



Institute of Pure and Applied Sciences

International Journal of Advances
in Engineering and Pure Sciences

MARMARA JEPS



In the name of Rectorate of Marmara University, Rector
Prof. Dr. Mustafa KURT

In the name of Directory of Institute of Pure and Applied Sciences, Director
Prof. Dr. Bülent EKİCİ

Editor-in-Chief
Prof. Dr. Hayriye KORKMAZ

Associate Editors
Prof. Dr. Bülent EKİCİ, Prof. Dr. Bülent AKKOYUNLU

Editorial Boards

Dr. Aris Quantana NEDELCO,
Materials Science

Asst. Prof. Dr. Berçem KIRAN YILDIRIM,
Chemical Engineering

Asst. Prof. Dr. Beste TURANLI,
Bioengineering

Prof. Dr. İsmail USTA,
Textile Engineering

Prof. Dr. Kazım Yalçın ARĞA,
Bioengineering, Bioinformatics

Asst. Prof. Dr. Merve ER,
Industrial Engineering

Dr. Mohammad ALSUNAIDI,
Electrical and Electronics Engineering

Prof. Dr. Mustafa ATMACA,
Mechanical Engineering-Energy

Asst. Prof. Dr. Z. Aysun ALTIKARDEŞ,
Computer Science and Medical Informatics

Assoc. Prof. Dr. Mustafa ÖZDEMİR,
Mechanical Engineering- System Dynamics and Mechanics

Assoc. Prof. Dr. Mustafa Taylan ŞENGÜL,
Mathematics

Assoc. Prof. Dr. Ömer KORÇAK,
Computer Science and Engineering

Assoc. Prof. Dr. Pınar ÇAĞLAYAN,
Biology

Asst. Prof. Dr. Rosa Maria FLORES,
Environmental Engineering

Dr. Sergey V. DOROZHKIN,
Bio-Materials (Ceramics)

Prof. Dr. Uğur YAHŞI,
Physics

Prof. Dr. Yahya BOZKURT,
Material Sciences

Assoc. Prof. Dr. Yeşim GÜRTÜĞ,
Architectural and Civil Engineering

Asst. Prof. Dr. S. Enes HACİBEKTAŞOĞLU
Occupational Safety

Publishing Editor

Arda ŞAHİN

Correspondance and Communication

Hayriye KORKMAZ
Electrical and Electronics Engineering,
Faculty of Technology, T4-211
Maltepe /ISTANBUL
Tel: +90 216 777 3830
hkorkmaz@marmara.edu.tr

Publisher

Marmara University Press
Göztepe Kampusu 34722
Kadıkoy/ISTANBUL
Tel: +90 216 777 1408
yayinevi@marmara.edu.tr

Marmara Üniversitesi Rektörlüğü adına, *Rektör*
Prof. Dr. Mustafa KURT

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü adına, *Müdür*
Prof. Dr. Bülent EKİCİ

