

EDITED BY

PROF. DR. YUKSEL KAPLAN

ARCENG

INTERNETIONAL INDEXED & REFEREED JOURNAL

ARCHITECTURE &  
ENGINEERING

YEAR | 2025

VOLUME | 5

ISSUE | 1



ISSN: 2822-6895

# TABLE OF CONTENTS

<b>AKILLI TEKNOLOJİLER GELİŞTİRMEK İÇİN DOĞANIN TAKLİT EDİLMESİ: SÜRDÜRÜLEBİLİR YENİLİK İÇİN BİYO MİMİKRİ VE YAPAY ZEKÂ</b> <i>IMITATING NATURE TO CREATE SMART TECHNOLOGIES: BIOMIMICRY AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR SUSTAINABLE INNOVATION</i>	Sevil JAHED	175 - 182
<b>MATH EM ATICAL APPRO ACHES ON FOURIER- BASED APPLI CATIONS IN ARTI FICAL INTELLIGENCE</b>	BEKİR DANIŞ	183 - 186
<b>MATH EM ATICAL OPTIMI ZATIO N MODELS USED IN ARTI FICAL INTELLIG ENCE ALGO RITHM S</b>	BEKİR DANIŞ	187 - 193
<b>SYNTHESIS, CHARACTERİZATION, AND PERFORMANCE OF <math>Sb_2(S, Se)_3</math> BASED COMPOSİTES.</b>	M.V. KAZIMOV G.B. IBRAGIMOV	194 - 199
<b>TEMPERATURE DEPENDENCE OF THE THRESHOLD CUR RENT OF Ga As LASERS</b> <i>Ga As LAZERLƏRİNİN HÜDUD CƏRƏYANININ TEMPERATUR ASILILIĞI</i>	Qardaşbəyova Nailə Adəm Quliyeva Adilə S. Həsənova Abdullayeva	200 - 204
<b>APPLICATION OF PHYSICS LABORATORIES IN THE ELECTRONIC LEARNING ENVIRONMENT</b> <i>ELEKTRON TƏHSİL MÜHİTİNDƏ FİZİKA LABORATORİYALARININ TƏTBİQİ</i>	Qardaşbəyova Nailə Adəm	205 - 209
<b>CYBER THREATS VERSUS DATA SECURITY: THE EFFICACY OF INTRUSION, DETECTION AND PREV ENTION SYSTEM S</b>	Moses Adeolu AGOI Olayemi Grace ABIM BOLA Oluwanifemi Opeyemi AGOI	210 - 219
<b>EFFECTIVE TECHNOLOGIES FOR THE PRODUCTION OF BIOGAS USING LOCAL RAW MATERI ALS</b> <i>YEREL HAMMADDELER KULLANILARAK VERİMLİ BİYOGAZ ÜRETİM TEKNOLOJİLERİ</i> <i>ЖЕРГІЛІКТІ ШИКІЗАТТЫ ПАЙДАЛАНА ОТЫРЫП БИОГАЗ ӨНДІРУДІҢ ТИІМДІ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫ</i>	Сунакбаева Дилара Кахаровна Айдарбекова Жанна Кайсарқызы	220 - 228

**LİTYUM-İYON BATARYAYA SAHİP  
ELEKTRİK Lİ ARAÇLARDA YANGIN  
GÜVENLİĞİ**

*FIRE SAFETY IN ELECTRIC VEHICLES WITH  
LITHIUM-ION BATTERIES*

**Emre Can TOK  
Doğ an KAZAK**

**229 - 253**

**RAPID ACCESS TO PEOPLE TRAPPED IN  
COLLAPSED BUILDINGS AFTER AN  
AFTER AN EARTHQUAKE**

**Murat CANPOLAT  
Güneş CANPOLAT  
Şevket TOPUZ  
Mehmet ÇILGIN**

**254 - 264**

**PİROFİLLİT CEVHERİ (PÜTÜRGE-  
MALATYA) DEĞERLENDİRME VE  
ZENGİNLEŞTİRME OLANAKLARI  
EVALUATION AND BENEFICIATION  
OPPORTUNITIES OF PYROPHYLLITE ORE  
(PÜTÜRGE- MALATYA)**

**Mustafa BİRİNCİ**

**265 - 271**

**DELME PATLATMA YÖNTEMİNİN BİNA  
YIKIMINDA UYGULANABİLİRLİĞİ;  
MADEN MÜHENDİSLİĞİ TEKNİKLERİNİN  
İNŞAAT SEKTÖRÜNE ENTEGRASYONU  
APPLICABILITY OF DRILLING AND  
BLASTING METHOD IN BUILDING  
DEMOLITION; INTEGRATION OF MINING  
ENGINEERING TECHNIQUES INTO THE  
CONSTRUCTION SECTOR**

**Engin ÖZDEMİR**

**272 - 280**

**HAWK EYE**

**Muhammed Emir ÜNALAN  
Murat CANPOLAT  
Güneş CANPOLAT**

**281 - 294**

ARCENG INTERNATIONAL JOURNAL OF ARCHITECTURE AND  
ENGINEERING (2822-6895)

**EDITÖR KURULU**

**BAŞ EDITÖR**

**Prof. Dr. YUKSEL KAPLAN**

Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi/TÜRKİYE

**EDİTÖR KURULU**

**Prof. Dr. MIMOUNE NORA**

NATIONAL HIGH SCHOOL OF VETERINARY (CEZAYİR)

**Prof. Dr. RAUL DUARTE SALGUEIRAL GOMES CAMPILHO**

ISEP UNIVERSITY (PORTEKİZ)

**Assoc. Prof. ENGİN ÖZDEMİR**

İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ (TÜRKİYE)

**Assoc. Prof. Sevda Rzayeva**

Azerbaijan State Economy University/ AZERBAIJAN

**Dr. Aiday KASMALIEVA KARA**

**Dr. Soobia SAEED**

Taylors University (MALAYSIA)

**HAKEM LİSTESİ**

**Prof. Dr. BERRABAH HAMZA MADJID**

UNIVERSITY OF RELIZANE (ALGERIA)

**Prof. Dr. CHEE-MING CHAN**

UNIVERSITI TUN HUSSEIN ONN (MALAYSIA)

**Prof. Dr. JOSEP M. GUERRERO**

AALBORG ÜNİVERSİTESİ (DENMARK)

**Prof. Dr. MANOLE COJOCARU**

TITU MAIORESCU UNIVERSITY (ROMANIA)

**Prof. Dr. MIKAIL MAHARRAMOV**

LANKARAN STATE UNIVERSITY (AZERBAIJAN)

**Prof. Dr. MIMOUNE NORA**

NATIONAL HIGH SCHOOL OF VETERINARY (ALGERIA)

**Prof. Dr. MITHAT UYSAL**

DOĞUŞ ÜNİVERSİTESİ (TÜRKİYE)

**Prof. Dr. RAUL DUARTE SALGUEIRAL GOMES CAMPILHO**

ISEP UNIVERSITY (PORTUGAL)

**Assoc. Prof. MURAT EYVAZ**

GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ (TÜRKİYE)

**Assoc. Prof. MAHBUBOR RAHMAN**

BANGLADESH UNIVERSITY OF TEXTILES, (BANGLADESH)

**Assoc. Prof. TIGRAN HAAS**

MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY (ENGLAND)

**Assist. Prof. ERDEM IŞIK**

MUNZUR UNIVERSITY(TÜRKİYE)

**Assist. Prof. KEMAL ŞAHİN TUNÇEL**

SIIRT UNIVERSITY(TÜRKİYE)

## İNDEKSLER

Index Copernicus



OpenAIRE



Google Scholar



Eurasian Scientific Journal Index



ABCD Index



Road



Sudoc



WorldCat



**Yayın linki:** [www. e-arceng.com](http://www.e-arceng.com)

Article Arrival Date

13.04.2025

Article Type

Research Article

Article Published Date

20.06.2025

**AKILLI TEKNOLOJİLER GELİŞTİRMEK İÇİN DOĞANIN TAKLİT EDİLMESİ:  
SÜRDÜRÜLEBİLİR YENİLİK İÇİN BİYOMİMİKRI VE YAPAY ZEKÂ**IMITATING NATURE TO CREATE SMART TECHNOLOGIES: BIOMIMICRY AND  
ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR SUSTAINABLE INNOVATIONSevil JAHED<sup>1</sup>

Doktora Öğrencisi, Gazi Üniversitesi, Mimarlık, 0000-0003-2887-2284

**Özet**

Biyomimikri ve yapay zekanın (YZ) entegrasyonu, sürdürülebilir inovasyon için önemli bir potansiyel sunmaktadır. Biyomimikri, doğal sistemleri taklit ederek sürdürülebilirlik sorunlarını ele alırken, yapay zekâ bu çabaları veri analizi ve optimizasyon yoluyla geliştirir. Bu araştırma, biyomimikri ve yapay zekanın birleştirilmesinin enerji, mimari ve malzeme biliminde sürdürülebilir çözümleri nasıl yönlendirebileceğini araştırmakta ve etkili, doğadan ilham alan ilerlemeler için stratejileri ortaya çıkarmaktadır. Bu çalışma, sürdürülebilir inovasyon için biyomimikri ve yapay zekanın entegrasyonunu araştırmak için nitel bir yaklaşım kullanmaktadır. Biyomimikri, sürdürülebilirlikte yapay zekâ ve ilgili vaka çalışmaları üzerine bir literatür taramasıyla başlayan çalışma, ardından akademik makaleler, raporlar ve uzman görüşmelerine dayalı olarak enerji, mimari ve malzeme bilimi gibi sektörlerden örneklerin analiziyle devam etmektedir. Tematik analiz, veri modelleme ve optimizasyon yoluyla yapay zekanın biyomimikriyi nasıl geliştirdiğine odaklanarak biyomimikri ve yapay zekâ arasındaki sinerjideki kalıpları tanımlamaktadır. Bu metodoloji, sürdürülebilir inovasyonu teşvik etme potansiyelleri hakkında içgörüler sağlar ve bu alanda gelecekteki araştırmalara rehberlik eder. Araştırma, sürdürülebilir inovasyon için biyomimikri ve yapay zekâ arasındaki sinerjinin altını çiziyor. Biyomimikri, doğanın çözümlerini taklit ederek çevresel zorlukların üstesinden gelirken, yapay zekâ bu tasarımları veriye dayalı içgörülerle iyileştiriyor. Enerji, mimari ve malzeme bilimindeki vaka çalışmaları, yenilenebilir sistemleri optimize etmek, enerji tasarruflu tasarımları iyileştirmek ve kendi kendini iyileştiren malzemeler oluşturmak gibi yapay zekâ güdümlü biyometrik çözümleri göstermektedir.

Çalışma aynı zamanda doğal sistemlerin modellenmesi, veri kalitesinin sağlanması ve ölçeklenebilirlik gibi zorlukları da tanımlıyor. Bu zorluklara rağmen, bulgular biyomimikri ve yapay zekâyı birleştirmenin önemli potansiyelini vurgulamakta ve disiplinler arası iş birliğinin bu potansiyeli ortaya çıkarmanın anahtarı olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak, biyomimikri ve yapay zekanın (YZ) entegre edilmesi, sürdürülebilir inovasyona yönelik umut verici bir yol sunmaktadır. Biyomimikri, kaynak verimliliği gibi çevresel zorlukları ele alırken, YZ bu çözümleri veri odaklı optimizasyon yoluyla geliştirmektedir. Enerji, mimari ve malzeme bilimindeki vaka çalışmaları, kaynak verimli çözümler için potansiyeli vurgulamaktadır. Doğal sistemlerin modellenmesi, veri kalitesinin sağlanması ve tasarımların ölçeklendirilmesi gibi zorluklar devam etmektedir. Başarılı bir uygulama için disiplinler arası iş birliği gerekmektedir. Gelecekteki araştırmalar sistem modellerini iyileştirmeye, yapay zekâ algoritmalarını geliştirmeye ve veri kalitesini artırmaya odaklanmalıdır. Disiplinler arası iş birliği, biyomimikri ve teknoloji arasında köprü kurmak ve sürdürülebilir çözümlerin kilidini açmak için çok önemli olacaktır.

**Anahtar kelimeler:** Doğa İlhamlı Teknolojiler, Biyomimikri, Yapay Zekâ (YZ), Sürdürülebilir Yenilik, Akıllı Teknolojiler

### Abstract

The integration of biomimicry and artificial intelligence (AI) offers significant potential for sustainable innovation. Biomimicry addresses sustainability challenges by emulating natural systems, while AI enhances these efforts through data analysis and optimization. This research explores how combining biomimicry, and AI can drive sustainable solutions in energy, architecture, and materials science, uncovering strategies for impactful, nature-inspired advancements.

This study employs a qualitative approach to investigate the integration of biomimicry and AI for sustainable innovation. It begins with a literature review on biomimicry, AI in sustainability, and relevant case studies, followed by an analysis of examples from industries such as energy, architecture, and materials science based on academic papers, reports, and expert interviews. The thematic analysis identifies patterns in the synergy between biomimicry and AI, focusing on how AI enhances biomimicry through data modeling and optimization. This methodology provides insights into their potential for driving sustainable innovation and guides future research in the field. The research underscores the synergy between biomimicry and artificial intelligence for sustainable innovation. Biomimicry tackles environmental challenges by emulating nature's solutions, while AI refines these designs with data-driven insights. Case studies in energy, architecture, and materials science demonstrate AI-driven biomimetic solutions, such as optimizing renewable systems, improving energy-efficient designs, and creating self-healing materials.

The study also identifies challenges, including modeling natural systems, ensuring data quality, and scalability. Despite these challenges, the findings highlight the significant potential of combining biomimicry and AI, with interdisciplinary collaboration being key to unlocking this potential. In conclusion, integrating biomimicry and artificial intelligence (AI) presents a promising path toward sustainable innovation. Biomimicry addresses environmental challenges, such as resource efficiency, while AI enhances these solutions through data-driven optimization. Case studies in energy, architecture, and materials science emphasize the potential for resource-efficient solutions. Challenges remain, including modeling natural systems, ensuring data quality, and scaling designs. Successful implementation requires collaboration across disciplines. Future research should focus on refining system models, advancing AI algorithms, and improving data quality. Interdisciplinary cooperation will be crucial for bridging biomimicry and technology, unlocking sustainable solutions.

**Keywords:** Nature-Inspired Technologies, Biomimicry, Artificial Intelligence (AI), Sustainable Innovation, Smart Technologies

## 1.INTRODUCTION

In recent decades, growing concerns about environmental degradation, resource depletion, and climate change have highlighted the urgent need for sustainable solutions, especially in technology and innovation. Biomimicry—an approach inspired by nature's effective systems—has emerged as a key research area, leveraging millions of years of evolutionary insights to develop efficient and sustainable technological solutions. At the same time, advancements in artificial intelligence (AI) have transformed industries by enhancing problem-solving, predictive analytics, and real-time decision-making[2,14].



The synergy between biomimicry and AI enables the creation of intelligent systems that adapt to changing environmental conditions, optimize resource use, and reduce ecological impacts. For instance, architectural designs influenced by termite mounds enable passive cooling that significantly lowers energy consumption. When paired with AI optimization, these structures can adjust to varying climatic and occupancy conditions, boosting efficiency and comfort. Similarly, spider silk's unique properties have inspired AI-driven generative design, resulting in lightweight yet robust materials for construction and aerospace. Moreover, AI algorithms modeled on biological phenomena, such as swarm intelligence, have successfully enhanced areas like autonomous vehicle navigation and logistical optimization. This integration improves efficiency and adaptability in complex environments. This paper explores the promising potential of combining biomimicry and AI for sustainable innovation, highlighting how nature-inspired design strategies and advanced AI can foster environmentally friendly technologies. It will also discuss the benefits, challenges, and future prospects of this interdisciplinary approach in addressing environmental issues and supporting global sustainability goals. [4,9].

### 1.1 Biomimicry and Artificial Intelligence for Sustainable Innovation

Biomimicry is an innovative design philosophy inspired by the efficiency and resilience of natural organisms and ecosystems honed over millions of years. This approach emulates nature's solutions to address human engineering challenges sustainably, focusing on improving resource efficiency and reducing environmental impacts across various industries. Artificial intelligence (AI) encompasses advanced computational techniques such as machine learning and predictive analytics, enabling rapid analysis of vast datasets and adaptation to changing conditions. The combination of biomimicry and AI creates significant opportunities for sustainable innovation, leveraging nature-inspired models—like photosynthesis, spider silk strength, and swarm intelligence—to develop adaptable and efficient solutions. For example, AI can optimize solar panel performance by mimicking plant photosynthesis, adjusting to fluctuating weather for enhanced efficiency[15].

AI-driven design techniques can also facilitate the creation of lightweight yet durable materials, improving applications in aerospace and architecture. Additionally, strategies inspired by natural behaviors enhance urban planning and logistics, promoting decentralized decision-making and effective resource allocation. However, integrating biomimicry with AI presents challenges, including accurately modeling complex biological systems, acquiring quality data, and scaling laboratory designs to real-world applications[5]. Effective collaboration across disciplines—biology, engineering, and computer science—is essential but often hindered by communication barriers, as are ethical and regulatory issues. Addressing these challenges requires strong interdisciplinary cooperation, improved data acquisition methods, targeted research investments, and supportive policies. Long-term validation studies and pilot projects are crucial to determine the sustainability and effectiveness of integrated biomimicry-AI systems. In summary, merging biomimicry with artificial intelligence offers a transformative pathway to sustainable technology. By harnessing nature's strengths and AI's analytical capabilities, we can develop intelligent and scalable solutions that contribute to global sustainability goals, enhance resource efficiency, and improve quality of life[6,8].

#### challenges associated with integrating biomimicry and artificial intelligence

Combining biomimicry and artificial intelligence presents significant opportunities for developing sustainable technologies; however, challenges arise during the implementation phase. These challenges include the digital modeling of nature's complex systems and the need for collaboration across various disciplines. The table below discusses the main obstacles encountered during the integration of biomimicry principles and AI technologies, along with their effects on the integration process and potential solutions. This aims to provide guidance

for the more efficient and successful realization of biomimetic AI projects. The table below includes The challenges associated with integrating biomimicry and artificial intelligence[7,12].

**Table 1:** challenges associated with integrating biomimicry and artificial intelligence

Integration Challenge	Key Description	Impact on Biomimicry-AI Integration	Recommended Approaches
Challenges of Scaling Solutions	Biomimetic solutions that are successful at the lab scale often face difficulties transitioning to larger implementations.	Laboratory-proven concepts may fail to scale effectively in real-world applications.	Develop scalable biomimetic prototypes, conduct pilot implementations, and utilize predictive AI scaling models.
Regulatory and Policy Limitations	Existing regulatory frameworks may not effectively accommodate biomimicry-AI innovations.	Regulatory ambiguities and delays could complicate approvals and compliance.	Advocate for policy updates, clarify regulatory guidelines, and collaborate actively with policymakers.
Need for Interdisciplinary Cooperation	Integrating biomimicry and AI requires expertise from multiple disciplines (biology, engineering, computer science), often leading to communication issues.	Communication gaps and disciplinary differences can delay or disrupt the innovation process.	Facilitate regular interdisciplinary interactions, establish shared terminologies, and form integrated research groups.
Financial and Economic Constraints	High initial investment and research costs may restrict the development and integration of biomimicry-AI solutions.	Limited funding can slow research progress and commercialization efforts.	Secure governmental support, attract private investment, and foster public-private partnerships.
Data Collection and Accuracy	Obtaining comprehensive and precise biological datasets is challenging for effective biomimetic AI modeling.	Inadequate or inaccurate data diminishes the effectiveness and reliability of AI-driven designs.	Deploy advanced sensors, implement rigorous data collection protocols, and utilize extensive biological databases.
Long-term Performance and Upkeep	AI-enhanced biomimetic technologies require extended periods of validation and maintenance to ensure effectiveness.	Lack of long-term validation data raises uncertainties about sustainability and ongoing maintenance requirements.	Conduct comprehensive long-term field studies, continuous performance monitoring, and apply adaptive management practices.
Integration with Existing Technology	Incorporating biomimetic concepts within established technological and AI frameworks can be complex.	Compatibility issues may emerge, causing inefficiencies and implementation challenges.	Employ modular frameworks, adopt open standards, and promote compatibility between biomimetic concepts and AI platforms.

Addressing the obstacles outlined in the table is essential for the successful integration of biomimicry and artificial intelligence. Accurately simulating the complex structures of nature, obtaining comprehensive and high-quality data, and fostering coordination between disciplines are crucial for success. Additionally, considering ethical values, community expectations, and legal regulations will facilitate societal acceptance of solutions and ensure their sustainability. Strengthening economic support and conducting long-term performance testing of technologies can enhance the effectiveness and reliability of applications. By systematically tackling these issues, we can increase the impact of biomimicry and AI-based innovations on sustainability and establish a strong foundation for future technological advancements[13].

## 2. METHOD

In this study, the role of integrating biomimicry and artificial intelligence (AI) in sustainable technological innovation is examined qualitatively and descriptively. It analyzes the properties of natural systems, such as energy efficiency, adaptability, and resilience, and explores their potential applications in engineering. The study further assesses how AI techniques, including machine learning and data analytics, can optimize these biomimetic solutions. Additionally, academic literature obtained from the Web of Science database was included in the study. Supported by a literature review and case studies, the analysis also addresses challenges such as interdisciplinary collaboration, data quality, and system integration, providing a comprehensive framework for AI-supported biomimicry applications.

## 3. Biomimicry-Inspired Smart Technologies Integrated with Artificial Intelligence

Recently, the biomimicry approach, which models nature in developing sustainable technology solutions, has been integrated with artificial intelligence (AI) technologies, paving the way for significant innovations. Biomimicry offers innovative and environmentally friendly alternatives to technological designs, inspired by effective systems and strategies that have evolved over millions of years in nature. The combination of AI technologies with this approach enhances the effectiveness and functionality of these nature-inspired solutions through large-scale data analysis, advanced prediction capabilities, and real-time decision-making mechanisms. The table below details the natural models that form the basis of biomimicry principles, the AI methods utilized in the implementation phase, examples of developed technological applications, and the advantages they bring. The table below includes The Biomimicry-Inspired Smart Technologies Integrated with Artificial Intelligence[10,16].

Table2: Biomimicry-Inspired Smart Technologies Integrated with Artificial Intelligence

Biomimicry Principle	Nature as Model	AI Methods Employed	Examples of Technological Applications	Advantages Offered
Efficient Energy Use	Leaf Photosynthesis	Intelligent energy management, predictive optimization	Smart solar panel arrays, renewable energy grids	Lower energy use, increased sustainability
Self-Repairing Technologies	Biological Regeneration (e.g., human tissue)	AI-monitored adaptive maintenance systems	Self-repairing materials, autonomous infrastructure repair	Lower maintenance costs, prolonged asset lifespan
Optimized Structural Design	Bee Hive Honeycomb	AI-driven structural analysis and topology optimization	Aerospace and lightweight architectural structures	Improved strength-to-weight ratio, resource savings
Disaster-Resilient Infrastructure	Mangrove Ecosystems	AI-based predictive analytics for resilience planning	Flood-resistant urban planning, resilient infrastructure design	Enhanced disaster readiness, improved response
Swarm-Based Intelligence	Ant Colony Organization	Decentralized swarm algorithms	Autonomous vehicle navigation systems, optimized traffic flow	Greater operational efficiency, reduced congestion
Advanced Material Design	Spider Silk	Generative AI-based material design and innovation	Strong, lightweight, flexible construction materials	Reduced material usage, enhanced durability
Adaptive Responsiveness	Chameleon Skin Color Change	Adaptive control systems and real-time responsiveness	Smart building facades, dynamic camouflage	Increased adaptability to varying environmental conditions

The combination of biomimicry principles presented in the table with artificial intelligence methods offers significant advantages across various fields. For example, systems that model the photosynthesis process of plants for energy efficiency reduce energy consumption while enhancing sustainability. Technologies inspired by the self-renewal ability of human tissue lower maintenance costs and extend the lifespan of structures, supported by AI-driven monitoring systems. In structural design, methods inspired by the honeycomb structures of bees allow for more efficient resource use and facilitate the production of lightweight and durable

structures. Inspired by the resilience of mangrove forests, disaster-resilient infrastructures enhance the disaster preparedness and resilience of cities through the predictive models provided by artificial intelligence. Swarm intelligence algorithms, which mimic the behavior of ant colonies, optimize traffic management and the navigation of autonomous vehicles, thereby increasing operational efficiency[3,11].

In material development processes, the strong and flexible structure of spider silk is leveraged to create innovative materials using artificial intelligence-based generative design techniques. Adaptive systems inspired by the chameleon's ability to change color enable the design of smart structures that can instantly adjust to environmental conditions. In conclusion, the combination of biomimicry and artificial intelligence offers significant advancements in sustainability, durability, and efficiency. This approach is crucial for more efficient resource utilization and reducing environmental impacts and accelerates the development of smart technologies, ultimately improving the quality of human life[1,10].

#### 4. CONCLUSION

The integration of biomimicry and artificial intelligence (AI) represents a significant advancement in achieving sustainable innovation across various technological fields. By drawing inspiration from nature's optimized systems, biomimicry provides design principles that enhance efficiency, sustainability, and adaptability. When combined with AI, these nature-inspired strategies become responsive, enabling real-time adaptation and optimization under varied environmental conditions.

A key finding of this study is that AI-enhanced biomimetic designs can substantially reduce resource consumption and environmental impacts. For example, solutions like passive cooling modeled on termite mounds or adaptive materials inspired by spider silk achieve greater efficiency and sustainability when optimized with AI algorithms. The predictive and data-driven capabilities of AI amplify the effectiveness of these designs, allowing them to proactively respond to changing conditions. Moreover, AI algorithms inspired by natural systems, such as swarm intelligence, offer effective models for tackling complex challenges, including traffic management and self-repairing infrastructures. These algorithms enhance operational efficiency and resilience, essential for sustainability.

However, integrating biomimicry and AI comes with challenges, including the need for significant research investments and interdisciplinary collaboration among biologists, engineers, designers, and computer scientists to translate biological insights into practical applications. Future research should focus on improving scalability, cost-effectiveness, and accessibility of these technologies while addressing ethical and ecological considerations. Ultimately, combining biomimicry and AI holds great potential for advancing global sustainability goals and enhancing quality of life for future generations.

## 5. REFERENCES

- [1]Aguilar-Planet, T., & Peralta, E. (2024). Innovation Inspired by Nature: Applications of Biomimicry in Engineering Design. *Biomimetics*, 9(9), 523.
- [2]Barman, A., & Das, K. (2024). Bio-Inspired Products and Technology Innovation-The Present and Future. *International Journal of Innovative Research in Engineering and Management*, 11(3), 25-33.
- [3]Bar-Cohen, Y. (2005). Introduction to biomimetics: The wealth of inventions in nature as an inspiration for human innovation. In *Biomimetics* (pp. 19-58). CRC Press.
- [4]Bar-Cohen, Y. (2006). Biomimetics—using nature to inspire human innovation. *Bioinspiration & biomimetics*, 1(1), P1.
- [5]Bensaude-Vincent, B. (2019). Bio-informed emerging technologies and their relation to the sustainability aims of biomimicry. *Environmental Values*, 28(5), 551-571.
- [6]Cohen, Y. H., & Reich, Y. (2016). Biomimetic design method for innovation and sustainability (Vol. 10, pp. 978-3). Berlin, Germany:: Springer.
- [7]Chaudhary, S., Singh, R., Zore, A. S., Upadhyay, A., Lindenberger, C., & Vivekanand, V. (2024). Bioinspired technology in society: Ethical and architectural innovations for sustainable development. *Technology in Society*, 78, 102688.
- [8]Jiang, M., Deng, W., & Lin, H. (2024). Sustainability through Biomimicry: A Comprehensive Review of Bionic Design Applications. *Biomimetics*, 9(9), 507.
- [9]Lurie-Luke, E. (2014). Product and technology innovation: What can biomimicry inspire?. *Biotechnology advances*, 32(8), 1494-1505.
- [10]Mjimba, V., & Sibanda, G. (2019). Biomimicry, big data and artificial intelligence for a dynamic climate change management policy regime. In *Changing Ecosystems and Their Services* (p. 125). IntechOpen.
- [11]Nour ElDin, N. (2023). Biomimicry and Artificial Intelligence for Climate Change Mitigation. *MSA Engineering Journal*, 2(2), 493-505.
- [12]Oguntona, O. A., & Aigbavboa, C. O. (2023). Nature inspiration, imitation, and emulation: Biomimicry thinking path to sustainability in the construction industry. *Frontiers in Built Environment*, 9, 1085979.
- [13]Raman, R., Sreenivasan, A., Suresh, M., & Nedungadi, P. (2024). Mapping biomimicry research to sustainable development goals. *Scientific Reports*, 14(1), 18613.
- [14]Singh, B., Basri, A. A., Yidris, N., Pai, R., & Ahmad, K. A. (2024). Introduction to Biomimetics, Modelling and Analysis. In *High Performance Computing in Biomimetics: Modeling, Architecture and Applications* (pp. 1-20). Singapore: Springer Nature Singapore.
- [15]Speck, O., Speck, D., Horn, R., Gantner, J., & Sedlbauer, K. P. (2017). Biomimetic bio-inspired biomorph sustainable? An attempt to classify and clarify biology-derived technical developments. *Bioinspiration & biomimetics*, 12(1), 011004.
- [16]Tamborini, M. (2024). From biomimicry to robotic co-creation: rethinking the boundaries between nature and technology. *Bioinspiration & Biomimetics*, 19(2), 023001.

**Article Arrival Date**  
13.04.2025

**Article Type**  
Research Article

**Article Published Date**  
20.06.2025

## MATHEMATICAL APPROACHES ON FOURIER-BASED APPLICATIONS IN ARTIFICIAL INTELLIGENCE

**BEKİR DANIŞ<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Dr., Aydın Adnan Menderes University, Digital Transformation Office,  
<https://orcid.org/0000-0002-3532-2670>,

### Abstract

Fourier analysis enables us to convert the domain of functions into frequency domain. Thus, it is helpful tool to figure out and interpret the big data. Furthermore, Fourier based applications in artificial intelligence are very significant in terms of analyzing the data and developing effective models. In this research, we focus on the connection between Fourier analysis and artificial intelligence and this paper includes the mathematical background of Fourier analysis and their application to artificial intelligence such as neural operators, spectral learning. This study links usual harmonic analysis with data-driven intelligence.

**Keywords:** Artificial intelligence, Fourier analysis, mathematics

### 1. INTRODUCTION

Fourier analysis is named after the French mathematician Jean-Baptiste Joseph Fourier and allows a function, especially complex signals, to be expressed as the sum of simpler functions (usually sine and cosine functions). This analysis is widely used in many fields such as signal processing, communications, image processing, and audio engineering. Artificial intelligence, on the other hand, is a field that develops various algorithms to learn from data and obtain meaningful outputs. Fourier analysis plays a critical role in artificial intelligence applications, especially in areas such as data preprocessing, feature engineering, signal processing, and time series analysis. The relationship between artificial intelligence and Fourier analysis is based on the extraction of meaningful features from large data sets, especially in deep learning and machine learning algorithms. The Fourier transform analyzes complex data sets and reveals important frequency components, which allows artificial intelligence algorithms to make more accurate predictions. For further details and investigations, take the resources [1-5] into consideration.

Fourier analysis is a method of breaking down a function, usually into simpler trigonometric components (sine and cosine). Artificial intelligence (AI) is a field that allows machines to learn from data and derive meaningful results from that data. Fourier analysis is an important tool, especially in areas such as signal processing, image processing, audio analysis, and time series data. In this article, we will examine the uses of Fourier analysis in artificial intelligence and machine learning, and discuss how it plays a role, especially in areas such as deep learning and signal processing. We will emphasize the importance of Fourier transformation in data analysis, model training, and optimization processes.

### 2. FOURIER SERIES AND TRANSFORMATION

Let  $f(x)$  be a  $2\pi$ -periodic, integrable function. Then, its Fourier series given as follows:

$$f(x) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n e^{inx}, \quad c_n = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) e^{-inx} dx$$

This representation allows the function to be separated into independent frequency components.

For  $f \in L^1(\mathbb{R})$ , the Fourier Transform is introduced by:

$$\mathcal{F}[f](\omega) = \hat{f}(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-i\omega t} dt$$

After these basic definitions, it is obviously obtained that the inverse Fourier transform reconstructs the original signal:

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \hat{f}(\omega)e^{i\omega t} d\omega$$

### 3. PARSEVAL'S, PLANCHEREL AND CONVOLUTION THEOREMS

In this section, we state major theorems which play a central role in applied analysis. Parseval's theorem for Fourier series is that:

$$\int_{-\pi}^{\pi} |f(x)|^2 dx = 2\pi \sum_{n=-\infty}^{\infty} |c_n|^2$$

In a similar manner, we give Plancherel's theorem for the Fourier transform as follows:

$$\int_{-\infty}^{\infty} |f(t)|^2 dt = \int_{-\infty}^{\infty} |\hat{f}(\omega)|^2 d\omega$$

Then, we define the convolution: for functions  $f$  and  $g \in L^1(\mathbb{R})$ , the Fourier transform of their convolution is:

$$\mathcal{F}[f * g](\omega) = \mathcal{F}[f](\omega) \cdot \mathcal{F}[g](\omega)$$

This equality play an important role in optimizing convolution operations with the help of Fast Fourier Transforms (FFT).

### 4. MATHEMATICAL MODELS IN DEEP LEARNING

#### 4.1. CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS

Thanks to the convolution theorem, CNNs can be accelerated using FFT. This reduces the computational complexity from  $O(n^2)$  to  $O(n \log n)$ , thus allowing for more efficient processing of high-dimensional data, such as images and videos.

#### 4.2. POSITIONAL ENCODING

Positional encodings, such as:

$$\gamma(x) = [\sin(2\pi Bx), \cos(2\pi Bx)]$$

enables networks to generalize in both spatial and temporal domains and provides a powerful tool in transformer-based models and other sequential data processing systems.

#### 4.3. SPECTRAL BIAS

In neural networks, there is a tendency to first learn low-frequency components. Mathematically, if  $f(x) = \sum \hat{f}(\omega)e^{i\omega x}$ , the model tends to prioritize:

$$|\hat{f}_{\text{learned}}(\omega)| \gg 0 \quad \text{for small } \omega$$

This is called spectral bias, and the model's learning process tends to adapt to low frequency datas.



## 5. FOURIER NEURAL OPERATORS

Fourier Neural Operators (FNOs) are a class of models developed to solve parametric partial differential equations (PDEs) in an efficient and scalable manner. These models operate in the Fourier domain to learn relationships that map the initial states of the system to the final states.

Given input  $u(x)$ , FNOs perform:

$$v = F(u), \quad w = R_\theta(v), \quad \hat{u} = F^{-1}(w)$$

where  $R_\theta$  is a learnable function in the frequency space, making the model robust to changes in resolution and grid size.

FNOs provide significant advantages over traditional methods in PDE solutions, especially when working with systems with complex geometries or mesh structures. Thanks to their strong generalization capability across different resolutions, they greatly reduce the need for retraining for each new mesh or grid structure.

## 6. SIGNAL PROCESSING AND FOURIER TRANSFORMATION

Signal processing is a fundamental method widely used in many fields, from electrical engineering to biomedical engineering. Fourier analysis enables the analysis of the fundamental components of the signal by transforming complex signals in the time domain to the frequency domain. Artificial intelligence can produce more effective and efficient results by utilizing these signal processing techniques. In particular, Fourier transform plays a critical role in reducing noise in signals, extracting features, and converting data into a more appropriate format.

## 7. IMAGE PROCESSING AND FOURIER ANALYSIS

It is widely used in many fields such as image processing, computer vision and image analysis. The Fourier transform converts an image into the frequency domain, allowing the examination of certain frequency components. In this way, edges, details and patterns in the image can be identified more effectively. Artificial intelligence algorithms can extract meaningful features from the image using the Fourier transform and use these features in tasks such as classification, segmentation or prediction.

## 8. LANGUAGE AND VOICE PROCESSING

Audio signals and natural language processing are among the prominent application areas of Fourier analysis. The Fourier transform can be used effectively in tasks such as speech recognition, voice command systems, and music analysis by separating audio signals into frequency components. Artificial intelligence can perform more accurate classifications by analyzing meaningful frequency components in sound through this transformation. For example, a voice assistant processes the incoming audio signal with Fourier analysis, evaluates the frequency components of the human voice, and produces appropriate responses.

## 9. TIME SERIES AND FOURIER TRANSFORM

Time series analysis is a method frequently used in the analysis of large data sets in finance, healthcare and many industries. The Fourier transform converts time series data into the frequency domain, allowing cyclical behaviors and certain patterns to be revealed. With this transformation, AI can detect significant frequency components in the time series and use this information to produce more accurate predictions.

## 10. CONCLUSION

Fourier analysis provides a powerful and mathematically sound foundation for developing AI models. Thanks to the advantages offered by the frequency domain, AI models can achieve higher efficiency, better interpretability, and increased robustness. With ongoing research, the combination of classical harmonic analysis and modern machine learning techniques will likely lead to more advanced and scalable model structures.

Fourier analysis stands out as a fundamental mathematical tool in the field of artificial intelligence and plays a critical role in many areas such as signal processing, image analysis, audio data, time series analysis, and data preprocessing. By transforming complex data into the frequency domain, Fourier transform reveals the prominent components of the data more clearly. In this way, the accuracy of artificial intelligence and machine learning algorithms increases, model training processes are accelerated, and overall efficiency increases. Therefore, the relationship between Fourier analysis and artificial intelligence is of great importance both theoretically and practically and is expected to pave the way for more research and innovation in the coming years.

## 11. REFERENCES

- [1] Bronstein M., Geometric Deep Learning: Going Beyond Euclidean Data, IEEE Signal Processing Magazine, 2017.
- [2] Li Z., Kovachki N., Azizzadenesheli K., Fourier Neural Operator for Parametric PDEs, arXiv:2010.08895, 2020.
- [3] Mallat S., *A Wavelet Tour of Signal Processing*, Academic Press, 1999.
- [4] Tancik M. et al., Fourier Features Let Networks Learn High Frequency Functions in Low Dimensional Domains, NeurIPS, 2020.
- [5] Xu Z., Zhang Y., Wang Y., Frequency Principle: Fourier Analysis Sheds Light on Deep Neural Networks, arXiv:1901.06523, 2019.

**Article Arrival Date****18.04.2025****Article Type****Research Article****Article Published Date****20.06.2025****MATHEMATICAL OPTIMIZATION MODELS USED IN ARTIFICIAL  
INTELLIGENCE ALGORITHMS****BEKİR DANIŞ<sup>1</sup>**<sup>1</sup> Dr., Aydın Adnan Menderes University, Digital Transformation Office,<https://orcid.org/0000-0002-3532-2670>**Abstract**

In this article, mathematical optimization techniques, which are one of the basic building blocks of artificial intelligence systems, are examined in detail. The place of optimization in artificial intelligence, basic concepts, classical and modern algorithms, application areas and current developments are evaluated. In addition, the role of optimization in the learning processes of artificial intelligence models and the comparison of different optimization methods are discussed. Finally, suggestions and research perspectives for the future of optimization in the field of artificial intelligence are presented.

187

**Keywords:** Artificial intelligence, optimization, mathematics**1. INTRODUCTION**

Artificial intelligence (AI) has become the intersection of many disciplines today, creating transformative effects in various fields such as health, finance, engineering, transportation, education and defense. One of the most important factors behind this multifaceted domain is the capacity of AI systems to solve complex problems with high accuracy and efficiency. One of the fundamental building blocks that makes this capacity possible is mathematical optimization. Optimization, in its general sense, is the process of finding the most appropriate (minimum or maximum) value of a target function (or objective function) under certain constraints. This process has a central role in both classical deterministic systems and modern data-driven approaches.

In the context of AI models, optimization is often a mechanism that manages the learning

process of the model. In machine learning and deep learning algorithms, a loss function is defined that measures the performance of the model. This function measures the difference between the predictions made by the model and the actual values, and the parameters (weights and bias terms) are iteratively updated to minimize this difference. For example, derivative-based optimization algorithms such as gradient descent proceed in small steps to optimize the model parameters by calculating the gradient of the loss function. This process usually involves solving high-dimensional and nonlinear optimization problems.

Optimization is not limited to parameter updates; it is also used in many other decision processes such as the selection of model architecture, hyperparameter adjustments, and data preprocessing strategies. In addition, finding action policies that will maximize the rewards that agents obtain as a result of their interaction with the environment in areas such as reinforcement learning is also an optimization problem in essence.

The problems encountered in modern artificial intelligence applications are usually nonlinear, multivariate, nonconvex, and even discrete optimization problems. Therefore, not only classical optimization techniques, but also stochastic approaches (e.g. Stochastic Gradient Descent), evolutionary algorithms, swarm intelligence-based metaheuristic methods, and algebraic optimization techniques are widely used.

In conclusion, mathematical optimization is one of the fundamental building blocks of artificial intelligence systems and is a component that directly affects the level of success of these systems. It would not be possible for AI to reach its current level of success without the mathematical foundation provided by optimization, both during model training and in the construction and implementation of the model.

## 2. PRELIMINARIES CONCERNING MATHEMATICAL OPTIMIZATION

Optimization is the process of systematically searching for the best solution for a specific purpose, and this process is based on several basic concepts. First of all, the objective function is the mathematical expression to be optimized; the minimum or maximum of this function is sought. Decision variables are variables that affect the value of the objective function and need to be optimized. Constraints are inequalities or equivalences that the solution must comply with and narrow the solution space. In unconstrained optimization, only the objective function is considered, while in constrained optimization, both the objective function and the constraints are evaluated together. In addition, while the global optimum represents the best solution in the

entire solution space, the local optimum represents the best solution only in a specific environment. Convexity is a critical structural feature that affects the uniqueness of the solution in optimization problems and the success of the algorithms. These basic concepts play a central role in modeling, analyzing and solving optimization problems.

