'ı,
- 2021-09-01T00:15,10 ifadesi 1 Eylül 2021 tarihinde saat 00:15'teki tüketim olan 10 kW'ı,
- 2021-09-01T00:30,15 ifadesi 1 Eylül 2021 tarihinde saat 00:30'daki tüketim olan 15 kW'ı gösterir.

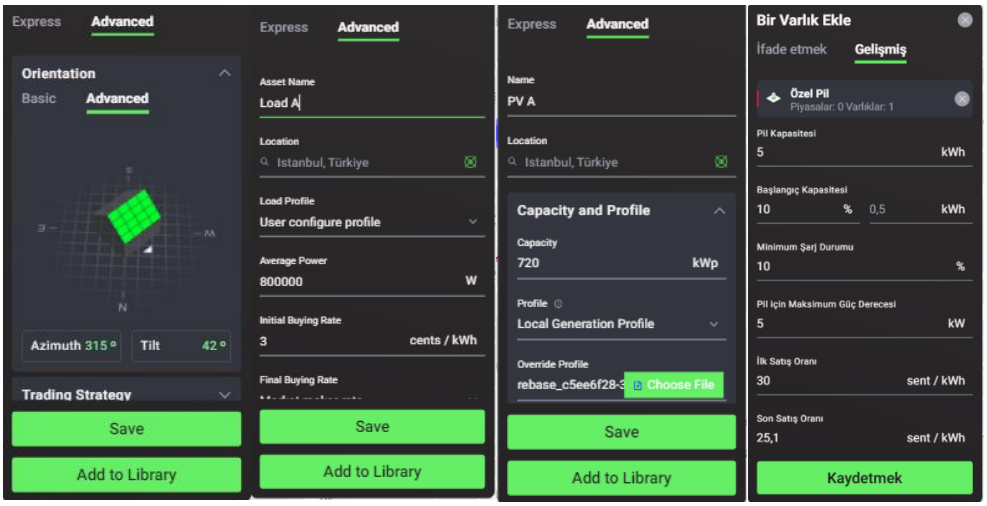
Hastane, stadyum ve kütüphane gibi farklı yapılar için enerji tüketim profilleri ayrı ayrı oluşturulmuştur. Bu süreçte, yapıların enerji tüketim özellikleri ayrıntılı bir şekilde analiz edilmiş ve özellikle hangi saatlerde daha fazla enerji tükettikleri göz önünde bulundurulmuştur. Örneğin, hastane gibi yapılar için gece saatlerinde enerji tüketiminin yüksek olabileceği dikkate alınırken, stadyum gibi yapılar için etkinlik saatlerinde artan enerji talepleri göz önünde bulundurulmuştur. Bu kapsamda her yapı için kendine has tüketim profilleri tasarlanmış, veriler manuel olarak girilmiş ve CSV formatında hazırlanmıştır. Bu profiller, aynı zamanda başlangıç enerji satın alma fiyatlarının yapılandırılmasına da olanak sağlamaktadır.

Tablo 2: Tüketim profili veri yükleme biçimi

Tarih	Saat	Tüketim (kW)	CSV biçimi
2021-09-01T	00:00	5	2021-09-01T00:00,5
2021-09-01T	00:15	10	2021-09-01T00:15,10
2021-09-01T	00:30	15	2021-09-01T00:30,15

Üçüncü (c) ekranda ise yapıdaki kurulu üretim kapasitesi belirlenebilmektedir. PV üretimini modellemek için üç seçenek mevcuttur. İlk seçenek, kullanıcıların belirli bir konum ve yönelimde PV üretimini hızla simüle etmelerini sağlayan "Custom PV" aracıdır; bu seçenek, gerçek bir PV üretim profili mevcut olmadığında kullanılır. Bu araç, "rebase.energy" tarafından sağlanan "Energy Data Map" arka plan kodunu kullanır ve bu hizmet mevcut olmadığında, PV üretim profili Fotovoltaik Coğrafi Bilgi Sistemi (PVGIS)'ten türetilir (Grid Singularity, 2024d). Bu ayarlar, simülasyonun enerji tüketim ve üretim verilerine dayalı gerçeğe çok yakın sonuçlar vermesini sağlar.

Dördüncü arayüzde (d) yer alan enerji depolama parametreleri, enerji yönetiminde kullanılan batarya sistemlerinin çalışma prensiplerini ve ticari özelliklerini optimize etmek için tasarlanmıştır. Bu arayüzde: Pil Kapasitesi (kWh), Başlangıç Kapasitesi (%), Minimum Şarj Durumu (%) ve Pil için Maksimum Güç Seviyesi (kW) yer almaktadır (Grid Singularity, 2024a).

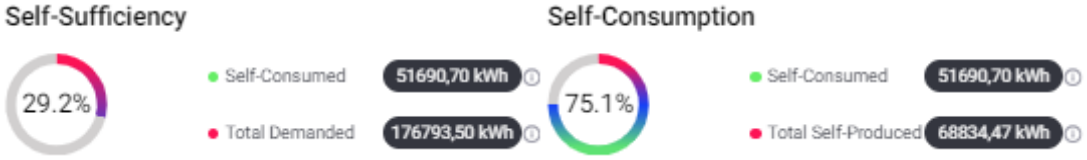


Şekil 4: (a) Güneş panellerinin azimut ve eğim açısı, (b) Binanın enerji tüketim profili, (c) Güneş panellerinin kurulu kapasitesi (d) Enerji depolama sistemi parametreleri

Öz tüketim ve öz yeterlilik, enerji üretim ve tüketim dengesi açısından kritik kavramlardır. Öz tüketim (self-consumption), bir binanın kendi ürettiği enerjinin ne kadarını kendisi tükettiğini ifade eder. Yani, üretilen enerjinin doğrudan binanın kendi ihtiyaçlarını karşılamak için kullanılma oranıdır. Öz yeterlilik (self-sufficiency) ise, bir binanın enerji ihtiyacının ne kadarını kendi ürettiği enerji ile karşılayabildiğini gösterir. Bu, binanın enerji ihtiyaçlarını dış kaynaklara başvurmadan karşılama oranını ifade eder.

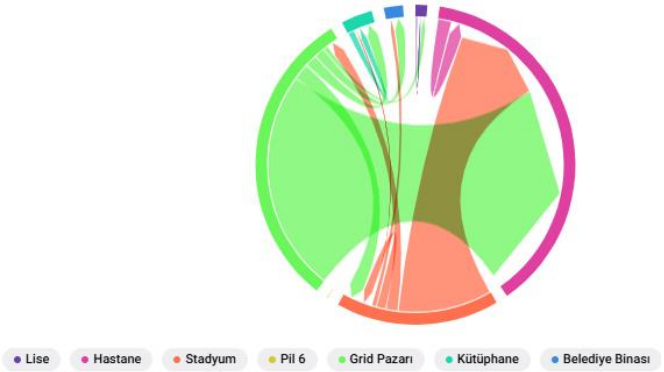
Bu bölümde, öz tüketim ve öz yeterlilik kriterlerini açıklarken, simülasyon sonucunda her binanın ürettiği enerjinin ne kadarını kendisinin tükettiği ve enerji ihtiyacını ne kadar oranda kendi üretimiyle karşılayabildiği incelenmiştir.

Simülasyon sonuçlarına dayalı olarak, şekil 5'te gösterildiği gibi her yapının enerji üretimi ve tüketimi dengesi bu iki kavram üzerinden analiz edilebilir.



Şekil 5: Simülasyon arayüzünde öz-yeterlilik ve öz-tüketim gösterimi

Simülasyonda ticarete katılan tüm yapıların birbirleri arasındaki toplam eşler arası enerji ticareti, şekil 6'da kWh cinsinden görselleştirilmiştir. Grafik ile yapıların enerji alışverişini kapsamlı bir şekilde sunulmakta ve her bir yapının ticarete yaptığı katkılar ayrı ayrı filtrelenerek analiz edilebilmektedir.



Şekil 6: Yapıların kümülatif ticaret grafiği

Tablo 3'te simülasyonlarda kullanılan güneş paneline ait parametreler verilmiştir. Panelin yüksek verimlilik ve dayanıklılık özellikleri sayesinde enerji üretimi ve sistem performansı değerlendirilebilmiştir. Bu özellikler doğrultusunda simülasyon sonuçları elde edilmiştir.

Tablo 3: Güneş Panelinin özelikleri

Özellik	**Değer**
Panel Gücü (WAP)	320 W
Hücre Tipi	Monokristal
Modül Verimi	19,20%
Kısa Devre Akımı	10,31 A
Boyutlar	1640mm x 995mm x 35mm

Seçilen kamu binaları, enerji tüketim profilleri açısından çeşitlilik göstermektedir. Bu farklılıklar, simülasyonun amacına hizmet eden enerji ticaretinin potansiyelini artırmaktadır. Simülasyonda yer alan yapılara ait parametreler tablo 4'te sunulmuştur.

Tablo 4: Simülasyonda yer alan yapıların parametreleri

	Talep Gücü (kW)	**Saatlik Ortalama Tüketim (kWh)**	**Çatı Yüzey Alanı (m2)**	**Panel Sayısı**	**Panel Kurulu Gücü (kWp)**
Hastane	1500	800	9000	2500	720
Belediye	100	40	900	300	96
Kütüphane	80	51	1250	600	200
Stadyum	1000	33	20000	9000	3200
Lise	70	20	750	400	125

İkinci durumda, aynı parametreler kullanılarak enerji depolama sisteminin simülasyona eklenmesiyle elde edilecek sonuçlar da analiz edilecektir. Tablo 5'te bu enerji depolama sistemine ait parametreler detaylı bir şekilde sunulmuştur.

Tablo 5: Simülasyonda yer alan yapıların parametreleri

	Pil Kapasitesi (kWh)	**Başlangıç Kapasitesi (%)**	**Minimum Şarj Durumu (%)**	**Maksimum Güç Derecesi (kW)**
Hastane	50	5	5	20
Belediye	15	5	5	5
Kütüphane	20	5	5	10
Stadyum	50	5	5	20
Lise	10	5	5	5
Merkezi depolama	50	10	10	5

Merkezi enerji depolama sistemleri, genellikle şebeke ölçekli enerji depolama ihtiyaçlarını karşılamak için kullanılır. Bu sistemler, büyük miktarda enerji depolayarak talep yoğunluğunu dengelemek, yenilenebilir enerji kaynaklarının sürekliliğini artırmak ve elektrik şebekesi kararlılığını sağlamak için kullanılmaktadır. Bu sistemlerin Grid Singularity gibi platformlarda simüle edilmesi, kullanım potansiyellerini ve verimliliklerini anlamak açısından önemlidir. Böylece, enerji ticareti modellerinin uygulanabilirliği değerlendirilebilir ve ekonomik analizi yapılabilir.

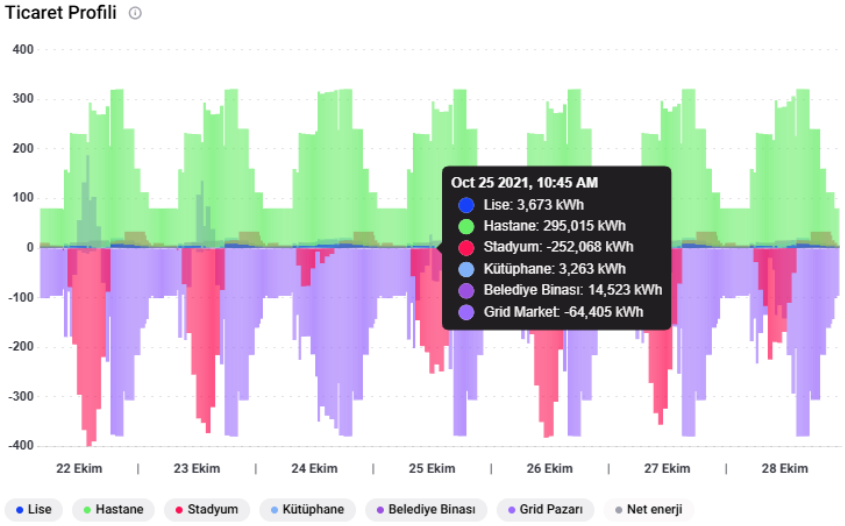
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde, simülasyon sonuçları ayrıntılı olarak analiz edilmekte ve kamu binaları arasındaki enerji ticaretinin verimliliği değerlendirilmektedir. Simülasyon verileri ve ticaret profili grafikleri üzerinden her bir binanın enerji üretim ve tüketim dengesi incelenmiştir. Ayrıca, enerji depolama sistemlerinin

ticaret süreçlerine etkisi detaylı bir şekilde analiz edilmiş ve depolama sisteminin enerji fazlası ve açığı olan yapılardaki performansa katkısı değerlendirilmiştir. Grafikler aracılığıyla elde edilen veriler doğrultusunda, enerji fazlası ve açığı olan yapıların ticaret ve depolama süreçlerindeki performansları analiz edilmiştir.