Editör

Prof. Dr. Hayriye KORKMAZ

Yardımcı Editörler

Prof. Dr. Bülent EKİCİ, Prof. Dr. Bülent AKKOYUNLU

Editörler Kurulu

Dr. Aris Quantana NEDELCOŞ,
Malzeme Bilimleri

Dr. Öğretim Üyesi Berçem KIRAN YILDIRIM,
Kimya Mühendisliği

Dr. Öğretim Üyesi Beste TURANLI,
Biyomühendislik

Prof. Dr. İsmail USTA,
Tekstil Mühendisliği

Prof. Dr. Kazım Yalçın ARĞA,
Biyomühendislik, Biyoinformatik

Dr. Öğretim Üyesi Merve ER,
Endüstri Mühendisliği

Dr. Mohammad ALSUNAI,DI,
Elektrik ve Elektronik Mühendisliği

Prof. Dr. Mustafa ATMACA,
Makine Mühendisliği- Enerji

Dr. Öğretim Üyesi Z. Aysun ALTIKARDEŞ
Bilgisayar Bilimleri ve Medikal Bilişim

Doç. Dr. Mustafa ÖZDEMİR,
Makine Mühendisliği- Sistem Dinamiği ve Mekanığı

Doç. Dr. Mustafa Taylan ŞENGÜL,
Matematik

Doç. Dr. Ömer KORÇAK,
Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği

Doç. Dr. Pınar ÇAĞLAYAN,
Biyoloji

Dr. Öğretim Üyesi Rosa Maria FLORES,
Çevre Mühendisliği

Dr. Sergey V. DOROZHKIN,
Biyomalzemeler (Seramikler)

Prof. Dr. Uğur YAHŞI,
Fizik

Prof. Dr. Yahya BOZKURT,
Malzeme Bilimleri

Doç. Dr. Yeşim GÜRTUĞ,
Mimarlık ve İnşaat Mühendisliği

Dr. Öğretim Üyesi S. Enes HACİBEKTAŞOĞLU
İş Güvenliği

Yayın Editörü
Arda ŞAHİN

Yazışmalar ve İletişim

Hayriye KORKMAZ

Elektrik ve Elektronik Mühendisliği,
Teknoloji Fakültesi, T4-211
Maltepe /İSTANBUL
Tel: +90 216 777 3830
hkorkmaz@marmara.edu.tr

Yayıncı

Marmara Üniversitesi Yayınevi
Göztepe Kampusu 34722
Kadıköy/İSTANBUL
Tel: +90 216 777 1408
yayinevi@marmara.edu.tr

İÇİNDEKİLER/ CONTENTS

Araştırma Makaleleri/ Research Articles

1. Investigation of Cryptocurrency-Centered Money Laundering Scenarios in Terms of Digital Forensics

Düzgün KÜÇÜK, Ömer Faruk YAKUT, Emre ÇAKAR, Fatih ERTAM

Sayfa/Page: 285 - 296

2. Creating City Based Zoning Plans with Game Theory Approach, Example of 1000 Plans

Selim TAŞKAYA

Sayfa/Page: 297 - 311

3. Özetleme Mekanizması Kullanılarak Bilgi Çizgisine Yeni Eklentiler

Savaş TAKAN

Sayfa/Page: 312 - 321

4. Metformin Administration to Glucose-restricted Cells Attenuates PKA Signaling in *S. cerevisiae*

Esra BÖRKLÜ

Sayfa/Page : 322 - 330

5. Effects of Flow Parameters on Heat Transfer and Temperature Distribution of a Thermoelectric Module

Furkan KILIÇ, Enes KILINÇ

Sayfa/Page : 331 - 337

6. Kalp Kası Enfeksiyonlarına Yönelik Üç Boyutlu Biyofonksiyonel Doku İskelesi Üretimi ve Karakterizasyonu

Songül ULAĞ

Sayfa/Page : 338 - 345

7. Technoeconomic Optimization of a Recuperator Considering Pressure Drops and Operating Costs

Erhan KAYABAŞI

Sayfa/Page : 346 - 358

8. Phylogenetic Analysis of *Pistacia* Species with *rbcL* Chloroplast Gene Region

Ezgi ÇABUK ŞAHİN

Sayfa/Page : 359 - 367

İÇİNDEKİLER/ CONTENTS

Araştırma Makaleleri/ Research Articles

9. Süreç Hatalarının Analizinde Taksonomi Yöntemini Temel Alan Yeni Bütünleşik Tereddütlü Bulanık Yöntem Önerisi

Cansu SAKARYA, Kumru Didem ATALAY, Esra DİNLER

Sayfa/Page : 368 - 378

10. Recycled EPS and Epoxy Based Composite Materials: The Combination of Sustainability and Performance

Aysu ÇAVUŞOĞLU, İdris KARAGÖZ

Sayfa/Page : 379 - 388

11. İş Güvenliği Uzmanlarında Rol Belirsizliği ve Rol Çatışmasının Mesleki Tükenmişlikle İlişkisi