Optimization problems focus on finding the maximum or minimum value of an objective function. This function usually expresses the accuracy or cost of the model. Constraints specify the constraints that the solution must obey; they can be linear, nonlinear, equal, or inequality. To clarify this, consider the following cases.

Linear Optimization: Problems where the target function and constraints are linear. Nonlinear Optimization: Target function or constraints are not linear. Integer Optimization: Cases where variables take integer values. Unconstrained Optimization: Cases without constraints. Convex and Nonconvex Optimization: Problem classification according to the structure of the solution set.

### 3. OPTIMIZATION IN ARTIFICIAL INTELLIGENCE MODELS

In AI systems, optimization plays a critical role in tuning model parameters, managing the learning process, and improving overall performance. Learning algorithms rely on optimization techniques to find parameters that minimize model error. Especially in machine learning and deep learning, optimization algorithms are at the core of the training process.

189

#### 3.1. Optimization Models

Optimization plays a pivotal role in artificial intelligence (AI) systems by enabling the fine-tuning of model parameters, guiding the learning process, and enhancing overall system performance. The success of these systems largely depends on choosing the right parameters and implementing an appropriate learning strategy. In particular, in machine learning (ML) and deep learning (DL) models, millions of parameters are optimized during the training of complex artificial neural networks. In this process, learning algorithms usually try to minimize a loss function; this function measures the difference between the model's predictions and the actual values.

Optimization algorithms are used to find parameter combinations that minimize this loss function. One of the most common methods, gradient descent, and its derivatives (e.g., Stochastic Gradient Descent – SGD, Adam, RMSProp) are basic tools in this context. These

algorithms aim to reach the minimum value of the loss function by iteratively updating the model parameters. However, multidimensional, non-convex optimization problems, especially those that arise in deep networks, can make it difficult to reach the global minimum. For this reason, strategies such as learning rate, momentum, and regularization are put into action to ensure that the optimization process progresses efficiently and in a balanced manner.

In addition, optimization is not limited to model training; it is also used in many stages such as hyperparameter selection, design of artificial neural network architectures, feature selection, and even automatic machine learning (AutoML) processes. In this context, higher-level optimization techniques such as heuristic and meta-heuristic methods (e.g. genetic algorithms, grid search, Bayesian optimization) are also preferred.

As a result, optimization algorithms increase both the effectiveness of the learning process of AI systems and the generalization success of the obtained models. Therefore, the selection of powerful and appropriate optimization techniques is a decisive factor in the success of artificial intelligence applications.

### **3.2. Modern and Meta-Heuristic Optimization Techniques**

Many engineering, economic, artificial intelligence and data analytics problems that need to be solved today have complex, multidimensional and nonlinear structures. The solution of such problems with classical mathematical methods is either very difficult or practically impossible. For this reason, modern and meta-heuristic optimization techniques have attracted great attention in recent years.

Modern optimization goes beyond classical methods and offers more flexible and effective solutions to difficulties such as uncertainty, multiple solutions, dealing with constraints and working with high dimensions. These techniques are often inspired by nature, biology or social behavior.

Metaheuristic optimization methods stand out with their ability to intelligently explore the solution space. These methods are not specific to a particular problem structure, but they offer general-purpose solution strategies. The most well-known metaheuristic techniques include methods such as Genetic Algorithms, Particle Swarm Optimization, Ant Colony Algorithm, Simulated Annealing, and Artificial Bee Colony. These algorithms work on the basis of heuristic rules and randomness to reach the global best solution.

The main advantage of metaheuristic techniques is that they can effectively search a wide solution space without getting stuck in local minima. Especially in high-dimensional and multi-

modal problems, metaheuristics can provide quite successful results in cases where classical methods fail.

Another important aspect of these techniques is that they can be easily integrated into modern applications that require big data and high computational power thanks to their parallelizable structures. In this way, they are widely used in artificial intelligence, machine learning, and optimization-based decision support systems.

### 3.3. Applications of Optimization in Artificial Intelligence

Artificial intelligence systems generally require an optimization process to achieve high success in decision-making, learning, and prediction processes. Optimization has become one of the fundamental building blocks of artificial intelligence and has taken its place as an indispensable tool in a wide variety of fields.

In the field of Machine Learning, optimization is used to determine the most appropriate weights during model training. For example, minimizing the error function in artificial neural networks is the basis of the learning process. In this context, techniques such as gradient descent are directly based on optimization.

In Natural Language Processing (NLP) applications, many processes are guided by optimization algorithms, from setting the parameters of language models to generating meaningful sentences. In translation systems, finding the most appropriate word order is also an optimization problem.

In Computer Vision applications, processes such as object recognition, image segmentation and feature selection are improved through optimization. Obtaining the most accurate model from visual data usually requires optimizing a multi-dimensional and complex solution space.

Artificial Intelligence-Aided Decision Systems is another area where optimization is used intensively. Optimization algorithms provide the most appropriate decisions in problems such as production planning, resource allocation, logistics and financial portfolio management.

In addition, in areas such as reinforcement learning, agents interacting with their environments to develop strategies that will yield the highest rewards are directly dependent on optimization processes. The agent tries to maximize a value function by evaluating the consequences of its actions.

As a result, optimization plays a central role in almost all sub-branches of artificial intelligence, both theoretically and practically. Correct modeling of problems and selection of appropriate

optimization techniques are one of the most critical steps that directly affect the success rate of systems.

#### 4. CONCLUSION

Mathematical optimization is an indispensable component of the success of artificial intelligence systems. This field covers the entirety of mathematical methods that aim to find the best (minimum or maximum) value of a target function. Optimization in artificial intelligence systems forms the basis of many basic functions, from the learning process to decision-making mechanisms. For example, in machine learning, training of model parameters is usually based on minimizing the loss function. In this context, techniques such as gradient descent and stochastic gradient descent (SGD) are frequently used.

Both classical and modern techniques offer critical solutions for different problem types and application areas. While classical optimization methods include techniques such as linear programming, quadratic programming and integer programming; modern approaches include heuristic and meta-heuristic methods such as evolutionary algorithms, particle swarm optimization, genetic algorithms, swarm intelligence and differential evolution. In high-dimensional and complex systems such as deep learning, non-convex optimization problems are at the forefront. Special algorithms and learning strategies developed for such problems both increase computational efficiency and improve model performance.

#### 5. REFERENCES

1. Bäck, T. (1996). *Evolutionary Algorithms in Theory and Practice: Evolution Strategies, Evolutionary Programming, Genetic Algorithms*. Oxford University Press.
2. Bishop, C. M. (2006). *Pattern Recognition and Machine Learning*. Springer.
3. Blum, C., & Roli, A. (2003). Metaheuristics in combinatorial optimization: Overview and conceptual comparison. *ACM Computing Surveys*, 35(3), 268-308.
4. Deb, K. (2001). *Multi-Objective Optimization using Evolutionary Algorithms*. Wiley.
5. Dorigo, M., & Stützle, T. (2004). *Ant Colony Optimization*. MIT Press.
6. Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep Learning*. MIT Press.
7. Holland, J. H. (1992). *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. MIT Press.



8. Kennedy, J., & Eberhart, R. (1995). Particle swarm optimization. *Proceedings of ICNN'95 - International Conference on Neural Networks*, 4, 1942–1948.
9. Koller, D., & Friedman, N. (2009). *Probabilistic Graphical Models: Principles and Techniques*. MIT Press.
10. Nocedal, J., & Wright, S. J. (2006). *Numerical Optimization*. Springer.
11. Russell, S., & Norvig, P. (2021). *Artificial Intelligence: A Modern Approach* (4th ed.). Pearson.
12. Sivanandam, S. N., & Deepa, S. N. (2007). *Introduction to Genetic Algorithms*. Springer.
13. Sutton, R. S., & Barto, A. G. (2018). *Reinforcement Learning: An Introduction* (2nd ed.). MIT Press.
14. Vapnik, V. N. (1998). *Statistical Learning Theory*. Wiley.
15. Wright, S., & Nocedal, J. (1999). Numerical optimization. *Springer Science*, 35(67-68), 7.

**Article Arrival Date****Article Type****Article Published Date**

20.04.2025

Research Article

20.06.2025

**SYNTHESIS, CHARACTERIZATION, AND PERFORMANCE OF  $Sb_2(S, Se)_3$  BASED COMPOSITES.****M.V.KAZIMOV<sup>1,2,3</sup>, G.B. IBRAGIMOV<sup>1,2</sup>**<sup>1</sup>Ministry of Science and Education Republic of Azerbaijan, Institute of Physics, Baku, Azerbaijan<sup>2</sup>Baku State University, Baku, Azerbaijan<sup>3</sup>Sumgait State University, Sumgait city, 43rd district, Baku street 1, AZ5008**Abstract**

Thermal evaporation method was used to create the  $Sb_2(S,Se)_3$  compounds. This finding emphasizes  $Sb_2(S,Se)_3$ 's promise as a new photovoltaic material. It has achieved good power conversion rates of 6.5% to 8%. Further efficiency improvement seems to be required for upcoming real-world applications.  $Sb_2Se_3$ -GaSe eutectic composites are synthesized by the vertical Bridgman method. XRD analysis and structural study of  $Sb_2Se_3$ -GaSe eutectics show that  $Sb_2Se_3$  inclusions are uniformly distributed in the GaSe matrix. Three eutectic points were studied in the  $Sb_2Se_3$ -GaSe system. It was determined that the composition of the three eutectics formed in the  $Sb_2Se_3$ -GaSe systems is 80 wt %; 55wt % and 40wt %  $Sb_2Se_3$ , melt points were 776K, 725K and 698K respectively.

**Keywords:** XRD, SEM and EDX analysis, eutectic system, raman spectra, photovoltaic material, solar cell

**1. Introduction**

The structure of semiconductor-based composite materials is just as important as their content in determining their controllable physical characteristics. When developing composites, it's critical to consider the phases' size, shape, and distribution as well as the interface characteristics [1–9]. The creation of novel microstructures frequently results in notable enhancements to the new characteristics of composite materials. Eutectics is a paradigm of composite materials with extremely small microstructures that can optimize physical qualities by combining the properties of each component [8]. Due to the isomorphy of  $Sb_2S_3$  and  $Sb_2Se_3$ , the antimony sulfide-selenide  $Sb_2(S,Se)_3$  can be considered a binary metal chalcogenide semiconductor. They have a lot of elemental storage, are nontoxic, have good moisture stability at high temperatures, and have the right physical characteristics for materials used in solar cells to absorb light. Numerous efforts have been made thus far in the areas of device production, photovoltaic property research, and materials synthesis. This family of materials has been used in either sensitized-architecture or planar heterojunction solar cells, benefiting from earlier research in thin film solar cells and new generation nanostructured solar cells. Good power conversion rates between 6.5% and 8% have been attained. It appears that additional efficiency enhancement is needed for future real-world applications.

Because of their important applications in the fields of optics, electronics, mechanics, energy, and the environment,  $Sb_2(S,Se)_3$  has received increasing attention in the physics of solid-state materials [6–7]. These applications include sensors, functional smart coatings, smart

membranes and separation devices, micro-optical and photonic components, and a new generation of photovoltaics and photo-catalysts [11]. By directly converting solar energy into electrical power, photovoltaic solar cells are thought to be the most effective method of utilizing solar energy among its various applications [11-14].

$Sb_2(S,Se)_3$  has garnered a lot of attention lately because of its photovoltaic capabilities and thermoelectric efficiency [9]. As a result, solar panels with unique coatings and cooling systems that use optical and thermoelectric technology have unique properties. GaSe crystals are frequently found in non-linear optical and photoconductive materials [8]. GaSe has significant absorption behavior in the UV-visible wavelength, making them excellent candidates for use in photodetector. Eutectic systems maintain the physical characteristics of the chemicals that make them up [13], and these characteristics can be controlled [12, 18]. Consequently, it is crucial to investigate  $Sb_2Se_3$ -GaSe eutectic systems that incorporate the characteristics of both components because of the significant qualities of  $Sb_2Se_3$  and GaSe compounds [12–18]. Here, we examine the structures, raman scattering, physical-chemical characteristics, volt-ampere characterisation, and applications of  $Sb_2Se_3$ -GaSe eutectic systems.

## 2. Experimental

The  $Sb_2(S,Se)_3$  compounds were produced by the thermal evaporation method. The prepared  $Sb_2S_3$  thin film's energy dispersive X-ray examination revealed that the atomic percentage ratios were Sb = 41.3% and S = 58.7%.  $Sb_2Se_3$ -GaSe eutectic composites were prepared by using the vertical Bridgman method. The rate of the crystallization front was about 1.7 mm/min. The X-ray spectra of the  $Sb_2Se_3$ -GaSe eutectic systems were made by the Advance-D8 diffractometer ("Bruker"). The source of radiation was the  $CuK\alpha$ -anode, operating at a voltage of 40kV and a current of 40 mA. The wavelength of the radiation was  $\lambda=1.5406\text{\AA}$ , and the angle between the falling X-rays and the sample was  $2\Theta=5\div 80$ . A Zeiss SIGMA Field Emission Scanning Electron Microscope (FESEM) were used to characterize the morphology of the specimens and to obtain qualitative information on the elemental composition of the samples, respectively. Raman scattering was studied using a Nanofinder 30 confocal setup (Tokyo Instruments, Japan) with a diffraction grating of 1800 lines/mm and a spectral resolution of  $0.5\text{ cm}^{-1}$ . Scattering was excited at a wavelength of 532 nm by the second harmonic of a Nd:YAG laser with a maximum power of 10 mW. Thermal analysis in the  $Sb_2Se_3$ -GaSe eutectic systems was performed in an inert gas environment (argon) on a NETZSCH DSC 204 F1 (Germany) differential scanning calorimeter. Nitrogen is used as shielding gas. A composite sample with a mass of 40 mg is placed in an aluminum socket. In the same slot, a sapphire is placed as a standard sample and in completely identical conditions both cells are heated at a rate of 10 K/min. Inert gas the flow rate is chosen to be 20 ml/min and the studies are carried out in the temperature range of 273-873K according to the purpose of the work.

## 3. Results and discussion

The  $Sb_2Se_3$ -GaSe systems are obtained in the form of light grey compact ingots. Three eutectic points were studied in the  $Sb_2Se_3$ -GaSe system. Diffraction patterns of the  $Sb_2Se_3$ -GaSe eutectic composite are shown in Fig. 1. Analysis of XRD spectra confirmed that this system is diphasic: the most intense peaks corresponding to the (020), (120), (130), (230), (240), (211), (301), (041), (141), (520), (002), (061), Muller index are identical to the  $Sb_2Se_3$ , and orthorhombic structure with lattice parameters of  $a = 3.81$ ,  $b = 12.82$ ,  $c = 15.06$  while the weak peaks found at  $2\theta = 22^\circ$ ,  $34^\circ$ ,  $45.5^\circ$ ,  $58^\circ$  and  $71^\circ$  coincide with the GaSe lines.

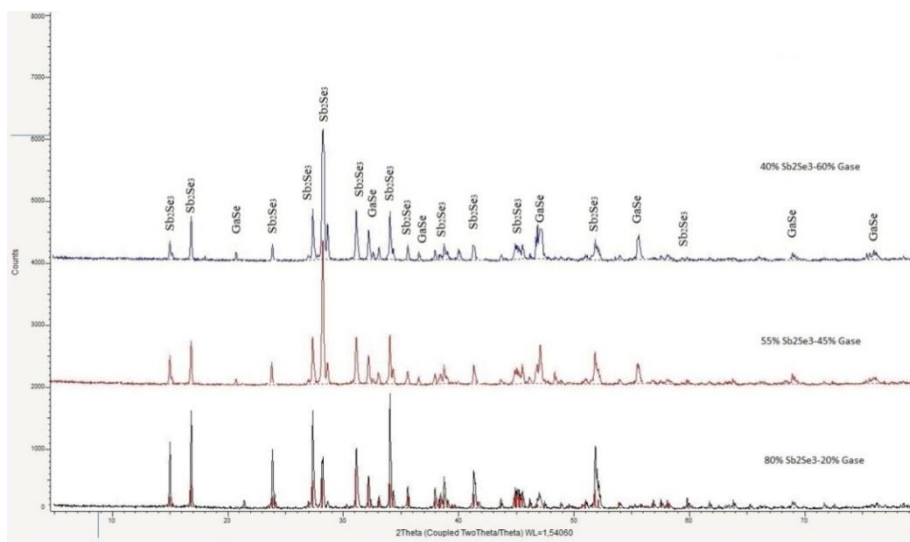


Fig. 1. XRD patterns of  $Sb_2Se_3$ -GaSe eutectic systems

Gallium monoselenide melts congruently at 960°C and is crystallized in a hexagonal syngony with lattice parameters:  $a=b=0.375$  nm,  $c=1.591$  nm,  $Z=4$ , space group  $P63/mmc-D4$  6h, density  $\rho = 5,03$  g/cm<sup>3</sup>. It was determined that the composition of the three eutectics formed in the  $Sb_2Se_3$ -GaSe systems is 80 wt %; 55wt % and 40wt %  $Sb_2Se_3$ , melt points were 776K, 725K and 698K respectively. The structure of  $Sb_2Se_3$ -GaSe eutectic systems was studied with an electron microscope (FESEM) and X-ray spectrograph (Fig.2). SEM and EDX analysis show that the obtained eutectics present two phase systems. Figure 2 shows a image of the  $Sb_2Se_3$ -GaSe systems contains  $Sb = 51.03$ wt%,  $Se = 47.01$  wt%, and  $Ga = 1.96$  wt% . The data correspond to the stoichiometric composition of the matrix and inclusions.

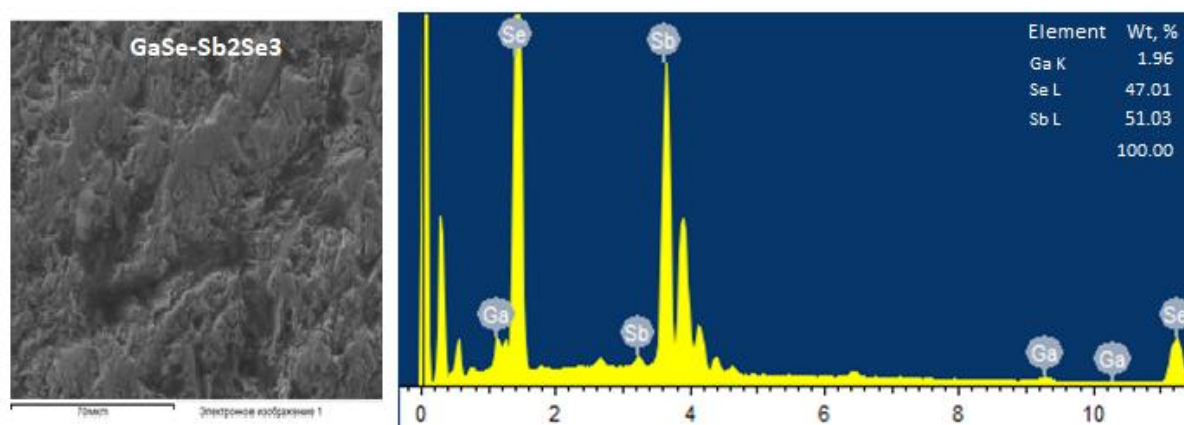


Fig. 2. X-ray spectra of  $Sb_2Se_3$ -GaSe systems obtained with SEM-EDX

Two phases and interphases in  $GaSe-Sb_2Se_3$  eutectic composite Raman spectra for both  $GaSe-Sb_2Se_3$ ,  $Sb_2S_3$ , and  $Sb_2Se_3$  at room temperature were investigated to confirm the presence of the zones. Figure 4 shows the Raman spectra of the  $Sb_2Se_3$  compound and, Figure-5 shows the Raman spectra of the  $GaSe-Sb_2Se_3$  eutectic system.

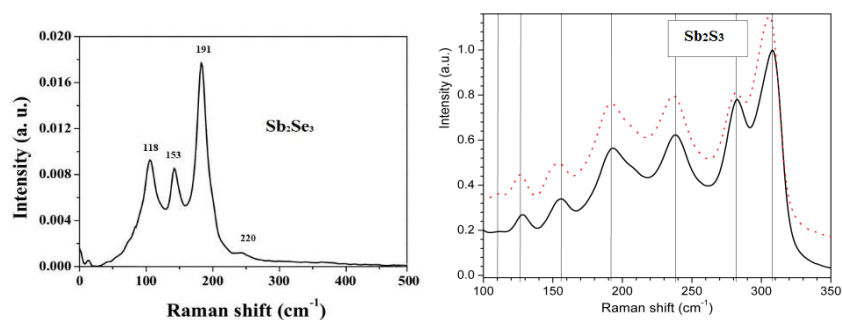


Fig. 3 Raman spectrum of  $Sb_2Se_3$  and  $Sb_2S_3$  powders

Raman analysis was applied to the samples to investigate the structure. Raman spectra (see Fig. 3) show more intense peaks around 153 and 191.3  $cm^{-1}$ , which are usually attributed to the  $Sb_2Se_3$  phase; in particular, the first belongs to the  $A_{2u}$  mode of the Sb-Sb bond, and the second to the  $A_g$  mode of the Sb-Se-Sb mode. In contrast to the Raman spectra published for the  $Sb_2S_3$  molecule, the most intense band in the current work is located at around 307  $cm^{-1}$  rather than 281  $cm^{-1}$ .

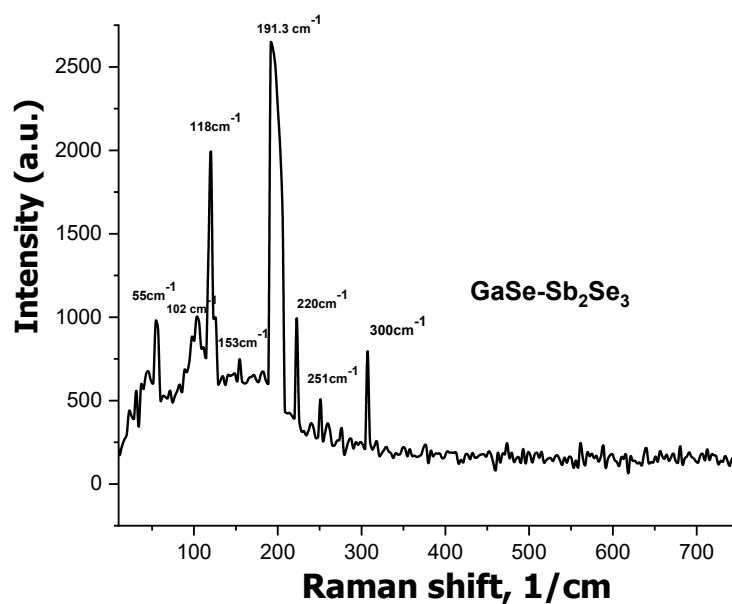


Fig. 4 Raman spectrum of  $Sb_2Se_3$ -GaSe eutectic system

Peaks at 220  $cm^{-1}$  were detected in  $Sb_2Se_3$  and were attributed to strong Sb-Se modes. The Raman modes at 102 and 118  $cm^{-1}$  are assigned to the Se-Se bond [10]. Peaks at 251 and 300  $cm^{-1}$  were detected and were attributed to a strong GaSe compound [14,17]. Absence of any peaks related to the supplement phases reaffirm the purity of the synthesized material.

#### 4. Conclusions

In summary, we have investigated the structural and electrophysical properties of  $\text{Sb}_2\text{Se}_3$ -GaSe eutectic systems, taking into account all possible configurations. Two congruent melting compounds were obtained in the  $\text{Sb}_2\text{Se}_3$ -GaSe system. The composition of the three eutectics formed in the system is 40, 55, and 80 mol%  $\text{Sb}_2\text{Se}_3$ , and their temperatures are 470, 425, and 450 °C, respectively. The electron microscopy (SEM) and XRD studies of  $\text{Sb}_2\text{Se}_3$ -GaSe eutectic have confirmed that the systems consist of a semiconductor matrix and oriented inclusions [19]. Applications of  $\text{Sb}_2(\text{S}, \text{Se})_3$  compounds in optoelectronics have drawn more attention. Technology intervention, however, necessitates a material-specific comprehension of the responsiveness to various surroundings.

#### Reference

1. P. Osewski, A. Belardini, M. Centini, C. Valagiannopoulos, et al., New Self-Organization Route to Tunable Narrowband Optical Filters and Polarizers Demonstrated with ZnO–ZnWO<sub>4</sub> Eutectic Composite, *Adv. Optical Mater.* 2020, 1901617, **DOI: 10.1002/adom.201901617**
2. Kazimov M.V., X Ray Analysis Of InAs-CrAs Eutectic Systems, *ARCENG INTERNATIONAL JOURNAL OF ARCHITECTURE AND ENGINEERING* 2023 p. 94, **doi.org/10.5281/zenodo.8106289**
3. Kazimov M.V., İbragimov G.B., İsakov G.I., at al., Physical-chemical properties of InSb+Mg<sub>3</sub>Sb<sub>2</sub> eutectic systems: Synthesis, Characterization, And Applications, *Journal of Optoelectronic and Biomedical Materials*, №14 (4), pp.187-190, (2022) **https://doi.org/10.15251/JOBM.2022.144.187**
4. M. V Kazimov, Synthesis and structural analysis of InSb-CrSb, InSb-Sb, GaSb-CrSb eutectic composites, *Journal of Optoelectronic and Biomedical Materials* Vol. 12, No. 3, p. 67 – 72, (2020)
5. M.V. Kazimov, G.B. Ibragimov. “Fabrication and performance characterization of  $\text{Sb}_2\text{Se}_3$ -GaSe eutectic systems”. *Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics*, 2024. V. 27, No 2. P. 184-188, **DOI 10.15407/spqeo27.02.184**
6. M. V. Kazimov , D. H. Arasly, et al., Magnetic and electrical properties of GaSb-CrSb eutectic system, *Journal of Non-Oxide Glasses* Vol. 12, No. 1, p. 7 – 11 January - March (2020) **https://doi.org/10.1116/1.4881995**
7. S. Demirci, N. Avazlı, E. Durgun, S. Cahangirov, Structural and electronic properties of monolayer group III monochalcogenides, *Physical Review B* 95, 115409 (2017) **DOI:https://doi.org/10.1103/PhysRevB.95.115409**
8. P.B. Oliete, M.C. Mesa, R.I. Merino, V.M. Orera, Directionally solidified  $\text{Al}_2\text{O}_3$ - $\text{Yb}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$  eutectics for selective emitters *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, 144 (2016), pp. 405-410, **https://doi.org/10.1016/j.solmat.2015.09.053**
9. Dennstedt, A. Choudhury, L. Ratke, B. Nestler, Microstructures in a ternary eutectic alloy: devising metrics based on neighbourhood relationships, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 117, IOP Publishing (2016), p. 012025, **doi:10.1088/1757-899X/117/1/012025**
10. M. Abaker, Nazar, Elamin Ahmed, A. Saa att all, Thermoelectric properties of Ga-doped InSb, *Vacuum*, Volume 219, Part A, January 2024,

11. B. Chanda, G. Potnis, P.P. Jana, J. Das, A review on nano- ultrafine advanced eutectic alloys, *J.Alloys Compd.*, 827 (2020), p. 154226  
<https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2020.154226>
12. Liang G, Chen X, Tang R, et al. Spark plasma sintering of Sb<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> sputtering target towards highly efficient thin film solar cells. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 2020, 211: 110530 <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2020.110530>
13. C. Chen, K.H. Li, S.Y. Chen, L. Wang, S.C. Lu, Y.H. Liu, D.B. Li, H.S. Song, J. Tang Efficiency improvement of Sb<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> solar cells via grain boundary inversion *ACS Energy Lett*, 3 (2018), pp. 2335-2341 **DOI:10.1021/acsenergylett.8b01456**
14. C. Yuan, L. Zhang, W. Liu, C. Zhu, Rapid thermal process to fabricate Sb<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> thin film for solar cell application, *Sol. Energy*, 137 (2016), pp. 256-260 **DOI:10.1016/j.solener.2016.08.020**
15. Xiaoyang Liang, et al., High-Efficiency Flexible Sb<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> Solar Cells by Back Interface and Absorber Bulk Deep-Level Trap Engineering, 8, 1, 213–221, *ACS Energy Lett.* (2023) <https://doi.org/10.1021/acsenergylett.2c02066>
16. I. Gharibshahian et al., Effect of the junction barrier on current–voltage distortions in the Sb<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>/Zn(O, S) solar cells, *Opt. Mater.* (2021), <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2021.111098>
17. R. Hamrouni et al., Linear and non linear optical properties of Sb<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> thin films elaborated from nano-crystalline mechanically alloyed powder, *Applied Physics A* (2018) 124:861 <https://doi.org/10.1007/s00339-018-2274-1>
18. Cheney, et al., Synthesis, characterization, and catalytic performance of Sb<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> nanorods, *J.Nanomater.* 2017, 5385908 (2017). <https://doi.org/10.1155/2017/5385908>
19. Geoffrey Tse, Dapeng Yu, The Structural, Electronic, Optical and Elastic Properties of ε-Type Gallium Selenide: A First Principle Study, *Journal of Nanoelectronics and Optoelectronics*, 11(5):551-567, (2016) **DOI:** <https://doi.org/10.1166/jno.2016.1984>

**Article Arrival Date**

21.04.2025

**Article Type**

Research Article

**Article Published Date**

20.06.2025

**TEMPERATURE DEPENDENCE OF THE THRESHOLD CURRENT OF GaAs  
LASERS**

GaAs LAZERLƏRİNİN HÜDUD CƏRƏYANININ TEMPERATUR ASILILIĞI

**Qardaşbəyova Nailə Adəm, Quliyeva Adilə, S.Həsənova-Abdullayeva**Naxçıvan Dövlət Universi, Orchid ID [0000-0002-0191-9428](#)**Summary**

At small values of the direct current, spontaneous emission is observed in p-n junctions in all directions. The intensity of light and the width of the spectral curve of the emission depend on the value of the current. As the current increases, the amplification factor of the emission increases. When the current increases to a certain value, the laser effect occurs, that is, the emission becomes coherent. This minimum value of the current corresponding to the onset of coherent generation at the junction is called the threshold current. The article shows that the threshold current density in alloy-doped lasers is approximately three times smaller than the threshold current density of lasers obtained by diffusion at room temperature.

200

**Keywords:** Electron, spontaneous emission, generation, laser, injection, semiconductor, thermodynamics, recombination

**Açar sözlər:** elektron, spontan şüalanma, generasiya, lazer, injeksiya, yarımkəçirici, termodinamik, rekombinasiya

**Xülasə**

Düzünə cərəyanın kiçik qiymətlərində bütün istiqamətlərdə p-n keçidlərdə spontan şüalanma müşahidə edilir. İşığın intensivliyi və şüalanmanın spektral əyrisinin eni cərəyanın qiymətindən asılıdır. Cərəyan artdıqca şüalanmanın güclənmə əmsalı böyüyür. Cərəyan müəyyən qiymətə qədər artdıqda lazer effekti baş verir, yəni şüalanma koherent olur. Keçiddə koherent generasiyanın başlanmasına uyğun gələn cərəyanın bu minimal qiyməti hədd cərəyanı adlanır. Məqalədə ərintidən göstərilmiş lazerlərdə hədd cərəyanının sıxlığı otaq temperaturunda diffuziya yolu ilə alınmış lazerlərin hədd cərəyanının sıxlığından təxminən üç dəfə kiçik olduğu göstərilmişdir.



Yarımkəçiricilərdə daşıyıcıların invers paylanması yaratmaq üçün ən effektiv və idarəolunan üsul onları p-n keçidlərdən injeksiya etməkdir. Məlumdur ki p-n keçidləri düz istiqamətdə gərginlik tətbiq etsək injeksiya hadisəsi baş verir:elektronlar ,p-oblasta dəşiklər, isə n-oblasta axır.p-n keçidlərin yaxınlığında bir neçə mikron tərtibli məsafədə termodinamik tarazlıq pozulur. İvers paylanma baş verir. Aktiv mühit yaranır. Sistem mənfi temperaturlu hala keçir.

Yarımkəçiricidə tarazsız elektron və dəşiklərin sərbəst enerjilərinin cəmi  $\Delta E_g$  -dən böyük olduqda invers paylanma yaranır. Başqa sözlə tarazsız elektron və dəşiklər üçün kvazi-Fermi səviyyələri aşağıdakı şərti ödəməkdir:

$$E_{Fn} + E_{Fp} > \Delta E_g$$

Aşqarsız yarımkəçiricidə kimyəvi potensialın səviyyəsi təxminən yasaq zolağın ortasında yerləşir və  $E_{Fn} + E_{Fp} = \Delta E_g$  olur. Buna görə də mənfi temperatur halının yaranma şərti o deməkdir ki heç olmasa ya  $E_{Fn} > \frac{\Delta E_g}{2}$  ,ya da  $E_{Fp} > \frac{\Delta E_g}{2}$  olmalıdır, yəni bu səviyyələrdən biri uyğun olaraq keçirici C- və yaxud valent V-zolaqları daxilində yerləşməlidir. Başqa sözlə ya elektronlar ya da dəşiklər cırlaşmış halda olmalıdır. Lazerlərdə təcrübə olaraq hər iki oblast kifayət qədər güclü cırlaşmalıdır.

Elektron və dəşiyin rekombinasiyası zamanı zərbəst elektron C-zolağından V-zolağına keçir və boş yeri doldurur. C-zolağındakı elektronun həyəcanlanma enerjisi işıq kvantı şəklində şüalana bilər. Bu rekombinasiya şüalanması öz-özünə (spontan) və ya məcburi baş verə bilər. Mənfi udulma əmsallı mühitdə məcburi keçidlər spontan şüalanmanı gücləndirəcəkdir. Yarımkəçirici diodun yan səthlərini yaxşı əksətdirici etməklə (bu işığın mühitdən dəfələrlə keçməsi üçün edilir)bu güclənməni artırmaq olar. Düzünə cərəyanın kiçik qiymətlərində bütün istiqamətlərdə p-n keçidlərdə spontan şüalanma müşahidə edilir. Işığın intensivliyi və şüalanmanın spektral əyrisinin eni cərəyanın qiymətindən asılıdır. Cərəyan artdıqca şüalanmanın güclənmə əmsalı böyüyür. Cərəyan müəyyən qiymətə qədər artdıqda lazer effekti baş verir,yəni şüalanma koherent olur. Keçiddə koherent generasiyanın başlanmasına uyğun gələn cərəyanın bu minimal qiyməti hədd cərəyanı adlanır. p-n keçiddən axan cərəyan  $I < I_{hüd}$  olduqda şüalanma spontan və qeyri- koherentdir.  $I > I_{hüd}$  şüalanma koherentdir. Şüalanmanın koherentliyi hər bir rekombinasiya aktı düşən ilkin işıq dalğası ilə məcburən buraxılan dalğanın fazaca eyniliyini göstərir. Belə koherent generasiya zamanı ilkin və əks olunan dalğaların fazaları hər bir nöqtədə eyni olmalıdır və ya dövrün tam sayı qədər fərqlənməlidir. Bunun

nəticəsidir ki lazerlərin köməyi ilə minimal aralanma bucağına malik çox nazik şüa dəstəsi almaq olar.[5]

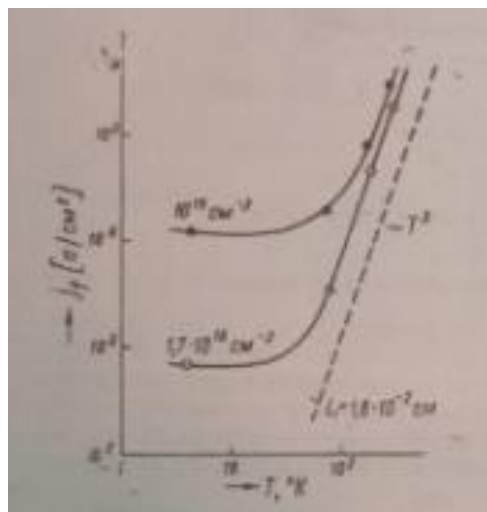
Hüdü cərəyanının sıxlığı  $T=0\text{ K}$ -də və  $N_1 = 0, N_2 = n_0$  şərtləri daxilində (yəni aşağı V-zolağı boşdur bütün elektronlar yuxarı C-zolağında yerləşmişdir ) belə təyin olunur :

$$I_{hüd} = \frac{8\pi q m_0^2 v^2 d\Delta v}{\eta \cdot c^2} \left[ \frac{1}{l} \ln \frac{1}{R} + \alpha \right].$$

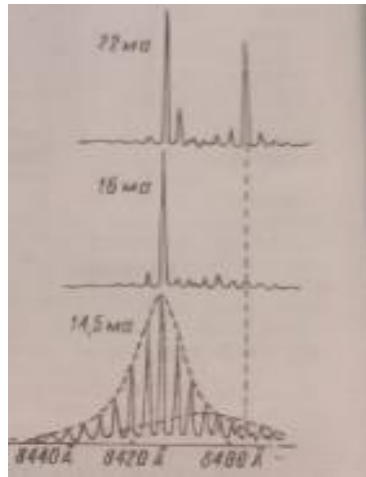
Burada  $n_0$  – maddənin sınıma əmsalı  $v$ - şüalanmanın tezliyi  $\Delta v$  – rezonans xəttin eni  $d$ - aktiv oblastın qalınlığı ( $\sim 5\text{ mkm}$ )  $\eta = \frac{d}{\tau}$  - sistemin kvant çıxışı yəni  $\tau$ - şüalanma və şüalanmasız rekombinasiya prosesini xarakterizə edən tarazsız daşıyıcıların yaşama müddəti ( axırıncı hal dərin səviyyələr vasitəsilə daşıyıcıların rekombinasiya etdiyi hala təvafüq edir ) ,  $c$  – işığın sürəti  $l$  - lazerin uzunluğu ( $100 \div 400\text{ mkm}$ )  $R$  isə rezonatorun kənarlarından işığın əksətdirmə əmsallarıdır;bu əmsallar eyni olmasa  $R = \sqrt{R_1 R_2}$  olur.

Yuxarıdakı münasibəti  $I_{hüd} = \frac{1}{\beta} \left[ \frac{1}{l} \ln \frac{1}{R} + \alpha \right]$  şəklində yazmaq olar; burada  $\beta$  ifadəsində kvadratik mötərizə qarşısındakı əmsalı ideal maksimal qiymətinin əksinə uyğun gəlir  $\alpha$  əmsalı ilə itki nəzərə alınır.  $\alpha$  və  $\beta$  əmsallarını təcrübi təyin etmək olar; temperatur  $4,2^\circ\text{ K}$ - də  $\beta \sim 5,1 \cdot 10^{-2}\text{ sm}/\alpha$  və  $\alpha = 13\text{ sm}^{-1}$  olur.

Şəkil 1-də diffuziya yolu ilə alınmış GaAs p-n keşidləri üçün  $I_{hüd}$ , cərəyanının temperatur asılılığı göstərilmişdir.



Şəkil 1. GaAs lazerlərinin hüdü cərəyanının temperatur asılılığı



Şəkil 2. GaAs injeksiyalı lazerin şüalanmasının cərəyanın müxtəlif  $I_{düz}$  qiymətlərində spektral paylanması

Aşağı temperaturda  $I_{hüd} = \text{const}$  yuxarıda isə  $I_{hüd} \sim T^3$  olur. Sonuncu asılılığın ödənildiyi temperaturun qiyməti bazada daşıyıcıların konsentrasiyası artdıqca böyüyür. Yüksək temperaturlarda daşıyıcıların konsentrasiyasının müxtəlif qiymətlərinə uyğun gələn əyri bir-birinə yaxındır, aşağı temperaturda isə onlar bir-birindən bir tərtibdən çox fərqlənir. Aşağı temperaturlarda hüdud cərəyanı temperaturdan asılı olmur.

203

Bu cərəyan yan səthlər arasındakı  $d$  məsafəsindən  $R$  əksətdirmə və passiv udma əmsalından asılı olub,  $v_{\chi} N_d$  ilə mütənasib artır: burada  $N_d$  - donorların konsentrasiyası  $\chi^{-1}$  -akceptorların konsentrasiyasının iki dəfə dəyişməsinə uyğun asılı deyildir  $T^3$  və  $N_0 \chi^{-1}$  ilə mütənasibdir. Generasiya başladıqdan sonra məcburi rekombinasiya gedən səviyyələrin dolması dəyişir. Hüdud cərəyanı bir sıra parametrlərdən məsələn aşqarların diffuziya cəbhəsinin dikliyindən və s. – dən kəskin asılıdır.

Lazerin şüalanma xəttinin eni cərəyanın qiymətindən asılıdır. Kiçik cərəyanlarda spontan şüalanmanın enli spektiral xətti müşahidə olunur. Məcburi şüalanma nəticəsində işığın güclənməsi tezlikdən rezonanslı asılı olduğu üçün  $I_{hüd}$  yaxınlığında şüalanma xətti yığılır. Koherent generasiyanın başlanğıcında yəni  $I = I_{hüd}$  olduqda ideal lazerlə bir “moda” həyəcanlanır, şüalanma xəttinin eni  $\Delta \varepsilon$  aşağıdakı düsturla təyin edilir;

$$\Delta \varepsilon = A^3 \sqrt{\frac{I - I_{hüd}}{I_{hüd}}}$$

Düzünə cərəyan yüksəldikcə modların sayı  $I - I_{hüd}$  ilə mütənasib artır. Elə buna görə də lazerin şüalanma spektri diskretdir, modlardan ibarətdir, müəyyən bir tezlikli xətlərdir.  $T = 10^{\circ} K$  -də işləyən lazerin cərəyanının üç qiymətində şüalanma spektri göstərilmişdir. Ərintidən gözətilmiş lazerlərdə hüdud cərəyanının sıxlığı otaq temperaturunda diffuziya yolu ilə alınmış lazerlərin hüdud cərəyanının sıxlığından təxminən üç dəfə kiçikdir.[5] Bu lazerlərdə hüdud cərəyanının temperaturdan asılı olmayan oblastı genişdir. Bu hadisə həmin lazerlərin enerji diaqramında daha aydın sezilən "quyuqların" olması ilə izah edilir.