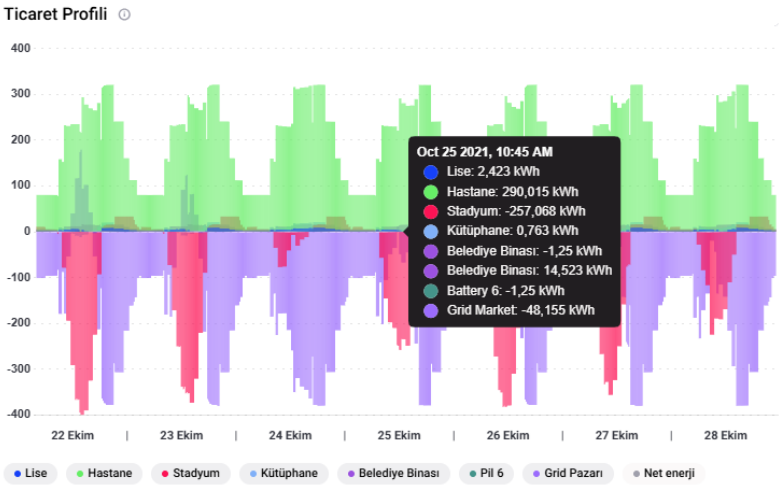
Şekil 7'deki ticaret profili, simülasyon süresince bu pazarda her 15 dakikalık dilimde gerçekleşen enerji ticaretini yansıtır. Binaların enerji fazlası (negatif) veya enerji açığı (pozitif) durumlarını analiz etmemize olanak tanır.

Grafikte, her 15 dakikalık zaman diliminde kamu binaları arasında gerçekleşen enerji ticareti miktarları kWh cinsinden gösterilmektedir. Negatif değerler, binanın enerji fazlası ürettiğini ve bu enerjiyi sattığını, pozitif değerler ise binanın enerji açığı olduğunu ve enerji satın aldığını gösterir. Grafikte yer alan tarih ve saat bilgileri, İstanbul yerel saati yerine 0 derece meridyeni referans alınarak Evrensel Zaman Koordinatı (UTC) cinsinden gösterilmiştir. İstanbul'un yerel saati UTC'den 3 saat ileri olduğundan, simülasyondaki 25 Ekim 2021, 10:45 UTC saati, İstanbul yerel saatine göre 13:45 olarak kabul edilmelidir. Bu nedenle, grafik verileri incelenirken saat dilimi farkı göz önünde bulundurularak değerlendirme yapılması gerekmektedir.



Şekil 7: 1. durumda yapıların ve şebekenin ticaret profili

Bu grafikte, 25 Ekim 2021 tarihinde yerel saat 13:45'te kamu binaları arasındaki enerji ticareti gösterilmektedir. Hastane 295,015 kWh enerji satın alarak ihtiyacını karşılamaktadır. Stadyum 252,068 kWh enerji fazlası vermiştir ve bu enerjiyi hem kendi gibi tüketen üreticiye hem de şebekeye satmaktadır. Kütüphane 3,263 kWh enerji açığı vermekte olup enerjiyi dışarıdan satın almaktadır. Belediye Binası 14,523 kWh enerji açığı vermekte olup enerjiyi dışarıdan satın almaktadır. Şebeke ise 64,405 kWh enerji sağlamıştır. Gündüz saati güneş enerji üretim potansiyelinin zirvede olduğu bir saatte alınan verilerde sonuçların bu şekilde çıkması beklenmektedir.



Şekil 8: 2. durumda yapıların ve şebekenin ticaret profili

Şekil 8'de enerji depolama sisteminin eklenmesiyle ticaret profiline olan etkileri göstermektedir. Bu durumda hastane, enerji satın alma miktarı 290,015 kWh olarak sabit kalmıştır. Stadyum, 257,068 kWh enerji fazlası üreterek bu enerjiyi şebekeye ve diğer tüketicilere satmaya devam etmiştir. Kütüphane ise enerji açığını önemli ölçüde azaltmış ve yalnızca 0,763 kWh enerji satın almıştır. Belediye binası enerji açığına rağmen, enerji satın alma miktarını koruyarak 14,523 kWh enerji satın almıştır. Şebekeden alınan enerji miktarı 48,155 kWh'ye düşerek depolama sisteminin şebeke yükünü azalttığı gözlenmiştir. Enerji depolama sistemi anlık olarak özellikle küçük ölçekli tüketiciler (ör. kütüphane) için fayda sağlamış, ancak hastane ve belediye binası gibi büyük enerji tüketicilerinde sınırlı etki göstermiştir. Depolama sistemleri, şebekeden alınan enerji miktarını azaltarak sistemin genel yükünü hafifletmiş ancak büyük enerji ihtiyacı olan yapılar için yetersiz kalmıştır. Bu durum, depolama kapasitesinin artırılması ve tüketim profillerinin optimize edilmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Yerel enerji piyasasında işlem gören net enerji (satın alınan enerji-satılan enerji) belirli bir zaman dilimi (haftalık veya aylık) üzerinden hesaplanır ve her katılımcı ve enerji topluluğu için sırasıyla kilovatsaat (kWh) olarak ifade edilir.

Enerji maliyeti (elektrik faturası) belirli bir zaman dilimi (haftalık veya aylık) üzerinden hesaplanır ve Euro (€) olarak ifade edilir. Bu çalışmada 22.10.2021-28.10.2021 tarih aralığında bir haftalık sonuçlar üzerinden değerlendirme yapılacaktır. Enerji faturaları ve net enerji ticareti tablosu, satın alınan ve satılan enerjiyi ve ortaya çıkan son toplamı gösteren sütunlara bölünmüştür.

Tablo 6: Simülasyonda yer alan yapıların parametreleri

	Satın Alınan Enerji (kWh)		**Satılan Enerji (kWh)**		**Toplam Enerji (kWh)**	
	1. Durum	**2. Durum**	**1. Durum**	**2. Durum**	**1. Durum**	**2. Durum**
Hastane	131492,95	131492,95	-	-	-131492,95	-131492,95
Belediye	6541,77	6572,27	-	30,5	-6541,77	-6541,77
Kütüphane	5720,59	5749,09	356,92	385,42	-5363,67	-5363,67
Stadyum	6861,51	6898,08	47273,6	47310,16	+40412,1	+40412,08
Lise	2472,06	2498,09	13,83	39,85	-2458,23	-2458,23
Batarya	-	93,75	-	93,75	-	-

Şebeke	5750,7	5075,95	111195,24	110520,49	105444,54	105444,54
Toplam	158839,58	158380,58	158839,58	158380,58	-	-

Tablo 6'da bir haftalık enerji ticareti kapsamında yapılar arasındaki enerji ticaretini göstermektedir. İki durum olarak gösterilen tabloda ilk durum enerji depolama sistemi olmaksızın oluşan ticaret, ikinci durum ise sisteme enerji depolama sistemi eklenerek yapılan simülasyon sonuçlarıdır. Her yapı için satın alınan ve satılan enerji miktarları kWh cinsinden, tablo 7'de ise gelir, gider ve toplam ise Euro (€) cinsinden hesaplanmıştır.

Tablo 7'de bir haftalık enerji ticareti kapsamında yapıların ekonomik gelir gider tablosu gösterilmiştir. Enerji depolama sisteminin eklenmesiyle, yapıların enerji alış, satış ve toplam gelir-gider durumu bir takım değişiklik meydana gelmiştir. Depolama sistemi öncesinde, hastane haftalık enerji tüketiminin tamamını şebekeden satın alarak 137,088 kWh enerji karşılığında 34,214 € ödeme yapmıştır. Depolama sistemi eklendiğinde ise bu miktarda anlamlı bir değişim olmamış, sadece küçük bir tasarruf sağlanmıştır. Belediye binası da enerji satın alımında bir değişim yaşamamış ve 6,854 kWh enerji için aynı seviyede ödeme yapmıştır. Bu durum, depolama sistemlerinin büyük tüketim ihtiyaçlarını karşılamada sınırlı bir etki gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Tablo 7: Simülasyonda yer alan yapıların parametreleri

	Gider (€)		**Gelir (€)**		**Toplam (€)**	
	1. Durum	**2. Durum**	**1. Durum**	**2. Durum**	**1. Durum**	**2. Durum**
Hastane	34214,2	34160,55	-	-	-34214,17	-34160,55
Belediye	1695,33	1687,86	-	7,97	-1695,33	-1679,89
Kütüphane	1626,01	1637,79	49,9	60,98	-1576,11	-1576,81
Stadyum	2058,45	2060,46	7550,47	7593,76	+5492	+5533,3
Lise	677,06	682,4	2,17	8,91	-674,89	-673,48
Batarya	-	14,11	-	24,51	-	10,4
Şebeke	690,08	609,11	33358,57	33156,15	32668,49	32547,03
Toplam	40961,1	40852,11	40961,11	40852,11	-	-

Satılan enerji miktarına bakıldığında, stadyum fazla ürettiği enerjiyi hem öncesinde hem de depolama sistemi sonrasında ticarete sunmuş ve bu süreci devam ettirmiştir. Depolama sistemi eklendiğinde, stadyum enerji satışını küçük bir artışla 47,310 kWh seviyesine çıkarmış ve bu ticaretten 41 € fazla gelir elde etmiştir.

Şebekeden alınan enerji miktarında ise depolama sistemlerinin etkisiyle bir azalma gözlemlenmiştir. Depolama sistemi öncesinde şebeke, toplamda 5,750 kWh enerji sağlayarak 690 € gelir elde etmişken, depolama sisteminin eklenmesiyle bu miktar 5,075 kWh seviyesine düşmüş ve şebeke geliri 609 € olmuştur. Bu, depolama sistemlerinin şebeke üzerindeki yükü hafifletme konusunda sınırlı bir fayda sağladığını ortaya koymaktadır.

Genel olarak, depolama sistemleri küçük ölçekli tüketicilerde enerji satış ve gelirlerini artırmış, ancak hastane gibi yüksek enerji tüketen yapılarda sınırlı bir etki göstermiştir. Bu durum, mevcut yapıların gündüz ağırlıklı enerji tüketim profilleri ve mevcut depolama kapasitelerinin yetersizliğiyle açıklanabilir. Şebekeden alınan enerji miktarının azalması olumlu bir gelişme olmakla birlikte, depolama sistemlerinin ticaret modeli üzerindeki genel etkisinin sınırlı kaldığı görülmektedir. Daha

yüksek kapasiteli depolama sistemleri, özellikle büyük enerji tüketicilerinde daha etkili sonuçlar sağlayabilir.

Simülasyon sonucunda ortaya çıkan iki durumun öz-tüketim ve öz-yeterlilik miktarı tablo 8'de gösterilmiştir. Tabloda çeşitli kamu binalarının toplam öz-tüketim, enerji talebi ve toplam üretim özetlenmektedir. Tablo 9'da ise öz-yeterlilik ve öz-tüketim oranı gösterilmiştir. İki durum arasındaki karşılaştırmalı değerlendirme şu şekilde yapılabilir.
İlk durumda, toplam enerji talebi 166.760 kWh, toplam üretim 61.315 kWh olarak kaydedilmiştir. Öz-yeterlilik oranı %33,32, öz-tüketim oranı ise %90,62 olarak hesaplanmıştır. Bu, yapıların enerji ihtiyaçlarının yaklaşık %67'sini şebekeden karşıladığını ve ürettikleri enerjinin büyük bir kısmını doğrudan tükettiklerini göstermektedir.