Tufan ÖZTÜRK





Sayfa/Page: 389 – 405

12. Web Tarayıcıları için Etkili Tohum URL Seçimi ve Kapsam Genişletme Algoritması

Zülfü ALNAOĞLU, M. Ali AKCAYOL

Sayfa/Page: 406 – 417

Investigation of Cryptocurrency-Centered Money Laundering Scenarios in Terms of Digital Forensics

Düzgün KÜÇÜK¹ , Ömer Faruk YAKUT¹ , Emre ÇAKAR¹ , Fatih ERTAM¹ 

¹Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Adli Bilişim Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye

Abstract

This study contributes to the literature on tracking money laundering activities. It is important that the proposed methods are applied only to individuals under suspicion of crime and within the framework of existing legal regulations, without violating individual rights and freedoms. The use of relevant methods should adhere to ethical and legal limitations, taking into account important aspects such as privacy and personal data protection.

The main innovation of this study is the presentation of blockchain-based analysis methods for monitoring cryptocurrencies and detecting criminals' money laundering techniques. This study examines how criminals use tools such as cryptocurrency mixers to hide their traces and create illicit money flows. Based on the study findings, monitoring methods are proposed for mixers with low transaction counts and simple operation logic. However, tracking becomes more challenging in complex mixers with a higher volume of transactions, where it is more likely for criminals to blend in with other users.

This study provides a significant contribution by focusing on the opportunities provided by blockchain technology in detecting money laundering activities. It also serves as a valuable resource for identifying steps in digital evidence analysis and tracking processes.

In this study, an approach that will detect money laundering is presented through sample scenarios by bringing a broad perspective to crypto money-based money laundering methods, which are very difficult to trace due to their nature. In addition, it is expected that the difficulties in the implementation of the proposed approach will be clearly addressed and will shed light and inspire further study.

Keywords: Bitcoin, clustering heuristics, cryptocurrency, blockchain, digital forensics, digital evidence, coin mixers, money laundering, cryptocurrency tracking

Öz

Bu çalışma, kara para trafiğinin takibi konusunda literatüre katkıda bulunmayı amaçlamaktadır. Önerilen yöntemlerin yalnızca suç şüphesi altındaki kişilere uygulanması ve mevcut yasal düzenlemeler çerçevesinde bireysel hak ve özgürlükleri ihlal etmemesi önemlidir. Etik ve yasal sınırlamalara uygun olarak ilgili yöntemlerin kullanımı, mahremiyet ve kişisel veri koruması gibi önemli yönleri dikkate alınmalıdır.

Bu çalışmanın ana yeniliği, kripto para birimlerinin izlenmesi ve suçluların para aklama yöntemlerinin tespiti için blockchain tabanlı analiz yöntemlerinin sunulmasıdır. Makalede, suçluların kripto para karıştırıcıları gibi araçları kullanarak izleri kaybettirmesi ve kara para trafiği oluşturması incelenmiştir. Çalışma sonuçlarına göre, düşük işlem sayısına sahip ve basit işlem mantığına sahip karıştırıcılar için izleme yöntemleri önerilmiştir. Ancak daha karmaşık ve daha fazla işlem yapılan karıştırıcılar için izlemenin zor olduğu ve suçluların diğer kullanıcılar arasında izlerinin kaybolmasının daha olası olduğu belirlenmiştir.

Bu çalışma, suçluların para aklama faaliyetlerini tespit etmede blockchain teknolojisinin sağladığı olanaklara odaklanarak önemli bir katkı sağlamaktadır. Ayrıca, sayısal delil analizi ve takip süreçleri için adımların belirlenmesi açısından da değerli bir kaynak oluşturmaktadır.