Düzünə gərilmiş p-n keçidlərdə rekombinasiya şüalanmasından istifadə edilən lazerlər injeksiyalı adlanır. Hazırda bütün yarımkeçirici injeksiyalı lazerlər düzünə keçidə malik materiallardan düzəldilir.

### Nəticə

P-n keçidli lazerlər impuls və fasiləsiz rejimdə işləyə bilər. Belə lazerlərin faydalı iş əmsalı on faizlərə çata bilər. Başqa lazerlərə nisbətən onlar xüsusən aşağı temperaturalarda daha effektivdir. P-n keçidlərdən keçən təxminən bütün elektronlar faydalı işıq fotonu verir. İnjeksiya lazerlərin daha bir üstünlüyü vardır: yarımkeçiricinin tərkibini dəyişməklə geniş diapazonda istənilən dalğa uzunluğunu ala bilərik. Məsələn InP və InAs kristallarının qarışığından hazırlanmış lazerlərdə tərkibi dəyişməklə 0,91-3,1 mkm intervalında istənilən dalğa uzunluğundan məcburi şüalanma almaq olar. Kristalın temperaturunu seçməklə dalğa uzunluğunu daha səlis tənzim etmək mümkündür.

### Ədəbiyyat

- 1.ИбрагимовГ.Б. О температурной зависимости статической электро проводности полупроводниковой проволоки Fizikanin aktual Problemləri, III Respublika elmi konfransi 2004,c.88-89.
- 2.Галицкий В.М., Елесин В.Ф. Резонансное взаимодействие электромагнитных полей с полупроводниками. М.Энергоатомиздат 1986.192с.
- 3.Тутурин Н.Н., Экстрагирование, экстракция // Энциклопедический словарь Брокгаузи и Ефрона: в 86т. 1890-1907 г.
4. Зеегер К. Введенне физика полупроводников, М., Мир, 1977, 615 с.
- 5.Н.В.Абдуллаев, З.Ə.İsgəndərzadə Yarımkeçirici çeviricilər Bakı-1974

**Article Arrival Date**

23.04.2025

**Article Type**

Research Article

**Article Published Date**

20.06.2025

**APPLICATION OF PHYSICS LABORATORIES IN THE ELECTRONIC  
LEARNING ENVIRONMENT**

ELEKTRON TƏHSİL MÜHİTİNDƏ FİZİKA LABORATORİYALARININ TƏTBİQİ

**Qardaşbəyova Nailə Adəm**Naxçıvan Dövlət Universiteti, Orchid ID [0000-0002-0191-9428](#)**Abstract**

Electronic learning technologies have begun to play an important role in the education system in modern times. This article extensively analyzes the essence, forms of application, advantages and problems of electronic learning. Also, the application and development prospects of electronic education in Azerbaijan are assessed. As a result of the study, it was found that electronic learning systems, in addition to creating flexibility, accessibility and personalized learning opportunities in education, need continuous improvement from a technical and methodological point of view. Digital transformation in the modern education system is developing rapidly, and this process also affects online models of physics laboratories. In traditional physics laboratories, students work with real devices, but this method is both financially expensive and, in some cases, inaccessible to all students due to limited physical resources. Electronic learning and online laboratories have emerged as an effective alternative to solve this problem.

**Keywords:** Electronic learning:, online education, digital education, synchronous and asynchronous models, Azerbaijani education

**Xülasə**

Elektron öyrənmə texnologiyaları müasir dövrdə təhsil sistemində mühüm rol oynamağa başlamışdır. Bu məqalədə Elektron öyrənmənin mahiyyəti, tətbiq formaları, üstünlükləri və qarşıya çıxan problemlər geniş şəkildə təhlil edilir. Həmçinin, Azərbaycanda elektron təhsilin tətbiqi və inkişaf perspektivləri qiymətləndirilir. Tədqiqat nəticəsində məlum olmuşdur ki, elektron öyrənmə sistemləri təhsildə çeviklik, əlçatanlıq və fərdiləşdirilmiş öyrənmə imkanları yaratmaqla yanaşı, texniki və metodoloji baxımdan davamlı təkmilləşməyə ehtiyac duyur.

Müasir təhsil sistemində rəqəmsal transformasiya sürətlə inkişaf edir və bu proses fizika laboratoriyalarının onlayn modellərinə də təsir göstərir. Ənənəvi fizika laboratoriyalarında tələbələr real cihazlarla işləyir, lakin bu metod həm maliyyə baxımından bahalıdır, həm də bəzi hallarda fiziki resursların məhdudluğu səbəbindən bütün tələbələr üçün əlçatan olmur. Elektron öyrənmə və onlayn laboratoriyalar bu problemi həll etmək üçün effektiv bir alternativ kimi meydana çıxmışdır.

**Açar sözlər:** Elektron öyrənmə:, onlayn təhsil, rəqəmsal təhsil, sinxron və asinxron modellər, Azərbaycan təhsili

## 1.GİRİŞ

Onlayn laboratoriyalar iki əsas modelə bölünür: simulyasiya əsaslı laboratoriyalar və uzaqdan idarə olunan real laboratoriyalar. Simulyasiya əsaslı laboratoriyalar, məsələn, PhET, Algodoo, Virtual Lab, tələbələrə nəzəri bilikləri interaktiv mühitdə tətbiq etməyə imkan verir. Digər tərəfdən, uzaqdan idarə olunan real laboratoriyalar tələbələrin internet üzərindən real cihazlarla işləməsinə şərait yaradır. Bu metodlar xüsusilə pandemiya dövründə və distant təhsilin inkişafı ilə daha da aktuallaşmışdır.

Azərbaycan təhsil sistemində STEM yanaşmasının inkişafı, Elektron öyrənmə platformalarının tətbiqi və virtual laboratoriyaların genişlənməsi istiqamətində müəyyən addımlar atılmışdır. Bununla belə, mövcud vəziyyət hələ də beynəlxalq təcrübədən geri qalır və rəqəmsal laboratoriyaların effektiv tətbiqi üçün yeni strategiyalara ehtiyac var. Bu məqalədə onlayn fizika laboratoriyalarının üstünlükləri, mövcud çətinlikləri, beynəlxalq təcrübənin təhlili və Azərbaycan təhsil sistemində tətbiqi perspektivləri araşdırılacaqdır.

**2. Elektron öyrənmə** — müasir təhsilin vazkeçilməz formasıdır və texnologiyaların tətbiqi ilə həyata keçirilən təhsil və ya təlim prosesidir. Burada əsas məqsəd öyrənən şəxsin zaman və məkan məhdudiyyəti olmadan bilik əldə etməsinə şərait yaratmaqdır. Bu metodlar kompüterlər, planşetlər, smartfonlar və internet bağlantısı vasitəsilə reallaşır. Həmçinin, informasiya və kommunikasiya texnologiyalarından istifadə etməklə tədris və öyrənmə prosesinin internet və ya kompüter vasitəsilə həyata keçirilməsidir.

Elektron öyrənmə aşağıdakı formaları əhatə edə bilər. Bunlara onlayn kurslar (MOOC-lar, universitetlərin təqdim etdiyi kurslar), virtual sinif otaqları (Zoom, MS Teams, Google Meet və s.), təhsil platformaları, multimedia vasitəsilə dərslər (video dərslər, interaktiv testlər və s.) aid etmək olar. Elektron öyrənmənin əsas üstünlüklərindən biri istənilən yerdən və istənilən vaxtda

öyrənmək imkanının olmasıdır. Eyni zamanda fərdi tempdə öyrənmək imkanı, xərclərin azaldılması (nəqliyyat, yaşayış, kağız materiallar və s.), təkrar öyrənmə imkanı, interaktiv və multimedia resurslarından istifadə də elektron öyrənmənin üstünlükləri sayılır.

Elektron öyrənmənin üstünlükləri ilə yanaşı çatışmazlıqları da mövcuddur. Canlı ünsiyyətin azalması, özünüidarə və motivasiya problem, texniki problemlər və ya internetə çıxışın məhdudluğu, praktiki fənlər üçün çətinliklər (xüsusilə laboratoriya işləri) və s. buna misal ola bilər.

Onlayn fizika laboratoriyalarının bir neçə növləri mövcuddur. Bunlardan Simulyasiya əsaslı laboratoriyalar (PhET, Algodoo, Virtual Lab), uzaqdan idarə olunan real laboratoriyalar (internet vasitəsilə real cihazların idarə olunması), hibrid laboratoriyalar (ənənəvi və onlayn modellərin birləşməsi) və s. İnteraktiv öyrənmə və tələbə fəallığının artması, və avadanlıq təhlükəsizliyinin təmin edilməsi, fiziki məhdudyyətləri olan tələbələr üçün əlçatanlıq və fərdiləşdirilmiş təhsil imkanı onlayn laboratoriyaların üstünlükləri sayılır. Bu üstünlüklərlə yanaşı çətinliklər də vardır. Real eksperiment təcrübəsinin tam təmin olunmaması, internet və texniki avadanlıq ehtiyacının olması, tələbələrin motivasiya və diqqət problemləri bu təhsil sistemində çatışmamazlıqları göstərir.

Onlayn fizika laboratoriyalarının səmərəliliyinin artırılması üçün innovativ yanaşmalar mövcuddur. Müəllim və tələbələr üçün təlim proqramlarının təşkili, dövlət və özəl sektorun bu sahəyə investisiya etməsinin əhəmiyyəti və s.

Elektron öyrənmənin əsas xüsusiyyətləri aşağıdakılardır:

1. İnternet əsaslı tədris – burada dərslər veb-saytlar, platformalar və mobil tətbiqlər vasitəsilə keçirilir.
2. Sənəd və multimedia resursları – PDF, videodərslər, interaktiv testlər və simulyasiyalar istifadə olunur.
3. Distant və hibrid model – Tamamilə onlayn və ya ənənəvi təhsillə birləşmiş formada ola bilər. Hibrid təhsil – ənənəvi və onlayn təhsil metodlarının birləşməsidir.

Tələbələr dərslər materiallarına istədikləri vaxt daxil olub öyrənmə bilirlər (məs., Coursera, Khan Academy). Bu Asinxron yəni sərbəst vaxtlı adlanır. Sinxron dərslərdə isə müəllim və tələbələr eyni anda onlayn görüşlər keçirirlər (Zoom, Google Meet vasitəsilə).

Azərbaycan universitetləri və liseylərində onlayn laboratoriyaların tətbiqi ilə bağlı məlumat verək

Azərbaycan universitetləri fizika təhsilində innovativ yanaşmalar tətbiq edərək onlayn laboratoriya modellərindən istifadə edir. Universitetlərinin Fizika-riyaziyyat fakültəsinin Fizika laboratoriyasında onlayn təcrübələr aparılır. Bu təcrübələr zamanı tələbələr müxtəlif fiziki prosesləri virtual mühitdə müşahidə edir və analiz edirlər.

Bundan əlavə, bir çox universitetlərin fizika kafedrasının nəzdində fəaliyyət göstərən optika və elektronika elmi tədqiqat laboratoriyaları müasir texnologiyalar və avadanlıqlarla təchiz olunmuşdur. Bu laboratoriyalarda tələbələrə elmi-praktiki araşdırmalar aparmaq imkanı yaradılır. Laboratoriyada optika və elektronika sahəsində geniş spektrdə müxtəlif təcrübələr və tədqiqatlar həyata keçirilir ki, bu da tələbələrin nəzəri biliklərini praktiki bacarıqlarla birləşdirməsinə şərait yaradır. Bu cür onlayn və virtual laboratoriya modellərindən istifadəsi, tələbələrin fizika sahəsində interaktiv və əyani təhsil almalarına, həmçinin müasir texnologiyalardan yararlanaraq bilik və bacarıqlarını inkişaf etdirmələrinə imkan verir.

Onlayn fizika laboratoriyaları dünya üzrə təhsil sistemlərində geniş tətbiq olunur və bir çox uğurlu nümunələr mövcuddur. Aşağıda ABŞ, Avropa və digər ölkələrdə istifadə edilən bəzi tanınmış onlayn fizika laboratoriyaları haqqında məlumat verilmişdir:

2002-ci ildə Nobel mükafatı laureatı Karl Viman tərəfindən Kolorado Boulder Universitetində yaradılan PhET layihəsi, fizika, kimya, biologiya və riyaziyyat üzrə pulsuz interaktiv simulyasiyalar təklif edir. Bu simulyasiyalar tələbələrin müxtəlif təcrübələri virtual mühitdə aparmasına imkan verir və tədris prosesini daha interaktiv və əyani edir.

Avropa İttifaqının dəstəyi ilə həyata keçirilən Go-Lab layihəsi, tələbələrə müxtəlif onlayn laboratoriyalara və tədris resurslarına çıxış imkanı yaradır. Bu platforma vasitəsilə tələbələr real laboratoriya təcrübələrini virtual olaraq həyata keçirə və elmi tədqiqat bacarıqlarını inkişaf etdirə bilirlər.

Avstraliyada fəaliyyət göstərən bu konsorsium, tələbələrə uzaqdan idarə olunan real laboratoriya avadanlıqlarına onlayn çıxış imkanı təqdim edir. Bu, tələbələrin real cihazlarla işləmək təcrübəsi qazanmasına və praktiki bacarıqlarını inkişaf etdirməsinə şərait yaradır.

İsraildə isə yaradılan VirtuaLab platforması, fizika və mühəndislik sahələrində müxtəlif virtual laboratoriya təcrübələri təklif edir. Bu platforma tələbələrin nəzəri biliklərini praktiki tətbiqlərlə birləşdirməsinə və interaktiv öyrənmə mühitində təcrübə aparmasına imkan verir.

Bu nümunələr göstərir ki, onlayn fizika laboratoriyaları təhsil prosesində mühüm rol oynayır və tələbələrin həm nəzəri, həm də praktiki biliklərini inkişaf etdirməsinə əhəmiyyətli töhfə verir



## Nəticə

Elektron öyrənmə müasir dövrdə təhsil sisteminin ayrılmaz hissəsinə çevrilmişdir. Xüsusilə pandemiya dövründə onun əhəmiyyəti daha da artmışdır. Gələcəkdə elektron təhsil texnologiyalarının süni intellekt, virtual reallıq və adaptiv öyrənmə modelləri ilə inteqrasiyası gözlənilir.

Fizikanın STEAM yanaşması ilə tədrisi ənənəvi dərslər metodlarından daha interaktiv və tətbiq yönümlü olur. Tələbələr təkcə nəzəri bilik əldə etməklə qalmır, real problemləri həll etmək üçün texnologiyadan, mühəndislik bacarıqlarından və yaradıcılıqdan istifadə edirlər. Bu yanaşma, Azərbaycanın təhsil sistemində də daha geniş tətbiq edilə bilər.

Onlayn fizika laboratoriyaları ənənəvi laboratoriyalara alternativ və ya tamamlayıcı vasitə kimi böyük potensiala malikdir. Elektron laboratoriyalar fizika təhsilini əlçatan və interaktiv edir.

Azərbaycanda bu sahənin inkişafı üçün daha çox texniki və metodiki dəstək tələb olunur.

Beynəlxalq təcrübədən faydalanmaq və yerli sistemə uyğunlaşdırmaq olduqca vacib məsələlərdən biridir.

## Ədəbiyyat siyahısı

1. Anderson, T. (2008). *The Theory and Practice of Online Learning*. Athabasca University Press.
2. Bates, A. T. (2015). *Teaching in a Digital Age: Guidelines for designing teaching and learning*. Tony Bates Associates Ltd.
3. Moore, M. G., & Kearsley, G. (2012). *Distance Education: A Systems View of Online Learning* (3rd ed.). Wadsworth.
4. Garrison, D. R., & Vaughan, N. D. (2008). *Blended Learning in Higher Education: Framework, Principles, and Guidelines*. Jossey-Bass.
5. OECD (2020). *Education Responses to COVID-19: Embracing digital learning and online collaboration*.
6. Şahbazov, R. A. (2021). *Azərbaycanda rəqəmsal təhsil: Reallıqlar və perspektivlər*. Bakı: Təhsil Nazirliyi nəşri.

<b>Article Arrival Date</b>	<b>Article Type</b>	<b>Article Published Date</b>
<b>26.04.2025</b>	<b>Research Article</b>	<b>20.06.2025</b>

**CYBER THREATS VERSUS DATA SECURITY: THE EFFICACY OF INTRUSION, DETECTION AND PREVENTION SYSTEMS**

**Moses Adeolu AGOI<sup>1</sup>, Olayemi Grace ABIMBOLA<sup>2</sup>, Oluwanifemi Opeyemi AGOI<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Lagos State University of Education, Lagos Nigeria, ORCID ID: [0000-0002-8910-2876](https://orcid.org/0000-0002-8910-2876)

<sup>2</sup>Lagos State University of Education, Lagos Nigeria, ORCID ID: [0009-0000-0139-3481](https://orcid.org/0009-0000-0139-3481)

<sup>3</sup>Obafemi Awolowo University, Osun Nigeria.

**Abstract**

Data security has become a paramount concern while the protection of sensitive information is indispensable. Cyberspace ( I.e, an interconnectivity between work environment, internet and the intranet) has become malicious site as data are susceptible to intrusion due to the enomorous increase in malicious activities (Paul, 2020). Intrusion, detection and Prevention systems (IDPS) is a software application or device primarily designed to identify potential incidents, reports malicious activities, and enacts preventive measures using diverse response. These technologies are growingly used to support the security of sensitive identities against threats or attacks. This paper is a mixed review on the impact of IDPS technologies on data security. The paper discusses some common causes of Cybersecurity breaches, major forms of cyber threats and IDPS data security methodologies. In order to collect relevant data for the paper work, constructive questions were formed and administered to respondents using online Google form. The responses gathered were subjected to reliability analysis. The paper concludes that the use of multiple types of IDPS technologies can help to achieve a more accurate and reliable detection and prevention against cyber threats.

**Keyword:** Cyber Threats, Data Security, Intrution, Detection, Prevention Systems.

## INTRODUCTION



The introduction of Information Technology (IT) to various human endeavors has enhanced easier access to all forms of data across several divides. These data are open to intrusion through malicious activities that seek to compromise its integrity through unlawful access, disrupting digital operation in Cyberspace; an interconnectivity between work environment, internet and the intranet. Thus, the protection, maintenance and confidentiality of these data is very important. Cyber threats originate from various spheres including hackers, corporate spies, criminal organizations and disgruntled employees. Therefore, security response methods are needed to identify and address external intrusion attempts. Intrusion, detection and Prevention systems (IDPS) is a software application or device primarily designed to identify potential incidents, report malicious activities, and enact preventive measures using diverse response. IDPS technologies are essentially used to support the security of sensitive identities against Cyber threats or attacks.

### Common causes of Cybersecurity Breaches

Threats and vulnerabilities in network security represent the potential risks and weaknesses that malicious actors may exploit to compromise the integrity, confidentiality, and availability of data within a computer network. Understanding these threats and vulnerabilities is essential for developing effective countermeasures to protect against cyber attack. The under listed are common causes of Cybersecurity breaches. Viz:-

1. Weak Authentication:

The use of weak login mechanisms that can be easily compromised or bypassed, such as or lack of multi-factor authentication or guessable passwords, creating vulnerabilities that attackers can easily gain unauthorized access to system or data.

2. Expired Software:

Failure to promptly update software, applications, and network devices, leaving them susceptible to exploitation. Attackers often target known vulnerabilities that have not been

addressed.

3. Lack of Encryption

Failing to encrypt sensitive data, both in transit and at rest, leaves it vulnerable to interception and unauthorized access. Encryption helps protect the confidentiality of data even if it falls into the wrong hands (Alkhatib et al., 2021).

4. Insecure Network Protocols

The use of protocol is lacking essential security features, such as authentication or encryption, leading to data breaches, and unauthorized access, such as using HTTP, FTP and older version of SNMP.

5. Social engineering:

The use of psychological influence on people to manipulate individuals into divulging sensitive or confidential information. This can include using tactics such as baiting, impersonation, or pretexting to deceive authorized users.

**Cyber Threats**



These are unruly activities carried out by malicious actors with the intent to gain unauthorized access to sensitive information, exploit vulnerabilities, or disrupt services, including attacks such as malware, ransomware and phishing. It is important to understand the various types of intrusions, so as to develop effective defense mechanisms against cyber threats.

Viz:-

1. Insider Intrusions:

This involve individuals within an organization using their access privileges to carry out malicious acts, such as sabotage, theft of sensitive data, or facilitating external attacks. The individual can include employees, part time workers, or even trusted entities compromising security.

2. Unauthorized Intrusions:

This involve an attacker gaining unauthorized entry to a system or sensitive data. In this type of intrusion , the attackers exploit the weaknesses in authentication mechanisms, such as expired software, guessable passwords, or poor access controls.

3. Malware Infections:

This involve the deployment of harmful or malicious software, including viruses, ransomware, worms, trojans, and spyware, to compromise systems. The intrusions can occur through the installation of compromised software, infected email attachments, or surfing on malicious websites.

4. Phishing and social engineering:

This involve the manipulation of individuals to divulge sensitive information or carry out actions that can compromise security. Attackers often gain access to credentials or exploit trust of authorized users using emails, messages, or phone calls to deceive the trusted entities.

5. Internet of things (IoT) Vulnerability:

The growing increase in the connectivity of IoT devices has introduce new attack vectors where insecure IoT devices can be compromised, leading to data breaches, unauthorized access, or disruption of services or operations.

**IDPS Data Security Methodologies**

Intrusion Detection and Prevention Systems (IDPS) is primarily focused on identifying potential incidents, attempting to intercept them by reporting the incidents to network security administrator. IDPS technologies uses many methodologies to detect. Viz:

1. Signature-based detection:

In this, IDPS systems examines data traffic in search of unique patterns of malicious activity, i.e, patterns that corresponds to a known type of attack, and block or alert traffic matching those signatures.

2. Anomaly-based detection:

In this, IDPS systems compare definitions of normal activity against deviant the unexpected or unusual behavior to identify significant deviations from established network profiles, reflecting potential threat.

3. Stateful protocol analysis:

In this, IDPS systems compares predetermined network to identify deviations and prevent attacks that exploit vulnerabilities in network protocols. IDPS can also use the record known authentication to define acceptable activity for specific or different classes of users.

4. Malware detection:

In this, IDPS systems compare incoming traffic to a database of known malware signatures to

identify malware or detect and block anomalous behavior associated with malware activity.

5. Unauthorized access prevention:

In this, IDPS systems detect and block unauthorized access attempts, such as attempts to access restricted resources or brute-force attacks.

6. Hybrid-based detection:

In this, IDPS systems combine two or more of data security methodologies. The result achieved by this methodology is better than the other because it takes advantage of the strengths of the numerous methods.

## RELATED LITERATURE

Michal and Maurice (2023) points out that data security has become a paramount concern for individuals, organizations as well as governments because of the fast growing digital interconnectivity of today's world. Therefore, timely and effective responses are required to fight against and safeguard networks and data. It is therefore necessary to look for an effective way to curb malicious activity in networks or cyber space. Alamin et al. (2023) noted that appropriate decisions must be carefully made in order to choose choosing the most suitable response in certain situation which is often challenging; taking wrong responses can have severe consequences. Edet et al.(2024) emphasized that identifying which response methods can have a very significant impact on mitigating threats; hence organizations are expected to optimize resource allocation, prioritize investments, and ensure that they address the most critical security issues. To this end, the research of Ekong et al. (2023) shows that many organizations have been subjected to compliance requirements and regulations on the issue of data protection and cybersecurity. Alamin et al. (2023) opined that organizations can adopt customization has a key element in order to ensure that security measures are efficient and adaptive in the face of the numerous evolving cyber threats. According to Ekong et al. (2022), Machine learning (ML) has emerged in the field of cybersecurity as a powerful tool. The findings of the research work of Michal and Maurice (2023) made a proposal on the application of Intrusion Detection Systems for Cybersecurity Using Artificial Intelligence (AI) and Machine learning (ML) methods. Talukder et al. (2023) proposed the introduction of a hybrid model that combines machine learning and deep learning to increase detection and security capabilities. The research work of Abdulganiyu et al. (2023) highlighted the importance of safeguarding individuals and organizational sensitive data against potential intrusions over networks. However, the research work of Sivamohan et al. (2023) looked into the various cybersecurity faced by Industry 4.0,

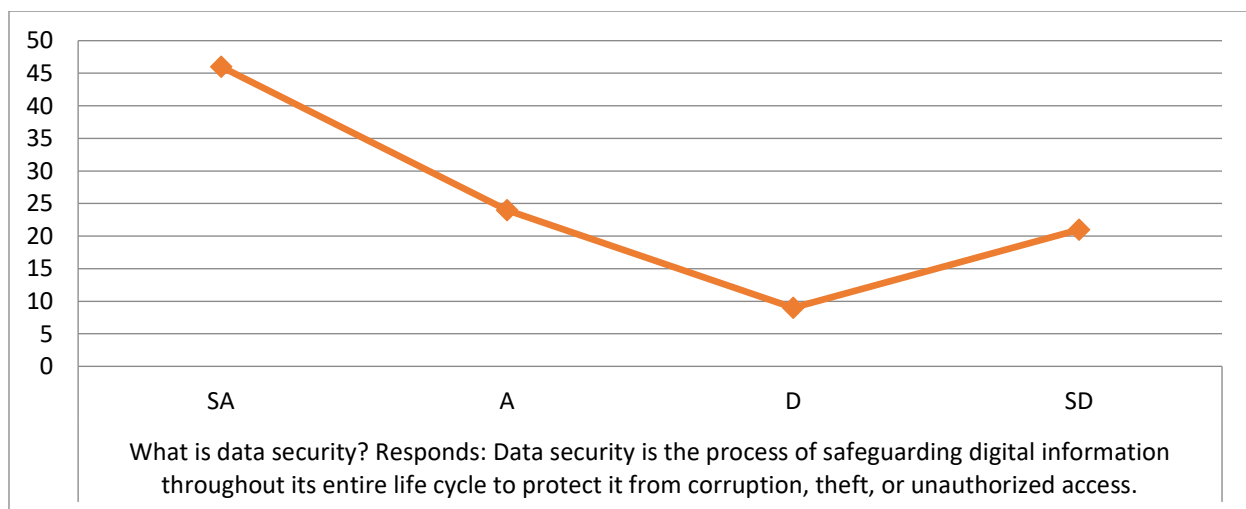
introducing real-time process monitoring and client-specific production which are susceptible to cyber threats.

**MATERIALS AND METHODS**

This paper combined both quantitative data (e.g., detection rates) with qualitative data (e.g., user feedback) to gain a more comprehensive understanding of the impact of IDPS technologies on data security. The researcher observed a group of security operators in their daily work to understand how they interact with IDPS technologies and address security incidents, compared the performance of various IDPS systems based on metrics like detection accuracy, false positive rate, and response time. Machine Learning (ML) was used to develop predictive models to forecast potential threats and optimize IDPS configurations. In order to collect relevant data for the paper work, constructive questions were formed and administered to security operators and IT experts using online Google form. The responses collected were subjected to Cronbach’s alpha reliability analysis. The result of 0.793 gave a good reliability index of the instrument. The entire exercise took place within 46 days before completion.

**RESULTS AND DISCUSSION**

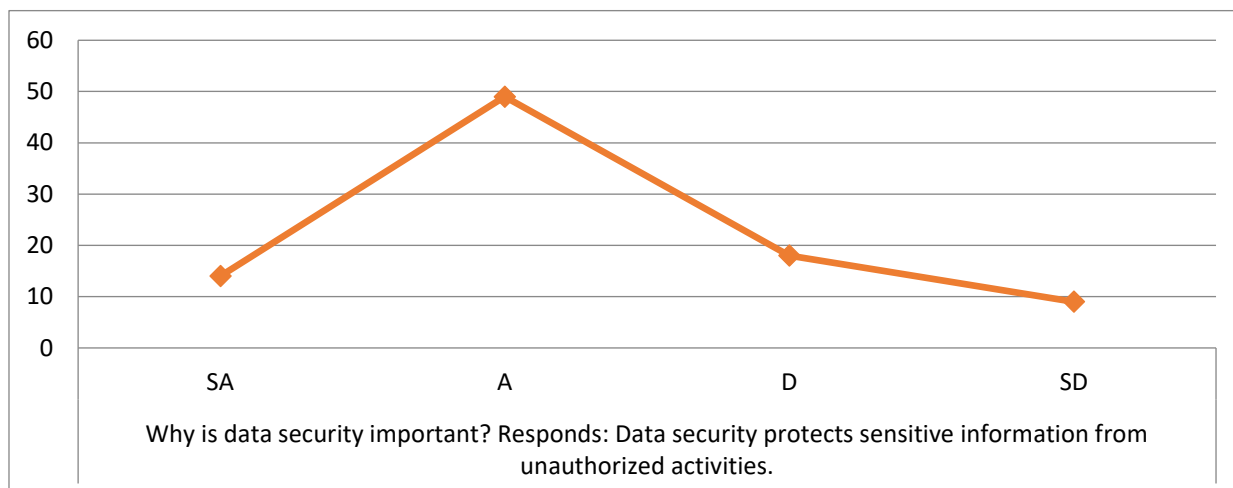
**Analysis chart 1**



The graph plotted in chart 1 signifies that majority of the respondents fully understand the concept of data security also known as data protection. The respondents defined data security as the process of safeguarding digital information throughout its entire life cycle in order to protect it from corruption, theft or unauthorized access. According to the respondents, data security encompasses everything, including software, hardware, user devices, and storage devices; administrative and access controls; and organizations' procedures and policies. The

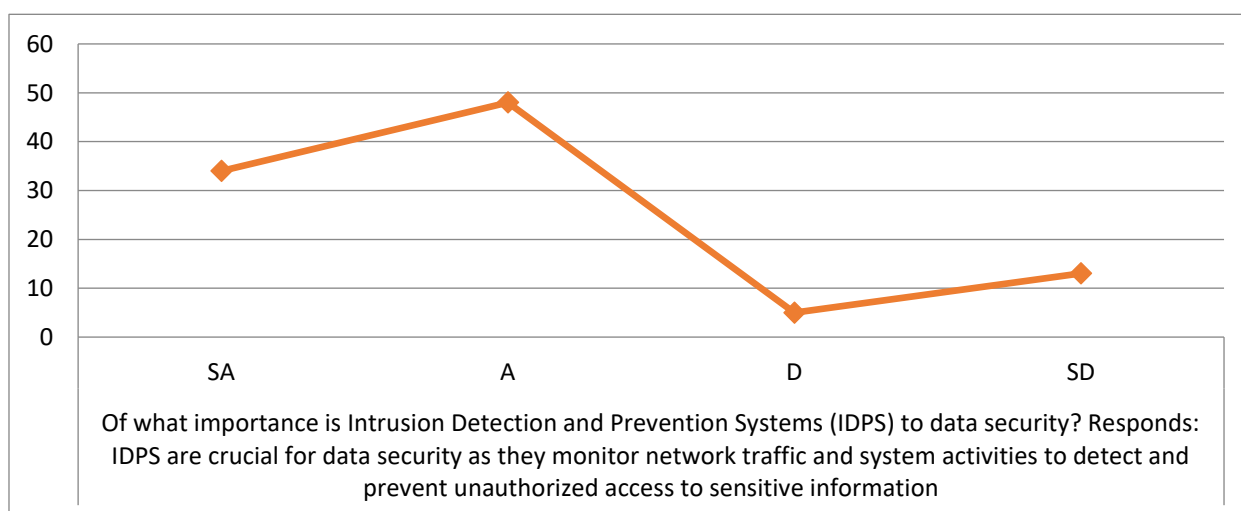
respondents explained further that data security covers all the practices and measures used to safeguard digital information from unauthorized access, inspection, recording, disruption, disclosure, modification, or destruction, in order to ensure confidentiality, integrity, and availability which are the fundamental principles data security.

### Analysis chart 2



The graph plotted in chart 2 depicts that a huge number of respondents concur with the statement that Data security is aimed at the protection of sensitive information from unauthorized access, inspection, recording, disruption, disclosure, modification, or destruction, as earlier stated. According to the respondents, the goal of data security is to ultimately ensure the privacy and safety of sensitive data such as financial records. customer account details, or intellectual property.

### Analysis chart 3



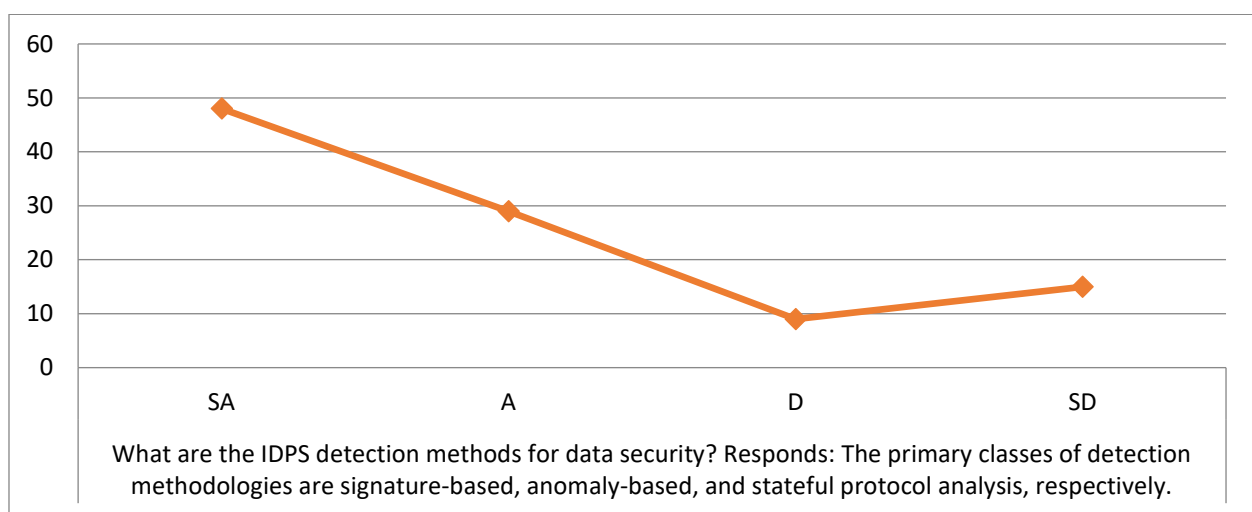
The graph plotted in chart 3 indicates that a greater amount of respondents agree with the



statement that Intrusion Detection and Prevention Systems (IDPS) are crucial for data security as they monitor network traffic and system activities to detect and prevent unauthorized access to sensitive information. The respondents emphasized that intrusion detection and prevention system (IDPS) are network monitoring strategies that are wired to actively monitor traffic and passively block malicious activities. In other works, the respondents inferred that an intrusion detection and prevention systems (IDPS) are targeted toward the monitoring of network for threats and taking action against the threats that are detected.

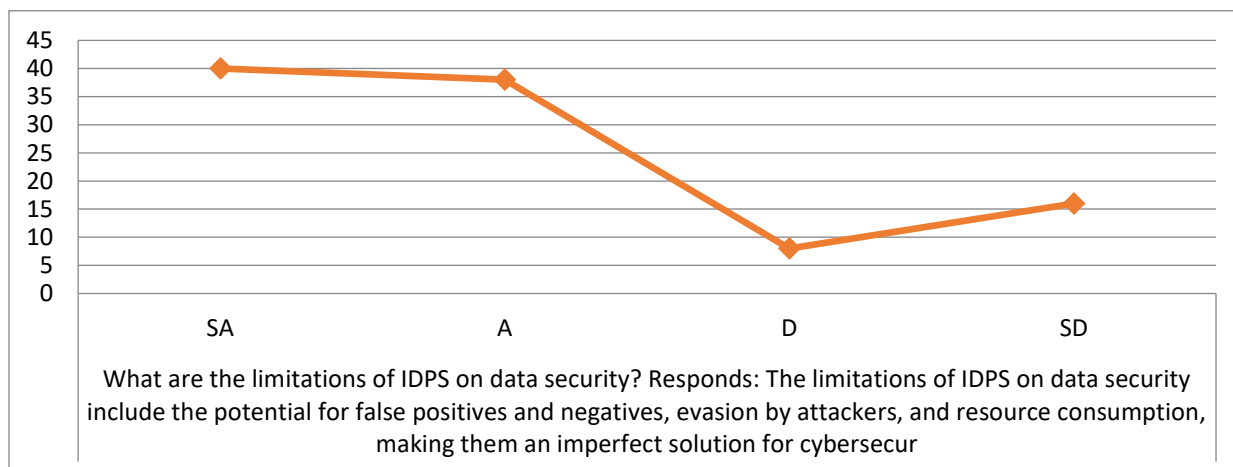
### Analysis chart

4



The graph plotted in chart 4 reveals that a greater number of respondents mentioned that the primary classes of detection methodologies include signature-based, anomaly-based, and stateful- protocol analysis, respectively. The respondents added that most IDPS technologies use multiple methodologies, which may be integrated or separately, so as to effectively provide accurate and broad detection.

### Analysis chart 5



The graph plotted in chart 5 shows that a higher number of respondents affirmed that IDPS technologies have its limitations on data security. The respondents outlined the limitations of IDPS on data security, including evasion by attackers, potential for false positives and negatives, and resource consumption, suggesting that the technologies are not the perfect solution for data security.

### CONCLUSION

This paper is focused on data security using Intrusion, detection and Prevention systems (IDPS) technologies. The paper discusses some common causes of Cybersecurity breaches, major forms of cyber threats and IDPS data security methodologies. The paper asserts that security is the concerns of individuals, organizations as well as governments as data security is paramount while the protection of sensitive information is very important, therefore, multiple types of IDPS technologies can be very helpful in monitoring the events occurring in cyberspace to achieve a more accurate and reliable detection and prevention against cyber threats.

## REFERENCE LIST

Abdulganiyu, O.H., Ait Tchakoucht, T. & Saheed, Y.K. (2023). A Systematic Literature Review for Network Intrusion Detection System (IDS). *Int. J. Inf. Secur.* Vol. 22. Pp. 1125–1162 (2023). <https://doi.org/10.1007/s10207-023-00682-2>

Alamin, T., Khondokar, F. H., Manowarul, I., Ashraf, U., Arnisha, A., Mohammad, A. Y., Fares, A., & Mohammad, A. M.(2022). A Dependable Hybrid Machine Learning Model for Network Intrusion Detection. *Journal of Information Security and Applications*.

Edet, A. E., & Ansa, G. O. (2023). Machine Learning Enabled System for Intelligent Classification of Host-Based Intrusion Severity. *Global Journal of Engineering and Technology Advances*. Vol. 16(03). Pp. 041–050.

Ekong, A., Silas, A. & Inyang, S. (2022). A Machine Learning Approach for Prediction of Students’ Admissibility for Post-Secondary Education using Artificial Neural Network. *International Journal of Computer Applications*. Vol. 184. Pp. 44-49.

Ekong, B., Ekong, O., Silas, A., Edet, A., & William, B. (2023). Machine Learning Approach for Classification of Sickle Cell Anemia in Teenagers Based on Bayesian Network. *Journal of Information Systems and Informatics*. Vol. 5(4). Pp. 1793-1808. <https://doi.org/10.51519/journalisi.v5i4.629>.

219

Michal, M., & Maurice, D. (2023). A Dependable Hybrid Machine Learning Model for Network Intrusion Detection. *International Conference Knowledge-Based Organization*. Vol. 29(3). Pp. 30-37.

Paul Van Oorschot (2020). *Computer Security and the Internet: Tools and Jewels*.

Sivamohan S & Sridhar SS (2023). An Optimized Model for Network Intrusion Detection Systems in Industry 4.0 using XAI based Bi-LSTM framework. *Neural Computer Applications*. Vol. 35(15). Pp. 1459-11475. Doi: 10.1007/s00521-023-08319-0. Epub 2023 Mar 10. PMID: 37155462; PMCID: PMC9999327.

**Article Arrival Date****Article Type****Article Published Date**

29.04.2025

Research Article

20.06.2025

**EFFECTIVE TECHNOLOGIES FOR THE PRODUCTION OF BIOGAS USING  
LOCAL RAW MATERIALS**YEREL HAMMADDELER KULLANILARAK VERİMLİ BİYOGAZ ÜRETİM  
TEKNOLOJİLERİЖЕРГІЛІКТІ ШИКІЗАТТЫ ПАЙДАЛАНА ОТЫРЫП БИОГАЗ ӨНДІРУДІҢ ТИІМДІ  
ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫ**Сунакбаева Дилара Кахаровна<sup>1</sup>, Айдарбекова Жанна Кайсарқызы<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университетітехн.ғ.к., қауымдастырылған профессор м.а., <https://orcid.org/0000-0002-1182-7113>Sunakbaeva D.K., candidate of technical sciences, Khoja Akhmet Yassawi International  
Kazakh-Turkish University (Turkestan, Kazakhstan)<sup>2</sup>«Қоршаған орта» білім беру бағдарламасының 4-курс студенті

Aydarbekova J.K., 4th year student of the "Environment" educational program

220

**Аңдатпа:** Бұл мақалада күн энергиясы, жел энергиясы, атом энергиясы, биогаз болып табылатын электр қоректендірудің балама көздері зерттелініп, биогазға ерекше көңіл бөлінді. Сонымен қатар биогаз қондырғыларының жіктелуі әзірленді, олардың жұмыс істеу ерекшеліктері ашылды, жүйелік және үдерістік тәсіл негізінде биогаз қондырғысы процестерінің картасы әзірленді. Мал шаруашылығы фермаларының қалдықтарын қайта өңдеудің кешенді міндеттері бойынша мәселелер қаралды. Биогаз қондырғысының техникалық сипаттамалары ұсынылды және жұмыс параметрлері анықталды.

**Кілт сөздер:** биогаз, альтернативті энергия, қалдықтар, агроөнеркәсіп, қондырғылар, биотехнология.

**Summary:**

In this article, special attention was paid to biogas, studied alternative sources of power, which

are solar energy, wind energy, nuclear energy, biogas. Also the classification of biogas plants is developed, the features of their functioning are revealed, the map of processes of biogas plant on the basis of system and process approach is developed. Questions on complex problems of processing of waste of livestock farms are considered. The technical characteristics of the biogas plant are presented and the operating parameters are determined.