Tablo 8: Yapıların bir haftalık enerji üretim, talep, öz-tüketim miktarları

	Öz-Tüketim (kWh)		**Toplam Talep (kWh)**		**Toplam Üretim (kWh)**	
	1. Durum	**2. Durum**	**1. Durum**	**2. Durum**	**1. Durum**	**2. Durum**
Hastane	5595,05	5595,05	137088	137088	5595,05	5595,05
Belediye	312,63	312,63	6854,4	6854,4	312,63	312,63
Kütüphane	2847,41	2855,41	8568	8568	3204,33	3204,33
Stadyum	3960,49	3982,99	10822	10822	51234,08	51234,08
Lise	955,84	955,84	3427,9	3427,9	969,67	969,67
Topluluk	55565,06	56239,81	166760,3	166760,3	61315,76	61315,76

İkinci durumda, enerji depolama sistemlerinin eklenmesiyle toplam üretim değişmezken, öz-yeterlilik oranı %34,25'e ve öz-tüketim oranı %92,10'a yükselmiştir. Bu küçük artışlar, enerji depolama sistemlerinin şebekeden alınan enerji miktarını azalttığını ve üretilen enerjinin daha verimli bir şekilde kullanılmasını sağladığını göstermektedir.

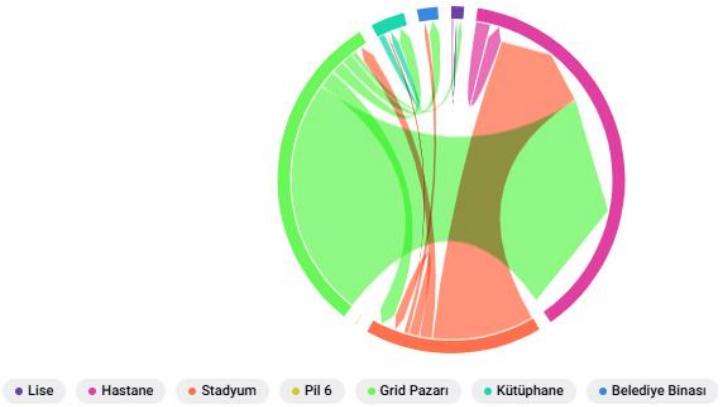
Sonuç olarak, enerji depolama sistemleri genel enerji verimliliğine sınırlı bir katkı sağlamış, ancak yapıların dış kaynaklara bağımlılığını önemli ölçüde azaltamamıştır. Daha büyük depolama kapasiteleri veya farklı stratejik düzenlemelerle bu katkılar artırılabilir.

Tablo 9: Simülasyon sonucu yapıların bir haftalık öz-yeterlilik/öz-tüketim oranları

	Öz-Yeterlilik Oranı (%)		**Öz-Tüketim Oranı (%)**	
	1. Durum	**2. Durum**	**1. Durum**	**2. Durum**
Hastane	4,081%	4,08%	100%	100%
Belediye	4,56%	4,56%	100%	100%
Kütüphane	33,233%	33,33%	88,86%	89,11%
Stadyum	36,597%	36,80%	7,73%	7,77%
Lise	27,884%	27,88%	98,57%	98,57%
Topluluk	33,320%	33,72%	90,62%	91,72%

Şekil 9'da ikinci durum için yapıların ve şebekenin birbirleriyle yaptığı enerji ticaretinin gösteren grafiktir. Bu görsel, yapılar arasındaki enerji ticaretinin yapısını ve enerji fazlası olan ile enerji açığı olan binaların rollerini anlamak için önemli bir bakış açısı sunmaktadır. Ayrıca, enerji depolama

sistemlerinin eklenmesiyle oluşan değişiklikler ve enerji akışındaki iyileşmeler de bu şekilde analiz edilebilir. Grafik, her bir yapının enerji alış ve satış miktarlarını detaylı olarak göstermektedir. Bu verilerden yararlanarak Tablo 10 oluşturulmuştur.



Şekil 9: Yapılar arasındaki kümülatif enerji ticareti

Tablo 10'da kamu binaları arasında gerçekleştirilen enerji alışverişini detaylı bir şekilde göstermektedir. Her bir yapının diğer yapılarla gerçekleştirdiği enerji ticaret miktarları kWh cinsinden ifade edilmiştir. Hastane, en yüksek enerji talebine sahip yapı olarak dikkat çekmektedir.

Tablo 10: İki durum için yapıların eşler arası enerji ticareti miktarları (kWh)

		Enerji Satın Alan Yapılar													
		Hastane		Belediye		Kütüphane		Stadyum		Lise		Batarya		Şebeke	
		1. Durum	2. Durum	1. Durum	2. Durum	1. Durum	2. Durum	1. Durum	2. Durum	1. Durum	2. Durum	1. Durum	2. Durum	1. Durum	2. Durum
Enerji Satan Yapılar	Hastane	5595,05	5795,05	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Belediye	X	X	312,63	341,6	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Kütüphane	81,49	101,25	54,54	80,25	2847,41	2900	0	59	21,07	21,42	X	13,51	199,8	103,9
	Stadyum	38679,7	39125,9	1921,84	2022,4	666,54	649	3960,48	4123,9	457,1575	464,7	X	79,83	5548,34	4968,36
	Lise	X	25,57	X	X	X	X	X	X	955,84	970,315	X	X	X	X
	Batarya	X	40,05	X	15	X	16,8	X	8,75	X	13,15	X	X	X	X
	Şebeke	92724,75	92175,7	4562,5	4446,5	5052,67	5076	6861,5	6830,25	1993,83	1991,83	X	X	X	X

Hastane, en yüksek enerji talebine sahip yapı olarak dikkat çekmektedir. Üretim kapasitesinin yetersiz olması sebebiyle tüm enerji ihtiyacını dış kaynaklardan karşılamaktadır. Bu durum hastaneyi tamamen bağımlı bir yapı haline getirmiştir. Enerji satışının olmadığı göz önüne alındığında, depolama veya üretim kapasitesinin artırılması bu yapının maliyetlerini düşürebilir. Stadyum, yüksek enerji üretim kapasitesiyle sistemdeki en büyük enerji sağlayıcıdır. Ürettiği fazla enerjiyi diğer yapılara ve şebekeye satarak önemli bir gelir elde etmektedir. Bu durum, stadyumu enerji ticaretinde merkezi bir yapı haline getirmektedir. Kütüphane ve Belediye Binası enerji ihtiyacını büyük ölçüde dış kaynaklardan sağlamaktadır. Ancak az da olsa kendi üretimlerinden enerji fazlası satarak gelir elde etmektedirler. Şebeke, tüm sistemin dengesini sağlayan bir yapı olarak görev yapmaktadır. Fazla enerjiyi alıcılarla buluşturmakta ve eksik enerjiyi sistemdeki yapılara sağlamaktadır. Bu durum, şebekenin ticarette önemli bir rol oynadığını göstermektedir.

İki durum arasındaki fark, enerji depolama sisteminin eklenmesidir. Birinci Durumda (Bataryasız) yapıların fazla ürettiği enerji doğrudan şebekeye satılmakta ve ihtiyaç fazlası enerji şebekeden sağlanmaktadır. Özellikle gündüz saatlerinde üretilen fazla enerjinin anında kullanılamaması, üretim fazlasının tam anlamıyla değerlendirilememesine yol açmıştır. Bu durum, binaların şebekeye olan bağımlılığını artırmaktadır.

İkinci Durumda (Bataryalı), enerji depolama sisteminin eklenmesiyle birlikte fazla üretilen enerji bataryalarda depolanmış ve bu enerji daha sonra kullanılmak üzere saklanmıştır. Bu, sistem genelinde şebekeden alınan enerji miktarını az da olsa düşürmüş ve öz-yeterlilik oranını bir miktar artırmıştır.

Özellikle gündüz üretilen fazla enerjinin yapıların enerji tüketim profillerinden dolayı depolanma imkânı sınırlı olmuştur.

Enerji depolama sistemleriyle öz-yeterlilik oranının artırılması, şebekeden satın alınan enerji miktarını bir miktar düşürmüştür. İlk durumda öz-yeterlilik oranı %33,32 iken, ikinci durumda bu oran %34,25'e yükselmiştir. Benzer şekilde öz-tüketim oranı da %90,62'den %92,10'a çıkmıştır. Bu durum, yapıların enerji satın alma maliyetlerini bir miktar azaltmış olsa da enerji ticaretinden elde edilen gelir üzerinde önemli bir değişiklik yaratmamıştır. Bu, depolama sistemlerinin ekonomik katkısının, enerji ticaretine kıyasla daha sınırlı kaldığını göstermektedir.

3. SONUÇ

Bu çalışma, blokzincir tabanlı eşler arası enerji ticareti modelinin, enerji maliyetlerini azaltma ve verimliliği artırma potansiyelini analiz etmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Simülasyonlar, kamu binaları ve tesisler arasında gerçekleştirilen enerji ticaretinin, fazla enerji üreten yapılar ile enerji ihtiyacı yüksek olan yapılar arasında etkin bir şekilde gerçekleştiğini göstermiştir. Çalışmada ayrıca enerji depolama sistemlerinin bu ticaret modeline olan etkisi değerlendirilmiş ve farklı durumlar karşılaştırılmıştır.

Enerji depolama sistemlerinin entegrasyonu, toplam enerji verimliliğini sınırlı bir şekilde artırmıştır. Öz-yeterlilik oranı %33,32'den %34,25'e, öz-tüketim oranı ise %90,62'den %92,10'a yükselmiştir. Ancak, kamu binalarının gündüz saatlerinde yüksek enerji talep etmesi nedeniyle üretilen enerjinin büyük bir kısmı anında tüketilmiş ve depolama sistemlerinin katkısı sınırlı kalmıştır. Bu bulgular, depolama sistemlerinin özellikle gündüz tüketim profiline sahip kamu binalarında maliyetli ve ekonomik olarak verimsiz olduğunu ortaya koymaktadır. Buna karşın, bireysel tüketicilerin gece ağırlıklı tüketim profilleri için depolama sistemlerinin ekonomik açıdan daha uygun olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Bu araştırma, eşler arası enerji ticareti modelinin kamu binalarında uygulanabilirliğini ve enerji yönetimindeki etkilerini ele almıştır. Çalışma, dağıtık enerji kaynaklarının etkin kullanımını sağlayarak şebeke üzerindeki yükün hafifletilmesine katkıda bulunmaktadır. Ayrıca, enerji depolama sistemlerinin kamu binalarında uygulanabilirliği konusunda literatüre yeni bir perspektif sunmaktadır. Depolama sistemlerinin, bireysel kullanıcıların aksine kamu binaları gibi farklı tüketim profillerine sahip yapılar üzerindeki etkileri analiz edilerek mühendislik uygulamaları için önemli çıkarımlar yapılmıştır.

Bu çalışmada, enerji depolama sistemleri yalnızca belirli tüketim ve üretim profilleri kapsamında incelenmiştir. Kamu binalarının tüketim profilleri genellikle gündüz saatlerinde yoğunlaştığı için enerji depolama sistemlerinin etkisi sınırlı kalmıştır. Gelecekte, farklı üretim kapasitelerine sahip daha büyük depolama sistemleri veya alternatif enerji yönetim stratejileri ile bu sınırlamalar aşılabilir.

Sonuç olarak bu çalışma, yenilenebilir enerji kaynaklarının daha etkin kullanımını ve eşler arası enerji ticaretinin sürdürülebilirliğini sağlayacak yeni modellerin mühendislik uygulamalarına nasıl entegre edilebileceğini göstermektedir. Ancak, eşler arası enerji ticaretinde enerji depolama sistemlerinin kamu binaları gibi gündüz ağırlıklı tüketim profiline sahip yapılarda kısıtlı bir katkı sağladığı tespit edilmiştir. Gelecekteki çalışmalar, daha optimize çözümler geliştirerek bu sistemlerin etkinliğini artırabilir ve enerji yönetiminde daha kapsamlı bir dönüşüm sağlayabilir.