Bu çalışmada; yapısı gereği iz sürmenin çok zor olduğu kripto para merkezli kara para aklama yöntemlerine geniş bir bakış açısı getirilerek, örnek senaryolar üzerinden kara para aklamayı tespit edecek bir yaklaşım sunulmaya çalışılmıştır. Ayrıca önerilen yaklaşımın uygulamadaki zorlukları açık bir şekilde ele alınarak daha sonra yapılacak çalışmalara ışık tutması ve ilham vermesi beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Bitcoin, kümeleme buluşsal yöntemleri, kripto para, blok zincir, adli bilişim, dijital kanıt, coin karıştırıcıları, kara para aklama, kripto para takibi

I. INTRODUCTION

The phenomenon of cryptocurrency, considered one of the greatest technological advancements in the digital world, has rapidly gained popularity and attracted significant public attention [1]. Cryptocurrency is a digital asset that employs cryptography to secure transactions and maintain control within its own system. Consequently, transactions are conducted autonomously without the involvement of any central authority, safeguarding the privacy of individuals' personal information [1].

Transactions within cryptocurrency are recorded on the blockchain, ensuring data integrity; however, the sender and receiver details remain undisclosed if the 'private key' is unknown to researchers [2]. Bitcoin, the first cryptocurrency, was introduced by an enigmatic individual or group known as Satoshi Nakamoto on January 9, 2009 [3]. Nakamoto announced the publication of the initial version of Bitcoin, an electronic cash system using a peer-to-peer network to prevent double spending, operating independently of servers or central authorities [3].

After this announcement, numerous valid and invalid cryptocurrencies flooded the market due to high demand, substantial price fluctuations, and intense public interest [4]. While this situation has victimized thousands of people, it has also been exploited by illegal organizations for activities like money laundering [5]. Criminals and terrorists have swiftly leveraged Bitcoin's unique characteristics, such as its peer-to-peer structure and pseudo-anonymity, to facilitate extensive financing and money laundering schemes [5].

Governments, on one hand, defend Bitcoin as a currency to protect their national interests and exhibit tolerance toward it. On the other hand, opposing parties have led to a bureaucratic war, hindering the establishment of comprehensive regulations and classifications for cryptocurrency, thereby preventing the surpassing of existing legal boundaries [6]. Money serves as a vital element supporting illegal terrorist and criminal organizations, allowing them to survive and sustain their activities [7]. These groups acquire financing through various means, including government sponsorships, illegal trade, extortion, theft, support donations, and personal wealth [8]. The centralization of currencies and the development of control mechanisms have driven these entities to shift their focus to cryptocurrencies.

The decentralized nature of cryptocurrencies has proven advantageous in many regions, bypassing existing banking systems, especially in areas plagued by corruption. However, this unregulated and decentralized structure has raised significant concerns for governments and intelligence agencies. The supposed anonymity of cryptocurrency users implies

that personal information may never be disclosed; however, in certain special cases, the structure can be traced to multiple computers or identified through a specific public key associated with the user. Additionally, the instantaneous and irreversible nature of international cryptocurrency transactions, detached from existing banking systems, further reinforces the uncontrolled aspect of this structure [6].

II. RELATED WORKS

Studies on detecting money laundering methods using cryptocurrencies are novel and up to date. Despite these negative aspects, efforts have been made to understand the structures of cryptocurrency derived from criminal proceeds and to transform the various stages of digital forensics analysis of devices used in cryptocurrency transactions into more concrete processes [2]. These efforts involve clustering heuristics, attribution tags, and analyzing cryptocurrency payment flows to investigate criminal activities, highlighting key components of modern cryptocurrency analytical techniques [9]. However, the proposed clustering method and the diversity of input-output transactions in coin mixers have not been addressed. Another study discussed different approaches to detecting cryptocurrency mining in corporate networks, presenting two detection methods and practices to prevent the unauthorized use of company resources [10]. Advancements in learning algorithms, such as logistic regression (LR), random forest (RF), multi-layer perceptron (MLP), and graph convolutional networks (GCN), hold promise for anti-money laundering efforts and predicting illicit transactions [11]. Although the association of cryptocurrencies with various crimes such as narcotics, firearms, money laundering, terrorism, child abuse, and ransom attacks may seem negative, the development of specialized analytical tools can facilitate the detection of large criminal networks [12].