**Keywords:** biogas, alternative energy, waste, agro-industry, facilities, biotechnology.

**Özet:**

Bu makalede, güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, Atom Enerjisi, biyogaz olmak üzere alternatif güç kaynakları incelenmiştir. Biyogaz tesislerinin sınıflandırılması da geliştirildi, işleyişinin özellikleri ortaya çıktı, sistem ve süreç yaklaşımına dayalı biyogaz tesisatının süreç haritası geliştirildi. Hayvancılık çiftliklerinin atık geri dönüşümünün kapsamlı görevleri ile ilgili konular ele alınmıştır. Biyogaz kurulumunun teknik özellikleri ve çalışma parametrelerini sunuldu.

**Anahtar kelimeler:** biyogaz, alternatif enerji, atık, tarımsal sanayi, tesisler, biyoteknoloji.

Қазіргі заманда, тұтынудың өсіп келе жатқан көрсеткіштерімен және соның салдарынан - энергия ресурстарының шектеулі болуымен, баламалы, жаңартылатын көздерден энергия өндіру технологияларының дамуы қарқынды жүруде. Мұндай көздерге, бірінші кезекте, күн және жел энергиясы, геотермалдық жылу, биомассаның энергиясы, теңіз толқындары мен құймалар энергиясы жатады. Қазіргі уақытта бүкіл әлемде де Қазақстанда да баламалы энергия көздерін дамыту және енгізу мәселелеріне үлкен көңіл бөлінуде.

Қазіргі таңда баламалы энергия көздері энергиямен қамтамасыз ету мәселелерін шешуде кеңінен қолданылады. Сарқылмайтын ресурстардан энергия өндіру технологияларының қолжетімділігі шалғай аймақтарда экологиялық таза инфрақұрылымы бар үйлер салуға, сондай-ақ қолданыстағы нысандардың энергиямен жабдықтау мәселелерін шешуге мүмкіндік береді.

Күн сәулесі мен жел энергиясы сияқты баламалы энергия көздері энергиямен жабдықтау және суды қыздыру үшін, геотермалды жер жылуы, ғимараттарды жылыту және кондиционерлеу үшін пайдаланылады. Күн энергиясын электр энергиясына түрлендіру планетадағы ең таралған элемент - кремнийден фотоэлектрлік пластиналардың көмегімен жүзеге асырылады [1].

Биогаз технологияларын қарқынды енгізу алдағы жылдары агроөнеркәсіптік кешендер мен тамақ өнеркәсібі кәсіпорындарын, сондай-ақ қалалық су арналары мен жеке секторды тұрақты энергиямен қамтамасыз ету мәселелерін шешуге мүмкіндік береді.

Биогазды пайдаланудың басты артықшылықтары оның үздіксіз жаңартылып отыруы, жергілікті шикізат көздерінің қолжетімділігі, органикалық қалдықтарды тұрақты жинау жүйесі арқылы парниктік әсерді азайту және экологиялық залалды төмендету болып табылады. Сонымен қатар, ол экологиялық тұрғыдан тұйық энергетикалық жүйені қалыптастыруға ықпал етеді.

Биогаз қондырғысы келесі мүмкіндіктерді ұсынады:

- Электр энергиясы, жылу, газ және мотор отыны сияқты бірнеше энергия ресурстарын бір уақытта өндіру;
- Органикалық қалдықтарды таза суға, биогумусқа және құрамында азот пен фосфор көп минералды тыңайтқыштарға өңдеу арқылы оларды кәдеге жаратудың кешенді шешімі;
- Ауыл шаруашылығында жоғары табысты жаңа өндіріс түрлерін ұйымдастыру.

Қоғамның экономикалық дамуының маңызды бағыттарының бірі – ресурс үнемдеуші технологияларды дамыту. Мұндай технологиялар энергия мен отын шығынын барынша азайтып, шикізат, материалдар, су, ауа және өзге де ресурстарды ұтымды пайдалануға мүмкіндік береді. Олар қайталама ресурстарды қайта өңдеуді, қалдықтарды кәдеге жаратуды, энергияны рекуперациялауды және сумен жабдықтаудың тұйық жүйелерін қамтиды [2].

Ауыл шаруашылығынан қалдықтарды сауатты пайдалану - біздің әлемдегі жаһандық әрі өзекті маңызды мәселе. Бір жағынан ол биомассаның қуатын кәдеге жарату мүмкіндігімен және одан сұйық және газ тәрізді отынды (биогаз) алумен байланысты болса, екінші жағынан су объектілерінің ластануын, жердің топырақ жамылғысының мал шаруашылығы фермаларының көң ағысында орналасқан патогенді микроорганизмдермен және гельминттермен зақымдануын болдырмауға ықпал етеді [3].

Табиғатта өзара байланысты тұйықталған циклдердің есебінен зат және энергия ерекше тиімді және қалдықсыз пайдаланылады, яғни бір табиғи үдерістің қалдықтары үнемі басқалар үшін шикізат қызметін атқарады. Керісінше, техногенез үдерісінде, соның ішінде, агроөндірістік кәсіпорындарда пайдаланылмаған қалдықтар өте көп қалады, міне

осылар қоршаған ортаның басты ластағыштары болып табылады.

Көптеген елдердегі жыл сайынғы пайда болатын ауылшаруашылық қалдықтары бір адамға орташа есеппен 1200-ден 7000 кг құрайды. Олардың көпшілігі тиімді пайдалану салаларын таппастан ашық күйде сақталады, осы ретте олар қоршаған орта құрауыштарымен өзара әрекетке түсіп, адамға және биотаның өзге өкілдері үшін пассивті зиянды заттан белсенді зиянды затқа ауысады.

Соңғы жүз жылдықта экожүйелерде антропогендік орталардан шығатын ластаушылар санының артуына қарай, экологиялық тепе - теңдіктің бұзылуы байқалады. Осыған байланысты табиғат ресурстарын қорғау және ұтымды пайдалану мәселесі бірінші кезекке шығуда. Әсіресе, топырақ құнарлылығының жоғалуы, соған орай, егіншілік және малшаруашылық өнімдері сапасының нашарлауы күллі адамзатты қатты алаңдатады, өйткені ол кез-келген елдің экономикалық және әлеуметтік дамуы үшін аса маңызды.

Топырақ қабаты биосфераның басқа нысандарымен салыстырғанда, өндірістік, ауылшаруашылық, үй-жай шаруашылығы қоқыстары мен әртүрлі қалдықтарының ағын қысымын өзіне қабылдайтын орта болып табылады. Техногендік қысымның қарқынды өсуіне байланысты, топырақ жүйесі өзінің дәнекер және уытсыздандырушы сынды ең маңызды рөлін орындау мүмкіндігін жоғалта бастады. Байқалған құбылыстың басты себептерінің бірі – ол топырақ жүйесіндегі биологиялық өнімділікке қарағанда, бүлдіруші үдерістердің басым болуы. Топырақтың тозуы нәтижесінде, жыл өткен сайын дақылдардың өнімділігі әлемдік деңгейде төмендеуде, соған орай қоректену элементінің басты көзі болып саналатын гумус заттарының қоры кемиді. Тұтас алғанда, қазір экологиялық шаралар өткізу қарқынынан жердің тозу қарқыны мен топырақтың табиғи құнарлылығының төмендеуі озып тұр.

Қазіргі таңда ауыл шаруашылығын экологияландыру – агроөндіріс пен мал шаруашылығын экологиялық тұрғыдан дамыту кейінге қалдыруға болмайтын маңызды міндеттердің бірі болып отыр.

Егіншілікті экологияландырудың негізгі бағыты – топырақ құнарлылығын арттыру және өсімдіктерді қорғау мақсатында химиялық әдістерді азайтып, биологиялық тәсілдерді кеңінен қолдану.

Баламалы егіншілік агротехникада топырақ құрылымын сақтап, оның құнарлылығын төмендетпейтін әдістерге негізделеді. Ол жердің гумус қабатын табиғи жолмен байытуға, сондай-ақ топырақтағы жәндіктер, ұсақ жануарлар мен микрофлора

арасындағы табиғи тепе-теңдікті қалпына келтіруге бағытталған. Нәтижесінде, өсімдіктердің өсуі мен дамуы үшін қолайлы жағдайлар жасалып, олар аурулар мен зиянкестерге төзімді, сау әрі күшті болып жетіледі [4].

Бүкіл әлемдегі энергетиканың қазіргі жай-күйі қоршаған ортаның тапшылығы мен ластануымен сипатталады. Әлемнің көптеген елдерінің энергия кешендерін дамыту стратегиясы жаңа (дәстүрлі емес) және жаңартылатын энергия көздерін (ЖЭК) пайдаланумен байланысты, бұл энергиямен жабдықтау және қоршаған ортаны сақтау проблемасын табысты шешу үшін нақты жол болып табылады [5]. Энергиямен қамтамасыз етудің мұндай бағыттары әлемнің дамыған елдерінде қарқынды дамуда. Мамандардың болжамдары бойынша жаңартылатын энергия көздерінің бір бөлігі электр энергиясын генерациялаудың әлемдік теңгерімінде 50% - ға жетуі мүмкін [6].

Шығыс Қазақстан облысындағы Привольное ауылында «Багратин» фермасының базасында күніне 10 тонна көнді өңдеуден 400 м<sup>3</sup> газ шығаруға мүмкіндік беретін биогаз зауыты орналасқан.

Соңғы жылдары халықтың шаруашылық және тұрмыстық қажеттіліктерін қамтамасыз ету үшін энергия көздерінің жетіспеуіне қарай оларға теңдес алмастырғыш іздестірілуде. Дүниежүзінде қазіргі шақта биогаз алу үшін 8 млн. қондырғы жұмыс істейді. Биогазды қант, сүт зауыттарының, мал шаруашылығының сұйық қалдықтарынан алуды жолға қою тиімді келеді [7].

Қазіргі уақытта елдегі биогаз саласы биоотынның басқа салаларымен салыстырғанда іс жүзінде дамымаған болып табылады. Алайда Қазақстанда бар әлеует болғанда, биогаз ішінара, ал кейбір өңірлерде және толық дәстүрлі энергия тасымалдаушылардан алынатын энергияны тұтынуды алмастыра алады. Жалпы, республикада биогаз өндірісін дамыту және пайдалану перспективалары өте жақсы. Бұған органикалық шикізаттың едәуір санының болуы, биогазды алу және пайдалану технологиясының қарапайымдылығы, сондай-ақ электр және жылу өндіру үшін дәстүрлі энергия көздерін ауыстырған кезде биогаз ұсынатын әлеует ықпал етеді. Республикамызда биогаз өндірісі ешқандай қиындықтарды бастан кешпеуі керек, себебі оны өндіруге қажетті шикізат жеткілікті. Биогаз өндіру үшін негізгі шикізат – ауыл шаруашылығының органикалық қалдықтары, олар қазіргі уақытта аз мөлшерде тыңайтқыш ретінде пайдаланылады. Сонымен қатар, тұрмыстық қатты қалдықтар, ағынды сулар және басқа да органикалық материалдар биогаз өндірісіне тартылуы мүмкін.



Экономикалық пайдасы:

- Электр энергиясы мен отын шығыны азаяды;
- Гербицидтер мен тыңайтқыштарға жұмсалатын шығын қысқарады;
- Биотыңайтқыш пен биогазды сатуға мүмкіндік береді;
- Ауыл шаруашылығы өнімдерінің сапасы артады;
- Қондырғының өзін-өзі ақтау мерзімі – шамамен бір жыл;
- Органикалық қалдықтарды залалсыздандыру арқылы эпидемиологиялық жағдай жақсарады;
- Экологиялық таза тыңайтқыштарды қолдану денсаулыққа оң әсер етеді;
- Отын жинау, тасымалдау және сақтау шығындары азаяды;
- Арамшөптердің таралуы тежеледі, оларды жоюға кететін уақыт үнемделеді.

Экологиялық пайдасы:

- Атмосфераға бөлінетін метан мөлшері азаяды;
- Көмір мен ағаш отындарының жану өнімдері төмендейді;
- Ауаның жағымсыз иістермен және азот қосылыстарымен ластануы азаяды;
- Су ресурстарының ластануы қысқарады;
- Ормандарды отын ретінде пайдаланудың алдын алады;
- Химиялық тыңайтқыштарды қолдану мөлшері азаяды [8].

Қазақстанда мал шаруашылығы және құс шаруашылығы қалдықтарының құрғақ салмағы бойынша жылдық шығуы - 22,1 млн. т немесе 8,6 млрд. м<sup>3</sup> газ (ірі қара мал - 13 млн. т, қой - 6,2 млн. т, жылқы - 1 млн. т), өсімдік қалдықтары - 17,7 млн. т немесе 8,9 млрд. м<sup>3</sup> газ, бұл шартты отынның 14-15 млн.т. Оларды қайта өңдеу есебінен жылына шамамен 2 млн.т. биогаз алынуы мүмкін.

Қалдықтардың 1т құрғақ затынан 500 - 700 кг жуық тыңайтқыш және 400 м<sup>3</sup> биогаз алуға болады.Қазақстанда ауыл шаруашылығы қалдықтарын кәдеге жарату деректерін талдау бойынша 39,8 млн.тонна қалдықтардан 17,5 млрд. м<sup>3</sup> биогаз және 25,65 млн. тонна экологиялық таза биоұбырлардан алуға болады.Брикетті қи ауылдық жерлерде автокөлік және ауыл шаруашылық техникаларына арналған отын ретінде (газ генераторлық

қозғалтқыштар орнатумен) қолданылуы мүмкін.

Электр газ генераторларында  $17,5\text{ м}^3$  Газды өңдеу жыл сайын 45 млрд.кВт/сағатқа дейін (ауыл шаруашылығы үшін қажеттілік 24 млрд. болғанда барлық энергия тұтынудың жартысын) және бір мезгілде 44 млн. Гкал жылу энергиясын алуға мүмкіндік береді. Жылу шығару қабілеті бойынша  $1\text{ м}^3$  биогаз  $0,7\text{ м}^3$  табиғи газға, 0,643 л немесе 0,566 кг дизель отынына, 0,856 кг шартты отынға баламалы. Биогаз шығуының орташа шамасы  $65\text{ м}^3 / \text{с}$  болғанда тәуліктік өндіріс  $1560\text{ м}^3$ , жылдық өндіріс -  $569400\text{ м}^3$  құрайды. Биоэнергетикалық модульдің өзіндік мұқтаждықтарына жұмсалатын шығындар 22кВт/сағ [9]. Бүгінгі таңда Қазақстан Республикасында энерготасымалдағыштар тарифтерінің артуына, атмосфера, су қоймалары, топырақ бойынша экологиялық талаптардың едәуір артуына, сондай-ақ энергия жүйелеріндегі авариялар мен ажырату қаупінің өсуіне байланысты отандық сарапшылар мен ауыл шаруашылығы фирмаларының құс фабрикалары мен мал шаруашылығы фермаларының қалдықтарын қайта өңдеу және кәдеге жарату бойынша ұтымды технологияларды таңдауға қызығушылығы артады [10].

Бұл проблеманы шешу үшін барботажды араластыру базасында ашыту процесін қарқындалу тәсілі қолданылуы мүмкін, ол температуралық біртектіліктің аз мөлшеріне жеткізуге және биореактордағы бактериялардың тіршілік әрекетін тежейтін өнімдерді бұруға мүмкіндік береді. Бұл бағыттың дамуындағы ұстап тұрған сәт-биореактордың барботажды араластыру жұмысының сипаттамалары мен режимдерін жинақтауды жақсартуға және түсіндіруге бағытталған кешенді зерттеулердің болмауы болып табылады. Осыған байланысты биореактордағы мал шаруашылығының органикалық қалдықтарын анаэробты қайта өңдеуді қыздыру және барботажды араластыру арқылы зерттеу ғылыми және іс жүзіндегі қызығушылықты білдіретін маңызды міндет болып табылады [11].

Кез келген биотехнологиялық процесс үш кезеңнен тұрады: ферментацияға дейінгі, ферментациялық және постферментациялық. Оның негізгі сатысы – ферментация, онда продуцент субстратпен әрекеттесіп, биомасса мен басқа да өнімдер түзіледі. Бұл процесс ферменттерде өтеді және продуценттің қасиеттері мен өнім талаптарына қарай әртүрлі әдістермен ұйымдастырылады. Ферментация асептикалық немесе стерильді емес жағдайда, сұйық немесе қатты ортада, аэробты не анаэробты тәсілмен жүргізілуі мүмкін.

Әдеби көздерді талдау көрсеткендей, мал шаруашылығы қалдықтарын қайта өңдеуде және олардан пайдалы энергия мен өнім алу барысында негізінен аэробтық ашыту,

компостирлеу, термохимиялық өңдеу, вермикомпостирлеу және кешенді технологиялар қолданылады. Бұл әдістер қалдықтарды экологиялық қауіпсіз түрде кәдеге жаратып, қоршаған ортаға зиянын азайтуға, сондай-ақ ауыл шаруашылығында энергия тиімділігі мен ресурс үнемдеуді арттыруға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, алынған биотыңайтқыштар топырақтың құнарлылығын жақсартып, тұрақты ауыл шаруашылығын дамытуға ықпал етеді [12].

### Пайдаланылған әдебиеттер

1. Безруких П.П., Стребков Д.С. Состояние, перспективы и проблемы развития возобновляемых источников энергии // Малая энергетика, 2005, №1-2 (2-3).
2. Альтернативная энергетика. Биогаз. [Электронный ресурс] URL:// <http://mediana.nm.ru/biogaz.htm>
3. Сунакбаева Д.К., Нурсой М., Саинова Г.А. Влияние биошлама анаэробного сбраживания на свойства почвы // Российская наука в современном мире. Сборник статей VII международной научно-практической конференции. Москва, 2017, 14 февраля, - С.48-50, РИНЦ-0,325 - 188 с.
4. Монография: Вермитехнология-ның XXI ғ. болашағы. Шымкент: «GOLDYES», 2017,
5. Пантелеева І.В. Проблеми та перспективи розвитку використання поновлюваних джерел енергії / І.В. Пантелеева, С.О. Белікова // Системи обробки інформації: зб. наук. пр. – Х.: ХУ ПС, 2007. – Вип. 3 (61). – С. 72-73.
6. Коробко Б.П. Концепція та основні завдання галузевої програми впровадження нових та поновлювальних джерел енергії / Б.П. Коробко, М.М. Жовнір // Энергетика и электрификация. – 1999. – № 7. – С. 33-41.
7. Момыналиева Л.Т., Биоэнергетика как устойчивый и возобновляемый источник энергии для Казахстана // Журнал KAZENERGY 2013. №2 (57) – 128 с.
8. Калмыкова Ю., Герман А., Жирков В. Твердые бытовые отходы. Утилизация и переработка бытовых отходов. [Электронный ресурс] URL: <http://www.solidwaste.ru/publ/view/34.html>
9. <https://articlekz.com/article/13967и> Интернет-портал сообщества ТЭК [электронный

ресурс]URL: // www.Energyland.info

10. Перемешивания субстрата в малых биогазовых установках // Publishing house Education and Science s.r.o. [Электронный ресурс] URL: [http://www.rusnauka.com/14\\_ENXXI\\_2012/Tecnic/5\\_110608.doc.htm](http://www.rusnauka.com/14_ENXXI_2012/Tecnic/5_110608.doc.htm)

11. Костромин Д.В. Анаэробная переработка органических отходов животноводства в биореакторе с барботажным перемешиванием.

12. Евтушенков, А.Н., Фомичев, Ю.К. Введение в биотехнологию: Курс лекций:/ А.Н. Евтушенков, Ю.К. Фомичев. - Мн.: БГУ, 2002. - 105 с.

**Article Arrival Date**

05.05.2025

**Article Type**

Research Article

**Article Published Date**

20.06.2025

**LİTYUM-İYON BATARYAYA SAHİP ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA YANGIN  
GÜVENLİĞİ**

FIRE SAFETY IN ELECTRIC VEHICLES WITH LITHIUM-ION BATTERIES

**Emre Can TOK<sup>1</sup>, Doğan KAZAK<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>İtfaiye Görevlisi, Oyak Renault Otomobil Fabrikaları A.Ş., Önlem ve Koruma Departmanı,  
Risk Mühendisliği ve Yangın Grubu, <https://orcid.org/0009-0004-5010-9378>

<sup>2</sup>İtfaiye Görevlisi, Aselsan A.Ş., Güvenlik Müdürlüğü, İtfaiye Birimi, <https://orcid.org/0009-0007-2508-991X>

**Özet**

Bu makale, elektrikli araçlarda kullanılan Lityum-iyon bataryaların yangın güvenliği konusunu ele almaktadır. Elektrikli araçların çevresel faydaları ve fosil yakıt bağımlılığını azaltma potansiyeli, bu araçların yaygınlaşmasına neden olmaktadır. Ancak, Lityum-iyon bataryaların termal kaçak, iç kısa devre ve yüksek enerji yoğunluğu gibi özellikleri yangın riski yaratmakta ve bu yangınların kontrol altına alınmasını zorlaştırmaktadır. Elektrikli araç yangınları sırasında açığa çıkan toksik gazlar, yangına müdahale eden ekipler ve çevre için büyük tehlike arz etmektedir. Bu nedenle, yangın güvenliği protokollerinin ve müdahale yöntemlerinin geliştirilmesi kritik bir önem taşımaktadır. Makalede, Türkiye'deki elektrikli araç pazarının büyümesi ve bu araçlarda kullanılan bataryaların güvenliği ile ilgili mevcut uygulamalar ve uluslararası standartlar incelenmektedir. Ayrıca, Lityum-iyon batarya yangınlarına karşı alınabilecek önlemler ve müdahale yöntemleri hakkında öneriler sunulmaktadır. Elektrikli araç yangınlarının önlenmesi ve etkilerinin azaltılması için batarya üreticileri, araç üreticileri, hükümetler ve düzenleyici kurumlar arasında etkin iş birliği ve farkındalık artırıcı çalışmaların yapılması gerektiği vurgulanmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Acil Durum Müdahalesi, Elektrikli Araçlar, Lityum-iyon Bataryalar, Termal Kaçak, Yangın Güvenliği.

**Abstract**

This article addresses the issue of fire safety in lithium-ion batteries used in electric vehicles.

The environmental benefits of electric vehicles and their potential to reduce dependence on fossil fuels have led to their increasing adoption. However, features of lithium-ion batteries such as thermal runaway, internal short circuits, and high energy density create a fire risk and make it difficult to control these fires. The toxic gases released during electric vehicle fires pose significant dangers to response teams and the environment. Therefore, developing fire safety protocols and intervention methods is of critical importance. The article examines the growth of the electric vehicle market in Turkey, as well as the current practices and international standards related to the safety of the batteries used in these vehicles. Additionally, it offers recommendations for precautions and intervention methods against lithium-ion battery fires. The importance of effective cooperation and awareness-raising efforts among battery manufacturers, vehicle manufacturers, governments, and regulatory bodies is emphasized to prevent electric vehicle fires and mitigate their impacts.

**Keywords:** Emergency Response, Electric Vehicles, Lithium-Ion Batteries, Thermal Runaway, Fire Safety.

## 1. GİRİŞ

Elektrikli araçlar, küresel çapta çevresel kaygılar ve fosil yakıt bağımlılığının azaltılması amacıyla giderek daha fazla tercih edilen araç türleri haline gelmiştir. Bu araçlar, karbon emisyonlarını düşürme ve enerji verimliliğini artırma potansiyeli ile öne çıkmaktadır (Shkurti Özdemir, 2024). Ancak, elektrikli araçlarda kullanılan Lityum-iyon bataryaların güvenliği, özellikle yangın riski açısından önemli bir endişe kaynağıdır. Lityum-iyon bataryaların termal kaçak gibi sorunları, bu araçlarda yangın riskini artırmakta ve yangınların geleneksel araç yangınlarına kıyasla daha zor kontrol edilebilir olmasına yol açmaktadır (Kazak, 2024b).

Bu makale, elektrikli araçların yaygınlaşması ile birlikte ortaya çıkan Lityum-iyon batarya yangınlarının nedenlerini, etkilerini ve bu yangınlara karşı alınabilecek güvenlik önlemlerini ele almaktadır. Türkiye'deki elektrikli araçların durumu ve yangın güvenliği ile ilgili mevcut uygulamalar da incelenecektir. Bu bağlamda hem uluslararası hem de yerel düzeyde kabul görmüş güvenlik protokollerinin değerlendirilmesi, yangın güvenliği konusunda yapılması gerekenler hakkında öneriler sunulması hedeflenmektedir.

## 2. ELEKTRİKLİ VE HİBRİT ARAÇLARIN GELİŞİMİ VE TÜRKİYE'DEKİ DURUMU

### 2.1. Elektrikli Araçların Tarihçesi

Tablo 1, elektrikli araçların tarihçesini kronolojik olarak özetleyerek, ilk elektrikli araçlardan

günümüzün gelişmiş hibrit ve elektrikli modellerine kadar uzanan önemli dönüm noktalarını vurgulamaktadır. Bu gelişmeler, sadece teknolojinin evrimini değil, aynı zamanda toplumun enerji kaynaklarına olan yaklaşımının nasıl değiştiğini de göstermektedir.

**Tablo 1:** Elektrikli Araçların Tarihçesi

YIL	GELİŞME
1828	Macar mucit Ányos Jedlik, elektrik motoru kullanan küçük bir model araba geliştirdi.
1832-1839	Robert Anderson, hem elektrik motoru ve hem kurşun asit aküsü ile çalışan ilk elektrikli arabayı icat etti.
1899	La Jamais Contente, saatte 100 km'yi aşarak en hızlı elektrikli araç olarak tarihe geçti.
1900-1910	ABD'de otomobillerin yaklaşık üçte biri elektrikle çalışıyordu; elektrikli taksiler ve özel araçlar yaygınlaştı.
1920-1960	İçten yanmalı motorların gelişimi ve petrolün keşfi, elektrikli araçların popülerliğini azalttı.
1970'ler	Petrol krizi, alternatif enerji kaynaklarına ve elektrikli araçlara olan ilgiyi artırdı.
1973	General Motors, "Urban Electric Car" adlı bir elektrikli araç prototipi tanıttı.
1997	Toyota, dünyada seri üretime geçen ilk hibrit araç olan Toyota Prius'u piyasaya sürdü.
1999	Honda, hibrit araç modeli Insight'ı tanıttı.
2008	Tesla Motors, tamamen elektrikli olan Tesla Roadster'ı piyasaya sürdü.
2010	Nissan, tamamen elektrikli Nissan Leaf'i piyasaya sürdü.
2015	Tesla Model S, elektrikli araçlar için yeni standartları belirledi.
2020	Birçok ülke içten yanmalı motorlu araçları yasaklama planlarını açıkladı, elektrikli araç yatırımları arttı.

**Kaynak:**(Kocabey, 2018; Wilson, 2023; Kolay Şarj, 2024; Roos, 2024)

## 2.2.Türkiye'de Elektrikli ve Hibrit Araç Pazarı: Mevcut Durum ve Geleceğe Yönelik Projeksiyonlar

Elektrikli araçlar, içten yanmalı motora sahip araçlara kıyasla sunduğu çevresel ve ekonomik

avantajlar sayesinde kullanıcıların ilgisini çekmeye devam ediyor. Bu doğrultuda Türkiye'deki elektrikli araç sayısı her geçen gün artış gösteriyor. Uluslararası Enerji Ajansı'nın raporuna göre, 2030 yılına kadar dünya genelinde satılan araçların yüzde 60'tan fazlasının elektrikli olması bekleniyor. Türkiye'de de hükümetin uyguladığı teşvikler ve artan çevre bilinci sayesinde elektrikli araç satışlarının önümüzdeki yıllarda katlanarak artacağı tahmin ediliyor (Hedef Filo, 2024).

Potansiyel elektrikli araç kullanıcıları, genellikle araç bakımı ve muayenesi gibi konular yüzünden kararsızlık yaşasa da Türkiye'deki elektrikli araç sayısı yıllar içinde kayda değer bir artış göstermiştir. Peki, şu anda Türkiye'de kaç adet elektrikli ve hibrit araç bulunuyor? Aşağıda, Türkiye'de elektrikli ve hibrit araç sayısındaki artışı ve bu artışın yıllara göre dağılımı hakkında bilgi yer almaktadır.

### 2.3.Türkiye'de Trafîğe Kayıtlı Elektrikli Araç Sayısı

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre, Türkiye'de trafiğe kayıtlı elektrikli araç sayısı 2023 sonunda beş yıl öncesine kıyasla yüzde 6 bin 706 oranında artış gösterdi. Tablo 2, son beş yıldaki elektrikli araç sayısındaki artışı detaylı olarak göstermektedir:

**Tablo 2:** Son 5 Yılın Verilerine Göre Türkiye'de Trafîğe Kayıtlı Elektrikli Araç Sayısı

YIL	ELEKTRİKLİ ARAÇ SAYISI
2019	1.176
2020	2.797
2021	6.267
2022	14.552
2023	80.043

**Kaynak:** (Türkiye İstatistik Kurumu, 2024)

2019 yılında trafiğe kayıtlı elektrikli araç sayısı ilk kez bini aşarken, bu sayı 2023 yılına gelindiğinde yaklaşık 80 bine ulaştı. Bu, 2022'ye göre 2023'te yaklaşık 5,5 katlık bir artışa denk gelmektedir. 2024 yılının mart ayı itibarıyla elektrikli araç sayısının 85-90 bin civarında olduğu tahmin edilmektedir. Özellikle TOGG markasının piyasaya girmesiyle birlikte, elektrikli araçlara olan talep önemli ölçüde artmıştır (Hedef Filo, 2024).

### 2.4.Türkiye'de Trafîğe Kayıtlı Hibrit Araç Sayısı



Hibrit araç teknolojisi hem dünya genelinde hem de Türkiye’de daha eski bir geçmişe sahiptir ve elektrikli araçlara kıyasla daha fazla kullanıcıya sahiptir. Tablo 3, Türkiye’de trafiğe kayıtlı hibrit araç sayısındaki değişimi göstermektedir:

**Tablo 3:** Türkiye’de Trafiğe Kayıtlı Hibrit Araç Sayısı

YIL	HİBRİT ARAÇ SAYISI
2019	13.877
2020	33.690
2021	86.682
2022	134.662
2023	222.328

**Kaynak:** (Türkiye İstatistik Kurumu, 2024)

2023 itibarıyla Türkiye’de hibrit araç sayısı, elektrikli araç sayısından yaklaşık 143 bin daha fazladır. Bu farkın en büyük nedeni, kullanıcıların elektrikli araçlara geçişte önce hibrit araçları tercih etmeleridir. 2024 yılı itibarıyla hibrit araç sayısının yaklaşık 250 bin civarında olduğu tahmin edilmektedir (Hedef Filo, 2024).

### 2.5.Türkiye’de Satılan Elektrikli ve Hibrit Araç Model Sayısı

2023 yılında Türkiye’de 27 marka tarafından 59 farklı elektrikli araç modeli satılırken, bu rakam 2024 yılının ilk çeyreğinde 34 marka ve 101 modele yükseldi. Hibrit araç model sayısı ise elektrikli araçlara göre çok daha fazladır. 2024 itibarıyla Türkiye’de yaklaşık 375 hibrit araç modeli satışta bulunmaktadır. Bu çeşitlilik, hem farklı kullanıcı ihtiyaçlarına hitap etmekte hem de pazarın genişlemesine katkı sağlamaktadır (Hedef Filo, 2024).

### 2.6.Türkiye’de Elektrikli Araç Şarj İstasyonu Sayısı

Elektrikli araçların artışıyla birlikte Türkiye’de elektrikli araç şarj istasyonu sayısı da hızla artmıştır. 2022 yılında Türkiye’de 6.500 şarj istasyonu bulunurken, bu sayı 2023 Aralık ayında 12.067’ye ulaşmıştır. Bu istasyonların 8.492’si alternatif akım (AC), 3.575’i ise doğru akım (DC) şarj imkânı sunmaktadır. Türkiye, bu sayede toplam şarj istasyonu sayısı bakımından Avrupa’da ikinci sıraya yükselmiştir (Hedef Filo, 2024).

### 3. LİTYUM-İYON BATARYA TEKNOLOJİSİ

Lityum-iyon batarya teknolojisi, şarj edilebilir elektrikli araçların temel güç kaynağı olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu bataryalar, yüksek enerji yoğunluğu, hafiflik, uzun ömür ve hızlı şarj edebilme özellikleri sayesinde elektrikli araçlar için idealdir. Lityum-iyon bataryalar, araçlara uzun menzil sunarken, aynı zamanda düşük karbon emisyonlarıyla çevreye duyarlı bir çözüm sağlar. Bu nedenle, elektrikli araç üreticileri, performansı artırmak ve kullanıcıların menzil endişesini gidermek için Lityum-iyon batarya teknolojisine odaklanmaktadır.

#### 3.1.Lityum-iyon Bataryaların Çalışma Prensibi

Lityum-iyon bataryaların çalışma prensibi, temel yapıları (katot, anot, elektrolit ve ayırıcı bileşenleri) ve kimyası, şarj ve deşarj döngüleri hakkında detaylı bilgi aşağıda yer almaktadır.

##### 3.1.1. Lityum-iyon Bataryaların Temel Yapısı ve Kimyası

Lityum-iyon bataryaların temel yapısı dört ana bileşenden oluşur:

- ❖ **Anot (Negatif Elektrot):** Anot genellikle grafit gibi karbon bazlı bir malzemeden yapılır. Şarj sırasında lityum iyonları katottan anoda hareket eder ve burada depolanır.
- ❖ **Katot (Pozitif Elektrot):** Katot, genellikle lityum metal oksitler (örneğin, lityum kobalt oksit) gibi malzemelerden yapılır. Deşarj sırasında, lityum iyonları anotdan katoda hareket eder.
- ❖ **Elektrolit:** Elektrolit, lityum iyonlarının anot ile katot arasında hareket etmesini sağlar. Genellikle, lityum tuzları içeren organik karbonat çözeltileri kullanılır.
- ❖ **Ayırıcı:** Ayırıcı, anot ve katot arasında fiziksel bir bariyer sağlayarak kısa devreleri önlerken, lityum iyonlarının geçişine izin verir. Genellikle mikro gözenekli polimerik malzemelerden yapılmıştır (Kükreler, 2010; Vıçıl, 2011; Polat ve Keleş, 2012).

##### 3.1.2. Şarj ve Deşarj Döngüleri

Lityum-iyon bataryaların temel çalışma prensibi, lityum iyonlarının hareketine dayanır:

- ❖ **Şarj Döngüsü:** Şarj sırasında, dış bir elektrik kaynağı yardımıyla lityum iyonları katottan anoda doğru hareket eder. Elektronlar dış devre üzerinden anoda giderken, iyonlar elektrolit aracılığıyla taşınır. Bu süreçte lityum iyonları anot yüzeyine yerleşir ve enerji depolanmış olur.
- ❖ **Deşarj Döngüsü:** Deşarj sırasında ise, lityum iyonları anotdan katoda geri döner. Bu

dönüş sırasında, elektronlar dış devre üzerinden katoda akarken, lityum iyonları elektrolit üzerinden geçer. Bu hareket elektrik enerjisi üretir ve bataryanın bağlı olduğu cihazın çalışmasını sağlar (Vııcıl, 2011; Akoğlu, 2012).

### 3.2.Lityum-iyon Bataryaların Avantajları ve Dezavantajları

Lityum-iyon bataryalar, enerji depolama teknolojisinin en popüler türlerinden biri olup, yüksek enerji yoğunluğu ve uzun döngü ömrü gibi avantajlara sahiptir. Ancak, termal kaçak riski ve geri dönüşüm zorlukları gibi bazı dezavantajları da mevcuttur. Aşağıda lityum-iyon bataryaların avantajları ve dezavantajları hakkında bilgi verilmiştir.

#### 3.2.1. Lityum-iyon Batarya Avantajları

- ❖ **Yüksek Enerji Yoğunluğu:** Lityum-iyon bataryalar, yüksek enerji yoğunluğu sunar. Bu, daha küçük ve hafif bataryaların daha fazla enerji depolayabileceği anlamına gelir. Bu özellik, taşınabilir elektronik cihazlar ve elektrikli araçlar için bu bataryaların tercih edilmesinin temel nedenlerinden biridir.
- ❖ **Hafiflik ve Taşınabilirlik:** Lityum-iyon bataryalar, diğer batarya türlerine göre daha hafif ve kompakt bir yapıya sahiptir. Bu özellik, özellikle mobil cihazlar, dizüstü bilgisayarlar ve elektrikli araçlar gibi taşınabilir elektroniklerde kullanımını yaygınlaştırır.
- ❖ **Uzun Döngü Ömrü:** Lityum-iyon bataryaların döngü ömrü, diğer birçok batarya türüne göre daha uzundur. Bu, bataryanın tekrar şarj edilip deşarj edilebilme kapasitesinin yüksek olduğu anlamına gelir. Tipik bir lityum-iyon batarya, binlerce şarj ve deşarj döngüsüne dayanabilir.
- ❖ **Düşük Kendi Kendine Deşarj Oranı:** Lityum-iyon bataryalar, düşük kendi kendine deşarj oranına sahiptir, yani kullanılmadıkları zamanlarda bile enerji kaybı minimal düzeyde olur. Bu özellik, bataryaların uzun süre kullanılmadan saklanabilmesini sağlar (Polat ve Keleş, 2012; İnci Taş, 2024).

#### 3.2.2. Lityum-iyon Batarya Dezavantajları

- ❖ **Termal Kaçak ve Yangın Riski:** Lityum-iyon bataryaların en büyük risklerinden biri termal kaçak olasılığıdır. Aşırı ısınma veya hasar durumunda, bu bataryalar yangına sebep olabilir. Bataryanın içindeki kimyasal reaksiyonlar kontrol edilemez hale geldiğinde, bu durum termal kaçak olarak adlandırılır ve güvenlik riski oluşturur.
- ❖ **Sınırlı Döngü Ömrü:** Her ne kadar lityum-iyon bataryaların döngü ömrü uzun olsa da

sonsuz değildir. Zamanla ve kullanım yoğunluğuna bağlı olarak bataryaların kapasitesi azalır, bu da belirli bir süre sonra bataryanın değiştirilmesi gerektiği anlamına gelir.

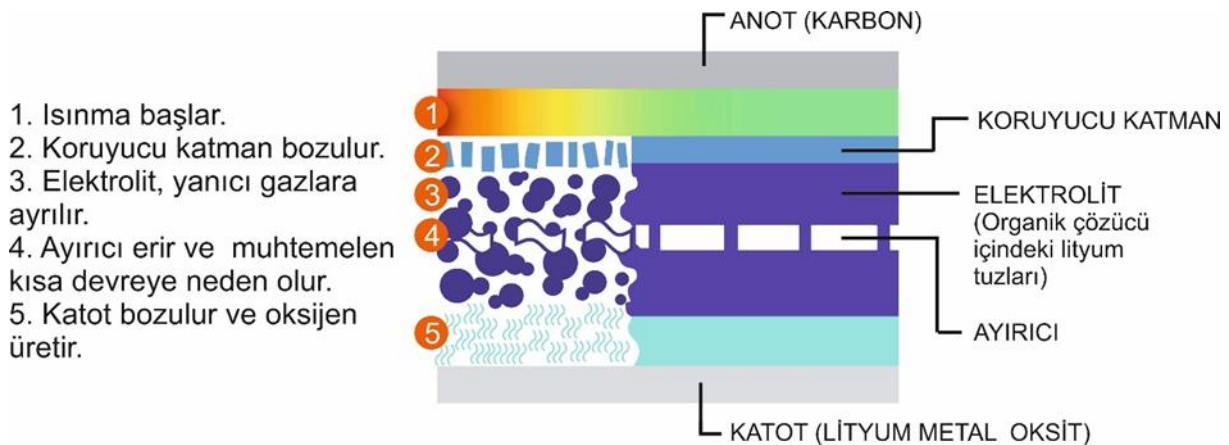
- ❖ **Hammadde Tedarik ve Maliyet Sorunları:** Lityum-iyon bataryaların üretiminde kullanılan lityum ve kobalt gibi hammaddeler sınırlı kaynaklardır ve bu durum tedarik zincirinde sorunlara ve maliyet artışlarına yol açabilir. Bu hammaddelerin çıkarılması ve işlenmesi çevresel ve sosyal sorunlara da sebep olabilir.
- ❖ **Geri Dönüşüm ve Atık Yönetimi:** Lityum-iyon bataryaların geri dönüşümü ve atık yönetimi halen önemli bir zorluk olarak karşımıza çıkmaktadır. Geri dönüşüm süreçleri karmaşıktır ve maliyetlidir. Ayrıca, çevreye zarar vermeden bataryaların imha edilmesi de önem arz etmektedir (Polat ve Keleş, 2012; Gürsoy, 2023; Kazak, 2024b)

#### 4. LİTYUM-İYON BATARYA YANGINLARI: NEDENLER VE RİSKLER

Lityum-iyon batarya yangınları, bataryaların enerji yoğunluğu ve kimyasal yapısı nedeniyle ciddi bir güvenlik sorunu oluşturmaktadır. Aşağıda, lityum-iyon batarya yangınlarının nedenleri ve riskleri hakkında bilgi verilmiştir.

##### 4.1. Termal Kaçak

Termal kaçak, lityum-iyon bataryaların en yaygın yangın nedenlerinden biridir. Bu durum, batarya hücresindeki kimyasal reaksiyonların kontrolsüz bir şekilde hızlanmasıyla ortaya çıkar. Batarya içindeki sıcaklık arttıkça, kimyasal reaksiyonlar daha da hızlanır, bu da sıcaklığı daha da artırır. Bu kısır döngü, bataryanın yanmasına veya patlamasına yol açabilir (Feng vd., 2018). Şekil 1'de Lityum-iyon bataryada termal kaçak oluşumu yer almaktadır.