KAYNAKÇA

Agency, I. E. (2023). *World Energy Outlook 2023*. https://doi.org/doi:https://doi.org/10.1787/827374a6-en

Aoun, A., Adda, M., Ilinca, A., Ghandour, M., & Ibrahim, H. (2024). Comparison between Blockchain P2P Energy Trading and Conventional Incentive Mechanisms for Distributed Energy Resources—A Rural Microgrid Use Case Study. *Applied Sciences, 14*(17), 7618. https://www.mdpi.com/2076-3417/14/17/7618

European Commission. (2020). *European Climate Pact (COM(2020) 788 final)*. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM:2020:788:FIN

Gai, K., Wu, Y., Zhu, L., Qiu, M., & Shen, M. (2019). Privacy-Preserving Energy Trading Using Consortium Blockchain in Smart Grid. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, *15*(6), 3548-3558. https://doi.org/10.1109/TII.2019.2893433

Grid Singularity. (2024a). *Battery (Storage)*. Retrieved 5 Eylül 2024 from https://gridsingularity.github.io/gsy-e/battery/

Grid Singularity. (2024b). *GSY-e platform documentation*. Retrieved 30 August 2024 from https://gridsingularity.github.io/gsy-e/documentation/

Grid Singularity. (2024c). *GSY-e technical approach*. Retrieved 30 August 2024 from https://gridsingularity.github.io/gsy-e/technical-approach/

Grid Singularity. (2024d). *Solar panels (PVs)*. Retrieved 26.08.2024 from https://gridsingularity.github.io/gsy-e/solar-panels/

Hannah Ritchie, M. R. (2026). *Global investment in clean energy and fossil fuels, 2015-2024*, IEA https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-investment-in-clean-energy-and-fossil-fuels-2015-2024

Leader, A. (2020). *Critical Material Supply Risks and Mitigation Strategies in Clean Energy Technologies* (Publication Number 28087354) [Ph.D., Rochester Institute of Technology]. ProQuest Dissertations & Theses Global. United States -- New York. https://www.proquest.com/dissertations-theses/critical-material-supply-risks-mitigation/docview/2439587000/se-2?accountid=12251

Olabi, A. G., & Abdelkareem, M. A. (2022). Renewable energy and climate change. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *158*, 112111. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112111

Rasoulinezhad, E., & Taghizadeh-Hesary, F. (2022). Role of green finance in improving energy efficiency and renewable energy development. *Energy Efficiency*, *15*(2), 14. https://doi.org/10.1007/s12053-022-10021-4

Ritchie, H., Pablo, R., & Max, R. (2024). Greenhouse gas emissions. *Our World in Data*. https://ourworldindata.org/greenhouse-gas-emissions

Ritchie, H., Roser, M., & Rosado, P. (2023). *Installed solar PV capacity*. https://ourworldindata.org/grapher/installed-solar-pv-capacity?tab=table&yScale=log&time=2013..latest&facet=none&showSelectionOnlyInTable=1&country=BRA~TUR~OWID_WRL~CHN~OWID_EU27~DEU~GBR~USA#sources-and-processing

Soto, E. A., Bosman, L. B., Wollega, E., & Leon-Salas, W. D. (2021). Peer-to-peer energy trading: A review of the literature. *Applied Energy*, *283*, 116268. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.116268

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2024). *Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanları (YEKA) Modeli*. Retrieved 15 Ağustos 2024 from https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-uretim-faaliyetleri-yeka-modeli

Thukral, M. K. (2021). Emergence of blockchain-technology application in peer-to-peer electrical-energy trading: a review. *Clean Energy*, *5*(1), 104-123. https://doi.org/10.1093/ce/zkaa033

Tushar, W., Yuen, C., Saha, T. K., Morstyn, T., Chapman, A. C., Alam, M. J. E., Hanif, S., & Poor, H. V. (2021). Peer-to-peer energy systems for connected communities: A review of recent advances and emerging challenges. *Applied Energy*, *282*, 116131. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.116131

Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (2024). *Türkiye elektrik üretim ve iletim istatistikleri*. Retrieved 25.07.2024 from https://webim.teias.gov.tr/file/0abd7935-6349-4aa0-81de-f91dcb727313?download

Zhang, C., Wu, J., Zhou, Y., Cheng, M., & Long, C. (2018). Peer-to-Peer energy trading in a Microgrid. *Applied Energy*, *220*, 1-12. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.03.010

COMPARATIVE INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF MEMBRANES MADE OF DIFFERENT POLYMERS WITH THE SAME PORE SIZE ON NDIR (INFRARED) GAS SENSOR PERFORMANCE

Control and Automation Engineer ÜSAME AYAZ
UESTCO Energy Systems, Istanbul/Maltepe, Electronic Department
usame.ayaz@uestco.com, ayazusame@gmail.com, ORCID: 0000-0002-3041-4437

ELİF ZEYNEP ÇATMA
Yildiz Technical University, Faculty of Arts and Sciences, Chemistry
elif.catma@uestco.com, elifzcatma@gmail.com, ORCID: 0009-0000-3367-5854

Abstract
Non-dispersive infrared (NDIR) gas sensors are sensitive instruments widely used in industry for detecting gases and measuring their concentrations. In NDIR gas sensors for methane detection, water vapor filling the optical chamber can cause inaccurate measurements due to its overlap with the IR absorption spectrum of methane gas, adhering to the reflective optical surface of the sensor and the surface of the IR source. This situation can be slightly improved by designing the sensor's optical chamber and humidity compensation using software and electronic equipment. Furthermore, membranes are used to protect the sensor's optical surface from contaminants such as water and dust. The hydrophobic properties of membranes are critical to the accuracy and reliability of sensors due to their protection of the sensor against moisture and dust. When selecting membranes, attention should be paid to the effects of sensor stability, t(90) time when gas is applied, and error rate in humid gas, which are important for the sensor performance of membranes. This study, aims to investigate the effects of hydrophobic membranes made of different polymers with the same pore size on gas permeability and sensor gas sensing performance. In this way, in the case of using membranes with different polymer structures, the stability of the sensor, t(90) time, and error rate data in moist gas were analyzed when dry and moist gas were applied to the sensor. With the data obtained, it was determined which polymer-based membranes are more suitable for optimizing the performance of NDIR gas sensors and providing more efficient gas detection. In this context, the effects of polymer types, hydrophobicity, and pore structures on gas permeability properties have been investigated in detail.

Keywords: NDIR Gas Sensors, Hydrophobic Membranes, Gas Permeability, Polymer Materials, Gas Sensing

AYNI GÖZENEK BOYUTUNA SAHİP FARKLI POLİMERLERDEN YAPILMIŞ MEMBRANLARIN NDIR (KIZILÖTESİ) GAZ SENSÖRÜ PERFORMANSINA ETKİLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI İNCELENMESİ

Özet
Dağıtıcı olmayan kızılötesi (NDIR) gaz sensörleri, endüstride gazların tespiti ve konsantrasyonlarının ölçülmesinde yaygın olarak kullanılan hassas cihazlardır. Metan (CH_4) algılamaya yönelik NDIR gaz sensörlerinde optik odaya dolan su buharı, metan gazının (CH_4) IR emilim spektrumu ile çakışması, sensörün yansıtıcı optik yüzeyine ve IR kaynağın yüzeyine yapışması nedeniyle hatalı ölçümlere sebebiyet verebilmektedir. Bu durum sensör optik odanın tasarımı, yazılım ve elektronik ekipmanlar kullanılarak nem kompanzasyonu ile bir miktar iyileştirilebilir. Bunların haricinde sensör optik yüzeyini su ve toz gibi kirleticilerden korumak amacıyla membranlar kullanılmaktadır. Membranların hidrofobik özellikleri, sensörü neme ve toza karşı korumasından kaynaklı olarak sensörlerin doğruluğu ve güvenilirliği açısından kritik öneme sahiptir. Membranlar seçilirken, membranların sensör performansı için önemli olan sensör kararlılığı, gaz uygulandığındaki t(90) süresi ve nemli gazdaki hata oranı etkilerine dikkat edilmelidir. Bu çalışmada, aynı por/gözenek büyüklüğüne sahip farklı polimerlerden yapılmış hidrofobik membranların gaz geçirgenlikleri ve sensör gaz algılama performansları üzerindeki etkilerini incelemek amaçlanmıştır. Bu sayede farklı polimer yapılarındaki membranların kullanılması

durumunda, sensöre kuru ve nemli gaz uygulandığında sensörün kararlılığı, t(90) süresi ve nemli gazdaki hata oranı verileri incelenmiştir. Elde edilen veriler ile NDIR gaz sensörlerinin performansını optimize etmek ve daha verimli gaz tespiti sağlamak için hangi polimer temelli membranların daha uygun olduğu belirlenmiştir. Bu bağlamda, polimer türlerinin, hidrofobiklik derecelerinin ve por yapılarının gaz geçirgenlik özelliklerine olan etkileri ayrıntılı olarak incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: NDIR Gaz Sensörleri, Hidrofobik Membranlar, Gaz Geçirgenliği, Polimer Malzemeler, Gaz Algılama

1. INTRODUCTION

Various gas detection systems/sensors are used in industry to detect flammable/explosive and toxic gases. Catalytic and NDIR gas sensors are the most widely used sensor technologies for detecting flammable/explosive gases, while PID and electrochemical gas sensors are used for detecting toxic gases. Which sensor type is suitable for gas detection is determined by considering sensor performance criteria such as the environment to be used, sensor sensitivity, sensor durability and sensor response speed. Compared to catalytic sensors, NDIR gas sensors for flammable/explosive gas detection are distinguished from catalytic sensors by their ability to operate in an oxygen-free environment, selectivity against gases other than the target gas, long life and low calibration frequency. NDIR gas sensors consist of 3 basic components: an infrared light source, an optical chamber and a sensor to detect the target gas. The working principle of NDIR gas sensors is based on the absorption of infrared light reflected in the optical chamber by the molecular bonds of the gas filling the optical chamber. In many areas of industry, NDIR gas sensors are used to detect methane (CH4) and carbon dioxide (CO2) gases (Jha, 2021). Since the IR spectrum of such gases overlaps with the IR spectrum of water vapor, the entry of water vapor into the optical chamber can also cause erroneous readings (Dinh et al., 2016; Bonne, 1991). Like any other type of sensor, it is important for NDIR gas sensors to respond accurately and quickly without being affected by pollutants such as dust and water vapor. For this reason, protective membranes are used externally to prevent such pollutants from entering the sensing part of the sensor, except for the sensor's own working structure.

There are many types of membranes used in this context in the industry. Membranes can be thick or thin and homogeneous or heterogeneous in structure. In addition, depending on the support material used, they can be natural or synthetic, neutral or loaded with a specific charge (Mulder, 2012).

Membranes are generally used widely in industry because they are flexible, lightweight and resistant to chemicals. Polymer technology such as Polyvinylidene Fluoride (PVDF), Polytetrafluoroethylene (PTFE), Polyacrylonitrile (PAN), Polyetherimide (PEI), Polypropylene (PP), Polyamide (PA), Polystyrene (PS), Polyester (PES), Polyvinyl Alcohol (PVA) are the membrane polymers used. Having a microstructure consisting of billions of interconnected fibrils, the unique membranes have a clean, non-disintegrating structure, chemical resistance and thermal stability. Therefore, they play an important role in liquid and air filtration applications. When polymeric membranes are produced, they are selected by selecting specific features according to the needs of the process in which they will be used. The performances of membrane processes are significantly changed depending on the type of membrane used, the separation of membrane morphology and transition effects. For practical procedures, a membrane can be considered a selective protection device between two broad stages and an intermediate stage that regulates the classes between the two compartments (Ulbricht, 2006).

Membranes are also generally defined as a selective barrier or a fine sieve. This selectivity of membranes varies depending on the physical and chemical properties of the membrane layer, acceptor and feed phases (Mulder, 2012; Ulbricht, 2006; Li, 2007). A schematic representation of a membrane is given in Figure 1. In this study, the membrane was used to filter unwanted particles and moisture in the gas by varying the polymer material type of the membrane while keeping the pore size constant.