The aim of this study is to provide preliminary information on detecting wallets involved in money transfers through public crypto transactions, considering the available money laundering methods for law enforcement in this dark realm. The article is organized as follows: the first part explains definitions and expressions related to cryptocurrencies, the second part reviews relevant literature, the third part provides detailed explanations of existing money transfer methods, the fourth section presents scenarios for monitoring coin mixers and proposes a detection method, the fifth chapter includes a sample application for law enforcement and digital forensics experts, demonstrating tools and scanners for analyzing wallet movements. The final section evaluates and discusses the results.

The unique contributions of this study are as follows:

- Introducing an approach to detect money laundering and suspicious wallet movements in cryptocurrency transfers, which operate outside the control of central authorities and are untraceable.
- Discussing methods related to laundering proceeds of crime using cryptocurrencies and providing insights for future studies in identifying these methods.
- Offering detailed information on various money laundering methods used in the world of cryptocurrencies.
- Providing recommendations for analyzing and tracking these money laundering methods.
- Examining scenarios for tracking suspects through the input and output values of coin mixers, a widely used method for money laundering, and presenting detection approaches.
- Including tools and methods that digital forensic experts can use for tracing activities in the world of cryptocurrencies.

III. MATERIALS AND METHOD

3.1. Cryptocurrency

Cryptocurrency is an electronic payment system that operates on the basis of cryptographic evidence, allowing direct transactions between any two willing parties. Its peer-to-peer (P2P) nature eliminates the need for central banks or verifiers to facilitate and authenticate transactions. It operates on a fully decentralized and distributed open-source software platform, enabling users to connect and participate in the network at any time [9]. The Bitcoin system comprises essential components for executing these transactions, including cryptocurrencies, wallets, public-private keys, and the blockchain [10]. Users use digital wallets to store their cryptocurrencies, which provide them with an account number. However, it is uncommon for users to input real credentials when acquiring a wallet [9]. Each wallet, and therefore each user, is associated with a public and private key. The public key is shared across the network and is used to generate cryptocurrency addresses, sign transactions, and verify payments [9]. In essence, the public key represents the address to which the cryptocurrency is sent and is also used to verify the signatures of transactions signed with the private key. While it is possible to derive a public key from a private key, the reverse is not possible. Therefore, it is crucial for users to securely store their private keys. Moreover, since the user in possession of the keys associated with the cryptocurrency is the only person capable of transferring it, the loss of keys renders the cryptocurrency inaccessible [11]. On the other hand, the blockchain is a publicly accessible ledger that records every transaction. Each record contains the public keys of both the sender and the receiver, along with the transaction amount and timestamp. Users can acquire cryptocurrencies through online purchases, cryptocurrency vending

machines, or mining. Mining refers to the process in which miners solve complex mathematical problems to validate transactions and add them to the blockchain [12].

3.2. What is Money Laundering?

Money laundering refers to the process in which criminals disguise illicit funds as legitimate money, investments, or financial assets [13]. This operation is designed to make the proceeds from illegal activities, such as drug trafficking, appear to originate from lawful sources. Once the illegal funds have been laundered, the perpetrator can freely spend or invest the illicit income in legitimate assets. Money laundering poses a significant threat to the global economy, undermines the integrity of financial systems, and funds further criminal activities that impact community safety and well-being [14].

3.3. Blockchain Explorer

When transactions occur on public networks such as Bitcoin and Ethereum, the data is transformed into a unique value through cryptographic transactions. These unique values are stored in blocks, and all users can access them. Not only the transaction hashes but also the hash values of all wallets and transactions associated with those wallets are publicly available. This feature has both positive and negative aspects. On one hand, it allows for easy tracking of "how much cryptocurrency is held in which wallet" and "when transfers were made in a particular wallet." However, the owners of these wallets remain anonymous and their identities are unknown. In other words, there are numerous wallets and transactions, but the individuals behind these wallets are unidentified. The websites or programs that visualize all cryptocurrency blocks and present them to the public are known as "Blockchain Explorers."