Şekil 1: Lityum-iyon Batarya Termal Kaçak Oluşumu (Rao ve Kumar, 2024)

##### 4.1.1. Termal Kaçak Nasıl Tetiklenir?

- ❖ **Aşırı Şarj ve Deşarj:** Aşırı şarj edilmesi veya tamamen deşarj edilmesi, bataryada aşırı

ısınmaya neden olabilir.

- ❖ **Dış Mekanik Hasar:** Bataryanın fiziksel olarak hasar görmesi, elektrotların kısa devre yapmasına yol açarak termal kaçağı tetikleyebilir (Keneng, 2024)

#### 4.2.İç Kısa Devre

İç kısa devre, anot ve katot arasında doğrudan bir bağlantının oluşması durumudur. Bu durum, lityum-iyon bataryalarda istenmeyen bir enerji salınımına neden olabilir ve kısa sürede aşırı ısınmaya yol açarak yangın çıkarabilir (Liu vd., 2018).

##### 4.2.1. Kısa Devre Nasıl Oluşur?

- ❖ **Dendrit Büyümesi:** Bataryanın uzun süre kullanımı sırasında lityum dendritleri oluşabilir. Bu dendritler, anot ve katot arasında köprü oluşturarak kısa devreye yol açabilir.
- ❖ **İzolasyon Bozulması:** Ayırıcı malzemenin hasar görmesi veya bozulması, iç kısa devre riskini artırabilir (Golubkov vd., 2014).

#### 4.3.Yüksek Enerji Yoğunluğu

Lityum-iyon bataryaların yüksek enerji yoğunluğu, küçük hacimlerde büyük miktarda enerji depolanmasına olanak tanır. Ancak, bu durum aynı zamanda yangın ve patlama riskini de artırır. Enerjinin ani salınımı, bataryanın çevresindeki materyallerin tutuşmasına neden olabilir (Golubkov vd., 2014).

#### 4.4.Çevresel Koşullar

##### 4.4.1. Kısa Devre Nasıl Oluşur?

Lityum-iyon bataryalar, aşırı sıcaklıklara duyarlıdır. Yüksek sıcaklıkta çalıştırıldığında, bataryanın içindeki elektrolit buharlaşabilir ve gaz oluşturabilir. Bu gaz, batarya içinde basınç birikmesine ve patlamalara yol açabilir (Liu vd., 2018).

##### 4.4.2. Düşük Sıcaklık

Düşük sıcaklık koşulları da lityum-iyon bataryalarda performans kaybına ve iç dirençte artışa neden olabilir. Bu, kısa devre ve termal kaçak riskini artırabilir (Alyar, 2022).

### 5. LİTYUM-İYON BATARYA YANGINLARINA MÜDAHALE YÖNTEMLERİ

Lityum-iyon batarya yangınları, bu bataryaların kimyasal özellikleri ve yüksek enerji yoğunluğu nedeniyle özel müdahale yöntemleri gerektiren bir durumdur. Aşağıda, Lityum-iyon

batarya yangınlarına nasıl müdahale edileceği hakkında bilgi verilmiştir.

### 5.1. Yangının Kaynağını Tespit Etme ve Güvenliği Sağlama

- ❖ **Yangının Kaynağını İzole Etme:** Yangına müdahale etmeden önce, yangının kaynağını belirlemek ve izole etmek büyük önem taşır. Lityum-iyon batarya yangınları genellikle termal kaçaktan kaynaklanır, bu nedenle öncelikle termal kaçak yaşayan batarya veya batarya paketini izole etmek gereklidir. Bu izolasyon, yangının diğer bataryalar veya yanıcı maddelere yayılmasını engeller (Feng vd., 2018).
- ❖ **Güvenli Bölge Oluşturma:** Yangın sırasında ilk öncelik, insan güvenliğini sağlamaktır. Yangın alanı hızla boşaltılmalı ve yangına müdahale eden ekiplerin güvenliği için yeterli koruma ekipmanı kullanılmalıdır. Bu ekipmanlar, yangın söndürücüleri ve yangın battaniyeleri içerebilir (Kazak ve Öncel, 2024).

### 5.2. Uygun Söndürme Yöntemlerinin Kullanılması

- ❖ **Özel Söndürme Ajanları Kullanımı:** Lityum-iyon batarya yangınlarına karşı geliştirilen yenilikçi bir teknoloji olan AVD (Aqueous Vermiculite Dispersion), bu tür yangınlarla başa çıkmak için oldukça etkili bir çözümdür. AVD, yanıcı gazların yayılmasını engelleyen ve yangının yeniden başlamasını önleyen ince bir film oluşturarak çalışır. Bu teknoloji hem taşınabilir hem de sabit yangın söndürme sistemleri için uygundur ve çevre dostu olmasıyla dikkat çeker. AVD'nin başlıca avantajları arasında, yangının kökenini soğutarak termal kaçak sürecini durdurma yeteneği, düşük su kullanımı gereksinimi ve elektriksel iletkenliğinin olmaması yer alır. Ayrıca, AVD sistemleri Lityum-iyon batarya yangınlarının meydana geldiği ortamlarda etkin bir şekilde kullanılabilir, bu da AVD'yi fabrikalar, depolar ve elektrikli araç şarj istasyonları gibi çeşitli uygulamalar için ideal kılar (Özcan, 2024).
- ❖ **Su Kullanımı ve Dikkat Edilmesi Gerekenler:** Su kullanımı, Lityum-iyon batarya yangınlarını söndürmek için genellikle önerilmez, çünkü su ile temas eden lityum yüksek reaktivite gösterir. Ancak, yangını kontrol altına almak ve bataryayı soğutmak için büyük miktarlarda su kullanılabilir. Bu durumda, elektrik çarpması riskine karşı dikkatli olunmalı ve müdahale itfaiye personelleri tarafından yapılmalıdır (Kazak ve Öncel, 2024).

### 5.3. Soğutma ve Isı Kontrolü

- ❖ **Soğutma Teknikleri:** Lityum-iyon batarya yangınlarında soğutma, termal kaçak riskini

azaltmanın en etkili yollarından biridir. Soğutma işlemleri, yangının tamamen söndürüldüğünden emin olunana kadar devam etmelidir. Soğutma için su, karbondioksit veya soğutucu gazlar kullanılabilir (Kazak, 2024c).

❖ **Isı İzolasyonu:** Termal kaçak önlenemediği durumlarda, yangının yayılmasını engellemek için batarya paketlerinin ısı izolasyonu yapılabilir. Isı izolasyonu, diğer bataryaların ve yanıcı malzemelerin yangından etkilenmemesini sağlar:

- **Seramik ve Mineral Bazlı Malzemeler:** Seramik ve mineral bazlı malzemeler, yüksek sıcaklıklara dayanıklılıkları ve iyi ısı yalıtımı sağlamaları ile bilinirler. Bu özellikleri sayesinde, batarya modülleri arasında ısı bariyeri olarak kullanılırlar ve termal kaçak durumunda ısının yayılmasını önlerler. Örneğin, seramik fiber battaniyeler, hafif olmalarına rağmen yüksek sıcaklıkları tolere edebilir ve etkili bir ısı yalıtımı sağlar. Bu malzemeler, genellikle Lityum-iyon batarya paketlerinin çevresinde yalıtım tabakası olarak kullanılır. Ayrıca, yüksek sıcaklıklarda yapısını koruyabilen ve elektriksel yalıtım sağlayan mika levhalar, batarya hücrelerinin arasına yerleştirilerek hem ısı hem de elektriksel izolasyon sağlar (Nambisan vd., 2023).
- **Alev Geciktirici Malzemeler:** Alev geciktirici malzemeler, Lityum-iyon batarya yangınlarında alevlerin yayılmasını önlemeye yardımcı olarak önemli bir güvenlik unsuru sunar. Bu tür malzemeler, genellikle batarya muhafazalarında veya paketlerinde kullanılarak yangın riskini azaltır. Örneğin, alev geciktirici köpükler hafif ve kolay uygulanabilir olmalarıyla bilinirler. Yangın sırasında alevlerin büyümesini yavaşlatarak ısının yayılmasını azaltır ve böylece bataryanın diğer bölümlerine termal kaçak yayılmasını önlerler. Bu özellikleri, Lityum-iyon batarya sistemlerinin güvenliğini artırmada kritik bir rol oynar (Liv vd., 2021).
- **Termal Yalıtım Panelleri:** Termal yalıtım panelleri, batarya hücrelerinin etrafında veya batarya paketlerinin içinde kullanılarak termal kaçak durumunda oluşan aşırı ısının yayılmasını engeller. Bu paneller, Lityum-iyon batarya sistemlerinde güvenliği artırmak için önemli bir rol oynar. Genellikle aerojel paneller ve vakumlu yalıtım panelleri (VIP'ler) gibi malzemeler tercih edilir. Aerojel paneller, çok düşük ısı iletkenlikleri sayesinde yüksek sıcaklıklarda bile etkili bir yalıtım sağlar ve batarya paketlerinin etrafında kullanılarak termal kaçak riskini minimize eder. Vakumlu yalıtım panelleri ise içlerinde vakum

barındıran yapıları sayesinde son derece düşük ısı iletkenliğine sahiptir. Bu özellikleri sayesinde, enerji yoğunluğu yüksek olan Lityum-iyon bataryalarda etkili bir termal bariyer oluşturarak güvenliğini artırır (Wu vd., 2024).

- **Silikon Bazlı Kaplamalar:** Silikon bazlı kaplamalar, bataryaların yüzeyine uygulanarak hem ısı yalıtımı hem de yangına dayanıklılık sağlama işlevi görür. Silikonun yüksek ısı dayanıklılığı, bu kaplamaların termal kaçak durumunda etkili bir koruma sunmasına olanak tanır. Örneğin, silikon kaplama filmler, batarya yüzeyine uygulanan ince silikon tabakaları şeklinde kullanılır. Bu tabakalar, yüksek sıcaklıklara dayanabilir ve yangın sırasında koruyucu bir bariyer oluşturarak bataryanın güvenliğini artırır. Silikon kaplamalar, böylece hem termal yalıtımı güçlendirir hem de yangın riskini azaltarak Lityum-iyon batarya sistemlerinin güvenliğini sağlamada önemli bir rol oynar (Liv d., 2020).

#### 5.4. Yangın Sonrası Müdahale ve İzleme

- ❖ **Yangın Sonrası İzleme:** Yangın söndürüldükten sonra, yangının tekrar alevlenme olasılığına karşı dikkatli bir izleme yapılmalıdır. Bu izleme, termal kameralar ve duman dedektörleri gibi cihazlar kullanılarak yapılabilir. Ayrıca, batarya kalıntılarının uygun bir şekilde imha edilmesi gereklidir (Bandhauer vd., 2011).
- ❖ **Kalıntıların Güvenli İmhası:** Lityum-iyon batarya yangınlarından sonra kalan kalıntıların güvenli bir şekilde imhası, çevre koruma ve insan sağlığı açısından kritik öneme sahiptir. Batarya yangınları sonrasında geriye kalan atıklar, çeşitli toksik maddeler içerebilir ve bu nedenle tehlikeli atık yönetim standartlarına uygun olarak işlem görmeleri gereklidir (Richa vd., 2014).

## 6. ELEKTRİKLİ ARAÇ YANGIN GÜVENLİĞİ PROTOKOLLERİ

Elektrikli araçlar için yangın güvenliği standartları, araçların global çapta kabul görmesi için kritik bir öneme sahiptir. Uluslararası standartlar, Elektrikli araç üreticilerinin ve itfaiye ekiplerinin bu araçlara güvenli bir şekilde müdahale etmesine olanak tanır.

### 6.1. UN ECE R100 (Elektrikli Güç Aktarma Organlarına Sahip Araçların Güvenlik Gereksinimleri)

- ❖ **Amaç:** Elektrikli araçların güvenliğini sağlamak ve bu araçların enerji depolama sistemlerinin (özellikle bataryalarının) yangın, elektrik şoku ve diğer tehlikelerden korunmasını garanti altına almak.



- ❖ **Kapsam:** Enerji depolama sistemlerinin termal kaçak, aşırı ısınma ve kısa devre gibi tehlikelere karşı koruma sağlaması gerekliliği.
- ❖ **Protokoller:** Batarya kutusunun yapısal bütünlüğü, yalıtım gereksinimleri ve sıcaklık izleme sistemleri ile ilgili şartlar (Tuv Süd, 2024).

### 6.2.ISO 6469 (Elektrikle Çalışan Karayolu Araçları- Güvenlik Özellikleri)

- ❖ **Bölüm 1:** Batarya sistemi güvenliği üzerine odaklanır. Yüksek voltajlı bileşenlerin güvenliğini sağlamak için tasarım ve üretim standartları belirler (ISO, 2019).
- ❖ **Bölüm 2:** Yüksek voltajlı devrelerin güvenliğini ve elektrik çarpmasına karşı korumayı ele alır (ISO, 2022).
- ❖ **Bölüm 3:** Aracın operasyonel güvenliği, ani hızlanma/değişim durumları ve aracın güvenliğini sağlayan genel şartlar (ISO, 2021).

### 6.3.SAE J2464 (Elektrikli ve Hibrit Elektrikli Araçlar İçin Araç Batarya Güvenlik Test Prosedürleri)

- ❖ **Amaç:** Elektrikli araç bataryalarının yangına sebep olma riskini değerlendirmek ve bu riskleri en aza indirmek için test prosedürlerini tanımlar.
- ❖ **Kapsam:** Termal kaçak, aşırı şarj, aşırı deşarj, mekanik şok ve sıkışma gibi senaryolarda batarya davranışını incelemek (Swri, 2024).

### 6.4.FMVSS 305 (Elektrikle Çalışan Araçlar için Emniyet Standartları)

- ❖ **ABD'de Uygulanır:** Elektrikli araçların batarya güvenliğini ve çarpışma sonrası yangın riskini en aza indirmeyi amaçlar.
- ❖ **Gereklilikler:** Elektrik kaçakları, batarya bütünlüğü ve termal güvenlik standartları (NTEA, 2017).

### 6.5.IEC 62660-1,2,3 (Elektrikli Araç Bataryaları)

- ❖ **Amaç:** Elektrikli araçlarda kullanılan Lityum-iyon bataryaların güvenliğini ve performansını değerlendirmek.
- ❖ **Kapsam:** Elektrikli araçlarda kullanılan bataryaların termal stabilitesini, aşırı akım, aşırı şarj ve kısa devre durumlarındaki davranışlarını test eder (Iec, 2024).

### 6.6.ISO 26262 (Karayolu Araçları- Fonksiyonel Güvenlik)

- ❖ **Amaç:** Elektrikli araçların güvenlik ile ilgili elektrik/elektronik sistemlerinin

güvenliğini sağlamak.

- ❖ **Kapsam:** Risk değerlendirmesi, arıza modları ve güvenlik önlemlerinin uygulanması (Elektrobit, 2024).

#### 6.7.UL 2580 (Elektrikli Araçlar için Batarya Güvenliği)

- ❖ **Amaç:** Elektrikli araçlarda kullanılan bataryaların yangın ve elektrik şoku risklerini en aza indirmek.
- ❖ **Kapsam:** Bataryaların güvenliği için aşırı sıcaklık, şok, vibrasyon ve termal kaçak testleri (UL, 2022).

#### 6.8.GB/T 31485 (Çin Standardı)

- ❖ **Amaç:** Elektrikli araçlarda kullanılan bataryaların güvenlik gereksinimlerini belirler.
- ❖ **Kapsam:** Batarya termal güvenliği, aşırı şarj ve aşırı deşarj gibi konular (Chinese Standard, 2018).

#### 6.9.Şarj Hizmeti Yönetmeliği (Türkiye)

- ❖ **Amaç:** Elektrikli araçların şarj altyapısının yangın güvenliğini sağlamak.
- ❖ **Kapsam:** Elektrik tesisatlarında yangın risklerini minimize eden güvenlik önlemleri (Resmî Gazete, 2022).

#### 6.10. 2024-2027 Karayolu Trafik Güvenliği Eylem Planı (Türkiye)

İçişleri Bakanlığı ve 119 paydaşın katılımıyla, trafik güvenliğini en üst seviyede sağlamak amacıyla bir eylem planı hazırlandı ve bu plan, Cumhurbaşkanlığı genelgesi olarak yayımlandı. Genelgede, elektrikli araçlarla ilgili kaza, yangın ve kurtarma gibi durumlar için belirli hedefler belirlendi. Bu hedefler, elektrikli araçların güvenli kullanımını artırmak, acil durumlara daha etkili müdahale edebilmek ve kamu güvenliğini en üst düzeye çıkarmak amacıyla tasarlanmıştır.

- ❖ **Elektrikli Araç Güvenliği ve Batarya Riskleri:** Elektrikli ve hibrit araçlarda kullanılan bataryalar, kaza durumlarında ısınma ve patlama risklerini artırabilir. Bu risklere karşı, elektrikli araçların karıştığı kazalarda yangın ve patlamaları önleyici otomatik yangın söndürme sistemleri gibi güvenlik önlemlerinin alınması planlanmaktadır. Bu çerçevede, ulusal ve uluslararası standartlara uygun güvenlik protokolleri geliştirilmesi amaçlanmaktadır.
- ❖ **Elektrikli Araç Yangınları ve Müdahale Yöntemleri:** Elektrikli araç yangınları,

özellikle bataryaların yanıcı özelliklerinden dolayı özel müdahale gerektirir. Bu yangınlara etkili bir şekilde müdahale edebilmek için yangın söndürme ekipmanlarının yenilenmesi ve yangın söndürme tekniklerinin geliştirilmesi hedeflenmektedir. Müdahale ekiplerinin yangın risklerine karşı eğitim almaları ve gerekli teknolojik altyapının oluşturulması önem arz etmektedir.

- ❖ **Kurtarma ve Müdahale Eğitimleri:** Elektrikli araç kazalarında ilk müdahale ekiplerinin eğitimi hayati önem taşımaktadır. Standart bir eğitim müfredatı ve ders materyallerinin geliştirilmesi, eğiticilerin yetiştirilmesi planlanmıştır. Özellikle, AFAD, itfaiye ve emniyet birimlerinin bu eğitimleri alması, olası kazalarda can ve mal kaybını minimize etmek için kritik bir adımdır.
- ❖ **Teknolojik Altyapı ve Koordinasyon:** Acil durumlarda etkin müdahale sağlamak için teknolojik altyapının güçlendirilmesi ve müdahale ekiplerinin koordinasyonunun artırılması gerekmektedir. Bu kapsamda, müdahale ekipmanlarının standardizasyonu ve acil durumlarda görevli birimlerin kapasitelerinin artırılması hedeflenmektedir (İçişleri Bakanlığı, 2024).

## 7. ELEKTRİKLİ ARAÇ YANGINLARINDA MÜDAHALE YÖNTEMLERİ: İTFAİYE VE ACİL DURUM EKİPLERİNİN ROLÜ

243

Geleneksel yakıtlı araçlardan farklı olarak, elektrikli araç yangınları farklı bir yangın desenine sahiptir ve bu da itfaiye ve acil durum ekipleri için özel müdahale stratejileri gerektirmektedir (Kazak ve Öncel, 2024).

### 7.1. Elektrikli Araç Yangınlarının Özellikleri

- ❖ **Termal Kaçak ve Patlama Riski:** Elektrikli araçlar, özellikle Lityum-iyon bataryalar kullanıldığında, yangın sırasında termal kaçak adı verilen bir süreç yaşar. Termal kaçak, bataryanın iç sıcaklığının hızla artmasına yol açan bir durumdur. Bu süreç, zincirleme reaksiyonlarla bataryanın aşırı ısınmasına ve sonunda yangın veya patlamaya neden olabilir. Termal kaçak, bir batarya hücresinde başladığında, diğer hücrelere de hızla yayılabilir, bu da yangının kontrol altına alınmasını zorlaştırır (Sun vd., 2020).
- ❖ **Yeniden Alevlenme Potansiyeli:** Elektrikli araç yangınları, bataryanın içindeki enerji nedeniyle söndürülse bile yeniden alevlenme riski taşır. Geleneksel araç yangınlarından farklı olarak, elektrikli araçların bataryalarında kalan enerji, yangının tamamen kontrol altına alınmasını zorlaştırabilir. Bu nedenle, yangın sonrasında bile araç ve bataryanın izlenmesi gerekebilir (Lesiak vd., 2021).

- ❖ **Toksik Gazlar ve Duman:** Elektrikli araç yangınlarında, yanma süreci toksik gazların salınımına yol açar. Özellikle Lityum-iyon bataryalar yanarken zehirli, yanıcı, patlayıcı ve tahriş edici gazlar açığa çıkar. Bu gazlar hem yangına müdahale eden itfaiyeciler hem de çevredeki insanlar için ciddi sağlık riskleri oluşturur. Toksik gazlara maruz kalma, solunum problemleri, kimyasal yanıklar ve uzun vadede sağlık sorunlarına yol açabilir (Dalus, 2023). Tablo 4'te bu gazlar hakkında bilgi verilmiştir.

**Tablo 4:** Lityum-iyon Batarya Yangınlarında Açığa Çıkan Gazların Toksisitesi, Yanıcılığı ve Patlayıcılığı

GAZ İSMİ	AÇIKLAMA
Hidrojen	Yüksek oranda zehirli, yanıcı ve patlayıcı
Hidrojen Florür	Zehirli
Hidrojen Klorür	Zehirli
Hidrojen Siyanür	Zehirli
Karbon Monoksit	Zehirli, yanıcı ve patlayıcı

**Kaynak:** (Dalus, 2023)

- ❖ **Zorlaşan Yangın Müdahalesi:** Elektrikli araç yangınlarının söndürülmesi, bataryanın yapısal bütünlüğü ve içeriği nedeniyle daha zordur. Bataryalar kapalı alanlarda yer aldığından, yangın söndürme maddelerinin etkili bir şekilde bataryaya ulaşması zorlaşabilir. Ayrıca, bataryanın kendi içinde koruyucu bir yapıya sahip olması, yangın söndürme ekiplerinin doğrudan müdahale etmesini engelleyebilir (Lesiak vd., 2021).

## 7.2. Elektrikli Araç Yangınlarına Müdahale Yöntemleri

- ❖ **Soğutma Yöntemleri:** Elektrikli araç yangınlarına müdahalede ilk adım genellikle soğutma yöntemleridir. Su ve diğer soğutucu maddeler, bataryanın aşırı ısınmasını önleyebilir ve termal kaçak riskini azaltabilir. Yangının kontrol altına alınması için büyük miktarda su kullanılabilir. Su, yangını soğutma ve yeniden alevlenmeyi önleme konusunda etkilidir (Lesiak vd., 2021).
- ❖ **Yangın Söndürme Köpükleri:** Yangın söndürme köpükleri (F-500 EA ve Köpük Lith-M 10 vb.), Lityum-iyon bataryaların neden olduğu yangınların kontrol altına

alınmasında etkili olabilir. Köpük, oksijenin yangın bölgesine girişini engelleyerek yanmayı durdurur. Bu yöntem, yangının hızlı bir şekilde yayılmasını önlemek için kullanılabilir. Özellikle kapalı alanlarda, bu tür yangın söndürme maddelerinin kullanımı tercih edilir (Dominguea, 2023; Emme-Italia, 2023).

- ❖ **Uzaktan İzleme ve Müdahale:** Teknolojik gelişmeler, yangın sırasında bataryanın durumunu izlemek ve yangını kontrol altına almak için uzaktan izleme sistemlerinin kullanımını mümkün kılmaktadır. Uzaktan izleme, itfaiye ekiplerine yangının yayılma hızını, sıcaklık değişimlerini ve yeniden alevlenme riskini değerlendirme olanağı tanır. Bu bilgiler, yangına müdahale stratejilerinin belirlenmesinde kritik öneme sahiptir (Stave ve Carlson, 2017).

### 7.3.Acil Durum Ekiplerinin Rolü

- ❖ **Eğitim ve Hazırlık:** Elektrikli araç yangınlarına müdahalede bulunacak itfaiye ve acil durum ekiplerinin, bu tür yangınlar hakkında özel eğitim alması gereklidir. Eğitim programları, bataryaların yapısı, termal kaçak, yangın söndürme yöntemleri ve toksik gazlarla başa çıkma gibi konuları kapsamalıdır. İtfaiyeciler, yangın sırasında kullanılacak doğru ekipman ve teknikler konusunda bilgi sahibi olmalıdır (Stave ve Carlson, 2017).
- ❖ **Koordinasyon ve İletişim:** Acil durum olayları sırasında itfaiye, polis ve sağlık ekipleri arasında etkin bir koordinasyon gereklidir. İtfaiye ekiplerinin olay yerindeki diğer acil durum personeli ile sürekli iletişim halinde olması, müdahale etkinliğini artırır. Yangının türü ve kapsamı hakkında bilgi paylaşımı, güvenli ve etkili bir müdahale için kritiktir (Majka ve Zboina, 2023).
- ❖ **Olay Yerine Ulaşım ve Güvenlik:** İtfaiye ekiplerinin olay yerine güvenli ve hızlı bir şekilde ulaşması, yangına müdahalenin etkinliğini belirleyen faktörlerden biridir. Araçların yapısal durumu ve yangının yayılma hızı göz önünde bulundurularak, uygun güvenlik önlemlerinin alınması önemlidir. Yangın alanında çalışırken, itfaiyecilerin yangın söndürme ekipmanları ve kişisel koruyucu donanımları kullanması gereklidir (Lesiak vd., 2021).
- ❖ **Sürekli Eğitim ve Gelişim:** Elektrikli araç teknolojileri hızla geliştiği için, itfaiye ve acil durum ekiplerinin de bu yeniliklere ayak uydurabilmesi için sürekli eğitim ve gelişim programlarına dahil edilmesi gerekir. Eğitimler, yeni yangın söndürme teknikleri, ekipman kullanımı ve güvenlik protokolleri gibi konuları içermelidir. Bu

şekilde, itfaiye ekipleri, yeni teknolojilere karşı hazırlıklı olacak ve yangına müdahale etkinliğini artıracaktır (Stave ve Carlson, 2017).

## 8. TÜRKİYE'DE YAŞANMIŞ ELEKTRİKLİ ARAÇ YANGINLARIYLA İLGİLİ VAKA İNCELEMELERİ

Son yıllarda, dünya genelinde elektrikli araç yangınlarıyla ilgili çeşitli olaylar rapor edilmiştir. Bu vakalar, genellikle araçların yüksek voltaj bataryalarında meydana gelen termal kaçaklar sonucu ortaya çıkmıştır. Özellikle Tesla araçlarında yaşanan yangınlar, bu alandaki güvenlik endişelerini artırmış ve batarya güvenliği konusunda daha sıkı düzenlemelerin gerekliliğini gündeme getirmiştir. Tablo 5, son dönemde çeşitli yerlerde meydana gelen elektrikli araç yangınlarına ilişkin haberlerden derlenen olayları özetlemektedir. Elektrikli araçların artan popüleritesi ve kullanımının yaygınlaşmasıyla birlikte, bu tür araçlarda yangın riskleri ve nedenleri de dikkat çekici hale gelmiştir. Tablo, yangınların meydana geldiği yerleri, ilgili araç markalarını veya modellerini, yangının nedenlerini (varsa) ve olayların sonuçlarını içermektedir. Bu bilgiler, elektrikli araçların güvenlik zorlukları hakkında genel bir bakış sunarak, bu tür araçların kullanımında dikkat edilmesi gereken kritik noktaları vurgulamaktadır.

**Tablo 5:** Türkiye'de Yaşanmış Elektrikli Araç Yangınları

OLAY YERİ	ARAÇ MARKASI/ MODELİ	YANGIN (VARSA)	NEDENİ	OLAY SONUCU
Bursa	Tesla	Bilinmeyen (halindeyken)	(seyir)	Sürücü son anda kurtuldu, araç tamamen yandı.
Ankara	Belirtilmedi	Bilinmiyor		Vatandaşların müdahalesiyle yangın söndürüldü, maddi hasar oluştu.
İstanbul, Sultanbeyli	Belirtilmedi	Bilinmiyor (halindeyken)	(park)	Araç tamamen yandı, zaman zaman patlamalar yaşandı.
İstanbul, Tuzla	Belirtilmedi (6 araç)	Bilinmeyen bir nedenle patlama		6 araç tamamen yandı, yangın tekrar alevlendi.
Kayseri	Belirtilmedi	Refüjdeki ağaca çarpma		Sürücü hayatını kaybetti, araç kullanılamaz hale geldi.

<b>Konya</b>	Belirtilmedi	Elektrik direğine çarpma	Araç tamamen yandı, sürücü kurtuldu, ehliyetsiz araç kullanımı tespit edildi.
<b>Gaziantep</b>	Togg T10X	Termal yönetim sisteminde arıza	Araç şarj sırasında alev aldı, yangın kısa sürede söndürüldü.

**Kaynak:** (DHA, 2023; DHA, 2024; NTV, 2024; Haber Ankara, 2024; Gazete Duvar, 2024; Milliyet, 2024; Zehir, 2024)

## 9. SONUÇ VE ÖNERİLER

Elektrikli araçların dünya genelinde artan popülaritesi, çevresel faydaları ve fosil yakıt bağımlılığını azaltma potansiyeli ile ön plana çıkmaktadır. Ancak, bu araçlarda kullanılan Lityum-iyon bataryaların güvenlik riskleri, özellikle yangın tehlikesi, dikkatle ele alınması gereken bir konudur. Lityum-iyon bataryaların yüksek enerji yoğunluğu, termal kaçak ve iç kısa devre gibi risk faktörleri, yangınların çıkmasına ve kontrol altına alınmasının zorlaşmasına neden olabilir. Bu tür yangınlar, geleneksel araç yangınlarına kıyasla daha zor müdahale gerektirmekte ve yangın sırasında açığa çıkan toksik gazlar nedeniyle daha büyük bir tehlike arz etmektedir.

Türkiye'de elektrikli araç pazarının hızla büyümesi, batarya güvenliği ve yangın önleme tedbirlerinin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Özellikle termal kaçak gibi yangın risklerine karşı alınacak önlemler, sadece bireylerin güvenliği açısından değil, aynı zamanda toplumun genel yangın güvenliği bilincinin artırılması açısından da büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda, elektrikli araçların ve batarya teknolojilerinin güvenliğini sağlamak için uluslararası standartların benimsenmesi ve bu standartlara uyulması kritik bir rol oynamaktadır.

Lityum-iyon batarya yangınlarına müdahale etmek için özel yangın söndürme tekniklerinin ve ekipmanlarının geliştirilmesi gerekmektedir. Yangın söndürme işlemlerinin etkin bir şekilde yürütülmesi, itfaiye ve acil durum ekiplerinin bu tür yangınlara özel eğitimlerle donatılması ile mümkün olacaktır. Ayrıca, elektrikli araç yangınlarına karşı toplum genelinde farkındalık oluşturmak ve elektrikli araç sahiplerini yangın riskleri konusunda bilgilendirmek, bu tür olayların sayısını ve ciddiyetini azaltmak için önemli bir adım olacaktır.

Elektrikli araç yangınlarının kontrol altına alınabilmesi için batarya üreticileri, araç üreticileri, hükümetler ve düzenleyici kurumlar arasında etkin bir iş birliği gerekmektedir. Yangın güvenliği standartlarının sıkılaştırılması, şarj altyapısının güvenliğinin sağlanması ve yeni teknolojilerin geliştirilmesi, bu iş birliğinin temel unsurları olmalıdır. Bataryaların yapısal

olarak daha güvenli hale getirilmesi, izolasyon malzemelerinin ve soğutma sistemlerinin iyileştirilmesi, yangın riskini azaltmada önemli adımlar olarak değerlendirilmektedir.

Sonuç olarak, elektrikli araçların ve Lityum-iyon bataryaların yaygınlaşması, enerji ve ulaşım sektörlerinde büyük bir dönüşüm sağlamaktadır. Ancak, bu dönüşümün sürdürülebilir ve güvenli olması için yangın güvenliği konusundaki tedbirlerin artırılması şarttır. Elektrikli araç yangınlarıyla başa çıkmak için geliştirilecek yenilikçi teknolojiler ve güvenlik önlemleri hem bireysel hem de toplumsal düzeyde yangın güvenliği bilincinin artmasına katkı sağlayacaktır. Böylece, elektrikli araçlar hem çevre dostu hem de güvenli bir ulaşım aracı olarak gelecekteki yerini sağlamlaştırabilecektir.

## 10. KAYNAKÇA

Akoğlu, A. (2012, Ekim). Uzun ömürlü piller için Pillerde Nizami Şarj. *TÜBİTAK Bilim ve Teknik*, 48-49.

<https://services.tubitak.gov.tr/edergi/yazi.pdf;jsessionid=VDqBpF2KMnc7MmLJimkr3+eI?dergiKodu=4&cilt=46&sayi=785&sayfa=48&yaziid=33738>

Alyar, H. (2022). Uluslararası Yakıtlar Yanma Ve Yangın Dergisi. *Elektrikli Otomotivlerin Yapısı ve Yangın Riskleri*, 10(1), 1-8. doi:10.52702/fce.1057432

Bandhauer, T., Garimella, S., & Fuller, T. (2011). A Critical Review of Thermal Issues in Lithium-Ion Batteries. *Journal of The Electrochemical Society*, 158(3). doi:10.1149/1.3515880

Chinese Standard. (2018). *GB/T 31485-2015 PDF in English*.  
<https://www.chinesestandard.net/PDF.aspx/GBT31485-2015>

Dalus, N. (2023, Ekim 7). *Fire not the only danger with lithium-ion batteries*. TT Club:  
[https://www.ttclub.com/news-and-resources/news/press-releases/2023/fire-not-the-only-danger-with-lithium-ion-](https://www.ttclub.com/news-and-resources/news/press-releases/2023/fire-not-the-only-danger-with-lithium-ion-batteries/#:~:text=They%20can%20feature%20high%20percentages,methane%20among%20other%20dangerous%20chemicals)

[batteries/#:~:text=They%20can%20feature%20high%20percentages,methane%20among%20other%20dangerous%20chemicals](https://www.ttclub.com/news-and-resources/news/press-releases/2023/fire-not-the-only-danger-with-lithium-ion-batteries/#:~:text=They%20can%20feature%20high%20percentages,methane%20among%20other%20dangerous%20chemicals).

DHA. (2023, Kasım 6). *Sevkiyat aşamasındaki 6 elektrikli otomobil yandı*. TRT Haber:  
<https://www.trthaber.com/haber/turkiye/sevkiyat-asamasindaki-6-elektrikli-otomobil-yandi-801041.html>

DHA. (2024, Mart 20). *Sultanbeyli'de park halindeki elektrikli araç alev alev yandı*. CNN Türk:  
<https://www.cnnturk.com/turkiye/sultanbeylide-park-halindeki-elektrikli-arac-alev-alev-yandi-2097546>



- Dominguez, H. (2023, Mayıs 12). *How to Put Out a Lithium-Ion Battery Fire*. Htc-World: <https://hct-world.com/how-to-put-out-a-lithium-ion-battery-fire/>
- Elektrobit. (2024). *Functional safety and fail-operational*. [https://www.elektrobit.com/products/ecu/eb-tresos/functional-safety/?utm\\_source=google&utm\\_medium=cpc&utm\\_campaign=product\\_emea&gad\\_source=1&gclid=EAIaIQobChMI64TB3OiPiAMVn5eDBx37tQaqEAAYASAAEgJav\\_D\\_BwE](https://www.elektrobit.com/products/ecu/eb-tresos/functional-safety/?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=product_emea&gad_source=1&gclid=EAIaIQobChMI64TB3OiPiAMVn5eDBx37tQaqEAAYASAAEgJav_D_BwE)
- Emme-Italia. (2023, Ekim 5). *22066-25 : Portable Fire Extinguisher, 6 L Foam*. [https://www.emme-italia.com/sites/default/files/librettobase/22066-25\\_user\\_manual.pdf](https://www.emme-italia.com/sites/default/files/librettobase/22066-25_user_manual.pdf)
- Feng, X., Ouyang , M., Liu, X., Lu, L., Xia, Y., & He, X. (2018, Ocak). Thermal Runaway Mechanism of Lithium Ion Battery for Electric Vehicles: A review. *Energy Storage Materials*, *10*, 246-267. doi:10.1016/j.ensm.2017.05.013
- Gazete Duvar. (2024, Mart 14). *Ağaca çarpan elektrikli otomobil yandı: 1 ölü*. <https://www.gazeteduvar.com.tr/agaca-carpan-elektrikli-otomobil-yandi-1-olu-haber-1676662>
- Golubkov, A., Fuchs, D., Wagner, J., Wiltsche, H., Stangl, C., Fauler, G., . . . Hacker, V. (2014). Thermal-runaway Experiments on Consumer Li-ion Batteries With Metal-oxide and Olivin-type Cathodes. *RSC Advances*(7). doi:10.1039/C3RA45748F
- Gürsoy, A. N. (2023, Kasım 23). *Lityum İyon Pil Hakkında Bütün Bilgiler*. Sigortaladım: <https://www.sigortaladim.com/lityum-iyon-pil-hakkinda-her-sey>
- Haber Ankara. (2024, Temmuz 9). *Ankara Keçiören'de elektrikli araç yandı!* <https://www.haberankara.com/ankara/ankara-keciorende-elektrikli-arac-yandi-272015>
- Hedef Filo. (2024). *2024 Yılında Türkiye'deki Elektrikli Araç Sayısı*. <https://ev.hedef filo.com/ev-gundem/blog/2024-yilinda-turkiyedeki-elektrikli-arac-sayisi>
- İçişleri Bakanlığı. (2024). *2024-2027 Karayolu Trafik Güvenliği Eylem Planı Yayınlandı*. <https://www.trafik.gov.tr/2024-2027-karayolu-trafik-guvenligi-eylem-plani-yayinlandi>
- Iec. (2024). International Electrotechnical Commission: <https://www.iec.ch/homepage>
- İnci Taş. (2024). *Lityum Akü Teknolojisi ve Avantajları*. <https://www.incitas.com.tr/bilgi-merkezi/blog/lityum-aku-teknolojisi-ve-avantajlari>
- ISO. (2019). *ISO 6469-1:2019*. <https://www.iso.org/standard/68665.html>
- ISO. (2021). *ISO 6469-3:2021*. <https://www.iso.org/standard/81746.html>
- ISO. (2022). *ISO 6469-2:2022*. <https://www.iso.org/standard/81346.html>

Kazak, D. (2024a). Lityum-İyon Bataryaların Yangın Güvenliği: Tamamen Elektrikli Araçlarda Risk Değerlendirmesi, Önlemler ve Mücadele. *Premium e-Journal of Social Sciences (PEJOSS)*, 8(42), 638-652. doi:10.5281/zenodo.11434251

Kazak, D. (2024b). Lityum İyon Bataryalarda Güvenlik: Termal Kaçak ve Olay Sonrası Müdahale Stratejileri. *Socrates Journal of Interdisciplinary Social Studies*, 10(39), 85-94. doi:10.5281/zenodo.10897802

Kazak, D. (2024c, Temmuz-Ağustos). Elektrikli Araçlar ve Yangın Riskleri. *Yangın ve Güvenlik Dergisi*, 248, 22-25. <https://www.yanginguvenlik.com.tr/edergi/5/248/24/index.html>

Kazak, D., & Öncel, H. U. (2024). İtfaiye Ekiplerinin, Tamamen Elektrikli Araç Yangınlarıyla Mücadelesinin İncelenmesi. *SOCIAL SCIENCES STUDIES JOURNAL (SSSJJournal)*, 10(3), 384-394. doi:10.5281/zenodo.10903404

Keneng. (2024, Nisan 16). *Lityum Pilin Termal Kaçışını Anlamak: Nedenleri ve Önlenmesi*. <https://keheng-battery.com/tr/understanding-lithium-battery-thermal-runaway-causes-and-prevention/>

Kocabey, S. (2018). Elektrikli Otomobillerin Dünü, Bugünü Ve Geleceği. *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, 1(1), 1-16. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/jitsa/issue/35759/396912>

Kolay Şarj. (2024). *Dünden Bugüne Elektrikli Araçların Tarihi 2023*. <https://kolaysarj.com/dunden-bugune-elektrikli-araclarin-tarihi/>

Kükreler, T. (2010). *Taşınabilir Elektronik Aygıtların Atık Pillerinden Sıvı Ve Kobalt Geri Taşınabilir / Taşınabilir Elektronik Cihazların Kullanılmış Pillerinden Lityum Ve Kobaltın Geri Kazanımı*. Isparta: Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=R4nT8H6zwz3kHmH2xMWg&no=vN0Ngc00vrn34WIW8ucUhQ>

Lesiak, P., Pietrzela, D., & Mortka, P. (2021). Methods Used to Extinguish Fires in Electric Vehicles. *Safety & Fire Technology*, 58(2), 38-57. doi:10.12845/sft.58.2.2021.3

Li, H., Wang, H., Xu, Z., Wang, K., Ge, M., Gan, L., . . . Chen, S. (2021). Thermal-Responsive and Fire-Resistant Materials for High-Safety Lithium-Ion Batteries. *Nano Micro Small*(17). doi:10.1002/sml.202103679

Li, X., Huang, Q., Deng, J., Zhang, G., Zhong, Z., & He, F. (2020). Evaluation of lithium battery

thermal management using sealant made of boron nitride and silicone. *Journal of Power Sources*, 451. doi:10.1016/j.jpowsour.2020.227820

Liu, X., Ren, D., Hsu, H., Feng, X., Xu, G.-L., Zhuang, M., . . . Ouyang, M. (2018). Thermal Runaway of Lithium-Ion Batteries without Internal Short Circuit. *Joule*, 2(10), 2047-2064. doi:10.1016/j.joule.2018.06.015

Majka, I., & Zboina, J. (2023). Testing the Fire Safety of Electric Vehicles. *Safety & Fire Technology*, 62, 86-111. doi:10.12845/sft.62.2.2023.5

Milliyet. (2024, Haziran 13). *Konya'da elektrik direğine çarpan araç alev alev yandı.* <https://www.milliyet.com.tr/milliyet-tv/konyada-elektrik-diregine-carpan-arac-alev-alev-yandi-video-7141427>

Nambisan, P., Manjunatha, H., Ravadi, P., Reddy, H. P., Bharath, G., Kulkarni, M. A., & Sundaram, S. (2023). Characterization of commercial thermal barrier materials to prevent thermal runaway propagation in large format lithium-ion cells. *Journal of Energy Storage*, 74(Part B). doi:10.1016/j.est.2023.109414

NTEA. (2017, Eylül 27). *FMVSS 305.* [https://www.ntea.com/NTEA/Member\\_benefits/Technical\\_resources/FMVSSguide/FMVSS305.aspx](https://www.ntea.com/NTEA/Member_benefits/Technical_resources/FMVSSguide/FMVSS305.aspx)

251

NTV. (2024, Mart 30). *Seyir halindeki Tesla alev alev yandı! Sürücü son anda kurtuldu.* <https://www.ntv.com.tr/turkiye/seyir-halindeki-tesla-alev-alev-yandi-surucu-son-anda-kurtuldu,D2SpXV7xNU2Nv9CZ-hALxw>

Özcan, F. (2024, Mart 4). *Batarya yangınları için yangın söndürücü.* İSG Türkiye: <https://www.isgturkiye.com/konu/batarya-yanginlari-icin-yangin-sondurucu.10854/>

Polat, B., & Keleş, Ö. (2012). Lityum İyon Pil Teknolojisi. *Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği*, 42-48. [https://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi162/d162\\_4248.pdf](https://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi162/d162_4248.pdf)

Rao, G., & Kumar, S. (2024). A review of integrated battery thermal management systems for lithium-ion batteries of electric vehicles. *e-Prime - Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy*, 8. doi:10.1016/j.prime.2024.100526

Resmi Gazete. (2022, Nisan 2). *Şarj Hizmeti Yönetmeliği.* <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=39454&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5>

Richa, K., Babbitt, C., Gaustad, G., & Wang, X. (2014). A future perspective on lithium-ion

battery waste flows from electric vehicles. *Resources, Conservation and Recycling*, 83, 63-76.  
doi:10.1016/j.resconrec.2013.11.008

Roos, D. (2024, Nisan 15). *Electric Vehicles Have Been Around Since the 19th Century: Timeline*. History: <https://www.history.com/news/electric-vehicles-automobiles-timeline>

Shkurti Özdemir, G. (2024, Nisan 1). *Elektrikli Araçlar: İklim, Ekonomi ve Jeopolitik Üçgeni*. Kriter Dergisi: <https://kriterdergi.com/ekonomi/elektrikli-araclar-iklim-ekonomi-ve-jeopolitik-ucgeni>

Stave, C., & Carlson, A. (2017). A case study exploring firefighters' and municipal officials' preparedness for electrical vehicles. *European Transport Research Review*, 9(25).  
doi:10.1007/s12544-017-0240-1

Sun, P., Bisschop, R., Niu, H., & Huang, X. (2020). A Review of Battery Fires in Electric Vehicles. *Fire Technology*, 56, 1361-1410. doi:10.1007/s10694-019-00944-3

Swri. (2024). *SAE J2464 Testing for Rechargeable Energy Storage Systems*. <https://www.swri.org/industry/battery-testing-research/sae-j2464-testing-rechargeable-energy-storage-systems>

Türkiye İstatistik Kurumu. (2024). <https://data.tuik.gov.tr/>

Tüv Süd. (2024). *UN ECE R100 Standard Regulation*. <https://www.tuvsud.com/en-us/industries/mobility-and-automotive/automotive-and-oem/automotive-testing-solutions/battery-testing/un-ece-r100>

UL. (2022, Haziran 28). *UL 2580 Batteries for Use In Electric Vehicles*. [https://www.shopulstandards.com/ProductDetail.aspx?productId=UL2580\\_3\\_S\\_20200311](https://www.shopulstandards.com/ProductDetail.aspx?productId=UL2580_3_S_20200311)

Vıçıl, O. (2011, Şubat). Yeni Nesil Lityum-İyon Pil Teknolojileri. *TÜBİTAK Bilim ve Teknik*, 44-49.