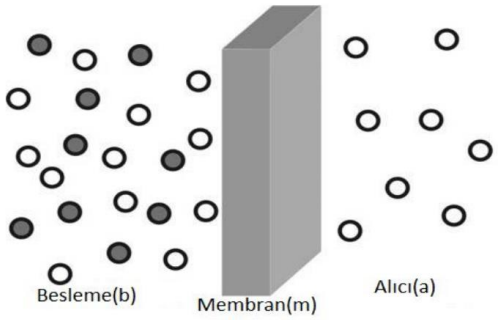


Figure 1: Schematic representation of a membrane (Mulder, 2012).

Polymers such as PTFE (Polytetrafluoroethylene), PP (Polypropylene) and PVDF (Polyvinylidene Fluoride) are frequently preferred for membranes used in NDIR gas sensors (Zarebska et al., 2015; Zhao et al., 2022; Ma et al., 2019). The superior properties of each of these polymers play a decisive role in their selection. PTFE (Polytetrafluoroethylene), the most commonly used membrane polymer in industry, is highly resistant to chemicals and effectively blocks the passage of moisture due to its high hydrophobicity, which maintains the accuracy of the sensors. Furthermore, PTFE exhibits stable performance over a wide temperature range (-200°C to 260°C) and has a low coefficient of friction, making it difficult for particles to adhere to the membrane surface and facilitating cleaning (Teng, 2012; Dhanumalayan & Joshi, 2018).

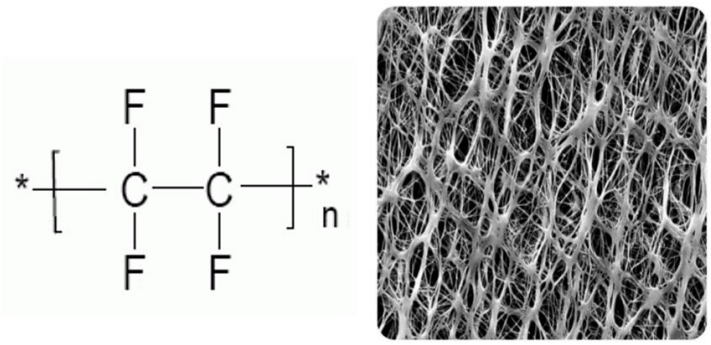


Figure 2: PTFE membrane monomer and structure (Dorsan Living Filtration, 2024).

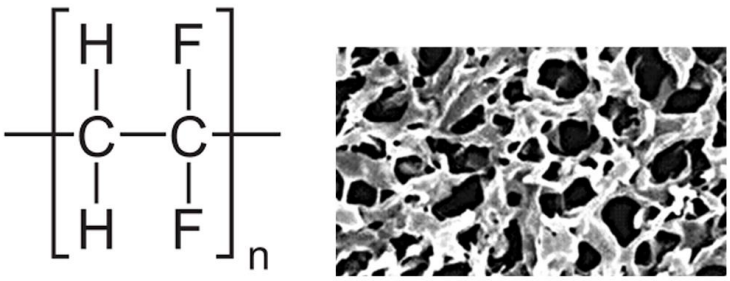


Figure 3: PVDF membrane monomer and structure (Dorsan Living Filtration, 2024).

PP (Polypropylene) is an economical and lightweight polymer. With good resistance to most acids and bases, PP offers stable performance at temperatures between -20°C and 120°C. This polymer effectively filters particles and moisture, ensuring the longevity of the sensors (Rajan et al., 2020; (Chen et al., 2021). PVDF is known for its high mechanical strength and superior resistance to chemicals. PVDF, which can operate between -40°C and 150°C, prevents the passage of moisture with its high hydrophobic properties and offers excellent filtration properties (Hamad et al., 2022; Al-Gharabli et al., 2023; Nthunya et al., 2019).

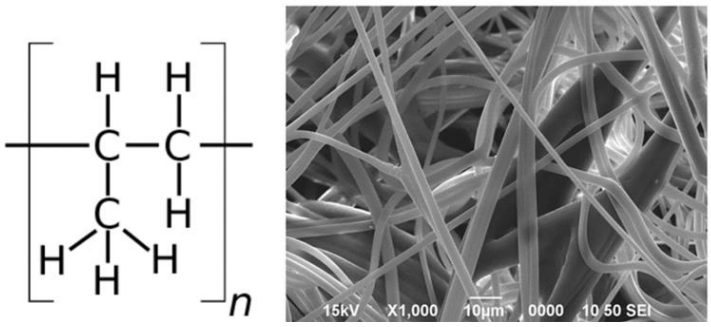


Figure 4: PVDF membrane monomer and structure (Dorsan Living Filtration, 2024).

These polymers enable sensors to provide accurate and reliable measurements thanks to their superior properties such as chemical resistance, hydrophobicity, mechanical strength and wide temperature ranges. Their stable performance under different operating conditions makes it possible to use these polymers in various industrial applications.

The main reason for choosing PP (Polypropylene), PVDF (Polyvinylidene Fluoride) and PTFE (Teflon) polymers in this study is the advantages of these materials in terms of chemical resistance, gas permeability and environmental protection. PTFE offers reliable performance in harsh environmental conditions thanks to its chemical inertness, hydrophobic structure and wide temperature resistance. PVDF stands out in applications requiring gas selectivity with its high resistance to aggressive chemicals, mechanical strength and microporous structure. PP is economical, lightweight and microporous, making it a suitable option for low-cost solutions. These three polymers form an ideal combination to meet different needs in terms of cost and performance balance. As a result, membranes made of PTFE, PP and PVDF were chosen as they are ideal materials to ensure optimal performance and long life of the sensors.

2. METHODOLOGY OF THE STUDY

2.1. Material

To provide the sensor test environment, a climate test chamber from “Xi'an LIB Environmental Simulation Industry” calibrated according to ISO 17025 was used in the test laboratory. The climatic test chamber can adjust the environment in the range of 20% to 98% RH and -40 °C to 150 °C. Perma Pure brand “BE-110-6BB Nafion” model tube was used to adjust the humidity value of the applied gas. The tube takes in the humidity in the environment at low flow rate and makes the humidity of the applied gas equal to the ambient humidity. Thus, the ambient humidity (80% RH) set in the air conditioning cabinet is equalized to the humidity of the gas applied to the sensor. The gas flow rate applied to the sensor was applied to the sensor at 0.25 L/min to be close to the diffusion flow. The gases applied to the sensor are 99.99% (high) purity synthetic dry air and 2.5% vol (percent by volume) methane gas with international traceability and 2% relative measurement uncertainty. The gases supplied to the sensor were applied with a calibration head designed to simulate a small environment. The data read from the sensor (1 data per second) was transferred to the computer environment with a Java software-based interface program and recorded. The PTFE (Dorsan Living Filtration, 2024), PVDF (Dorsan Living Filtration, 2024) and PP (Dorsan Living Filtration, 2024) membranes used were hydrophobic and had a pore size of 0.45 µm and were obtained from “Dorsan” company.

Figure 5: Visuals of the supplied membranes (Dorsan Living Filtration, 2024).

2.2. Method

The same sensor board and sensor capsule were used in all cases to avoid measurement variations that may be caused by the optical chamber and sensor board. In addition, the pore sizes of 3 different membranes were chosen the same to prevent the sensor from affecting the t(90) time. The membranes were placed on the top of the sensor so as not to affect the sensor pores. After each membrane was placed on the sensor, the sensor was calibrated again. In this way, calibration drift of the sensor for each case and measurement changes in the sensor due to disturbance effects caused by external disturbances were prevented.

The ambient humidity and temperature were kept constant at 80% RH and 20 °C, respectively, in an air conditioning cabinet. The humid gas applied to the sensor in each membrane state was thus adjusted to 80% RH.

During data acquisition, 5 periods of dry methane gas were applied to the sensor for 4 cases (without membrane, with PTFE, with PVDF and with PP) until the sensor stabilised (at least 4 minutes) at 20 °C ambient temperature. After 5 periods of dry methane gas was applied to the sensor, 5 periods of humidified methane gas (80% RH) were applied. For these 5 periods, when the sensor stabilised, the average of the last 20 data in humid and non-humid gas was taken and recorded as %vol value. According to these recorded data, the effects of membranes on sensor error rate, sensor stability and t(90) time were analysed separately for each case.

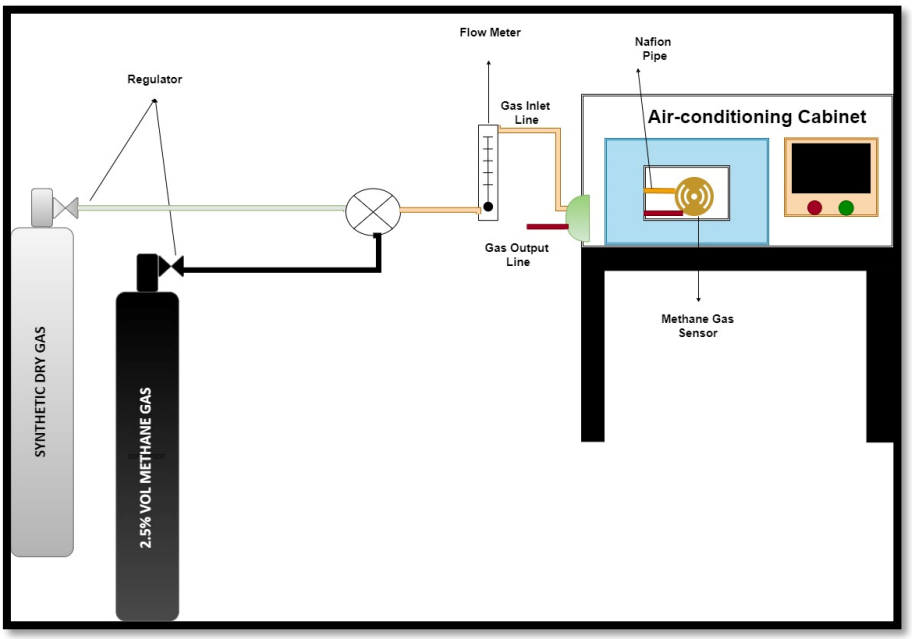


Figure 6: Schematic Representation of the Experimental Setup

2.2.1. Effect of Membranes on Sensor Error Rates in Humid Gas

Under this heading, according to the data received, error values were calculated according to the %vol values when humid gas was applied to the sensor by taking the %vol value read from the sensor in each case as reference. The calculated error rate values are given in Table 1 below.

Table 1: Error Rates in Humid Gas

Membrane Polymer Used	Error Rates
Without membrane	%6,23
PTFE (Polytetrafluoroethylene)	%5,68
PVDF (Polyvinylidene Fluoride)	%6,78
PP (Polypropylene)	%4,49

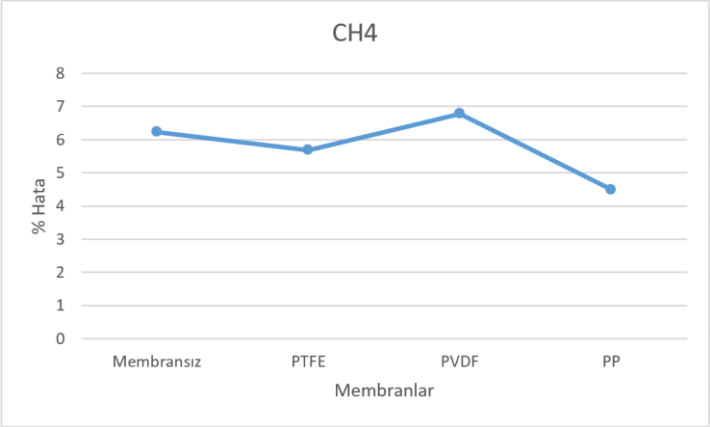


Figure 7: Error Rates Graph in Humid Gas

The error rate of 6.23% obtained in the membrane-free condition is a moderate error rate when compared with other membrane types. As a result, it is seen that it can play an important role in reducing membrane damage.