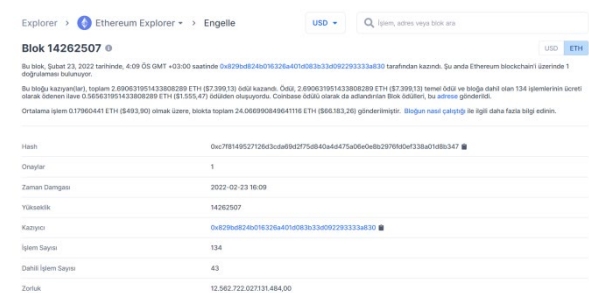


Figure 1. Blockchain Explorer

As shown in Figure 1, the content of an Ethereum block retrieved from Blockchain.com, one of the most well-known blockchain explorers, is shown. Here, it is easy to access a lot of information about the block, from which the miner approves the block [15].



Figure 2. Web page view showing registration information for cryptomoney transfers

As shown in Figure 2, the interface of these browsers provides access to information such as the amount of money transferred between wallets and the corresponding charges. Each transaction also has a cryptographic summary. Based on the available information, it can be concluded that the data on the blockchain is transparent in terms of transaction details but anonymous in terms of the identities involved.

3.4. Anti-Money Laundering Act (AML)

The Anti-Money Laundering Act (AML) encompasses regulations and laws aimed at preventing the transfer and laundering of illegal funds. AML software typically detects suspicious behaviors, including large fund transfers, consistent inflow of funds into an account, and cross-checks against watch lists. AML measures are not limited to cryptocurrencies but apply to all assets and currencies, subject to AML regulations [16].

3.5. Anti-Money Trace and Money Laundering Methods

Just as the use of anonymity technologies makes it challenging to identify individuals, the use of cryptocurrencies can make it difficult to hold specific individuals accountable for money laundering activities. However, by tracing a particular cryptocurrency account to the corresponding exchange, it may be possible to establish a connection between the laundered money and other accounts of the individual [17]. For instance, if the funds in a wallet account are obtained illegally, and the wallet address is known, the transactions performed by that wallet can be tracked, revealing the wallets to which the funds are transferred. However, criminals are aware of this situation and have developed various methods to launder their money.

3.5.1. Buying NFT (Non-Fungible-Token) at exorbitant prices

This method is prevalent in the real world and has been practiced for a considerable time. For example, purchasing worthless paintings for thousands of dollars or buying products of little value at excessively high prices on online platforms can be cited as examples. NFTs, known for their unique product/artwork value, are often used for money laundering purposes. Criminals employ two main methods to evade detection in tracked wallets. In the first method, they create a new wallet and purchase their own NFTs at inflated prices. In the second method, they negotiate with an NFT seller and buy the seller's NFT at a higher price, obtaining a significant portion of the paid amount back from the seller.

3.5.2. Selling on exchanges in the dark web

Criminals frequently employ this method to convert their traceable cryptocurrencies (such as Bitcoin and Ethereum) into Monero, as tracking transactions in Monero is nearly impossible. Additionally, since these exchanges do not require authentication, criminals can easily sell their cryptocurrencies. AlphaBay Market serves as an example of such exchanges.

3.5.3. Converting black coins to cryptocurrencies like Monero

Monero is a cryptocurrency that uses a variety of privacy-enhancing technologies to hide transactions and make them anonymous. One of the key technologies that Monero uses is ring signatures.

The ring signature is a signature technique used by Monero to ensure transaction privacy. In this method, a user initiating a transaction creates a "ring" that includes signatures from randomly selected other users. This ring is used to hide the real identity of the user initiating the transaction and make it untraceable. Monero utilizes Bulletproofs+ with a ring signature size of 16. This means that each transaction contains 16 signatures. As a result, it becomes even more challenging to infer the identity of the user initiating the transaction and to track the transactions [30].