<https://services.tubitak.gov.tr/edergi/yazi.pdf?jsessionid=mTIHvOAbYGKyukPE16cVKO4m?dergiKodu=4&cilt=44&sayi=725&sayfa=47&yaziid=31315>

Wilson, K. (2023, Mart 31). *Worth the Watt: A Brief History of the Electric Car, 1830 to Present*. Car and Driver: <https://www.caranddriver.com/features/g43480930/history-of-electric-cars/>

Wu, H., Chen, S., Hong, Y., Xu, C., Zheng, Y., Jin, C., . . . Dai, H. (2024). Thermal safety boundary of lithium-ion battery at different state of charge. *Journal of Energy Chemistry*, 94,

59-72. doi:10.1016/j.jechem.2023.11.030

Zehir, E. Ö. (2024, Mayıs 7). *Gaziantep'te Bir Togg T10X, Şarj Olurken Kendi Kendine Yandı.*

Web Tekno: <https://www.webtekno.com/gaziantep-togg-t10x-yandi-h143736.html>

Article Arrival Date	Article Type	Article Published Date
13.05.2025	Research Article	20.06.2025

## RAPID ACCESS TO PEOPLE TRAPPED IN COLLAPSED BUILDINGS AFTER AN AFTER AN EARTHQUAKE

Murat CANPOLAT<sup>1</sup>, Güneş CANPOLAT<sup>2</sup>, Şevket TOPUZ<sup>3</sup>, Mehmet ÇILGIN<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Öğretmen, Zübeyde Hanım İmam Hatip Ortaokulu, Malatya/Türkiye, [0000-0003-4074-4234](tel:0000-0003-4074-4234)

<sup>2</sup>Öğretmen, Bilim ve Sanat Merkezi, Malatya/Türkiye, [0000-0003-2835-7143](tel:0000-0003-2835-7143)

<sup>3</sup>Öğretmen, Mahmut Kömürkara İmam Hatip Ortaokulu, Malatya/Türkiye, [0009-0001-4851-4057](tel:0009-0001-4851-4057)

<sup>4</sup>Okul Müdürü, MEM, Battalgazi Malatya/Türkiye

### Summary

According to the earthquake zone map, it is known that 92% of our country is located within earthquake-prone areas and that 95% of our population lives under the threat of earthquakes. Earthquakes can cause various harmful effects on both living and non-living entities. These statistics indicate a significant risk for people living in our country. After an earthquake, survivors are often found in natural voids within damaged or collapsed buildings. The chances of survival for disaster victims decrease rapidly over time. In urban search and rescue operations, the first 72 hours—also known as the “golden hours”—are the most critical.

As a team, our experience during the February 6th earthquake showed us how crucial it is to reach people trapped under debris as quickly as possible. This painful experience made us realize the absence of a system that could save lives in emergencies. After an earthquake, it is vital for search and rescue teams to access information such as the trapped individuals' phone numbers, emergency contacts, chronic illnesses, necessary medications, the floor and apartment they live in, and the building layout as soon as possible. The earlier the rescue efforts begin from the first minute, the more lives can be saved from under the rubble.

In this project, we have designed an artificial intelligence-based system that allows immediate access to people and their information in the building/house during an earthquake with the press of a single button.

At the end of the post-earthquake search phase, rescue operations begin. The sooner the search process is completed, the faster the rescue operations can start. To facilitate this, we used the MPU6050 accelerometer in our system. This sensor detects earthquakes and, through software we developed, transmits the data via a portable modem to a locally and nationally developed panel that we coded ourselves.

The data includes the floor and side of the building where the person is located, their phone numbers, health status, medications they use regularly, and emergency contact numbers. Authorized personnel who log into the panel can download this information, along with the pre-uploaded building layout and location details, with a single click. This data is then directed to the search and rescue team, allowing them to start the rescue process more quickly.

**Keywords:** Artificial Intelligence, Earthquake, Blueprint, MPU6050, Damage

### Özet

Deprem bölgeleri haritasına göre yurdumuzun %92'sinin deprem bölgeleri içerisinde olduğu, nüfusumuzun %95'inin deprem tehlikesi altında yaşadığı bilinmektedir. Depremler canlı ve cansız varlıklar üzerinde birtakım zararlı etkilere yol açabilmektedir. Bu oran ülkemizde yaşayan insanlar için risk içermektedir. Deprem sonrasında hayatta kalan insanlar, hasarlı veya yıkılan binalarda oluşan doğal boşluk alanlarında bulunurlar. Afetzedeler için hayatta kalma olasılığı zamanla hızla azalır. Kentsel arama ve kurtarma çalışmalarında altın saatler olarak da bilinen ilk 72 saat en kritik saatlerdir. Ekip olarak, 6 Şubat depreminde yaşadıklarımız bize enkaz altında kalan insanlara kısa sürede ulaşmanın ne kadar önemli olduğunu gösterdi. Bu acı deneyim, bizlere acil durumlarda hayat kurtarabilecek bir sistemin eksikliğini hissettirdi. Deprem sonrasında yıkılan bina/yapı içinde kalan kişilere ait telefon, yakınlarının telefonu, sürekli hastalıkları, almak zorunda oldukları ilaçlar, kaçınıcı katta ve dairede oturdukları, binanın krokisi vb. bilgilere en kısa sürede ulaşmak arama kurtarma ekipleri için önemlidir. İlk dakikadan itibaren ne kadar erken çalışmalara başlanırsa o kadar çok insan enkaz altından kurtarılabilir. Bu projemizde; deprem anında bina/evde kalan insanlar ve bilgilerine tek tuşa basarak ulaşmak için yapay zekâ temelli sistem tasarlanmıştır.

Deprem sonrası arama işleminin sonunda kurtarma operasyonlarına geçilir. Arama işlemi ne kadar kısa sürede bitirilirse o kadar çabuk kurtarma operasyonu başlar. Bunu sağlamak için yaptığımız sistemde MPU6050 ivmeölçer kullandık. Depremi algılayan bu sensör, yazdığımız yazılım sayesinde taşınabilir modem vasıtasıyla gene yazılım/kodlaması tarafımızdan milli ve yerli olarak yazılarak oluşturulmuş panelimize bilgileri iletir. Bu bilgiler o an bina/yapıda

bulunan ve çıkamayan kişilerin hangi katta hangi cephede oturdukları, cep numaraları, sağlık durumları, sürekli kullandıkları ilaçlar, yakınlarına ait telefon numaralarıdır. Panelimize giriş yapan yetkili bu bilgiler ile birlikte daha önceden panele yüklenmiş olan bina/yapı krokisi ve konum bilgilerini tek tuşla indirir. Bu bilgileri arama kurtarma ekibine yönlendirerek kurtarma işleminin daha çabuk başlanması sağlanmış olur.

**Anahtar Kelimeler:** Yapay Zeka, Deprem, Kroki, MPU6050, Hasar

## 1. INTRODUCTION

Depremler, aktif fay hatları üzerinde bulunan ülkeler için ciddi bir tehdit oluşturmaktadır ve Türkiye, dünyanın en çok deprem riski taşıyan bölgelerinden biridir. Resmi sismik tehlike haritalarına göre Türkiye topraklarının %92'si deprem bölgeleri içinde yer almakta ve nüfusun %95'i bu sürekli risk altında yaşamaktadır. Depremler, insan hayatı ve altyapı üzerinde yıkıcı etkiler yaratabilmektedir. Büyük bir depremin ardından karşılaşılan en büyük zorluklardan biri, "altın 72 saat" olarak bilinen kritik sürede enkaz altında kalan hayatta kalmış kişilere ulaşabilmektir. Hayatta kalanlar genellikle yıkıntılar arasında oluşan doğal boşluklarda bulunurlar, ancak zaman geçtikçe yaşama şansları hızla azalır. Bu nedenle, yapıların çökmesini erken tespit etmek ve içeride kalan kişilere ait bilgilere hızlıca erişmek, arama kurtarma çalışmalarının etkinliği açısından hayati öneme sahiptir. 6 Şubat'ta Türkiye'yi vuran yıkıcı deprem, kurtarma ekiplerine anında kritik verileri sunabilecek teknolojik bir sistemin ne kadar gerekli olduğunu ortaya koymuştur. Bu veriler; içeride kalan bireyin bulunduğu kat ve daire konumu, telefon numarası, acil durumda aranacak yakınları, kronik hastalıkları ve düzenli kullandığı ilaçlar gibi bilgileri içermektedir. Bu tür bilgilere ulaşmak, kurtarma sürecini önemli ölçüde hızlandırarak hayatta kalma oranlarını artırabilir.

## 2. GOAL

- Deprem sonrası yıkılan bina/yapı içinde mahsur kalan insanları belirleyerek bilgilerini, bina krokisini, adres ve konumunu belli bir yere gönderebilen yapay zeka temelli bir sistem tasarlamak.
- Tasarlanabilirse bina/yapılarda kullanılabilmek.
- Geliştirdiğimiz arama kurtarma ekiplerinin enkaza müdahalesi daha hızlı olabilmelerini sağlamak.



### 3. IMPORTANCE

Yapmış olduğumuz sistem sayesinde enkaz/enkazlar altında kalan insanlara arama kurtarma ekiplerinin ulaşımı daha hızlı olacağından dolayı can kayıpları azalacaktır.

### 4. METHOD

#### 4.1. Research Model

Çalışmamızda deneysel araştırma yöntemi, saha çalışması uygulanmıştır.

#### 4.2. Process Steps

Problem tespit edildi. Literatür taraması yapıldı. Hipotez ileri sürüldü. Projemizde kullanacağımız ‘Raspberry Pi 5, MPU6050 ivmeölçer, A2 microSd card, Raspberry Pi Kamera 3 Geniş Açılı, Wi-Fi Bağlantısı, jumper kablo, breadboard, powerbank’ den oluşan elektronik malzemeler temin edildi. Elektronik malzemelerin devre şeması çıkarılıp proje amacına uygun şekilde bütünleşik hale getirildi Bina/yapı girişlerine yerleştirilecek olan sistemin proje amacına uygun olarak çalışabilmesi için kodlama/yazılımlar yazılarak, Raspberry Pi 5karta yükleme yapıldı. Sistemimizi kuracağımız kutu Fusion 360 programı kullanılarak çizildi ve 3D baskısı alındı. Sistemimizin bilgileri ileteceği panel oluşturuldu ve sistem ile panel arasında iletişim kuruldu. Geliştirdiğimiz sistem test edildi. Bu sistem ile ilgili hipotezimizi sınamak için bina/yapıya yerleştirildi ve saha çalışması yapılarak raporlaştırıldı.

Sistemimizin, belirlediğimiz amaçlara ulaşması için panel kodlaması php framework olan laravel ile yapılmış olup panel yazılımı için bir buçuk milyon kod tarafımızdan yazılmıştır. Projemizin hem yüz tanıma hem de deprem sensörü verilerini okuma gibi işlemleri içermesi nedeniyle, kod düzenleme, hata ayıklama ve genişletilebilirlik açısından daha güçlü bir IDE tercih edilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda, PyCharm kullanımı tercih edilmiş olup bu bölümün %70 nin yazılımı tarafımızdan yazılarak oluşturulmuştur. Enkaz altında kalan kişilerden hayatta olup olmadığı ile ilgili bildirim alabilmek için mobil uygulama tasarlanarak panel’ e entegre edildi. Bu uygulama Figma üzerinden gerçekleştirerek kullanıcı dostu ve etkileşimli bir arayüz oluşturduk. Uygulamanın kodlamasını ise Flutter kullanarak geliştirdik.

#### 4.3. Working principle of System

Deprem sonrası arama işleminin sonunda kurtarma operasyonlarına geçilir. Arama işlemi ne kadar kısa sürede bitirilirse o kadar çabuk kurtarma operasyonu başlar. Bunu sağlamak için yaptığımız sistemde MPU6050 ivmeölçer kullandık. Depremi algılayan bu sensör, yazdığımız yazılım sayesinde taşınabilir modem vasıtasıyla gene yazılım/kodlaması tarafımızdan milli ve

yerli olarak yazılarak oluşturulmuş panelimize bilgileri iletir. Bu bilgiler o an bina/yapıda bulunan ve çıkamayan kişilerin hangi katta hangi cephede oturdukları, cep numaraları, sağlık durumları, sürekli kullandıkları ilaçlar, yakınlarına ait telefon numaralarıdır. Panelimize giriş yapan yetkili bu bilgiler ile birlikte daha önceden panele yüklenmiş olan bina/yapı krokisi ve konum bilgilerini tek tuşla indirir. Bu bilgileri arama kurtarma ekibine yönlendirerek kurtarma işleminin daha çabuk başlanması sağlanmış olur

## 5. RESULTS

NO	Deprem Tarihi	Deprem Merkezinin Sistemimize Uzaklığı	Derinlik	Büyüklik	Sistemin Çalışması
1	2024-06-11 23:15:536	7 KM	6.2	3.6	Çalıştı
2	2024-06-16 20:24:51	24 KM	7.0	4.4	Çalıştı

**Tablo 1.** Saha Çalışması

Sistemimiz Malatya ili Yeşilyurt ilçesi Bıla mahallesi Arpacı sokakta bulunan YıldızAnka apartmanına 08.06.2024 tarihinde kurulmuştur. Binamızda 13 kadın ve 16 erkekten oluşan 29 kişi yaşamaktadır. En genci 3, en yaşlısı 68 yaşındadır. Kurulumdan 23.06.2024 tarihine kadar 2 adet deprem olmuş ve sistemimiz çalışarak sunucuya apartmanda kalan kişilerin bilgilerini iletmiştir. Sistem yöneticisi hazırlamış olduğumuz siteye girerek sistemimizden gelen binada kalan kişilerin bilgileri, kroki, bina konumuna tek tuşla ulaşmıştır. Aynı bilgiye AFAD yada diğer kurumlarda sisteme girerek ulaşmaktadır.

11 Haziranda meydana gelen deprem sonucunda sistemimizden alınan bilgi Tablo 2' de gösterilmiştir.

Kat/No ve Yön	Binada Oturanların adı soyadı ve telefonları	Yaş	Yakınlarına Ait Telefon	Sürekli Kullandığı İlaçlar / Geçirdiği Ameliyatlar
Z.KAT 1	ARİF UYAR 0530 ***** YASİN	54 26	MEHMET UYAR 0530 **	BYPAS AMELİYATI .....

DOĞU	DUTLU 0530 *****		SİNEM DUTLU 0530 **	
Z. KAT 2 BATI	SADIK ÇİFTÇİ 0530 *****	68	MELİS ÇİFTÇİ 0530 ***	YOK
1. KAT 3 DOĞU	KADİR ÖZCAN 0530 ***** FERİDE ÖZCAN 0530 ***** MUSTAFA ÖZCAN 0530 ***	42 45 17	SADIK ÖZCAN 0530 ***	BEL FITİĞİ ASTİM (ASMOL-EPAQ)
1. KAT 4 BATI	EMRAH GÜRCÜ 0530 **** SIDIKA GÜRCÜ 0530 **** HAKAN GÜRCÜ 0530 ***** MELİKE GÜRCÜ	42 39 12 3	ALİ GÜRCÜ 0530 *****	YOK
2. KAT 5 DOĞU	MURAT CANPOLAT 0530 ** GÜNEŞ CANPOLAT 0530 ** ALPEREN CANPOLAT 0530 AHMET CANPOLAT	47 45 18 11	BUĞRAHA N CANPOLAT 0530 ***	YOK YOK ASTİM(VENTOLİN)

	0530 **				
2. KAT 6 BATI	GÖKÇE NAZ KAYA 0530 **	67	A. ÖNDER KAYA 0530 **	YÜRÜME ENGELLİ VE İŞİTME KAYBI VAR.(%70)	
3. KAT 7 DOĞU	NİHAT TOROMAN 0530 *** AYŞE TOROMAN 0530 **** DUYGU TOROMAN 0530 *	52 41 13 11	VELİDE AHİN 0530 ****	YOK ASTIM (ASMOL)	YOK YOK
3. KAT 8 BATI	ŞAHİN AYBAR 0530 ***** ÖMER AYBAR 0530 ***** NEJMİYE AYBAR 0530 ***	48 71 42	MUSTAFA AYBAR 0530 *****	YOK KAYBI Y.TANSİYON(KAPTORİL)	İŞİTME
4. KAT 9 DOĞU	AHMET YEGİN 0530 ***** ZÜLEYHA YEGİN 0530 ***	32 57 51	MURAT YEGİN 0530 ***	C	YOK
4. KAT 10 BATI	HATİCE NUR KAYA 0530 **	22	VELİ KAYA 0530 *****	YOK	
5. KAT 11	ŞEYMA TAYILAN	38	EMİNE TAYILAN	YOK	

DOĞU	0530 ***		0530 **		
5. KAT	ZEHRA ANGİŞHAN 0530 ***		YUSUF		
12	FERİDE AKTAY	32	AKTAY	YOK	Y.
BATI	0530 *****	57	0530 ***	TANSİYON VE ŞEKER (KAPTORİL)	

**Tablo 2.** Sistemden Alınan Bilgi

Bu bilgiye göre deprem gece saat 23:15 de olduğundan dolayı binamızda 26 kişi bulunmakta olup sisteme gelen bilgi yukarıda gösterilmiştir.

16 Haziranda meydana gelen deprem sonucunda sistemimizden alınan bilgi Tablo 3’ de gösterilmiştir.

Kat/No ve Yön	Binada Oturanların adı soyadı ve telefonları	Yaş	Yakınlarına Ait Telefon	Sürekli Kullandığı İlaçlar / Geçirdiği Ameliyatlar
Z.KAT 1 DOĞU	ARİF UYAR 0530 *****	54 26	MEHMET UYAR 0530 ** SİNEM DUTLU 0530 **	BYPAS AMELİYATI
Z. KAT 2 BATI	SADIK ÇİFTÇİ 0530 *****	68	MELİS ÇİFTÇİ 0530 ***	YOK
1. KAT 3 DOĞU	KADİR ÖZCAN 0530 ***** FERİDE ÖZCAN 0530 *****	42 45	SADIK ÖZCAN 0530 ***	BEL FITİĞİ .....

1. KAT 4 BATI	SIDIKA GÜRCÜ 0530 ***** MELİKE GÜRCÜ	39 3	ALİ GÜRCÜ 0530 *****	YOK
2. KAT 5 DOĞU	ALPEREN CANPOLAT 0530 AHMET CANPOLAT 0530 **	18 11	BUĞRAHAN CANPOLAT 0530 ***	YOK ASTIM(VENTOLİN)
2. KAT 6 BATI	GÖKÇE NAZ KAYA 0530 ***	67	A. ÖNDER KAYA 0530 **	YÜRÜME ENGELLİ VE İŞİTME KAYBI VAR.(%70)
3. KAT 7 DOĞU	AYŞE TOROMAN 0530 **** M. ALİ TOROMAN 0530 *	41 13 11	VELİDE AHİN 0530 ****	YOK YOK ASTIM (ASMOL)
3. KAT 8 BATI	ÖMER AYBAR 0530 *****	71 42	MUSTAFA AYBAR 0530 ****	İŞİTME KAYBI
4. KAT 9 DOĞU	BATUHAN YEGİN 0530 **** AHMET YEGİN 0530 *****	32 57	MURAT YEGİN 0530 ***	
4. KAT 10 BATI	HATİCE NUR KAYA 0530 ***	22	VELİ KAYA 0530 *****	YOK

5. KAT 11 DOĞU	ŞEYMA TAYILAN 0530 *****	38	EMİNE TAYILAN 0530 **	YOK
5. KAT 12 BATI	FERİDE AKTAY 0530 *****	32 57	YUSUF AKTAY 0530 ***	Y. TANSİYON VE ŞEKER (KAPTORİL)

**Tablo 3.** Sistemden Alınan Bilgi

Bu bilgiye göre deprem gece saat 20:24 de olduğundan dolayı binamızda 18 kişi bulunmakta olup sisteme gelen bilgi yukarıda gösterilmiştir.

Projemiz ile ilgili İnönü Üniversitesi Yazılım Mühendisliği öğretim görevlileri ile yapılan görüşmede projemiz anlatılmış, çalışma sistemi de uygulamalı olarak gösterilmiştir. Projemiz ile ilgili olarak “**Projeyi beğendiniz mi? Binalarda/yapılarda uygulanabilir mi?**” soruları sorulmuştur. Bu sorulardan H.A.1 kodlu akademisyen birinci soruya “*çok beğendiğini...*” ikinci soruya “*uygulanabilir...*” şeklinde açıklama yapmıştır. Aynı sorulardan N.B.2 kodlu akademisyen birinci soruya “*beğendiğini, yapay zekanın çok farklı alanlarda kullanıldığını ancak bu amaçla kullanılan böyle bir sistem görmediğini...*” ikinci soruya “*gayet güzel bir şekilde uygulanabileceğini*” şeklinde açıklama yapmıştır.

Projemiz ile ilgili Malatya AFAD Müdürlüğü arama kurtarma teknikerleri ile yapılan görüşmede projemiz anlatılmış, çalışma sistemi de uygulamalı olarak gösterilmiştir. Projemiz ile ilgili olarak “**Projeyi beğendiniz mi? Enkaz alanına gittiğinizde bu sistemden alınan verilerin size sağladığı faydalar olur mu?**” soruları sorulmuştur. Bu sorulardan V.D.1 kodlu tekniker birinci soruya “*çok beğendiğini...*” ikinci soruya “*sahaya gittiğimizde adresi bulunmasından, enkazın kroki çizilmesine, binada kalanların bilgisine ulaşılmasından hangi katta oturdukları bilgisine kadar bu bilgilere ulaşmak için çok zaman harcadıklarını hatta bazı zamanlarda toplayamadıklarını söyleyerek bu sistemin kendilerine çok ama çok faydası olacağı...*” şeklinde açıklama yapmıştır. Aynı sorulardan Y.H.2 kodlu tekniker birinci soruya “*beğendiğini, çok şaşırdığını ve etkilendiğini...*” ikinci soruya “*bizim işimizde kurtarma çalışmalarına geçmek çok önemlidir ve sizin sisteminiz bize çok büyük bir zaman kazancı sağlamakta...*” şeklinde açıklama yapmıştır.

## 6. REFERANCES

Bloch T., Sacks R., Rabinovitch O., (2016), Interior models of earthquake damaged buildings for search and rescue, *Advanced Engineering Informatics*, 30(1), 65-76.

Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD). *Türkiye Deprem Tehlike Haritası ve Deprem Risk Bilgileri*. Erişim adresi: <https://deprem.afad.gov.tr>

Ochoa S.F., Santo R., (2015), Human-centric wireless sensor networks to improve information availability during urban search and rescue activities, *Information Fusion*, 22, 71-84.



Article Arrival Date

Article Type

Article Published Date

14.05.2025

Research Article

20.06.2025

**PİROFİLLİT CEVHERİ (PÜTÜRGE-MALATYA) DEĞERLENDİRME VE  
ZENGİNLEŞTİRME OLANAKLARI**  
**EVALUATION AND BENEFICIATION OPPORTUNITIES OF PYROPHYLLITE  
ORE (PÜTÜRGE-MALATYA)**

**Mustafa BİRİNCİ**

Doç. Dr., İnönü Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, Cevher Hazırlama, 0000-0002-1954-7837

**Özet**

Pirofillit, hidratlı bir alüminyum silikat mineralidir ( $Al_2Si_4O_{10}(OH)_2$ ), yüksek refrakter özelliklere, kimyasal inertliğe ve düşük termal genleşmeye sahip olması nedeniyle endüstriyel olarak oldukça değerlidir. Beyaz çimento, seramik, refrakter malzemeler, plastik, boya, kauçuk ve kozmetik gibi birçok sektörde yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle seramik sektöründe, fırınlama sırasında hacimsel değişikliklerin az olması ve yüksek sıcaklık dayanımı nedeniyle kil ve feldispat yerine ikame edici olarak tercih edilmektedir. Pirofillit cevherinin değerlendirilmesi, büyük oranda saflığına, mineralojik bileşimine ve tane boyutuna bağlıdır. Ham pirofillit cevherleri genellikle kuvars, mika, klorit ve feldispat gibi diğer minerallerle birlikte bulunur. Bu safsızlıklar, pirofillitin endüstriyel kullanım değerini düşürür, bu nedenle zenginleştirme işlemleri büyük önem taşımaktadır. Pirofillitin endüstriyel uygulamalardaki artan talebi, yüksek saflıkta ve istenen özelliklerde ürün elde etmek için etkili ve ekonomik zenginleştirme tekniklerinin geliştirilmesini teşvik etmektedir. Bu teknikler arasında pirofillitin düşük sertlik ve kırılgenliğine dayalı aşındırma yıkama+sınıflandırma ile doğal hidrofob özelliğine dayalı flotasyon yöntemlerinin ön plana çıktığı görülmektedir. Pütürge (Malatya) pirofillit sahasından temin edilen nispeten düşük alümina (%20,64  $Al_2O_3$ ) ve yüksek silis (%73,41  $SiO_2$ ) içerikli cevher aşındırma yıkama+sınıflandırma ve flotasyonla zenginleştirilmiştir. Aşındırma yıkama+sınıflandırmayla zenginleştirme sonucunda %29,33  $Al_2O_3$  ve %61,85  $SiO_2$  içerikli bir ürün -75  $\mu m$  tane iriliğinde elde edilmiştir. Flotasyonla zenginleştirme sonucunda ise %27,01  $Al_2O_3$  ve %65,56  $SiO_2$  içerikli bir pirofillit konsantresi -150  $\mu m$  tane iriliğinde elde edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Pirofillit, aşındırma yıkama+sınıflandırma+flotasyon

**Abstract**

Pyrophyllite, a hydrated aluminum silicate mineral ( $Al_2Si_4O_{10}(OH)_2$ ) is industrially valuable due to its high refractoriness, chemical inertness, and low thermal expansion. It finds widespread use in various industries such as white cement, ceramics, refractories, plastics, paints, rubber, and cosmetics. Particularly in the ceramics industry, it is favored as a substitute for clay and feldspar due to its minimal volumetric changes during firing and high-temperature resistance. The commercial viability of pyrophyllite ore is largely contingent upon its purity,

mineralogical composition, and particle size. Raw pyrophyllite ores frequently occur in association with other minerals, including quartz, mica, chlorite, and feldspar. These impurities invariably diminish the industrial utility of pyrophyllite, thereby underscoring the critical importance of beneficiation processes. The escalating demand for pyrophyllite in industrial applications necessitates the development of effective and economic beneficiation techniques to yield high-purity products with desired characteristics. Among these techniques, attrition scrubbing combined with classification, leveraging pyrophyllite's low hardness and brittleness, and flotation, exploiting its natural hydrophobic properties, have emerged as prominent methods. In this study, a pyrophyllite ore characterized by a relatively low alumina content (20.64%  $Al_2O_3$ ) and high silica content (73.41%  $SiO_2$ ), obtained from the Pütürge (Malatya) pyrophyllite deposit, was subjected to beneficiation through attrition scrubbing+sieving and flotation. The beneficiation result from attrition scrubbing+sieving yielded a product with 29.33%  $Al_2O_3$  and 61.85%  $SiO_2$  at a particle size of -75  $\mu m$ . Also, flotation beneficiation resulted in a pyrophyllite concentrate containing 27.01%  $Al_2O_3$  and 65.56%  $SiO_2$  with a particle size of -150  $\mu m$ .

**Keywords:** Pyrophyllite, attrition scrubbing+sieving, flotation

## 1. GİRİŞ

Pirofillit ( $Al_2Si_4O_{10}(OH)_2$ ), endüstriyel mineralojide önemli bir yer tutan, hidratlı bir alüminyum silikat mineralidir. Sahip olduğu benzersiz fiziko-kimyasal özellikler sayesinde, geniş bir endüstriyel uygulama yelpazesinde kendine yer bulmuştur. Bu özellikler arasında yüksek refrakterlik, kimyasal inertlik, düşük termal genleşme ve mekanik dayanıklılık öne çıkmaktadır (Güven, 1988; Harben & Bates, 1990). Pirofillit, özellikle beyaz çimento, seramik, refrakter malzemeler, boyalar, plastikler, kauçuk, kozmetik ve beyaz çimento gibi sektörlerde kritik bir hammadde olarak değerlendirilmektedir (Clarke, 1999).

Seramik sanayisinde, pirofillit, fırınlama esnasında gösterdiği minimal hacimsel değişimler ve yüksek sıcaklık dayanımı nedeniyle kil ve feldispat gibi geleneksel hammaddelere değerli bir alternatif sunmaktadır. Bu özelliği, nihai ürünlerin boyutsal stabilitesini artırarak kalite kontrolünü kolaylaştırmaktadır (Murray, 2002). Bununla birlikte, pirofillit cevherleri nadiren saf halde bulunur; genellikle kuvars, mika, klorit ve feldispat gibi gang mineralleriyle birlikte bulunmaktadır. Bu safsızlıklar, cevherin endüstriyel kullanım değerini düşürmekte ve nihai ürün kalitesini olumsuz etkilemektedir. Dolayısıyla, ticari olarak kabul edilebilir kalitede pirofillit konsantreleri elde etmek için etkili zenginleştirme tekniklerinin uygulanması neredeyse zorunlu hale gelmiştir (Wills & Napier-Munn, 2005).

Spesifik uygulamalara yönelik artan talepler, yüksek saflıkta ve belirli özelliklere sahip pirofillit ürünlerinin üretimine yönelik araştırmaları teşvik etmektedir. Bu bağlamda, pirofillitin düşük sertliği ve kırılabilirliğine dayalı aşındırıcı yıkama ve boyut sınıflandırma yöntemleri ile mineralin doğal hidrofobik özelliklerinden yararlanan flotasyon teknikleri, zenginleştirme süreçlerinde öncü rol oynamaktadır (Kelly & Spottiswood, 1982).

Bu çalışma, Türkiye'nin önemli pirofillit yataklarından biri olan Pütürge (Malatya) bölgesinden temin edilen nispeten düşük alümina ve yüksek silis içeriğine sahip bir pirofillit cevherinin değerlendirilmesi ve çeşitli zenginleştirme yöntemlerinin performansının incelenmesini amaçlamaktadır. Elde edilen bulgular, pirofillitin endüstriyel potansiyelini maksimize etmek ve sürdürülebilir üretim stratejileri geliştirmek adına önemli katkılar sunması hedeflenmektedir.

### 1.1. Kuramsal Çerçeve

Pirofillitin kendine özgü fiziksel ve kimyasal özellikleri, onu çeşitli endüstriyel uygulamalar

için değerli bir hammadde yapmaktadır:

- Yüksek Pişme Sıcaklığı ve Termal Stabilité: Pirofillit, yüksek sıcaklıklara dayanıklıdır ve 1400-1450°C civarında mullitleşme reaksiyonları gösterir. Bu özelliği sayesinde refrakter sanayinde tercih edilir.
- Düşük Isıl Genleşme Katsayısı: Isıl şoklara karşı direnci artırır, bu da seramik ve refrakter ürünlerde çatlama riskini azaltır.
- Yüksek Dielektrik Sabiti ve Düşük Elektriksel İletkenlik: Elektrik izolatörleri gibi elektroseramik uygulamalarında kullanımını faydalı kılar.
- Düşük Rutubetle Karışım Yapabilme: Çatlama riskini azaltır ve daha az suyla hazırlanan karışımlara olanak tanır.
- Beyaz Pişme Rengi: Seramik ve beyaz çimento gibi ürünlerde estetik açıdan önemli bir avantaj sağlar.
- Kimyasal Etkilere Karşı Direnç: Korozyon direnci yüksek olan ürünlerin üretiminde katkı maddesi olarak kullanılabilir.
- Düşük Sertlik: Hammadde hazırlama süreçlerinde enerji ve zaman tasarrufu sağlar. Gerekli olduğunda alt-başlıklar kullanabilirsiniz.

Pirofillit cevherinin değeri, saflığına, mineralojik bileşimine ve tane boyutuna göre belirlenir. Ham pirofillit genellikle kuvars, mika, klorit ve feldispat gibi diğer minerallerle karışık halde bulunur. Bu safsızlıklar, pirofillitin endüstriyel kullanım değerini düşürdüğünden, zenginleştirme işlemleri büyük önem taşır.

Pirofillit cevheri içerisindeki gang minerallerini uzaklaştırarak pirofillit konsantresi elde etmek için çeşitli zenginleştirme yöntemleri uygulanır. Bu yöntemlerin amacı, cevherin saflığını artırmak, istenmeyen mineralleri (özellikle demir, titanyum ve serisit gibi) uzaklaştırmak ve nihai ürünün kalitesini yükseltmektir. Başlıca zenginleştirme yöntemleri aşağıda özetlenmiştir (Erdemoğlu, 2013).

#### a) Mekanik Zenginleştirme Yöntemleri

Kırma ve Öğütme: Cevherin tane boyutunu düşürerek minerallerin birbirinden ayrılmasını (serbestleşmesini) sağlamaktadır. İdeal tane boyutu, sonraki zenginleştirme adımlarının verimliliği için kritik öneme sahiptir.

Sınıflandırma: Tane boyutuna göre ayırma işlemidir. Yaş veya kuru sınıflandırma yöntemleri kullanılabilir. Özellikle ince boyuttaki pirofillitin ayrılması önemlidir.

Aşındırılmalı Yıkama (Attrition Scrubber): Aşındırılmalı yıkama, cevher taneciklerinin yüksek yoğunluklu bir bulamaç halinde yüksek hızda karıştırılması prensibine dayanır. Bu karıştırma, taneciklerin birbirine ve karıştırıcının pervanelerine sürtünmesine neden olarak, mineral yüzeylerindeki kil, ince taneli demir oksitler ve diğer yapışık safsızlıkları fiziksel olarak temizler. Temizlenen safsızlıklar, genellikle bulamaçtan deslime (ince taneli malzemelerin uzaklaştırılması) işlemiyle ayrılır. Bu yöntem, cevherdeki killeri ve ince taneli safsızlıkları, mineral yüzeylerinden sürtünme ve çarpışma yoluyla uzaklaştırmada etkilidir. Pirofillitin düşük sertliği ve diğer mineraller arasındaki kırılabilirlik farklılıklarından faydalanılmaktadır.

#### b) Fiziksel Zenginleştirme Yöntemleri

Gravimetrik Ayırma Esaslı Zenginleştirme: Bu yöntem mineraller arasındaki yoğunluk farkına dayanmaktadır. Pirofillit (özgül ağırlığı 2,8-2,9) ile gang mineralleri arasındaki yoğunluk farkı kullanılarak ayırım yapılabilmektedir. Ancak pirofillitin yoğunluğu birçok silikat mineraline

yakın olduğu için tek başına gravimetrik ayırma yeterli olmayabilir.

**Manyetik Ayırma:** Pirofillit genellikle diamanyetik bir mineraldir. Ancak, manyetik gang mineralleri (pirit, manyetit, hematit gibi demir mineralleri) içeriyorsa, manyetik ayırma yöntemleri (özellikle yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırma) demir safsızlıklarını uzaklaştırmak için oldukça etkilidir. Bu yöntem, beyazlık ve saflık gerektiren uygulamalar için önemlidir.

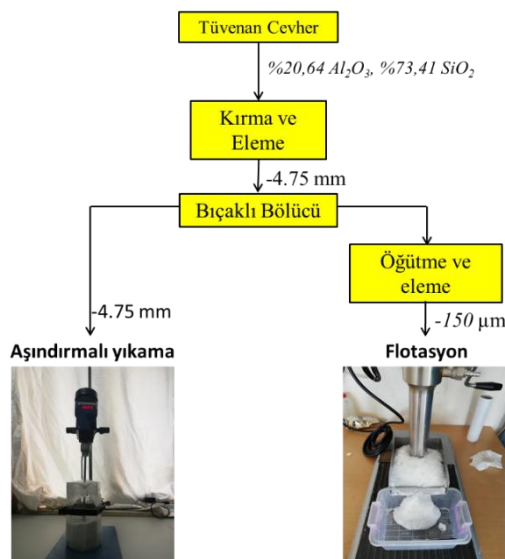
**Flotasyon:** Flotasyon (yüzdürme), pirofillitin doğal hidrofobik yüzey özelliklerinden faydalanılarak uygulanan etkili bir zenginleştirme yöntemidir. Bu yöntem, pirofilliti gang minerallerinden ayırmak ve yüksek tenörlü bir konsantre elde etmek amacıyla kullanılmaktadır. Flotasyon ile pirofillit tanecikleri hava kabarcıklarına yapışarak yüzeye çıkarılırken, hidrofilik gang mineralleri (kuvars, demir ve kil mineralleri vb.) dibe pülpte kalır. Tane boyutu, pH, toplayıcı tipi ve miktarı, köpürtücü tipi ve miktarı, karıştırma hızı gibi parametreler flotasyon verimliliğini etkiler.

### c) Kimyasal Zenginleştirme Yöntemleri

**Asit Liçi:** Bazı durumlarda, özellikle çok yüksek saflıkta pirofillit elde etmek gerektiğinde asit liçi gibi kimyasal işlemler uygulanabilir. Bu yöntemler, demir ve diğer kromoforik (renk veren) elementlerin uzaklaştırılmasında etkili olabilir. Bazı durumlarda ise, cevherdeki safsızlıkları (özellikle demir ve alüminyum dışı diğer elementler) uzaklaştırmak için asit liçi uygulanabilir. Bu yöntem, pirofillitin içindeki alüminyumun (Al) kazanılması veya konsantrenin saflığının artırılması amacıyla kullanılabilir. Konsantre numunelerin asidik çözeltilerle (örneğin HCl) liç edilmesiyle, çözeltiliye geçen Al miktarları değerlendirilerek verim belirlenir. Bu işlem, genellikle zenginleştirme sonrası elde edilen konsantreye uygulanır.

## 2. YÖNTEM

Zenginleştirme deneylerinde kullanılan cevher numunesi Pütürge (Malatya) yöresinde pirofillit üretimi yapılan maden sahasından temin edilmiştir. El büyüklüğündeki cevher örnekleri iki kademe kırma işlemi ile 4,75 mm altına kırılmıştır. Kırılmış cevher daha sonra bıçaklı numune bölücü yardımıyla iki parçaya bölünmüştür. Birinci parça aşındırma yıkama işlemine tabi tutulurken ikinci parça flotasyon öncesi 150 µm altına öğütülmüştür (Şekil 1).