PTFE is a widely used material in sensors due to its chemical casting and high hydrophobicity. This study shows that the error variations of sensors using PTFE can be reduced compared to the case without membrane. The ratio of 5.68% shows that membranes contribute to the sensor density but do not give a perfect result. The high hydrophobic properties of PTFE resulted in a noticeable improvement in the sensorised coating. PVDF is known for its high mechanical parts and resistance to chemicals. However, in these patterns, it was observed that the error distributions in sensors using PVDF were higher than other membranes. With an error rate of 6.78%, PVDF may have had an effect of increasing the error increment. This situation suggests that PVDF may cause the operating conditions to be unsuitable or the temperature to be adversely affected. PP is a preferred material for sensors as an economical and lightweight polymer. With this successful use of PP membrane, the lowest error rate of 4.49 was obtained. The ability of PP to effectively filter irregularities and moisture was the reason for the reduction of the error, which increased the sensor width. As a result, it shows that PP membranes are the most effective option in sensor performance.

It is obvious that membranes reduce the error rate in humid gas. It should be noted that the error rate of the sensor without membranes when moist gas is applied is 6.23%. It is seen that this rate is within the limit (±10 of the reading value) given for humidity test in BS EN 60079-29-1:2016+A11:2022 standard (Atmospheres, 2016). This is the result of improvements in the sensor board software, hardware and sensor optical chamber. This error rate will increase unless an advanced software, hardware and optical chamber improvement is made for the sensor. In an NDIR sensor, which has a high error rate in humid

gas due to its own structure, the improvement in the error rates observed in these results will also increase depending on the use of a membrane. Of course, it will not be correct to choose the appropriate membrane for the sensor only by looking at the improvement in the error rate in gas reading. Sensor stability and sensor t(90) time, which are important for the sensor, are also important in membrane selection, as is the error rate. Therefore, the following topics will be examined to investigate in which direction the membranes used in the sensor affect these parameters.

2.2.2. Effect of Membranes on Sensor Stability in Humid and Humidity Free Gas

One of the important issues for sensor performance is the stability of the sensor. The definition of stability, as stated in BS EN 60079-29-1:2016+A11:2022, is that when a constant gas concentration is applied to the sensor 3 times in succession, the measurement range does not change by more than ±1% for 2 minutes or twice the relevant t(90) value (Atmospheres, 2016). Sensor stability can be affected by parameters such as the electronic equipment used, irregularity of the IR source, inappropriate optical chamber design. For the gas concentration values (milli volts) read from the sensor to be meaningful, appropriate electronic components and software are used for the sensor board. If these values read by the sensor are not properly filtered against external interference, it will be difficult to accurately determine the gas concentration in the environment and the stability of the sensor will be affected. However, even if appropriate software and hardware filtering is performed, contaminants filling the sensor optical chamber may cause noise by affecting reflectivity and IR light. Under this title, the effect of the use of membranes on sensor stability will be emphasised. In this context, the response graphs of the sensor to humid and non-humid gas in the use of each membrane are given below respectively.

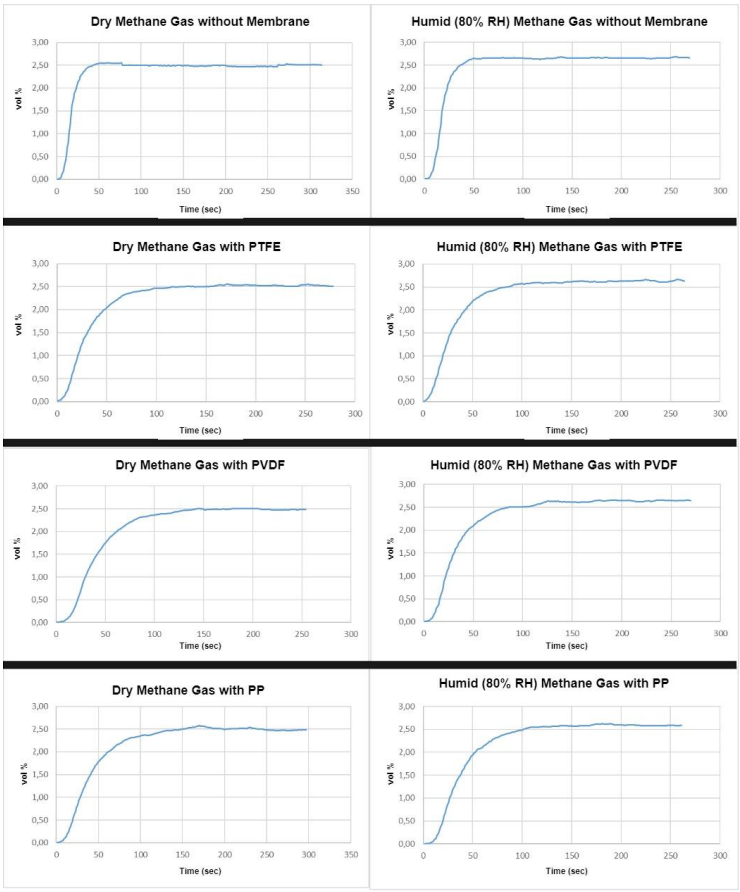


Figure 8: Sensor data readings in humid and non-humid gas for each case

When moist gas is applied to the sensor, it may cause irregularities in the reading of the gas due to the adhesion of water particles to the reflective surface of the sensor. For this reason, the stability of the

sensor may be affected. When the graphs of the sensor in dry and humid gas were analysed, it was seen that the stability of the sensor, which was already in good condition when the membrane was used, did not change. As a result, the stability of the sensor was not affected for all 3 types of membranes. Another important point is that sensor stability may deteriorate due to the design of some NDIR gas sensors. In this case, it is thought that the use of membranes will increase sensor stability.

2.2.3. Effect of Membranes on t(90) Time in Humid and Non-humid Gas

It was previously stated that the t(90) time of the sensor is an important performance criterion for gas detection as well as sensor stability. t(90) time is called the time to reach the concentration value at 90% of the concentration value when the sensor is stabilised when gas is applied to the sensor. The fast value of this value allows early intervention and provides a faster reaction for the environment. Similar to this situation, the alarm value of gas detectors/sensors is usually set at 20% and 40% of the lower explosion limit as the 1st and 2nd alarm level respectively. Although these values may vary according to the user, this alarm value cannot exceed 60% of the lower explosion limit of the gas as specified in BS EN 60079-29-1:2016+A11:2022 (Atmospheres, 2016). Concentration values containing these alarm values are within the t(90) time of the sensor. Therefore, the fast t(90) time of the sensor facilitates the detection of the gas before the gas concentration in the environment becomes dangerous for the environment. Table 2 and Table 3 below show the t(90) time, stability time and %vol values of the sensor when humid and non-humid gas is applied for each case.

Table 2: Sensor t(90) times, stability time and %vol values when dry gas is applied

Dry Gas	% Vol	T_ss	% Vol_ t(90)	T_90
Without Membranes	% 2,48	78 s	% 2,23	35 s
PTFE	% 2,53	162 s	% 2,27	65 s
PVDF	% 2,48	139 s	% 2,32	78 s
PP	% 2,46	126 s	% 2,21	64 s

Table 3: Sensor t(90) times, stability time and %vol values when moist gas is applied

Humid Gas	% Vol	T_ss	% Vol_ t(90)	T_90
Without Membranes	% 2,67	74 s	% 2,40	36 s
PTFE	% 2,62	149 s	% 2,35	62 s
PVDF	% 2,62	151 s	% 2,35	71 s
PP	% 2,57	167 s	% 2,31	67 s

It was mentioned in the material section that when calculating the t(90) time, the flow rate of the gas applied to the sensor was set to approximately 0.25 L/min to be close to the diffusion rate in the real environment. t(90) time was observed to vary with the flow rate applied to the sensor. A high gas flow rate accelerates the filling of the gas into the sensor optical chamber, thus accelerating the t(90) time of the sensor. Conversely, a slow gas flow rate results in a slow t(90) time. Since 0.25 L/min is a relatively low gas flow rate, the t(90) time of the sensor is slightly lower than its normal time. However, since the gas flow rate is kept constant for each case, even if it is low, it does not prevent the comparison of the data obtained.

When Table 2 and Table 3 are analysed, it is seen that the t(90) times in humid and non-humid gas applied to the sensor without membrane are close to each other. It is observed that a similar situation occurs when PP and PTFE membranes are used in the sensor. Although it is observed that there are small changes in t(90) times, it is an important point that these small changes can have a great effect in

preventing the loss of life and property by providing early detection of the dangerous gas concentration in the environment.

When the conditions of the sensor without membrane and membrane sensors in humid and dry gas were examined, it was observed that all 3 different types of membranes significantly slowed down the t(90) time. It is seen that this ratio is at least 1.5 times. Of course, it should be noted that this situation occurs only at slow flow rate (0.25 L/min). At higher flow rates, the t(90) time and stability time of the sensor will accelerate.

In addition, if the responses of the 4 different sensor cases to the humid and dry gas are examined, it is seen that the t(90) times of the membrane-free and PP membrane sensors are faster than the t(90) time in the humid gas. In contrast to this situation, it is observed that the t(90) time of the sensor with PTFE and PVDF membrane is slower than the t(90) time in humid gas. In other words, when PTFE and PVDF membrane is used in the sensor, the t(90) time in response to moist gas is accelerated due to the use of membrane. The opposite situation was observed when the sensor was used without a membrane and with a PP membrane. This is due to the differences in the monomer structures of membrane polymers.

3. CONCLUSION

In this study, humid (80% RH) and non-humid/dry (CH_4) gas was applied to the sensor for 4 different states of the sensor (without membrane, with PTFE membrane, with PVDF membrane and with PP membrane). When humid methane gas was applied to the sensor without membrane, it was observed that the humid gas caused inaccurate measurement of the sensor by reading the ambient gas 6.23% higher than when the humid gas was applied. In order to examine how the use of membranes affects this error rate in humid gas, 3 different polymer membranes were attached to the sensor and it was observed that each membrane reduced the error rate in humid gas. As a result of the studies, it was observed that the PP type membrane reduced the error rate more than the other membrane types and gave the best result.

As another investigation in this study, the effect of membrane use on sensor stability and sensor t(90) time was examined. As a result of this examination, it was observed that the use of 3 types of membranes with a pore size of 0.45 μm did not change the sensor stability, which was in good condition, and extended the sensor t(90) time. It should be noted that the reason for the extension of the t(90) time may vary depending on the pore size. When the effects of 3 types of membranes on extending the t(90) time were analysed, it was observed that PP type membrane gave the best effect in dry methane gas and PTFE type membrane gave the best effect in humid methane gas.

As a result, it was observed that membranes with different physical/chemical structures such as PTFE, PVDF and PP affect the performance of the sensor at different orders to different degrees. This study has revealed that the performance of the sensor should be considered as a whole in membrane selection and membrane selection should be determined according to the effects on sensor performance, application area and user requirements. This comparison between membranes such as PTFE, PVDF and PP can guide the selection of materials suitable for the application area and sensor. This work will serve as a guide for researchers because there isn't a comparison between membranes and NDIR gas sensors like there is in the literature.

This study examined the sensor responses of membranes with the same pore structure but different physical and chemical structures in both humid and non-humid gases at a constant gas flow rate. In future studies, the pore structure of the membranes can be changed and the sensor responses at different gas flow rates can be examined and more comprehensive research can be carried out.

4. ACKNOWLEDGMENTS

UESTCO Energy Systems' financial support and significant efforts made this study possible. We express our gratitude to them for their collaboration and assistance.

REFERENCES

Al-Gharabli, S., Flanc, Z., Pianka, K., Terzyk, A. P., Kujawski, W., & Kujawa, J. (2023). Porcupine quills-like-structures containing smart PVDF/chitosan hybrids for anti-fouling membrane applications and removal of hazardous VOCs. *Chemical Engineering Journal*, *452*, 139281.

Atmospheres, E. (2016). *Part 29-1: Gas Detectors—Performance Requirements of Detectors for Flammable Gases*. ANSI/ISA-60079-29-1.