#	Key Image (click row to expand)	Amount					
00	c3b7f0b227fce27f0980801a880533f8c202a771f386ed3758813ef057	?					
Mixin	Key Image	Address	vln	mixln	in/out	timestamp	age (y:d:h:m:s)
01	7d545f138886a6c8886c7d07098a0a8803261228753a2c203388f8a4	92789498	16	2/2	2022-12-03 21:18:49	00:171:11:45:09	
02	2a155f8b8e9c854342b754520243798c85ca078664d70f6da8d20477	92880181	16	1/2	2023-05-06 21:14:38	00:037:11:41:28	
03	14598a50675bc1523a238a282808898955c82128e838ac7984c89c3	92882442	16	3/2	2023-05-06 14:52:51	00:015:18:03:07	
04	14598a50675bc1523a238a282808898955c82128e838ac7984c89c3	92883139	16	1/16	2023-05-10 22:50:24	00:012:09:09:45	
05	5d39f2567c2a0eb3b38a2c28f798a8424f88c3c35104211063905a20676	92883240	16	2/16	2023-05-11 22:50:24	00:012:10:05:34	
06	4094272877c0c397168781a171f64088a2951776a7228a71a05971a11f	92883873	16	1/2	2023-05-11 23:31:42	00:012:09:20:10	
07	4094272877c0c397168781a171f64088a2951776a7228a71a05971a11f	92884037	16	1/2	2023-05-12 04:39:22	00:012:03:56:30	
08	4094272877c0c397168781a171f64088a2951776a7228a71a05971a11f	92884097	16	1/2	2023-05-12 07:09:36	00:012:01:46:22	
09	638029c79f888a63717a1208a8f4773971a086434330ba81131510719	92884257	16	1/2	2023-05-12 12:41:46	00:011:20:14:12	
10	4c8119f3842a27f9f7f888a80588a2c16a3a940553a67a2902f559	92884391	16	1/2	2023-05-12 17:05:41	00:011:13:58:17	
11	5149720872a20872187248e674c8119849378730985306a8a874c	92884459	16	1/16	2023-05-12 19:30:15	00:011:13:05:43	
12	405c2f3ac140f7b758f53c331a32a7d3205f8aade4fbc8c9979a2925742	92884506	16	1/8	2023-05-12 19:30:15	00:011:09:21:43	
13	405c2f3ac140f7b758f53c331a32a7d3205f8aade4fbc8c9979a2925742	92884700	16	1/2	2023-05-13 03:30:55	00:011:05:25:03	
14	402768f040f9f81e49288618a532a381853a053139a587f9a3f081f	92884702	16	2/2	2023-05-13 03:37:52	00:011:05:18:06	
15	f9536a3f0f0e773641536e450e725a9735a8f0487313322a88a4543a3	92884735	16	2/2	2023-05-13 04:55:42	00:011:04:00:16	
16	4a2389a485463c2282a20a708708a4080712f7981c37a13ca450a8b0c7	92884738	16	2/2	2023-05-13 04:58:45	00:011:03:57:13	

Figure 3. Contents of Monero transaction [31]

In Figure 3, addresses that signed the input part of the Monero transaction with the address "b1e814aed40bf79a2b652753edca346d15bae90ee4d363c25b9c0d915a82430f" can be seen. There are 16 addresses, and these signatures are specifically generated for the address receiving XMR (Monero's cryptocurrency). The signature addresses for the sender address are different from those shown in Figure 3.