Şekil 1. Numune hazırlama ve deneysel çalışma akış şeması.

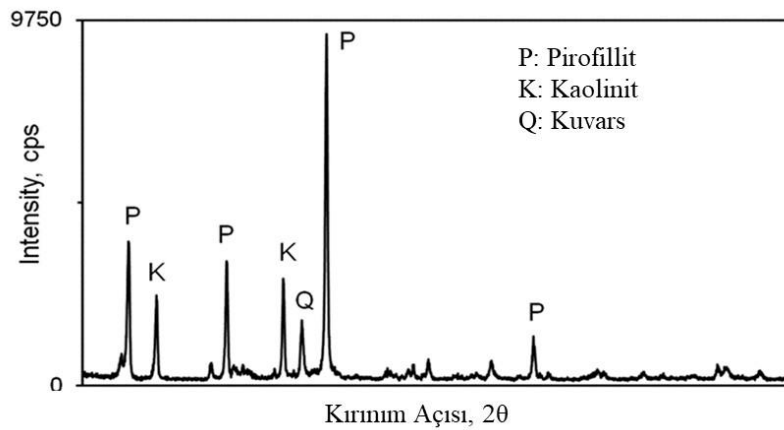
### 3. BULGULAR

#### 3.1. Aşındırmalı Yıkama+Yaş Elek Analizi Deney Sonuçları

4,75 mm altına kırılmış olan pirofillit cevherinin aşındırmalı yıkama hücresinde karıştırma, dağıtma ve yıkama işlemleri sonrası sınıflandırılmasıyla elde edilen sonuçlar Tablo 1’de verilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, ince tane boylarına inildiğinde elek fraksiyonlarının Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörünün giderek artmakta olduğu görülmektedir. En yüksek alümina tenörüne (%29,33 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) en ince tane boyutunda (-0,075 mm) ulaşılmıştır. Alümina içeriğinin tersi olarak silis içeriği ise ince tane boylarında azalmaktadır. En düşük silis içeriği (%61,85 SiO<sub>2</sub>) yine en -0,075 mm boyutundaki en ince tane boyutundaki üründe bulunmaktadır. Aşındırmalı yıkama ile elde edilen en yüksek alümina-en düşük silis içerikli ürünün (0,075 mm altı malzeme) XRD grafiği çekilmiş ve elde edilen kırınım deseni Şekil 2’de verilmiştir. Özellikle pirofillit ve kaolinit mineraline ait tipik piklerin çok daha belirgin olduğu ve pik şiddetlerinde de önemli artış olduğu görülmektedir.

**Tablo 1.** Aşındırmalı yıkama+yaş elek analizi işlemi deney sonuçları (Birinci & Erdemoğlu, 2016).

Tane Boyu (mm)	Fraksiyonel			Toplam Elek Altı		
	%Ağırlık	%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%SiO <sub>2</sub>	%Ağırlık	%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%SiO <sub>2</sub>
-4,750+2,360	39,73	17,30	77,92	100,00	20,70	73,17
-2,360+1,180	13,50	17,25	77,59	60,27	22,94	70,04
-1,180+0,600	7,09	17,19	77,48	46,77	24,58	67,86
-0,600+0,300	5,91	17,33	77,21	39,68	25,90	66,14
-0,300+0,150	3,05	17,98	76,08	33,77	27,40	64,21
-0,150+0,075	3,34	20,22	72,69	30,72	28,34	63,03
-0,075	27,38	29,33	61,85	27,38	29,33	61,85
Toplam	100,00	20,70	73,17			



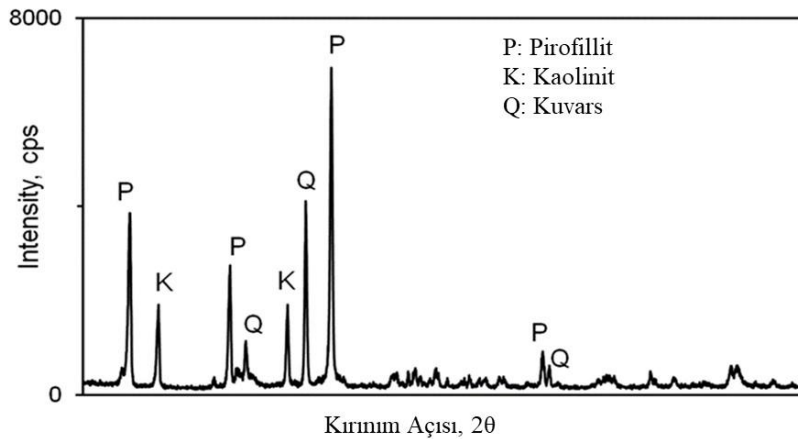
**Şekil 2.** En ince ürüne ait (-0,075 mm) XRD deseni.

### 3.2. Flotasyon Deneyi Sonuçları

-150 µm tane boyutuna öğütülmüş pirofillit cevherinin yalnızca köpürtücü kimyasal (MIBC) varlığında ve doğal pH koşullarında flote edilmesiyle elde edilen sonuçlar Tablo 2’de verilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, konsantre olarak nitelendirilen yüzen ürünlerin alümina içeriğinin atıklarından yüksek olduğu görülmektedir. En yüksek alümina tenörüne (%27,01 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) en düşük köpürtücü konsantrasyonunda (100 g/t) ulaşılmıştır. Alümina içeriğinin tersi olarak silis içeriği ise flotasyon atıklarında daha yüksek bulunmaktadır. En yüksek alümina içerikli Konsantre-1’de pirofillit ve kaolinit piklerinin belirginleştiği görülmektedir (Şekil 3).

**Tablo 2.** Yalnızca köpürtücü varlığında flotasyon deney sonuçları (Birinci & Erdemoğlu, 2016).

Köpürtücü (MIBC) Miktarı (g/t)	Ürünler	%Ağırlık	Tenör		Kızdırma Kaybı, %
			%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%SiO <sub>2</sub>	
100	Konsantre-1	25,00	27,01	65,56	5,8
	Atık-1	75,00	18,51	76,02	
200	Konsantre-11	27,06	26,35	65,90	6,1
	Atık-11	72,94	18,52	76,20	
400	Konsantre-111	31,09	26,25	66,34	5,7
	Atık-111	68,91	18,11	76,60	
	Besleme	100,00	20,64	73,41	3,9



**Şekil 3.** Flotasyon işlemi sonrası elde edilen Konsantre-111 için XRD deseni.

### 4. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Pirofillit cevherinin aşındırmalı yıkama ile zenginleştirilmesiyle elde edilen bulgular, bu yöntemin cevher kalitesini artırmada ve gang minerallerini ayırmada etkili bir işlem olduğunu göstermiştir. Aynı zamanda bu bulgular, pirofillit cevherinin işlenmesinde aşındırmalı yıkamanın potansiyelini ortaya koymakta ve bu değerli mineralin daha geniş endüstriyel alanlarda kullanımına katkıda bulunmaktadır. Genel olarak, aşındırmalı yıkama, pirofillit

cevherinin endüstriyel kullanıma uygun hale getirilmesinde maliyet-etkin ve verimli bir ön zenginleştirme adımı olarak değerlendirilmektedir. Ancak nihai ürünün kullanım alanına ve istenen saflık derecesine bağlı olarak flotasyon veya manyetik ayırma gibi diğer zenginleştirme yöntemleriyle müşterek kullanılması gerekebilir.

Flotasyonla zenginleştirme sonrasında konsantrenin  $Al_2O_3$  içeriğinin arttığı ve  $SiO_2$  içeriğinin ise azaldığı gözlemlenmiştir. Bu, pirofillitin (ana bileşeni  $Al_2O_3$ ) gang minerallerinden (özellikle kuvars -  $SiO_2$ ) başarılı bir şekilde ayrıldığını göstermektedir. Özellikle demir ( $Fe_2O_3$ ) ve titanyum ( $TiO_2$ ) gibi renk verici safsızlıkların azaltılması, beyaz çimento ve seramik gibi yüksek saflık gerektiren uygulamalar için flotasyonu kritik bir yöntem haline getirmektedir.

Türkiye'deki pirofillit üretimi, yalnızca Malatya-Pütürge bölgesinde bulunan kaliteli rezervler sayesinde oldukça güçlü bir yapıya sahiptir. Tüketicinin büyük kısmı beyaz çimento sektörüne yönelirken, seramik, refrakter ve boya gibi diğer sektörlerde de kullanımı az da olsa devam etmektedir. Türkiye, pirofillit rezervleri açısından Avrupa'da önemli bir konuma sahip olmasına rağmen, madencilik sektöründe pirofillitin ürün çeşitliliği ve pazar payı açısından henüz tam potansiyeline ulaşamadığı bilinmektedir. Bu konuyla ilgili olarak sürdürülmekte olan bilimsel çalışmalar, Türkiye'deki pirofillit yataklarının daha etkin zenginleştirme ve değerlendirme yöntemleriyle katma değeri yüksek ürünlere dönüştürülmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Özellikle yüksek teknoloji gerektiren seramik ve refrakter ürünlerde pirofillit kullanımının artırılması, hem yerel üretimi destekleyecek hem de ithalat bağımlılığını azaltacaktır.

Pirofillit, özellikle yüksek sıcaklık dayanımı, düşük ısıl genleşme, kimyasal inertlik ve beyazlık gibi özellikleri sayesinde modern endüstrinin birçok kritik alanında vazgeçilmez bir hammadde haline gelmiştir. Türkiye gibi önemli pirofillit rezervlerine sahip ülkeler için bu mineralin doğru zenginleştirme ve değerlendirme yöntemleriyle katma değeri yüksek ürünlere dönüştürülmesi büyük ekonomik önem taşımaktadır. Ayrıca, pirofillitin endüstriyel uygulamalardaki artan talebi, yüksek saflıkta ve spesifik özelliklere sahip ürünlerin üretimi için etkin ve ekonomik zenginleştirme tekniklerinin geliştirilmesine yönelik araştırmaları teşvik etmektedir.

## 5. KAYNAKLAR

**Birinci M., & Erdemoğlu M.** (2016). Enrichment Of Pütürge Malatya Turkey Low Grade Pyrophyllite Ore By Attrition Scrubbing And Flotation. *15th International Mineral Processing Symposium(IMPS 2016)*, 455-466.

**Clarke, G.M.** (1999). *Industrial Minerals*. British Geological Survey.

**Erdemoğlu, M.** (2023). *Pirofillit, Endüstriyel Mineraller El Kitabı* (Editörler: Prof. Dr. A.Ekrem Yüce, Prof. Dr. Güven Önal, Prof. Dr. M. Olgaç Kangal, Dündar Ergunalp), İstanbul Maden İhracatçıları Birliği Yayını, İstanbul.

**Güven, N.** (1988). Smectites. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 19(1), 497-559.

**Harben, P.W., & Bates, R.L.** (1990). *Industrial Minerals: Geology and World Deposits*. Industrial Minerals Division, Metal Bulletin plc.

**Kelly, J.D., & Spottiswood, D.J.** (1982). *Introduction to Mineral Processing*. John Wiley & Sons.

**Murray, H.H.** (2002). Industrial clays: their genesis and applications. *Applied Clay Science*, 19(5-6), 7-20.

**Wills, B.A., & Napier-Munn, T.J.** (2005). *Wills' Mineral Processing Technology: An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral Recovery*. Elsevier.

Article Arrival Date

Article Type

Article Published Date

20.05.2025

Research Article

20.06.2025

**DELME PATLATMA YÖNTEMİNİN BİNA YIKIMINDA UYGULANABİLİRLİĞİ;  
MADEN MÜHENDİSLİĞİ TEKNİKLERİNİN İNŞAAT SEKTÖRÜNE  
ENTEGRASYONU**APPLICABILITY OF DRILLING AND BLASTING METHOD IN BUILDING  
DEMOLITION; INTEGRATION OF MINING ENGINEERING TECHNIQUES INTO THE  
CONSTRUCTION SECTOR**Engin ÖZDEMİR<sup>1</sup>**<sup>1</sup>Doç. Dr., İnönü Üniversitesi, Malatya MYO, [0000-0002-6043-0403](tel:0000-0002-6043-0403)**Özet**

Yapıların ekonomik ömrünü tamamlaması, doğal afetler veya kentsel dönüşüm gibi nedenlerle yıkılması gerekebilir. Bu sürecin güvenli ve çevreye duyarlı biçimde gerçekleştirilmesi, hem insan sağlığı hem de çevresel sürdürülebilirlik açısından büyük önem taşır. Bu çalışmada, özellikle büyük ve karmaşık yapıların yıkımında kullanılan kontrollü patlatma yöntemi ele alınmıştır. Kontrollü patlatma, yapının taşıyıcı elemanlarına stratejik olarak yerleştirilen patlayıcılarla yapının kontrollü şekilde çökertilmesini sağlar. Patlayıcı seçimi, delik tasarımı, şarj miktarı ve ateşleme sırası gibi parametrelerin doğru belirlenmesi yıkımın başarısı için kritik öneme sahiptir. Çalışmada ayrıca bu yöntemle yıkım sırasında oluşabilecek taş savrulması, hava şoku (gürültü), yer titreşimi ve toz gibi çevresel etkiler de değerlendirilmiştir. 6 Şubat 2023 tarihinde Kahramanmaraş merkezli meydana gelen yıkıcı depremler sonrasında ağır hasar gören yapılar için bu tür yıkım tekniklerinin önemi daha da artmıştır. Bu kapsamda, çalışmada patlayıcıyla yıkım sürecinin planlamasından uygulanmasına kadar olan adımlar ve dikkat edilmesi gereken hususlar detaylı şekilde ele alınmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Kontrollü patlatma, Yapı yıkımı, Patlayıcı ile yıkım, Çevresel etkiler**Abstract**

Buildings may need to be demolished due to reasons such as completing their economic lifespan, natural disasters, or urban renewal projects. Ensuring that demolition is carried out safely and in an environmentally responsible manner is crucial for both public health and sustainable development. This study focuses on the **controlled demolition using explosives**, a technique commonly employed in demolishing large and complex structures. The method involves strategically placing explosives on the structural elements of the building to induce a controlled collapse. Proper selection of explosives, borehole design, charge amount, and detonation sequence are essential parameters for the success of this method. The study also examines potential **environmental impacts** during demolition, including **projectile debris, air blast (noise), ground vibration, and dust emissions**. The devastating earthquakes centered in Kahramanmaraş on February 6, 2023, have emphasized the need for safe demolition methods, particularly for heavily damaged structures. In this context, the study outlines the planning and execution steps of explosive demolition and discusses critical safety and environmental considerations.



**Keywords:** Controlled blasting, Building demolition, Explosive demolition, Environmental impacts

## 1. GİRİŞ

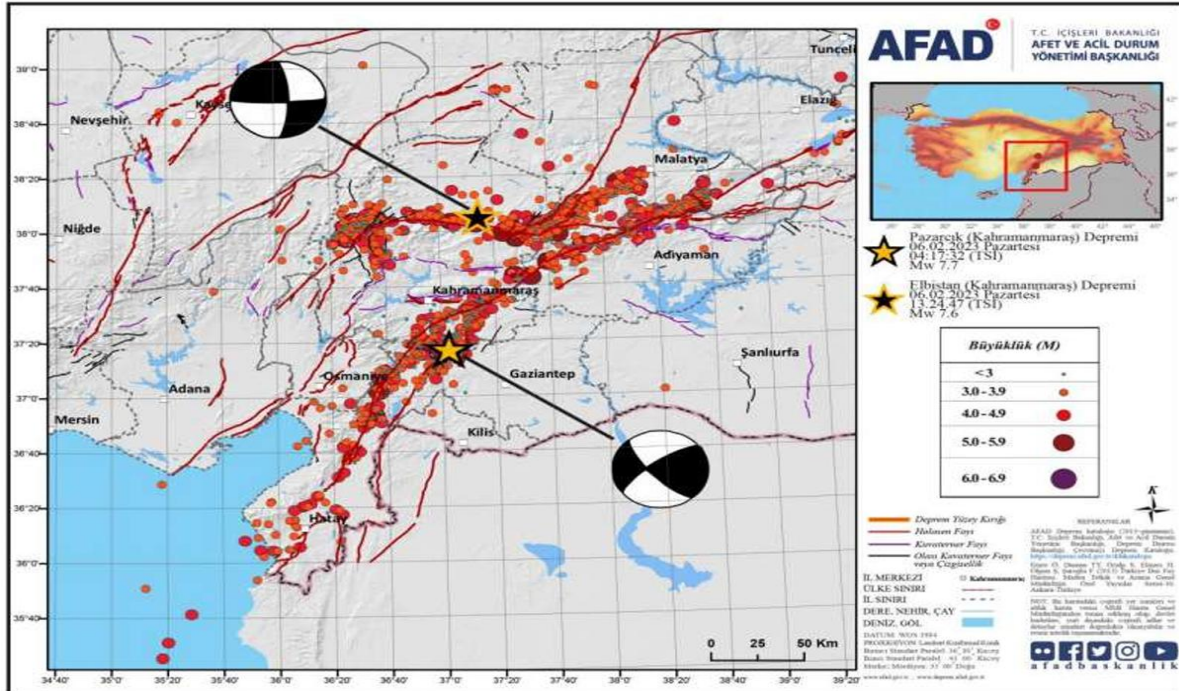
Yapılar, tasarlandıkları hizmet ömrü boyunca çeşitli çevresel, mekanik ve kullanım kaynaklı etkilere maruz kalır. Zamanla, bu etkiler yapıların taşıyıcı sistemlerinde geri döndürülemez hasarlara neden olabilir. Ayrıca, kentsel dönüşüm, yeniden yapılandırma, afet riski veya ekonomik gerekçelerle bazı yapıların kaldırılması gerekebilir. Bu gibi durumlarda, yapıların kontrolsüz ve rastgele bir şekilde yıkılması, hem çevresel hem de insani açıdan büyük tehlikeler doğurabilir. Özellikle kentleşmenin hız kazandığı son yıllarda, hizmet ömrünü tamamlamış veya kullanım dışı bırakılmış yapıların güvenli bir şekilde ortadan kaldırılmasına yönelik ihtiyaç artmıştır. Bu bağlamda kontrollü yıkım yöntemleri, hem insan hem de çevre güvenliğinin sağlanması açısından büyük önem taşır (Murray, 2016; Knaack & Kurama, 2018).

Bina yıkımı, çeşitli yöntemler kullanılarak gerçekleştirilebilir. Hangi yöntemin kullanılacağı, binanın türü, boyutu, çevresel faktörler ve güvenlik önlemleri gibi birçok faktöre bağlı olarak belirlenir. Yaygın olarak kullanılan birçok bina yıkım teknikleri mevcuttur. Manuel yıkım adlandırılan yöntemde, bina elle veya mekanik aletler yardımıyla yıkılır. Duvarlar, döşemeler ve diğer yapı elemanları kademeli olarak çıkarılır. Bu yöntem daha küçük binalar için ve çevresel faktörler nedeniyle patlatma kullanılmayan durumlar için tercih edilir. Bina elemanları, kesme makineleri ve delme makineleri gibi özel aletlerle kesilir veya delinir. Bu yöntem, çevresel etkilere duyarlı alanlarda veya yakındaki yapıların korunması gerektiğinde tercih edilir. Hidrolik Yıkım ise Hidrolik kırıcılar veya kesiciler kullanarak bina elemanları parçalanır. Bu yöntem hızlı ve etkili bir şekilde yıkım sağlar. Toprak Kaldırma ve Yıkma yönteminde ise, bina zeminin altına gömülür ve üst kısmı toprakla doldurulur. Bu yöntem özellikle çevresel etkileri en aza indirmek için kullanılır. Patlatma (Kontrollü Patlatma) yöntemi ise büyük ve yüksek binaların yıkımında kullanılan bir yöntemdir. Uzmanlar tarafından yapılan patlatma, bina elemanlarının stratejik olarak yerleştirilen patlayıcılarla tahrip edilmesini içerir. Bu yöntem yüksek düzeyde uzmanlık ve güvenlik gerektirir. Patlatma Sonrası Temizlik: Patlatma sonucu oluşan enkazın temizlenmesi de yıkım sürecinin önemli bir parçasıdır. Bu aşamada enkazın taşınması, ayrıştırılması ve uygun şekilde bertaraf edilmesi gerekmektedir. Bina yıkımı süreci, bina türü, yıkım amacı, çevresel etkiler, güvenlik önlemleri ve yerel yasal gereksinimlere bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Bu nedenle, profesyonel inşaat mühendisleri, yıkım uzmanları ve yerel yetkililerle iletişime geçmek önemlidir. Her durumda güvenlik, çevresel faktörler ve diğer potansiyel riskler göz önünde bulundurulmalıdır. Patlayıcılarla yapıların yıkımı, büyük ve karmaşık binaların hızlı ve etkili bir şekilde yıkılmasını sağlamak amacıyla kullanılan bir yöntemdir. Bu süreç "kontrollü patlatma" olarak da adlandırılır, çünkü uzmanlar tarafından detaylı planlama ve hesaplamalar yapılarak gerçekleştirilir (Rathi & Khandve, 2014; Blengini, 2009; Thomsen vd., 2011).

Ancak, patlatma tekniklerinin kullanılması her zaman uygun olmayabilir. Yapı yıkımı için en iyi yöntemi belirlerken çeşitli faktörleri göz önünde bulundurmak gereklidir, örneğin çevresel etkiler, komşu binalar, güvenlik ve maliyet gibi faktörler. Bu nedenle, her yıkım projesi için özelleştirilmiş bir yaklaşım benimsemek önemlidir. Patlatma ile yıkım metodu, büyük ve karmaşık yapıların hızlı ve etkili bir şekilde yıkılmasını sağlamak amacıyla kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem, binanın strüktürel zayıf noktalarına patlayıcıları yerleştirerek, binanın kontrollü bir şekilde çökmesini sağlar. Alt katlarda mevcut olan taşıyıcı elemanların patlayıcı kullanılarak parçalanması ile geri kalan taşıyıcı elemanların artan basınç ve/veya moment yükü karşısında yenilmesi sonucu yapının yıkılmaya ile başarıya ulaşan bir tekniktir (Bhandari, 2013; Bhuvaneswari, 2017; ,Bhatt, 2021). Ekonomik büyümenin yüksek olduğu dönemlerde çök

sayıda binanın yapıldığı şehirlerde eski veya oturulamaz binaların yıkılması talebi artmıştır. Binalar yükseldikçe, vinçler gibi ağır makinelerin kullanıldığı geleneksel teknikler inşaat süresinin uzamasına ve maliyetlerin artmasına neden olur. Kontrollü patlayıcılar, kullanan yıkım teknikleri ABD, Avrupa ve Çin'de bu endişeleri gidermek için sıklıkla uygulanmaktadır. Bu yöntem, insanların tehlikeli yerlerde çalışmasını gerektirmez ve inşaat süresi ve maliyeti de dahil olmak üzere birçok açıdan geleneksel tekniklere göre avantajlara sahiptir (Yarimer & Lapa, 1994; Williams, 1990). Ancak yıkım planları, bazı satıcıların biriktirdiği üst düzey bilgi ve deneyime dayalı olarak oluşturulur ve genel bir standart oluşturulmamıştır. Ayrıca, bu, geride kalan son derece dengesiz kalıntılar veya komşu binalara zarar vererek tamamlanmamış yıkım riski taşır. Belirli bir bilgiden bağımsız olarak, mekanik bir standarda dayalı olarak kaldırılacak kolonları belirlemek için bir patlayıcı yıkım planlama şeması oluşturmak, sürdürülebilir bir toplumu sürdürmek için faydalı olmaktadır. Patlayıcı yıkım yönteminin başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için yıkım planının doğru hazırlanması ve yapısal davranışın incelenmesi çok önemlidir ve bu alanda çeşitli çalışmalar mevcuttur (Özdemir, 2023).

Patlayıcıların seçimi, kullanımı ve yerleştirilmesi oldukça karmaşık ve uzmanlık gerektiren bir süreçtir. Bina yapısı, çevresel etkiler, güvenlik ve diğer faktörler göz önünde bulundurularak, deneyimli yıkım mühendisleri tarafından doğru patlayıcı türleri seçilmeli ve işlem planlanmalıdır. Patlatma işlemi, çevresel düzenlemelere ve güvenlik standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmelidir. 06.02.2023 günü, Türkiye saati ile 04:17'de ve 13:24'de merkez üssü Pazarcık (Kahramanmaraş) ve Elbistan (Kahramanmaraş) olan Mw 7.7 ve Mw 7.6 büyüklüğünde iki deprem meydana gelmiştir. 7.7 büyüklüğündeki deprem yerin 8.6 km derinliğinde meydana gelirken 7.6 büyüklüğündeki deprem yerin 7 km derinliğinde meydana gelmiştir. Mw 7.7 büyüklüğündeki Pazarcık depremi, sol yanal doğrultu atımlı Ölü Deniz Fay Zonunun kuzey ucundaki Narlı Segmentine rastlarken, Mw 7.6 büyüklüğündeki Elbistan depremi ise Doğu Anadolu Fayından ayrılan bir kol olan Çardak Fayına rastlamaktadır (AFAD, 2023). 06.02.2023 Pazarcık (Kahramanmaraş) Mw 7.7 ve Elbistan (Kahramanmaraş) Mw 7.6 depremleri ve artçı şok aktivitesine ait yer bulduru haritası Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. 06.02.2023 Pazarcık (Kahramanmaraş) Mw 7.7 ve Elbistan (Kahramanmaraş) Mw 7.6 depremleri ve artçı şok aktivitesi (AFAD, 2023)

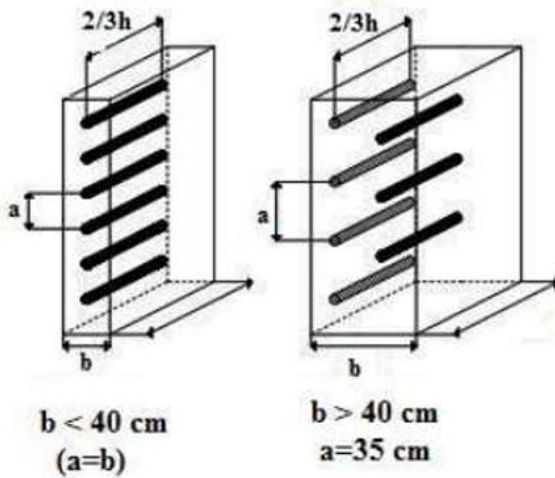
## 2. YÖNTEM

Kontrollü patlatma ile yıkım tekniği, büyük ve karmaşık yapıların güvenli ve etkili bir şekilde yıkılmasını sağlayan bir yöntemdir. Bu yöntemde yapı, stratejik olarak yerleştirilen patlayıcılarla tahrip edilerek, kontrol altında çöker. Patlatma tekniğindeki amaç, yapı elemanlarına harici etkiler uygulayarak yapı elemanlarının çatlamasına ve sonrasında kırılmasına yol açmaktır. Böylece yapı elemanlarında kesit kaybı oluşturacak etkileri meydana getirmektedir. Daha anlaşılabilir olması için patlatma yerine çatlatma tabirini de kullanabiliriz. Patlayıcı madde kullanımında olduğu gibi, yapı taşıyıcı elemanlarının delinerek, içlerine genleşme sağlayacak gaz ya da genleşme sağlamaya uygun mekanik cihazların konularak, yapı elemanlarının parçalara ayrılması esasına dayanan bir tekniktir. Saha koşullarından dolayı patlayıcı maddelerin kullanılmayacağı durumlarda bu tekniğe başvurulabilir. Bu bölümdeki yöntemler; genleşen gaz patlaması, hidrolik patlama ve genleşen yıkıcı maddeler olmak üzere üçe ayrılmaktadır.

Patlatma ile yıkım metodu, alt katlarda mevcut olan taşıyıcı elemanların patlayıcı kullanılarak parçalanması ve bunun sonrasında, geri kalan taşıyıcı elemanların tesir altında kaldıkları eksenel ve/veya moment yükü altında dayanamayıp deformasyona uğramasıyla yapının çökmeye başlaması prensibine dayanır. Patlatma dizaynı yapılırken dikkat edilmesi gereken diğer iki unsur; şarj miktarı ve ateşleme sırasıdır. Yanlış belirlenmiş şarj miktarı ve ateşleme sırası, yıkımın istenilen şekilde gerçekleştirilemeyeceği gibi maliyeti arttırabilir veya tehlikeli sonuçlar doğurabilir. Kullanılacak patlayıcı miktarını minimuma indirmek için, kapı ve pencere boşlukları gibi açıklıklardan faydalanmak gerekir (Özdemir & Dolmaz, 2024). Kolon ve kirişlerin kontrollü patlatmalarla yıkılmasında ana hedef, ana taşıyıcı elemanların ortadan kaldırılmasıyla binanın çökmeye geçmesidir. Bunun için izlenecek adımları şöyle sıralanabilir;

1. Patlayıcı delikleri kolonun geniş kenarına paralel olarak açılmasına dikkat edilir.
2. Delik parametreleri seçimi binanın yıkım yönüne ve çevresel faktörleri dikkate alınarak yapılır.
3. Kolonların patlatılmasında kullanılan delik özellikleri, patlayıcı miktarları kolondaki beton ve donatı özelliklerine bağlı olarak değişiklik gösterdiği göz önüne alınmalıdır.

Kolonlarda genel olarak uygulanan patlatma tasarımı Şekil 2’de gösterilmiştir (Jimeno ve diğ., 1995)



Şekil 2. Kolonlar için patlatma tasarımı (Özer ve Karadoğan, 2012)

Patlayıcı kullanılarak yapı yıkımında en önemli parametre delik boyudur. Dolayısıyla, yanlış derinlikte yerleştirilmiş bir patlayıcı her ne kadar hasara yol açsa da, bu hasarın yeterli olup olmadığı belirsizdir. Bu tip durumlarda hem amaçlanan yıkım gerçekleşmeyebilir hem de yapı ayakta kalma durumu da söz konusu olabilir. Yıkımı tamamlanmamış yapıda çalışmak iş sağlığı ve güvenliği açısından riskli olacağı unutulmamalıdır ve hataya yer verilmemelidir. Bu yüzden, ilk ve temel adım olan delik boyu iyi tespit edilmelidir. Delikler, genellikle yapı elemanın delik doğrultusunda uzunluğunun 2/3'ü kadar delinirler. Bu deliğin yarısı patlayıcı madde ile kalan yarısı sıkılama malzemesi ile doldurulur (Jimeno vd., 1995). Patlama deliklerinin boyları temellerin derinliklerine bağlı olarak değişebilmektedir. Açılan deliklerin çapları temelin boyutlarına ve çevre şartlarına bağlı olarak değişebileceği göz önüne alınmalıdır. Yapı elemanın delinecek deliğin çapı ise yerleştirilecek olan patlayıcı boyutuna göre değişiklik göstermektedir. Patlayıcı maddeyi delik içerisine rahatça yerleştirebilmek için delik çapının patlayıcı maddenin çapından büyük olması gereklidir. Ancak delik çapı mümkün olduğunca küçük olmasına da dikkat edilmelidir. Yapı yıkımlarında delik çapı 38 mm ile 65 mm arasında değişmektedir. Delik çapı büyüdükçe buna paralel olarak yapı elemanı parçasının savrulma riskinin artacağı göz önüne alınmalıdır. (Jimeno vd., 1995).

### 3. KONTROLLÜ PATLATMA FAALİYETLERİ SIRASINDA OLUŞMASI MUHTEMEL ÇEVRESEL ETKİLERİ

Patlatma faaliyetlerinin çevresel etkileri, genellikle patlatmanın türüne, kullanılan patlayıcı maddeye, patlama yöntemine, çevresel koşullara ve alınan önlemlere bağlı olarak değişebilir. İşte patlatmanın potansiyel çevresel etkilerinden bazıları:

1. Taş-Beton Yapı Parçalarının Savrulması
2. Hava Şoku (Gürültü)
3. Yer Titreşimi
4. Toz

**Taş-Beton Yapı Parçalarının Savrulması:** Patlatma anında taş savrulması, patlama sırasında oluşan enerjinin etkisiyle çevredeki taşların havaya fırlatılması durumunu ifade eder. Patlatma anında havaya fırlatılan taşlar, çevredeki insanlar ve işçiler için ciddi bir güvenlik riski oluşturabilir. Bu taşlar, yakındaki yapıları, araçları ve insanları etkileyebilir. Bu nedenle, patlama alanının etrafında güvenlik tedbirleri alınması önemlidir. Ayrıca, patlatma sırasında fırlayan taşlar, çevredeki yapıları ve altyapıyı hasara uğratabilir. Bu, özellikle patlama alanına yakın olan binalar için bir tehdit oluşturabilir. Bu olumsuz etkileri minimize etmek için, patlatma faaliyetleri öncesinde detaylı bir planlama yapılmalı ve uygun güvenlik önlemleri alınmalıdır. Patlamadan önce patlatma alanının çevresi güvenlik bariyerleri ve uyarı işaretleri ile çevrilmelidir. Ayrıca, patlatma parametreleri, patlatma metodu ve kullanılacak patlayıcı maddeler, taş savrulması riskini azaltmak amacıyla dikkatlice seçilmelidir (Gümüştü, 2016).

**Hava Şoku (Gürültü):** Patlatma anında oluşan gürültü, çevresel etkiler arasında önemli bir unsurdur. Patlatmalar yüksek düzeyde gürültü üretebilir. Bu, yakındaki yerleşim alanlarındaki insanlar ve vahşi yaşam için rahatsız edici olabilir. Sürekli ve yoğun gürültü, insanların stres seviyelerini artırabilir ve uyku kalitesini düşürebilir. Patlatma gürültüsünün çevresel etkilerini azaltmak için aşağıdaki adımlar alınabilir:

- Patlatma faaliyetleri öncesinde detaylı bir çevresel etki değerlendirmesi yapılmalıdır. Bu değerlendirme, olası gürültü etkilerini belirlemeye yardımcı olmaktadır.
- Daha düşük gürültü seviyeleri üreten patlama teknikleri ve patlayıcı maddeler tercih

edilmelidir.

- Patlama alanının etrafında güvenlik bariyerleri ve uyarı işaretleri yerleştirilmelidir. Ayrıca, patlama anındaki ses seviyelerini izlemek için gürültü ölçümleri yapılmalıdır.
- Patlatma faaliyetleri, çevredeki yerleşim alanlarının en az etkilendiği zamanlarda gerçekleştirilmelidir.
- Yakındaki topluluklar ve yerleşim alanları, patlama faaliyetlerinin zamanlaması ve olası gürültü etkileri konusunda önceden bilgilendirilmelidir.
- Patlama faaliyetlerinin gürültü etkilerini minimize etmek, hem insan sağlığı ve yaşam kalitesini korumak hem de çevreyi korumak için önemlidir (Kahraman, 2022).

**Yer Titreşimi:** Patlamalar yeraltı sarsıntılarına ve titreşimlere neden olabilir. Bu, yapılarda hasara yol açabilir ve yeraltı su sistemlerini etkileyebilir. Ayrıca, yeraltı jeolojik yapılarının değişmesine neden olabilir (Kekeç & Ghiloufi, 2020). Patlatma titreşimlerinin etkilerini azaltmak için aşağıdaki önlemler alınabilir:

- Patlatma faaliyetleri öncesinde ve sırasında titreşim ölçümleri yapılmalı ve analiz edilmelidir. Bu, potansiyel etkileri değerlendirmeye yardımcı olmaktadır.
- Patlatma alanına yakın olan yapılar, patlama titreşimlerine karşı dayanıklılık ve güçlendirme açısından gözden geçirilmelidir.
- Patlatma yöntemleri ve patlayıcı maddeler, titreşimleri minimize edecek şekilde seçilmelidir.
- Patlama faaliyetleri sırasında titreşimlerin potansiyel etkilerine karşı önlem alınmalıdır.
- Patlama alanının çevresi güvenlik bariyerleri ve uyarı işaretleri ile çevrilmelidir.
- Patlatma faaliyetleri, titreşimlerin çevredeki yapıları en az etkilediği zamanlarda gerçekleştirilmelidir.
- Patlatma faaliyetlerinin titreşim etkilerini minimize etmek, çevredeki yapıları ve altyapıyı korumak için önemlidir. Bu nedenle, patlatma planlaması ve uygulaması titizlikle yapılmalı ve gerekli önlemler alınmalıdır.

#### 4. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bu tür yıkım işlemleri ciddi riskler taşıdığından, titizlikle planlanmalı ve uygulanmalıdır. Patlatma tekniği kullanılarak yıkım işleri sırasında alınması gereken temel önlemler:

- Yıkım işlemini gerçekleştirecek ekip, konuda uzman ve yetkin kişilerden oluşmalıdır.
- Patlayıcı maddenin güvenli bir şekilde kullanımını ve yıkım sürecini yönetebilecek tecrübeye sahip ekip üyeleri seçilmelidir.
- Yıkım işleminin her aşaması detaylı bir şekilde planlanmalıdır.
- Hangi binaların, yapıların yıkılacağı, patlayıcıların nerede yerleştirileceği, patlamadan önce ve sonra alınacak önlemler gibi tüm detaylar önceden belirlenmelidir.
- Çalışma alanı, işaretleme ve bariyerleme ile güvenli bir şekilde sınırlanmalıdır. Sadece yetkili personelin girebileceği bir alan oluşturulmalıdır.
- Gerçekleştirilecek olan “Kontrollü Patlatma” faaliyetleri emniyet görevlilerine (Polis veya Jandarma) haber verilerek ve bu emniyet görevlilerinin (Polis veya Jandarma) kontrollünde yapılmalıdır.
- Kontrollü patlatma faaliyeti hazırlıkları, patlayıcı madde şarjı ve patlatmalar esnasında patlatma

sahasında görevliler dışında hiç kimse bulunmamalıdır.

- Patlayıcı maddenin seçimi, yıkımın türüne ve çevre koşullarına göre dikkatlice yapılmalıdır.
- Patlayıcı madde, kontrol edilebilir şekilde patlamalı ve etkileri önceden tahmin edilebilir olmalıdır.
- Kapsül kablolarına ilave edilecek uzatma kablolarının bağlantıları itina ile yapılmalı ve izole bantla iyi bir şekilde izole edilmelidir.
- Sıkılama sırasında elektrik kablolarının zedelenmemesine dikkat edilmelidir.
- Ateşleme devresi kabloları manyetoya bağlanmadan önce ohm metreyle devrenin direnç kontrolü yapılmalıdır.
- Yıkım işlemi sırasında çevredeki insanların güvenliğini sağlamak için izolasyon ve tahliye önlemleri alınmalıdır.
- Çevredeki bina sakinleri ve işletmeler bilgilendirilmeli ve gerektiğinde tahliye planları hazırlanmalıdır.
- Ateşleme kablosu uygun bir uzaklıktaki ateşleme cebine kadar uzatılarak vakit geçirmeden ateşleme yapılmalıdır.
- Patlayıcı maddeler ateşleme yerine özel bir araçta getirilecek, dinamit ve kapsüller ayrı ayrı araçlarda nakledilmelidir.
- Patlamadan önce, patlayıcıların yerleştirilmesi ve yapıların durumu gibi tüm detaylar tekrar gözden geçirilmeli ve gerekiyorsa revize edilmelidir.
- Gerçekleştirilecek olan “kontrollü patlatma” faaliyetleri günün özellikle gündüz saatlerine tekabül eden “10:00–20:00 saatleri” arasında ve uygun atmosferik şartlarda patlatma yapılmalıdır.
- Hava şartlarına bağlı olarak, yağışlı havalarda statik elektrik tehlikesi göz önüne alınarak gerektiğinde “kontrollü patlatma” faaliyetlerinden vazgeçilmelidir.
- Patlatma alanına yakın mesafede “yaşam alanları” ile “hassas noktalar vb” bulunduğu; “taş savrulmasına (fırlamasına)” karşı sırasında gerekli olması durumunda ekipmanlarla (ağır örtü, lastik vb) önlemler alınmalıdır.
- Gerekli görülmesi halinde “kontrollü patlatma” faaliyetleri sırasında yol trafiğe kapatılmalıdır.
- Acil durumlar için alarm sistemleri ve iletişim ağları kurulmalıdır.
- İşçilerin, yöneticilerin ve acil durum ekiplerinin birbirleriyle iletişim kurabilecekleri bir sistem olmalıdır.
- “Kontrollü Patlatma” faaliyetleri sırasında “her türlü çevre emniyeti alınacak, tüm saha çevresine gerekli ikaz levhaları asılacak ve patlatma yapılmadan önce siren ile uyarı” yapılmalıdır. “insan ve hayvan” bulunmaması sağlanmalı, sahadan uzaklaştırılmalı ve güvenli bölgelere alınmalıdır.
- Patlamayan delikler içindeki patlayıcı madde gerekli emniyet tedbirleri alındıktan sonra etkisiz hale getirilmelidir.
- Çalışanlar, patlayıcı maddenin güvenli kullanımı, acil durum prosedürleri ve kişisel koruyucu ekipmanların kullanımı gibi konularda eğitilmelidir.
- Kontrollü Patlatma faaliyetleri “Maden İşyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliği” hükümlerine ve 6331 Sayılı İş Sağlığı ve İş Güvenliği Kanunu ve iş güvenliği tedbirlerine uygun olarak gerçekleştirilmelidir.

## 5. KAYNAKLAR

AFAD (2023). 06 Şubat 2023 Pazarcık (Kahramanmaraş) Mw 7.7 Elbistan (Kahramanmaraş) Mw 7.6 depremlerine ilişkin ön değerlendirme raporu, Deprem Dairesi Başkanlığı.

Bhandari, M. G., Kulkarni, V. K., & Malviya, R. K. (2013). Building demolition: ground to earth important as construction. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 3(4), 396-401.