Bonne, U. (1991). *U.S. Patent No. 5,055,690*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

Chen, X., Zhu, W., & Zhang, Q. M. (2021). Improving electric thermal stability of polypropylene by chemically linking small amount of hindered phenol groups. *MRS advances*, *6*, 321-326.

Dhanumalayan, E., & Joshi, G. M. (2018). Performance properties and applications of polytetrafluoroethylene (PTFE)—a review. *Advanced Composites and Hybrid Materials*, *1*, 247-268.

Dinh, T. V., Choi, I. Y., Son, Y. S., & Kim, J. C. (2016). A review on non-dispersive infrared gas sensors: Improvement of sensor detection limit and interference correction. *Sensors and Actuators B: Chemical*, *231*, 529-538.

Dorsan Living Filtration (2024, 20 October). PP Filter, https://www.dorsanfiltration.com/wp-content/uploads/2023/10/Membrane-filter-PP-dorsan-filtration-EN.pdf

Dorsan Living Filtration (2024, 20 October). PTFE Filter, https://www.dorsanfiltration.com/wp-content/uploads/2023/10/Membrane-filter-PTFE-dorsan-filtration-EN.pdf

Dorsan Living Filtration (2024, 20 October). PVDF Filter, https://www.dorsanfiltration.com/wp-content/uploads/2024/02/Membrane-filter-PVDF-dorsan-filtration-EN-1.pdf

Gas Sensing Solutions (2020, August). *AN008: Reducing the impact of condensation on CO2 sensor* (Application Note, Revision 1.2). https://www.gassensing.co.uk/wp-content/uploads/2023/05/AN008-Reducing-the-Impact-of-Condensation-on-CO2-Sensors-Rev-1.2-21.08.2020_0.pdf

Hamad, E. M., Al-Gharabli, S., & Kujawa, J. (2022). Tunable hydrophobicity and roughness on PVDF surface by grafting to mode–Approach to enhance membrane performance in membrane distillation process. *Separation and Purification Technology*, *291*, 120935.

Jha, R. K. (2021). Non-dispersive infrared gas sensing technology: A review. *IEEE Sensors Journal*, *22*(1), 6-15.

Li, K. (2007). *Ceramic membranes for separation and reaction*. John Wiley & Sons.

Ma, L., Wang, J., Zhao, F., Wu, D., Huang, Y., Zhang, D., ... & Fan, Y. (2019). Plasmon-mediated photothermal and superhydrophobic TiN-PTFE film for anti-icing/deicing applications. *Composites Science and Technology*, *181*, 107696.

Mulder, M. (2012). *Basic principles of membrane technology*. Springer science & business media.

Nthunya, L. N., Gutierrez, L., Khumalo, N., Derese, S., Mamba, B. B., Verliefde, A. R., & Mhlanga, S. D. (2019). Superhydrophobic PVDF nanofibre membranes coated with an organic fouling resistant hydrophilic active layer for direct-contact membrane distillation. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, *575*, 363-372.

Rajan, G., Morgan, J. J., Murphy, C., Torres Alonso, E., Wade, J., Ott, A. K., ... & Neves, A. I. (2020). Low operating voltage carbon–graphene hybrid E-textile for temperature sensing. *ACS applied materials & interfaces*, *12*(26), 29861-29867.

Sun, Y. W., Liu, W. Q., Zeng, Y., Wang, S. M., Huang, S. H., Xie, P. H., & Yu, X. M. (2011). Water vapor interference correction in a non dispersive infrared multi-gas analyzer. *Chinese Physics Letters*, *28*(7),

Teng, H. (2012). Overview of the development of the fluoropolymer industry. *Applied Sciences*, *2*(2), 496-512.

Ulbricht, M., 2006, Advanced functional polymer membranes, Polymer, 47 (7), 2217–2262.

Zarebska, A., Amor, Á. C., Ciurkot, K., Karring, H., Thygesen, O., Andersen, T. P., ... & Norddahl, B. (2015). Fouling mitigation in membrane distillation processes during ammonia stripping from pig manure. *Journal of Membrane Science*, *484*, 119-132.

Zhao, H., Wang, Z., Li, Y., & Yang, M. (2022). Single-sided and integrated polyaniline/poly (vinylidene fluoride) flexible membrane with micro/nanostructures as breathable, nontoxic and

fast response wearable humidity sensor. *Journal of Colloid and Interface Science*, *607*, 367-377.

PARÇACIK ASTARI ÜRETİMİNDE KULLANILAN MALZEMELERİN DÜŞÜK HIZ DARBE DAYANIMLARININ SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE İNCELENMESİ

Öğr.Gör. MUHAMMED FATİH ÖZTÜRK
Bursa Uludağ Üniversitesi, Orhangazi Yeniköy Asil Çelik MYO, Otomotiv Teknolojisi
Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Otomotiv Mühendisliği
muhammedfatih@uludag.edu.tr, ORCID: 0000-0002-9041-3153

Prof.Dr. ABDULKADİR CENGİZ
Kocaeli Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği
akcengiz@kocaeli.edu.tr, ORCID: 0000-0002-7830-5299

Özet
Savunma sanayinde kullanılan ve otomotiv teknolojilerinin Ar-Ge alanına giren zırhlı personel taşıyıcı (ZPT) araçlar dışarıdan gelen patlama ve mermi etkisini karşılamak amacıyla araç gövdeleri yüksek mukavemetli malzemelerle üretilmekte ya da kaplanmaktadır. Ancak zırha dışarıdan çarpan mermi etkisiyle zırhın eşik enerji sönümleme seviyesi aşıldığında çarpma bölgesi yüksek çarpma etkisinde dolayı hasara uğramakta ve iç hacme doğru saçılma meydana gelmektedir. Bu parçacıklar ise mürettebata ve iç donanıma ağır zayiat verdirmektedir. Bu etkiyi en aza indirmek amacıyla günümüzde zırhlı personel taşıyıcılarda ana zırhın arkasında hafif taşınabilir parçacık tutucu malzemeler kullanılmaktadır. Günümüzde balistik kompozit malzemeler hafif zırhlı araçlarda tek başına kullanılabildiği gibi ağır zırhlı araçlarda parçacık tutma ve şok sönümleme özelliğinden dolayı ikincil zırh olarak da kullanılmaktadır. Bu çalışmada parçacık astarı üretiminde kullanılan aramid ve ultra yüksek moleküler ağırlıklı polietilen (UHMWPE) malzemelerden oluşan farklı konfigürasyonlardaki kompozit tabakaların 150J deki düşük hız darbe dayanımları sonlu elemanlar yöntemiyle incelenmiş ve uygun konfigürasyon seçimleri yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Parçacık Astarı, Balistik Dayanım, Düşük Hız Darbe, Sonlu Elemanlar Analizi (FEA), LS-DYNA

INVESTIGATION OF LOW VELOCITY IMPACT STRENGTH OF MATERIALS USED IN SPALL LINER MANUFACTURING BY FINITE ELEMENT METHOD

Abstract
Armored personnel carrier (APC) vehicles, which are used in the defense industry and fall within the R&D area of automotive technologies, are manufactured or coated with high-strength materials in order to meet the impact of external explosions and bullets. However, when the threshold energy damping level of the armor is exceeded by the impact of the projectile hitting the armor from the outside, the impact zone is damaged due to the high impact effect and scattering occurs towards the internal volume. These fragments cause heavy casualties to the crew and internal equipment. In order to minimize this effect, lightweight portable particle trap materials are used behind the main armor in armored personnel carriers today. Today, ballistic composite materials can be used alone in light armored vehicles or as secondary armor in heavy armored vehicles due to their particle retention and shock absorbing properties. In this study, the low velocity impact strengths at 150J of composite layers in different configurations of aramid and ultra-high molecular weight polyethylene (UHMWPE) materials used in the production of spall liner were investigated by finite element method and appropriate configuration selections were made.

Keywords: Spall Liner, Ballistic Strength, Low Velocity İmpact, Finite Element Analysis (FEA), LS-DYN

1. GİRİŞ

Kişisel koruma için balistik zırhlar (yumuşak vücut zırhı) çok katmanlı balistik kumaşlardan yapılır. Sert zırh plakaları, yüksek hızlardaki saldırılar için yumuşak zırh yeleğine eklenmektedir. Bir başka uygulama ise askeri araçlardaki ikincil zırhlar veya parçacık astarlarıdır. Bu astarlar, delici parçacıkların ve/veya parçalanmış zırh malzemesinin araç içine girmesini önleyerek askeri personellerin sağ kalım oranını artırmak için yerleştirilmektedir [1].

Aramid elyaf takviyeli polimer kompozitler, yüksek mukavemet-ağırlık oranı ve elastik modülü, mükemmel hasar direnci, belirtilen düşük yoğunlukları ve olağanüstü balistik performansı nedeniyle büyük ilgi görmüştür. Bu nedenlerden dolayı aramid kompozitler, balistik özelliklerin hayati önem taşıdığı yüksek darbe yükleme ortamlarında yoğun bir şekilde kullanılmaktadır [2].

1990'lı yıllarda ultra-yüksek moleküler ağırlığa sahip polietilen (UHMWPE) lifleri balistik koruma amaçlı üretilen sistemlerde en hafif ve etkin bir çözüm sağlayarak yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır [3].

Çeşitli mühendislik test koşullarına tabi tutulurken, tamamen aynı takviye fazı ile üretilmiş bir kompozit her zaman üstün mekanik özellikler göstermez. Bu nedenle hibrit kompozitler, bu tür mekanik uygulamalar veya durumlar için en uygun malzeme çözümüdür [4].

Zırh bileşenlerini oluşturan malzemelerin maliyetlerinin yüksek olmasına ek olarak her bir tasarım için üretim ve test sürecinin uzun zaman almasından dolayı tasarımcılar tasarladıkları zırh sistemlerinin doğruluğunu belirlemek için sayısal modelleri kullanmaktadırlar. Literatürdeki birçok çalışma, balistik kalkanlar üzerindeki yüksek hızlı etkiyi simüle etmek için sonlu elemanlar metoduna dayanan sayısal modeller kullanmıştır [5].

Bu çalışmada parçacık astarı üretiminde kullanılan aramid ve ultra yüksek moleküler ağırlıklı polietilen (UHMWPE) malzemelerden oluşan farklı konfigürasyonlardaki kompozit tabakaların 150J deki düşük hız darbe dayanımları sonlu elemanlar yöntemiyle incelenmiş ve uygun konfigürasyon seçimleri yapılmıştır.

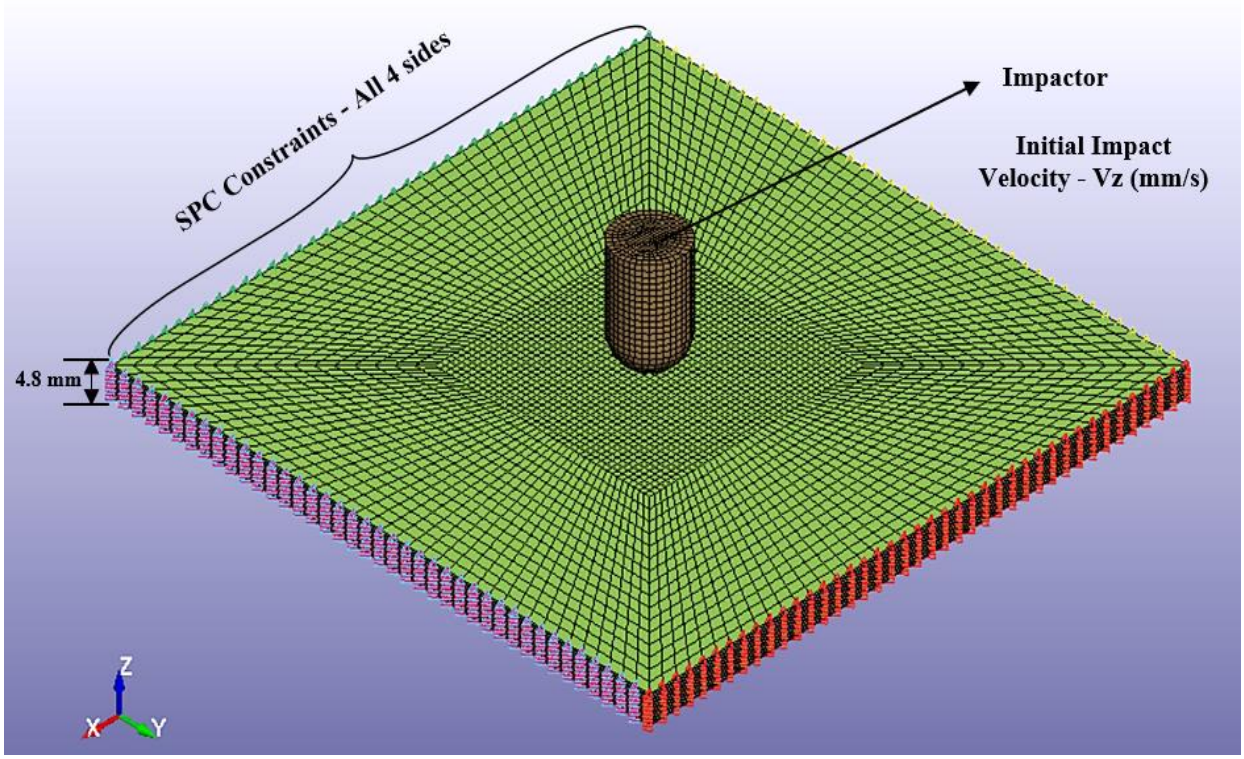
2. ÇALIŞMANIN YÖNTEMİ

Bu çalışmada Aramid, UHMWPE ve Aramid/UHMWPE' den oluşan çok katmanlı kompozit tabakalar Tablo 1. de görüldüğü gibi 100x100x4.8 mm boyutlarında tasarlanmıştır. Katman kalınlıkları oluşturulurken aramid fiber için 0.6 mm ve UHMWPE fiber için 0.3 mm örgü kumaşlar kullanılmıştır.

Oluşturulan çok katmanlı zırhın düşük hız darbe dayanımını belirlemek için doğrusal olmayan sonlu elemanlar programı LS-DYNA kullanılmıştır. Şekil1. de LS-DYNA programında ASTM D7136'ya [6] uygun olarak oluşturulmuş düşük hız darbe testi sınır koşulları görülmektedir. Impactor olarak 150J darbe enerjisine eş değer olacak şekilde 15 kg toplam ağırlıkta 4.5 mm/s hızdaki 12.7 mm çapındaki yarım küresel uç kullanılmıştır.

Tablo 1: Konfigürasyon Katman Dizilimleri

Konfigürasyon Adı	Katman Dizilimi
S1	$[A]_8$
S2	$[U]_{16}$
S3	U-A-A-U-A-A-U-A-A-U
A: Aramid	U:UHMWPE



Şekil 1: Düşük hız darbe testi sınır koşulları

2.1 Kullanılan Malzeme Modelleri ve Kontak İlişkileri

Aramid ve UHMWPE tabakalar için Mat59_Composite_Failure_Solid_Model malzeme modeli kullanılmıştır. Bu model kompozit malzemenin kademeli olarak hasarını 3B gerilmeye dayalı bir kırılma kriteri temelinde modelleyebilmektedir. Malzeme kartında yer alan Xt,,Yt ve Zt sırasıyla boyuna, enine ve normal yöndeki çekme dayanımını; Xc, Yc ve Zc ise sırasıyla boyuna, enine ve normal yöndeki basma dayanımını; S12 düzlem içi kesme dayanımını; S23 ve S31 enine kesme dayanımını göstermektedir.

Tablo 2. ve Tablo 3. de Aramid ve UHWPE tabakalar için kullanılan malzeme modeli özellikleri verilmiştir.

Tablo 2: Aramid fiber Mat59_Composite_Failure_Solid_Model malzeme modeli [7]

Aramid fiber	
RO (kg/m^3)	1117
EA (MPa)	17230
EB (MPa)	17230
EC (MPa)	10338
PRBA	0.2
PRCA	0.12
PRCB	0.12
GAB (MPa)	5510
GBC (MPa)	3306

GCA (MPa)	3306
Xt (MPa)	425
Xc (MPa)	88
Yt (MPa)	425
Yc (MPa)	88
Zt (MPa)	255
Zc (MPa)	53
SBA (MPa)	66
SCA (MPa)	40
SCB (MPa)	40

Tablo 3: UHMWPE fiber Mat59_Composite_Failure_Solid_Model malzeme modeli [8]

UHMWPE fiber	
RO (g/cm^3)	0.97
EA (GPa)	30.70
EB (GPa)	30.70
EC (GPa)	1.97
PRBA	0.008
PRCA	0.044
PRCB	0.044
GAB (GPa)	0.73
GBC (GPa)	0.67
GCA (GPa)	0.67
Xt (GPa)	3.10
Yt (GPa)	3.10
Yc (GPa)	1.30
Zt (GPa)	0.95
SBA (GPa)	0.55
SCA (GPa)	0.55
SCB (GPa)	0.55

Impactor için ise Mat_Rigid kartı kullanılarak RO: 7.85 g/cm^3 E: 210 GPa Poisson's ratio: 0.3 olarak tanımlanmıştır.

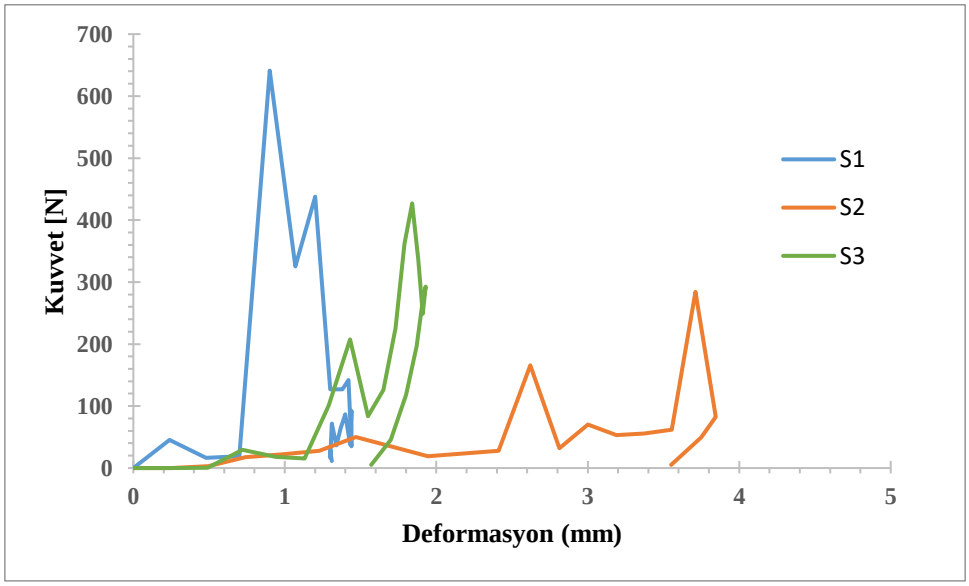
Katmanlar arasında kontak ilişkisi olarak Contact_Automatic_One_Way_Surface_To_Surface_ Tiebreak kartı kullanılmıştır. Impactor ve katmanlar arasında ise Contact Eroding Surface To_Surface Kartı uygulanılmıştır. İmpactor ve katmanlar arasındaki sürtünme katsayısı 0.3 olarak tanımlanmıştır. Aramid ve UHMWPE için Mat_Add_Erosion malzeme kartı kullanılmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

Bu çalışmada parçacık astarı üretiminde kullanılan Aramid ve ultra yüksek moleküler ağırlıklı polietilen (UHMWPE) malzemelerden oluşan farklı konfigürasyonlardaki kompozit tabakaların 150J deki düşük hız darbe dayanımları sonlu elemanlar yöntemiyle incelenmiştir. Konfigürasyonlar için Şekil2. de görülen kuvvet- deformasyon eğrileri hesaplanmıştır.

Kontak kuvveti malzemenin hasar alana kadarki dayanabileceği en yüksek kuvvet değerini göstermektedir. Eğriler incelendiğinde tüm konfigürasyonların 150J için delinmediği görülmüştür. Şekil 2. incelendiğinde sadece aramid fiber içeren S1 numunesi en yüksek kontak kuvvetini gösterirken, sadece UHMWPE fiber içeren S2 numunesi en düşük kontak kuvveti gösterdiği görülmüştür. Aramid/UHMWPE her ikisini içeren hibrit S3 numunesi ise S2 numunesine göre kontak kuvveti % 50 arttırdığı görülmüştür.

Düşük hız darbe dayanımı açısından en iyi performansı sırasıyla S1,S3 ve S2 konfigürasyonları göstermiştir.



Şekil 2: Düşük hız darbe testi kuvvet- deformasyon eğrisi

4. SONUÇ

Parçacık astarı gibi zırhlı yapılarda malzeme seçiminde hafiflik ve balistik dayanım önemli bir parametredir. Sonuçlar aynı kalınlıklardaki kompozit zırh üretimlerinde;

- Aramid malzemelere alternatif olarak hibrit Aramid/UHMWPE tabakalar kullanılarak hafiflik sağlanabileceğini,

- UHMWPE malzemelere alternatif olarak hibrit Aramid/UHMWPE tabakalar kullanılarak balistik dayanımın arttırılabileceğini göstermiştir.

KAYNAKÇA

[1] Erbil, Y. EKŞİ, A. K. And BİRCAN, D. A. (2011). "Spall Liner: From Fiber to Protection." 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS?11 , Elazığ, Turkey, pp.146-156.
[2] Rajasekaran, T., & Varun, V. (2015). AN REVIEW ON ARAMID FIBER REINFORCED COMPOSITES. *Journal of Manufacturing Engineering, 10*(4), 200-206.
[3] Verdi, A., & Uğur, Ş. S. (2023). Yumuşak Zırh Üretiminde Kullanılan Kumaşların Balistik Koruma Özelliklerinin İncelenmesi. Science and Technique in the 21st Century, 10(20), 47-54.
[4] Vinayaka, N., Nagabhooshanam, N., Balaji, D., Verma, R., & Patil, P. P. (2022). Effect of silanized stacked Kevlar fiber/brass 270 wire mesh on mechanical and impact toughness of cubic boron nitride–epoxy composite. *Polymer Composites, 43*(8), 5159-5167. doi:10.1002/pc.26805
[5] Mutu, H. B., & Özer, A. (2022). Alümina, Grafen/Epoksi ve UHMWPE' den Oluşan Çok Katmanlı Balistik Zırhın Performansının Sonlu Elemanlar Yöntemiyle İncelenmesi. Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi, 11(2), 180-193.
[6] ASTM D 7136; Elyaf Takviyeli Polimer Matris Kompozitinin Düşen Ağırlık Darbesine Karşı Hasar Direncinin Ölçülmesine Yönelik Standart Test Yöntemi. ASTM: West Conshohocken, PE, ABD, 2012.

[7] Berk, B., Karakuzu, R., & Toksoy, A. K. (2017). An experimental and numerical investigation on ballistic performance of advanced composites. 51(25), 3467-3480. doi:10.1177/0021998317691810
[8] Bian, J., Dai, K., Lv, X., Huang, Z., Wu, G., & Zhang, Y. (2024). Effect of Material and Structure of Ultra-High-Molecular-Weight Polyethylene Body Armor on Ballistic Limit Velocity: Numerical Simulation. Polymers, 16(21), 2985. https://doi.org/10.3390/polym16212985

UHMWPE fiber	
RO (g/cm^3)	0.97
EA (GPa)	30.70
EB (GPa)	30.70
EC (GPa)	1.97
PRBA	0.008
PRCA	0.044
PRCB	0.044
GAB (GPa)	0.73
GBC (GPa)	0.67
GCA (GPa)	0.67
Xt (GPa)	3.10
Yt (GPa)	3.10
Yc (GPa)	1.30
Zt (GPa)	0.95
SBA (GPa)	0.55
SCA (GPa)	0.55
SCB (GPa)	0.55