Bhatt, H. (2021). Building Demolition Technique. In *Integrated Emerging Methods of Artificial Intelligence & Cloud Computing* (pp. 291-298). Cham: Springer International Publishing.

Bhuvaneshwari, V., Karthick, R. B., Manojkumar, R. M. & Muthukumar, K. (2017). Study of safety in demolition of buildings. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 4(12), 1174-1178.

Blengini, G. A. (2009). Life cycle of buildings, demolition and recycling potential: A case study in Turin, Italy. *Building and Environment*, 44(2), 319-330.

Gümüşçü, M., Cebe, A., Erdiñç, A., & Uyanık, S. (2016). Sivil amaçlı kullanılan patlayıcı maddelerin karakteristikleri, çevresel etkileri ve önlemler. *Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 5(2), 81-91.

Jimeno, C.L., Jimeno, E.L., Carcedo, F.J.A. (1995). *Drilling and Blasting of Rocks*, A.A., Balkema Publishers, Brookfield, ISBN: 90 5410 1977, Rotterdam pp 390.

Kahraman, E. (2022). Adana çimento çaldağ hammadde sahasında yapılan basamak patlatmalarının çevresel etkilerinin incelenmesi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 5(3), 1453-1467.

Kekeç, B. & Ghiloufi, D. (2020). Patlatma kaynaklı yer sarsıntısı ve hasar değerlendirme parametreleri. *Konya Journal of Engineering Sciences*, 8(4), 785-797.

Knaack, A.M. & Kurama, Y. C. (2018). Modeling time-dependent deformations: application for reinforced concrete beams with recycled concrete aggregates. *ACI Structural Journal*, 115(1).

Murray, A., Castel, A., Gilbert, R. I., & Chang, Z. T. (2016). Time-dependent changes in the instantaneous stiffness of reinforced concrete beams. *Engineering Structures*, 126, 641-651.

Özdemir, E. & Dolmaz, O. (2024). Patlatma tekniği kullanılarak pera palas konutunun kontrollü yıkımı, 3. Bilsel International Truva Scientific Researches and Innovation Congress 25-26 May, 717-723, Çanakkale/Türkiye

Özdemir, E. (2023). Malatya'da kontrollü bina patlatmaları: Yeşilevler 2 blok örneği V. Baskent International Conference On Multidisciplinary Studies December 21-22, 657-662.

Özer, Ü. & Karadoğan, A. (2012). Patlatmalı yapı yıkım tekniği, binalarda patlayıcı kullanılarak yıkım tekniği. *İleri Yıkım Teknikleri Eğitimi, TMMOB*.

Rathi, S. O., & Khandve, P. V. (2014). Demolition of buildings-an overview. *International Journal of Advance Engineering and Research Development*, 1(06), 1-8.

Thomsen, A., Schultmann, F., & Kohler, N. (2011). Deconstruction, demolition and destruction. *Building Research & Information*, 39(4), 327-332.

Williams, G.T. (1990). Explosive demolition of tall buildings in inner city areas, *Municipal Engineer*, 7(4), 163-173.

Yarimer, E. & Lapa, J.A.M. (1994). Factors affecting the numerical modeling of demolition by

explosives, Proceedings of Structures under Shock and Impact 3rd International Conference, 11-20.



**Article Arrival Date**

23.05.2025

**Article Type**

Research Article

**Article Published Date**

20.06.2025

**HAWK EYE****Muhammed Emir ÜNALAN<sup>1</sup>, Murat CANPOLAT<sup>2</sup>, Güneş CANPOLAT<sup>3</sup>****<sup>1</sup>Öğretmen, Erman Ilıcak Fen Lisesi, Malatya/Türkiye, 0009-0004-0512-910X****<sup>2</sup>Öğretmen, Zübeyde Hanım İmam Hatip Ortaokulu, Malatya/Türkiye, 0000-0003-4074-4234****<sup>3</sup>Öğretmen, Bilim ve Sanat Merkezi, Malatya/Türkiye, 0000-0003-2835-7143****Summary**

When a person's visual impairment cannot be corrected through glasses, contact lenses, surgery, or medication, and when their level of vision is extremely low or entirely absent, this condition is referred to as **low vision or blindness**. Visually impaired individuals are not to be pitied or seen as helpless. For centuries, people with visual impairments have been marginalized, socially isolated, and deprived of both material and emotional support, often ignored and overlooked by society. They have long been seen as a "bleeding wound" of the community.

However, through financial and social support programs, our government has taken educational and rehabilitative measures to support visually impaired individuals. As a result, visual impairment is no longer perceived as a chronic social issue.

In our project, a camera placed in a box mounted on the front of a bicycle captures real-time video. Using custom-developed code, objects in the image are detected, and their distances are measured. According to the distance, audio feedback is provided through a speaker—enabled by artificial intelligence—which announces how far the object is.

Technological solutions developed for visually impaired individuals range from simple audio feedback systems to advanced object recognition and environmental sensing technologies. These innovations help individuals gain more awareness of their surroundings, carry out daily tasks more independently, and increase their ability to interact socially. For example, AI-supported applications can identify objects around the user and provide verbal feedback through voice commands, helping them better understand their environment and improve their daily life experiences.

**Keywords:** Visually Impaired Individual, Bicycle, Distance, Artificial Intelligence

**Özet**

Kişilerin görme kusurlarının gözlük, lens, ameliyat veya ilaç tedavisiyle iyileşemediği; görme düzeyinin çok az olduğu ya da hiç gerçekleşmediği duruma az görme kusuru veya körlük adı verilir. Görme engelli bireyler acınacak, muhtaç olan kişiler değildir. Görme engelliler, yüzyıllardır ikinci plana itilmiş halk tarafından soyutlanmış, sosyalleşmemiş, maddi ve manevi imkânlardan yoksun kalmış yeterli ilgi gösterilmemiş çağlar boyunca toplumun kanayan bir yarası olarak

görülmüş kişilerdir. Devletimiz, hem maddi hem de sosyal yönden iyileştirme çalışmaları ile bu bireyler için eğitici ve rehabilite edici önlemler, alarak görme engellileri desteklenmesi sayesinde görme engellilik artık toplumun kanayan bir yarası olmaktan çıkmıştır.

Bisikletin önüne konulan kutu önünde bulunan kamera yardımıyla görüntü alınmakta ve görüntüde bulunan objelerin tespiti yazdığımız kodlama sayesinde yapılarak mesafeleri ölçülmekte, mesafeye göre hoparlörden kalan mesafenin söylenmesi yapay zeka ile olmaktadır.

Görme engelliler için geliştirilen teknolojik çözümler, basit sesli geri bildirim sistemlerinden karmaşık nesne tanıma ve çevresel algılama teknolojilerine kadar uzanmaktadır. Bu geniş yelpazede, görme engellilerin çevreleri hakkında daha fazla bilgi edinmelerini, günlük görevleri daha bağımsız bir şekilde yerine getirmelerini ve sosyal etkileşimlerini artırmalarını sağlamaktadır. Örneğin, geliştirilen yapay zekâ destekli uygulamalar, bireyin çevresindeki nesnelere tanımlayabilir ve sesli komutlar aracılığıyla bilgi sağlayabilir, bu da onların çevrelerini daha iyi anlamalarına ve günlük aktivitelerini iyileştirmelerine yardımcı olabilir.

**Anahtar Kelimeler:** Görme Engelli Birey, Bisiklet, Mesafe, Yapay Zeka.

## 1. INTRODUCTION

Kişilerin görme kusurlarının gözlük, lens, ameliyat veya ilaç tedavisiyle iyileşemediği; görme düzeyinin çok az olduğu ya da hiç gerçekleşmediği duruma az görme kusuru veya körlük adı verilir. Görme engelli bireyler acınacak, muhtaç olan kişiler değildir. Görme engelliler, yüzyıllardır ikinci plana itilmiş halk tarafından soyutlanmış, sosyalleşememiş, maddi ve manevi imkânlardan yoksun kalmış yeterli ilgi gösterilmemiş çağlar boyunca toplumun kanayan bir yarası olarak görülmüş kişilerdir. Devletimiz, hem maddi hem de sosyal yönden iyileştirme çalışmaları ile bu bireyler için eğitici ve rehabilite edici önlemler, alarak görme engellileri desteklenmesi sayesinde görme engellilik artık toplumun kanayan bir yarası olmaktan çıkmıştır (Bir sağlık sorunu olarak görme engeli).

Günümüzde, dünya genelinde yaklaşık 285 milyon görme engelli birey yaşamaktadır [World Health Organization]. İlkçağlardan beri her yeni ihtiyaç, yeni araçların geliştirilmesini ve kullanılmasını gerektirmiştir. Her insan kendi durumuna ve yaptığı işe göre değişik araçlar kullanır. Demircinin, fırıncının, reklamcının kullandıkları araçlar farklı olduğu gibi farklı engele sahip bireylerin de günlük yaşantılarında ya da aktivitelerinde kullandıkları araçlar farklıdır. Görme engelli birey günlük hayatını yaşarken, spor yaparken, mesleğini yürütürken çeşitli özel araç ve cihazlar kullanır. Bu araçlar görme kaybının neden olduğu zorlukları ve yetersizlikleri en alt seviyeye indirir. Bu tür özel araçları kullanan görme engelli birey, bu sayede birçok konuda başkalarına bağımlı olmak zorunda kalmazlar. Günümüz teknoloji dünyasındaki durum, görme engelli bireylerin yaşamlarında karşılaştıkları problemin üstesinden gelmek için umut vaat eden yollar sunmaktadır. Bu vaatlerin başında Özellikle yapay zekâ (AI) ve görüntü işleme gibi alanlarda kaydedilen gelişmeler, görme engelli bireylerin hayatlarını kolaylaştırma potansiyeline sahiptir.

Yapay zekâ ve görüntü işleme ikilisi, son yıllarda kayda değer geliştirmeler göstermiştir. Bu teknolojiler, öncelikle akademik araştırma çevrelerinde teorik kavramlar olarak ortaya çıkmış ve zamanla pratik uygulamalara dönüşmüştür. Görüntü işleme, bilgisayar sistemlerinin görüntüleri algılaması ve işlemesi için gerekli teknikleri içerirken, yapay zekâ, makinelerin öğrenmesi ve problem çözme yeteneklerini geliştirmeyi hedeflemektedir. Bu iki alanın birleşimi, özellikle görme engelliler için büyük fırsatlar sunmaktadır.

Görme engelliler için geliştirilen teknolojik çözümler, basit sesli geri bildirim sistemlerinden karmaşık nesne tanıma ve çevresel algılama teknolojilerine kadar uzanmaktadır. Bu geniş

yelpazede, görme engellilerin çevreleri hakkında daha fazla bilgi edinmelerini, günlük görevleri daha bağımsız bir şekilde yerine getirmelerini ve sosyal etkileşimlerini artırmalarını sağlamaktadır. Örneğin, geliştirilen yapay zekâ destekli uygulamalar, bireyin çevresindeki

nesneleri tanımlayabilir ve sesli komutlar aracılığıyla bilgi sağlayabilir, bu da onların çevrelerini daha iyi anlamalarına ve günlük aktivitelerini iyileştirmelerine yardımcı olabilir.

Görme engelli bireyler Türkiye Görme Engelliler Spor Federasyonu vasıtasıyla futsal(b2,b3) atletizm, goalball, halter, satranç, yüzme, futbol, judo gibi 8 farklı branşta ulusal ve uluslararası müsabakalara katılmaktadır (Türkiye Görme Engelliler Spor Federasyonu). Görme engelli sporcular, görme yetisine sahip bir takım arkadaşlarıyla iki kişilik bisikletlerde yol ve zaman (time trial) yarışlarına katılırlar (Engellilerin Yapabileceği Spor Dalları Kılavuzu). B1 grubu görme engelli bireylerin yalnız başlarına bisiklet sürmeleri ve hatta yarışmalara katılmaları mümkündür; ancak bunun için çalışmalar yapılması ve zamanın teknolojik şartlarına uygun yapay zeka destekli sistemlerin oluşturulması gerekmektedir.

## 2. GOAL

- Görme engelli bireylerin bisiklet sürebilmesi için yapay zeka destekli bir sistem tasarlamak.
- Tasarlanmış bu sistemi kullanarak görme engelli bireylerin tek başlarına bisiklet sürülebilmelerini sağlamak.
- Görme engelli bireylerin bu sistem sayesinde tek başlarına kendi engellileri ile beraber düzenlenen spor yarışmalarına katılabilmelerini sağlamak.

283

## 3. IMPORTANCE

Yapılan araştırmalarda görme engellilerin tek başlarına bisiklet süremedikleri sadece iki kişilik bisiklet ile arka tarafta pedal çevirerek sürebildiği görülmüştür(Görme engelli veya Görme Engelli Kişiler İçin Tandem Bisiklet Kullanımı ). Ayrıca bazı sensörler takılarak bu problem çözülmeye çalışılmışsa da yetersiz gelmiştir(CANPOLAT, M. ARIKAN, N.İ). Bunların dışında herhangi bir destek olmaksızın tek başlarına bisiklet sürdüğüne veya yarışmalara katıldığına dair yapay zeka destekli herhangi bir bilimsel yayına rastlanmamıştır. Ayrıca Türk Patent Kurumu ile uluslararası patent bağlantılarını kullanarak yapılan patent ve faydalı model taramalarında da bu konu ile alakalı başvuru ya da onaylanmış başvuru bulunamamıştır. Bu bakımdan çalışmamız alan yazın bir ilk olma özelliği taşıdığı düşünülmektedir. Yapay zeka kodlamamızın % 70 i tarafımızdan yazılmış olup 673 satır kod bulunmaktadır. Deneme yanılma ile birlikte bu dosyalar 50 GB yer kaplamaktadır.

## 4. METHOD

### 4.1. Research Model

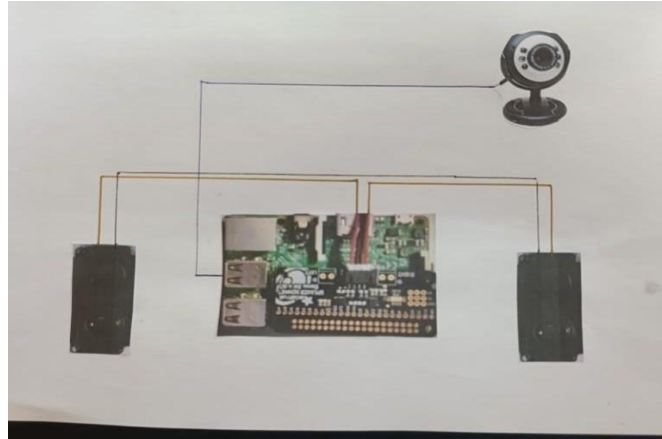
Çalışmamızda deneysel araştırma yöntemi, saha çalışması uygulanmıştır.

### 4.2. Process Steps

Proje çalışması aşağıdaki süreçler çerçevesinde gerçekleştirilmiştir.

- Problem tespit edildi.

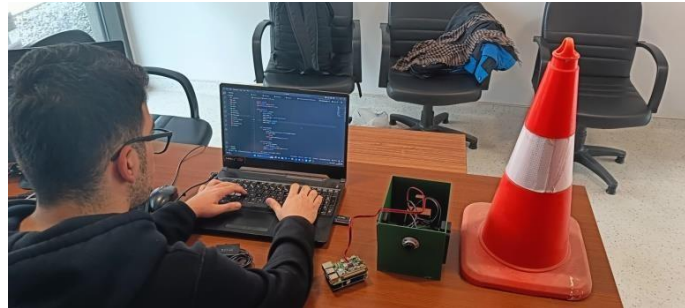
- Literatür taraması yapıldı.
- Hipotez ileri sürüldü.
- Projemizde kullanacağımız ‘Raspberry Pi 5 8GB, 3.7V 3800mAh Batarya, TypeC Kablo, 8 Ohm 5W Stereo Hoparlörler, Adafruit Raspberry Pi I2S 3W Stereo Hoparlör Ses Kartı, RPi Güç Yönetimi Kartı, Raspberry Pi Geniş Açılı Kamera ile oluşan elektronik malzemeler temin edildi.
- Elektronik malzemelerin devre şeması çıkarılıp proje amacına uygun şekilde bütünleşik hale getirildi (Şekil 1).



Şekil 1. Devre şeması

- Bisiklet üzerinde kurulacak olan sistemin çalışabilirliği için Python ile kod yazılıp, Raspberry Pi 5 kartına yükleme yapıldı (Şekil 2).

284



Şekil 2. Kod yazılması ve yükleme yapılması

- Sistemimizi kuracağımız kutu Fusion 360 programı kullanılarak çizildi ve 3D baskısı alındı.
- Hipoteze dair sınama oluşturabilmek için sistem bisiklet üzerine monte edilerek test edildi (Şekil 3).



Şekil 3. Sistemin bisiklet üzerinde kurulmuş hali

- Bu sistemin, görme engelli bireylerde uygulanabilirliğini görmek için kendi sistemimizin kullanıldığı bisiklet ve sistem kurulmamış aynı özellikte başka bir bisiklet ile saha çalışması yapıldı (Şekil 4).



Şekil 4. Sistem kurulmamış bisiklet

#### 4.3. Working principle of System

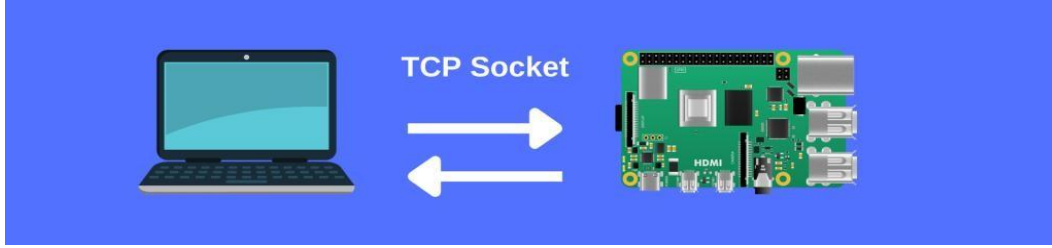
Bu sistem ile yukarıda belirttiğimiz malzemelerden oluşan elektronik malzemeleri kullanarak yapılan kodlama aracılığıyla görme engellilerin de tek başlarına bisiklet sürmesi sağlanacaktır. Yaptığımız sistemde; bisikletin önüne konulan kutu önünde bulunan kamera yardımıyla görüntü alınmakta ve görüntüde bulunan objelerin tespiti yapılarak mesafeleri ölçülmekte, mesafeye göre hoparlörden uzunluğun söylenmesi yazılımımız ile olmaktadır.

Yaptığımız sistemde; kutunun ön tarafında kamera, sağ ve solunda uygun stereo hoparlörler, içinde 3800 mAh değerinde bir batarya bulunmaktadır. Tüm bu parçalar sistemin içinde bulunan ana kontrolcü olan Raspberry Pi kartına bağlanmaktadır. Kameradan alınan görüntünün Raspberry Pi üzerinde işlenip objelerin tespit edilmesi, tespit edilen objelerin mesafeleri hesaplanarak hoparlörler aracılığı ile söylenmesi, obje hangi tarafa daha çok yakınsa o hoparlörün sesi artırılarak görme engelli bireyin objenin tam olarak nerede olduğunu anlaması yazmış olduğumuz kodlama ve yapay zeka aracılığıyla sağlanmaktadır.

Bu sayede görme engelli birey, sesin yönü ve uzunluğunu kullanarak tek başlarına destek almaksızın bisiklet sürebilir.

## 1.1. Çalışma Yöntemi

### 1.1.1. Bilgisayarın Raspberry Pi ile Haberleşmesi :



Şekil 5. TCP Soket bağlantısı şeması

RPi'de bulunan kodlar çalıştırıldığı zaman TCP Soket sunucusu açılır ve belirtilen '8000' portunda bağlantı beklemeye başlar. Bilgisayar, RPi'ye bağlanır ve veri aktarımının anlık olarak yapılması sağlanır.

Şekil 6. Bilgisayarın TCP Socket kodu

```
main.py
self.sc = socket.socket()
self.sc.connect((HOST, PORT))
```

```
rpi.py
s = socket.socket()
s.bind((HOST, PORT))
s.listen(0)
c, addr = s.accept()
```

Şekil 7. Raspberry Pi'nin TCP Socket kodu

### 1.1.2. Görüntünün Tespiti :

Raspberry Pi, OpenCV kütüphanesini kullanarak Geniş Açılı Kameradan görüntü almaktadır. Bu görüntü, NumPY objesi olarak hafızada gerekli işlemler için bekletilir. "ret" değişkeni sayesinde kamerada oluşabilecek sıkıntılara erişilip sistemin hata vermesi önlenmektedir.

```
rpi.py
cap = cv2.VideoCapture(0)
while True: # sonsuz döngü
    ret, frame = cap.read()
```

Şekil 8. Kameranın başlatılıp görüntünün alınması

### 1.1.3. Görüntünün Doğru Bir Biçimde Kodlanması:

Bellekte tutulan görüntü, BGR kodlamalı bir NumPY objesidir, ancak yapay zekayla tekrardan görüntü tespitinin yapılabilmesi için görüntünün RGB kodlamaya çevrilmesi gerekmektedir. OpenCV kütüphanesinde bulunan “cv2.cvtColor” fonksiyonu sayesinde görüntüyü farklı kodlamaya sahip görüntülere çevirebilmekteyiz.

```

1  img = cv2.cvtColor(img, cv2.COLOR_BGR2RGB)

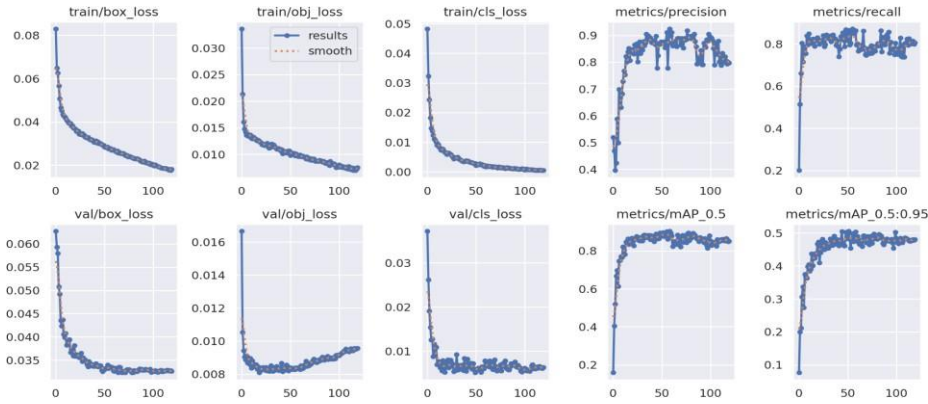
```

Şekil 9. Görüntüyü BGR kodlamadan RGB kodlamaya çeviren kod

### 1.1.4. Yapay Zeka ile Obje Tespiti

Obje tespiti için birçok yapay zeka yazılımı vardır. Bunlar YOLO, TensorFlow Lite, FOMO gibi altyapılardır. Obje tespiti işlemlerinde cisimden kaç tane bulunduğunu, cismin görüntü üzerindeki XY koordinatlarını, gösteren çeşitleri vardır. Biz projemizde RPi gibi ARM tabanlı işlemciler için hafif ve optimize olması dolayısıyla YOLOv5 kullanmayı tercih ettik.

YOLOv5 PyTorch temelli bir yazılımdır. YOLOv5 sinirsel ağ boyutlarına göre altı dahili modele sahiptir. Elimizdeki cisimlerin yapay zeka tarafından tanınması için kendi modelimizi eğittik. Aşağıda eğitilen modelle ilgili grafikler bulunmaktadır:



Şekil 10. Eğitim grafikleri

Eğitimde iki aşama vardır. Train, validate. Grafiklerde tespit edilen objenin ne kadar doğru bulunduğu, çeşidinin doğru bulunup bulunmadığına yer verilmiştir. Burada önemli olan mAP değerleridir. mAP, tespit edilen objenin doğruluğunu gösterir. Örneğin 0.7 mAP değeri ile tespit edilen obje, %70 olasılıkla istenilen objedir. Bazen yapay zeka %10 gibi çok düşük ihtimallerle de olsa bazı yerde cismin bulunduğunu belirten tahminlerde bulunur. Bu yüzden belli aralık altında olan objeler silinir ve doğruluk oranı artırılır.

```

1 self.device = select_device('')
2 self.model = DetectMultiBackend(model, device=self.device)
3 self.model.warmup(imgsz=(1, 3, *self.imgsz))
4 dt = (Profile(device=self.device), Profile(device=self.device), Profile(device=self.device))

```

Şekil 11. Modelin tanımlanması Bu kodda model PyTorch objesine yüklenir.

```

1 with dt[0]:
2     im = torch.from_numpy(im).to(self.model.device)
3     im = im.half() if self.model.fp16 else im.float()
4     im /= 255
5
6 with dt[1]:
7     pred = self.model(im)
8
9 with dt[2]:
10    pred = non_max_suppression(pred, self.conf, 0.45, None, False, max_det=1000)

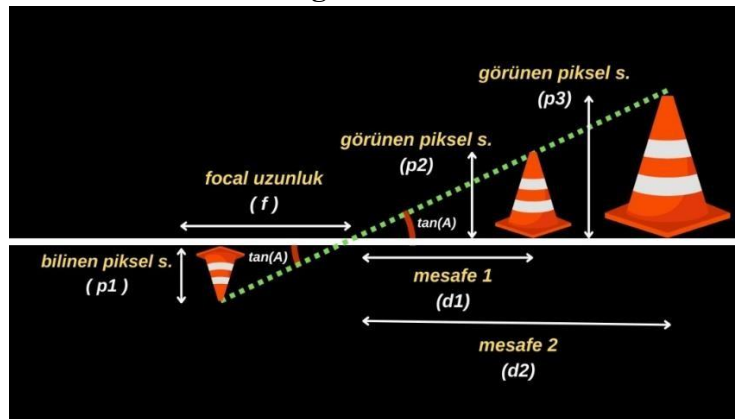
```

Şekil 12. Sonuçların alınması

Bu kodda ise model çalıştırılarak verilen görüntüdeki objelerin tespiti yapılır.

### 1.1.5. Objenin Kameradan Uzunluğunun Bulunması

288



Şekil 13. Uzunluğun hesap edilmesindeki matematik

Burada üçgen benzerliği kullanılarak objenin kameradan olan uzunluğunu hesapladık.

$$P_1 / F = P_2 / D_1 \quad P_1 \cdot D_1 = P_2 \cdot F \quad D_1 = F \cdot P_2 / P_1$$

Bulunan  $D_1$  değeri, objenin kameradan olan uzaklığıdır. Burada  $F$  değeri sabit bir değer olup kameradan kameraya değişmektedir. Biz önceden hesaplayarak bunu sistemimizde yazmış olduğumuz kodlara ekledik.

### 1.1.6. Mesafenin Hoparlörler tarafından Söylenmesi

Görme engelli birey bisikleti sürdükçe hoparlörlerden, herhangi bir objenin olup olmadığına, obje varsa ne kadar uzaklıkta olduğuna dair sesli bildirimler almaktadır. Bu bildirimlerin anlık olarak değişmesini sağlamak için arkaplanda sürekli olarak ses çalan bir kod yazdık. Herhangi bir değişimde ses de anlık olarak değişmekte ve görme engelli bireyin anlık olarak sesli bildiri alması



sağlanmaktadır.

## 5. RESULTS

Saha çalışması sonuçları şu şekildedir.

Tablo 1. Katılımcı Öğrencilerin Ön-Test ve Son-Testten Aldıkları Puanların Ortalama Değerleri

Paired Samples Statistics					
		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	öntest	1,8857	14	,10271	,02745
	sontest	1,0929	14	,09169	,02450

Tablo 1’de görüldüğü gibi katılımcıların “Sen de Sür” e dair ön test ve son test bulguları incelendiğinde ön test ortalama puanlarının (ort= 1,88) olduğu görülmektedir.

Testlerde sorulan sorulara “hayır” a daha yakın cevaplar verilmiş ve buda örneklem grubumuz olan görme engelli öğrencilerin, bisikleti tek başlarına ve yardım almadan süremedikleri yönünde kanaat oluşturmuştur.

Katılımcı öğrencilerin son test ortalama puanlarının ise (ort= 1,09) olduğu görülmektedir. Dolayısı ile son test puanına göre sistemimizin uygulaması yapıldıktan sonra verilen cevaplarda “evet” değeri yüksek çıkmıştır. Buna göre örneklem grubumuz olan görme engelli öğrencilerin, bisikleti tek başlarına ve yardım almadan sürebildikleri yönünde kanaat oluşturmuştur.

Tablo 2. Katılımcı Öğrencilerin Ön-Test ve Son-Testten Aldıkları Puanların Standart Sapma ve P Değerleri

Paired Samples Test									
		Paired Differences				t	df	Sig. (2-tailed)	
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower				Upper
Pair 1	öntest - sontest	,79286	,10716	,02864	,73098	,85473	27,684	13	,000

$p < 0.001$

Tablo 2’da görüldüğü gibi araştırmaya katılan görme engelli öğrencilerin ön test ve son test puanlarının ilişkisini tespit etmek üzere yapılan Paired Samples T testi sonucu 0,000 olarak tespit edilmiştir. Bu sonuç ile ön test ve son test toplam puanları bakımından anlamlı bir farklılık bulunduğu sonucu elde edilmiştir ( $t(13)=27,684, p > .05$ ).

Tablo 3. Katılımcı Öğrencilerin Ön Testten Aldıkları Puanların Standart Sapma ve Ortalama Değerleri

Group Statistics				
cinsiyet1	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
ontest kız	7	1,8714	,09512	,03595
erkek	7	1,9000	,11547	,04364

Tablo 3’ de katılımcı öğrencilerin ön testten aldıkları puanların standart sapma ve P değerleri ile ilgili; ön test ile cinsiyet arasında anlamlı bir ilişki tespit edilememiştir.(p büyüktür 0.05) kız (x=1.87) ve erkek (x=1.90) öğrencilerin ön test puan ortalamalarından da açıkça görülmektedir.

Tablo 4. Katılımcı Öğrencilerin Son Testten Aldıkları Puanların Standart Sapma ve Ortalama Değerleri

Group Statistics				
cinsiyet1	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
sontest kız	7	1,1143	,10690	,04041
erkek	7	1,0714	,07559	,02857

Tablo 4’ da katılımcı öğrencilerin son testten aldıkları puanların standart sapma ve P değerleri ile ilgili; son test ile cinsiyet arasında anlamlı bir ilişki tespit edilememiştir.(p büyüktür 0.05). kız(x=1.11)ve erkek(x=1.07) öğrencilerin son test puan ortalamalarından da açıkça görülmektedir.

Tablo 5. Sistem kurulmamış bisiklet ile sürüş denemesi yapılan örneklem

Yaş	8	9	10	11	12	13	14
Öğrenci Sayısı	1	4	1	2	1	2	3
Kız Öğrenci	*	2	1	1	1	2	*
Erkek Öğrenci	1	2	*	1	*	*	3
Motor Becerileri	Yaş Düzeylerine Göre Benzer Özelliktir	Yaş Düzeylerine Göre Benzer Özelliktir	Yaş Düzeylerine Göre Benzer Özelliktir	Yaş Düzeylerine Göre Benzer Özelliktir	Yaş Düzeylerine Göre Benzer Özelliktir	Yaş Düzeylerine Göre Benzer Özelliktir	Yaş Düzeylerine Göre Benzer Özelliktir
Dengede Durabilme/Kız	X	Olumsuz	Olumsuz	Olumsuz	Olumsuz	Olumsuz	X

Dengede Durabilme/Erkek	Olumsuz	Olumsuz	X	Olumsuz	X	X	Olumsuz
Bilişsel Odaklanma/Kız	X	Olumsuz	Olumsuz	Olumsuz	Olumsuz	Olumsuz	X
Bilişsel Odaklanma/Erkek	Olumsuz	Olumsuz	X	Olumsuz	X	X	Olumsuz
Sistem Kurulmamış	Kısmen	Kısmen	Kısmen	Kısmen	Kısmen	Kısmen	Kısmen
Bisikleti Sürebilme	Sürüldü	Sürüldü	Sürüldü	Sürüldü	Sürüldü	Sürüldü	Sürüldü

Sistem kurulmamış bisiklet ile sürüş denemesi yapılan örneklem Tablo 5’de gösterilmiştir. Buna göre 8,9,10,11,12,13,14 yaşlarında olan örneklem grubunun motor becerileri yaş düzeylerine göre benzer özellikler göstermektedir. Dengede durabilme konusunda 8,9,10,11,12,13,14 yaş kız ve erkek öğrencilerde ilk etapta sıkıntı yaşandı. Bu öğrencilerin bilişsel odaklanma ile ilgili olumlu sonuçlar alınamamıştır. Yapılan etabı tüm öğrencilerin tek başlarına bitiremediği görüldü.

Tablo 6. Sistem kurulmuş bisiklet ile sürüş denemesi yapılan örneklem

Yaş	8	9	10	11	12	13	14
Öğrenci Sayısı	1	4	1	2	1	2	3
Kız Öğrenci	*	2	1	1	1	2	*
Erkek Öğrenci	1	2	*	1	*	*	3
Motor Becerileri	Yaş Düzeylerine Göre Benzer Özelliktir	Yaş Düzeylerine Göre Benzer Özelliktir	Yaş Düzeylerine Göre Benzer Özelliktir	Yaş Düzeylerine Göre Benzer Özelliktir	Yaş Düzeylerine Göre Benzer Özelliktir	Yaş Düzeylerine Göre Benzer Özelliktir	Yaş Düzeylerine Göre Benzer Özelliktir
Dengede Durabilme/Kız	X	Olumlu	Olumlu	Olumlu	Olumlu	Olumlu	X
Dengede Durabilme/Erkek	Olumlu	Sıkıntılar Yaşandı	X	Sıkıntılar Yaşandı	X	X	Olumlu
Bilişsel Odaklanma/Kız	X	Olumlu	Olumlu	Olumlu	Olumlu	Olumlu	X
Bilişsel Odaklanma/Erkek	Olumlu	Olumlu	X	Olumlu	X	X	Olumlu
Sistem Kurulmuş Bisikleti Sürebilme	Bisiklet Sürüldü	Bisiklet Sürüldü	Bisiklet Sürüldü	Bisiklet Sürüldü	Bisiklet Sürüldü	Bisiklet Sürüldü	Bisiklet Sürüldü

Sistem kurulmuş bisiklet ile sürüş denemesi yapılan örneklem Tablo 6'de gösterilmiştir. Buna göre 8,9,10,11,12,13,14 yaşlarında olan örneklem grubunun motor becerileri yaş düzeylerine göre benzer özellikler göstermektedir. Dengede durabilme konusunda 9 ve 11 yaş erkek öğrencilerde ilk etapta sıkıntılar yaşandı. 8,14 yaş erkek öğrenciler ile 9,10,11,12,13 yaş kız öğrencilerde olumlu sonuçlar alındı. Bu öğrencilerin bilişsel odaklanma ile ilgili olumlu sonuçlar alınmıştır. Yapılan etabı tüm öğrencilerin tek başlarına bitirdiği görüldü.

Tablo 7. Sistem kurulmamış ve kurulmuş bisiklet ile sürüş denemesi sonucunda oluşan sonuçlar

Yaş	8	9	10	11	12	13	14
Öğrenci Sayısı	1	4	1	2	1	2	3
Kız Öğrenci	*	2	1	1	1	2	*
Erkek Öğrenci	1	2	*	1	*	*	3
Sistem Kurulmamış 4 Tekerli Normal Bisiklet Sürüş Öncesi	Tereddüt ve Korku Var	Tereddüt ve Korku Var	Tereddüt ve Korku Var	Tereddüt ve Korku Var	Tereddüt ve Korku Var	Tereddüt ve Korku Var	Tereddüt ve Korku Var
Sistem Kurulmamış 4 Tekerli Normal Bisiklet Sürüş Denemesi Sonrası	Sürüş Başarısız	Sürüş Başarısız	Sürüş Başarısız	Sürüş Başarısız	Sürüş Başarısız	Sürüş Başarısız	Sürüş Başarısız
Sistem Kurulmuş 4 Tekerli Normal Bisiklet Sürüş Öncesi	Tereddüt, Korku ve Üzüntü Var	Tereddüt, Korku ve Üzüntü Var	Tereddüt, Korku ve Üzüntü Var	Tereddüt, Korku ve Üzüntü Var	Tereddüt, Korku ve Üzüntü Var	Tereddüt, Korku ve Üzüntü Var	Tereddüt, Korku ve Üzüntü Var
Sistem Kurulmuş 4 Tekerli Normal Bisiklet Sürüş Denemesi Sonucu	Sürüş Başarılı	Sürüş Başarılı	Sürüş Başarılı	Sürüş Başarılı	Sürüş Başarılı	Sürüş Başarılı	Sürüş Başarılı

Sistem Kurulmuş 4 Tekerli Normal Bisiklet Sürüş	Mutluluk ve Yeniden Sürme İsteği	Mutluluk ve Yeniden Sürme İsteği	Mutluluk ve Yeniden Sürme İsteği	Mutluluk ve Yeniden Sürme İsteği	Mutluluk ve Yeniden Sürme İsteği	Mutluluk ve Yeniden Sürme İsteği	Mutluluk ve Yeniden Sürme İsteği
---	----------------------------------	----------------------------------	----------------------------------	----------------------------------	----------------------------------	----------------------------------	----------------------------------

Sürüş denemesi sonucunda oluşan sonuçlar Tablo 7 'de gösterilmiştir. Buna göre örneklem grup, sistem kurulmamış 4 tekerli normal bisikleti sürememiş olup, sistem kurulmuş 4 tekerli bisikleti başarılı bir şekilde sürmüşlerdir. Sistem kurulmamış 4 tekerli normal bisikleti sürüş öncesi “tereddüt ve korku” içindeyken sürüş denemesi sonunda “üzüntü” duygusu da eklenmiştir. Sistem kurulmuş 4 tekerli bisikleti sürüş denemesi sonrası ise “mutluluk ve yeniden sürme isteği” içinde oldular.

Projemiz ile ilgili yapılan görüşmede görme engelliler öğretmenlerine projemiz anlatılmış, sistemimiz kutu içinde gösterilerek çalışma sistemi de anlatılmıştır. Projemiz ile ilgili olarak “**Projeyi beğendiniz mi? Görme engelli öğrencilere uygulanabilir mi?**” soruları sorulmuştur. Bu sorulardan M.A kodlu öğretmen birinci soruya “*özel çocuklar için yapılmış bu çalışmayı çok beğendiğini...*” ikinci soruya “*uygulanabilir...*” şeklinde açıklama yapmıştır. Aynı sorulardan M.E. kodlu öğretmen birinci soruya “*beğendiğini, böyle bir sistem görmediğini...*” ikinci soruya “*gayet güzel bir şekilde uygulanabileceğini*” şeklinde açıklama yapmıştır. Aynı sorulardan M.K. kodlu öğretmen birinci soruya “*çok beğendiğini...*” ikinci soruya “*uygulanabilir...*” şeklinde açıklama yapmıştır. Aynı sorulardan G.V. kodlu öğretmen birinci soruya “*beğendiğini...*” ikinci soruya “*uygulanabilir...*” şeklinde açıklama yapmıştır. Aynı sorulardan K.Ü. kodlu öğretmen birinci soruya “*çok ama beğendiğini...*” ikinci soruya “*uygulanabilir...*” şeklinde açıklama yapmıştır.

293

Projemiz ile ilgili yapılan görüşmede görme engelli bireylerin aile bireylerine projemiz anlatılmış, sistemimiz kutu içinde gösterilerek çalışma sistemi de anlatılmıştır. Projemiz ile ilgili olarak “**Projeyi**

**beğendiniz mi?**” sorusu sorulmuştur. Bu soruya A.1 kodlu aile bireyi “*çok beğendiğini ve uygulandığını, çocuğunun eve gelince heyecanla anlattığı...*” şeklinde açıklama yapmıştır. Aynı soruya B.2 kodlu aile bireyi “*beğendiğini ve daha önce böyle bir şey görmediğini, çocuğunun eve gelince heyecanla anlattığı...*” şeklinde açıklama yapmıştır. Aynı soruya C.3 kodlu aile bireyi “*beğendiğini, engellilerin sorununa değindiğimiz için uygulandığı, çocuğunun eve gelince heyecanla anlattığı...*” şeklinde açıklama yapmıştır. Aynı soruya D.4 kodlu aile bireyi “*güzel ve farklı bulunduğu bir çalışma olduğunu, çocuğunun eve gelince heyecanla anlattığı...*” şeklinde açıklama yapmıştır. Aynı soruya E.5 kodlu aile bireyi “*beğendiğini, çocuğunun eve gelince heyecanla anlattığı...*” şeklinde açıklama yapmıştır.

## 6. REFERANCES

Bir sağlık sorunu olarak görme engeli! En sık yaşanan sorunlar ve çözüm önerileri. <https://www.medikalakademi.com.tr/bir-saglik-sorunu-olarak-gorme-engeli-bu-bireylerin-yasadigi-sorunlar-ve-cozum-onerileri/> (Erişim tarihi: 01.09.2024)

CANPOLAT, M. ARIKAN, N.İ. (2020) BICYCLE SLIDING SYSTEM FOR THE VISUALLY IMPAIREDEJONS. International Journal on Mathematic, Engineering and Natural Sciences, , 4(16), 1005-1010.

Engellilerin Yapabileceği Spor Dalları Kılavuzu, <https://engelliler.gen.tr/konular/engellilerin-yapabilecegi-spor-dallari-klavuzu.22369/> (Erişim tarihi: 15.10.2025)

Görme engelli veya Görme Engelli Kişiler İçin Tandem Bisiklet Kullanımı, <https://aphconnectcenter.org/visionaware/recreation-and-leisure/sports-and-exercise/tandem-bicycling/> (Erişim tarihi: 15.11.2025)

Türkiye Görme Engelliler Spor Federasyonu , <https://www.gesf.org.tr/branslarımız> (Erişim tarihi: 14.10.2025)

World Health Organization. World Report On Vision. <https://www.who.int/publications/item/worldreport-on-vision>, November 10, 2025.