3.5.4. Real-world face-to-face shops by withdrawing cryptocurrencies to cold wallet

In this method, criminals transfer funds from their hot wallets to portable digital wallets known as cold wallets. After withdrawing the funds to a cold wallet, they sell them at a price lower than the market rate. Unsuspecting buyers, enticed by the opportunity to purchase cryptocurrencies below market price,

conduct the exchange in person for cash. It is understood from the web pages that such buyers started their activities by opening liaison offices [32, 33]. On the other hand, it is possible to make cash payments by using crypto money ATMs, which are active in many places [34]. However, if the buyer of the cold wallet is unaware of its origin and subsequently transfers the funds to an authenticated exchange for selling, the recorded transactions on the network can easily reveal the trail leading to the cold wallet.

3.5.5. Using online gambling sites

In this method, criminals deposit the cryptocurrencies they want to launder into their accounts on online gambling sites that accept cryptocurrency payments. They then engage in betting activities to avoid raising the suspicion. Finally, they withdraw the funds from their accounts, effectively converting the illicit funds into clean money. Typically, multiple gambling accounts are used to minimize attention. If online gambling companies detect large sums of cryptocurrencies in user accounts, they are likely to become suspicious of the account holder [17].

3.5.6. Purchasing real-world barter services with coins or tokens

Tokens are used in the real world to acquire services or products. For instance, a movie theater chain operating in various provinces of Turkey may issue a token exclusively redeemable for purchasing tickets at its theaters. Criminals can convert their cryptocurrencies into tokens and use them to purchase services (e.g., UBER rides, movie theater tickets) and products. If the clearing service provider maintains records, there is a high likelihood of detecting and apprehending criminals. Additionally, criminals may collaborate with a barter service provider and purchase a product worth 0.01 BTC for 1 BTC, thereby laundering their money. In certain cases, they might engage in larger-scale money laundering by acquiring a service that is unlikely to occur for 10 BTC. Moreover, during these transactions, they can easily conduct illicit activities by establishing a company or charity organization on paper to present a legitimate front.

3.5.7. Using cryptocurrency mixers

Cryptocurrency mixing involves aggregating cryptocurrencies from different users and transferring the funds to the designated accounts of the sending users at specific intervals [18].

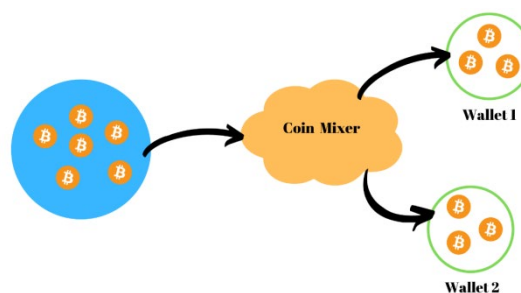


Figure 4. Coin mixer

While some cryptocurrency mixers trade at user-specified times (such as setting the outputs to be made 24 h after the login), some trade after reaching a certain number of entries or after the time required for the next round has elapsed. For example, Wasabi Wallet, one of the most used mixers in the world, makes one round when the number of entries is 100 or every 1 h (Figure.5).

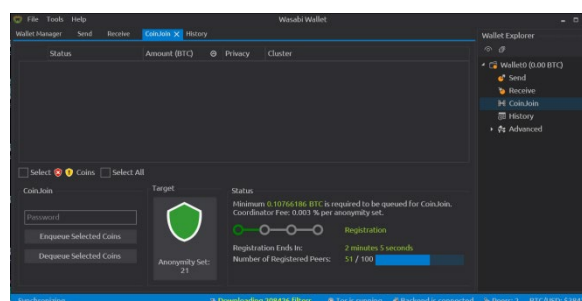


Figure 5. Wasabi Wallet Application

Also, mixers with a significant number of users are less likely to be identified as guilty, as some mixers operate on the principle of torrents. In other words, they circulate funds between their own accounts before sending them to the destination address. This method makes it nearly impossible to trace the criminal.

Cryptocurrency mixers can sometimes take the form of a wallet, while other times smart contracts can be designed as mixers [19]. Networks that do not support smart contracts, such as the Bitcoin network, employ bitcoin wallets as mixers. Users who wish to avoid tracking download mixer wallets and transfer their cryptocurrencies from their own wallets to these mixer wallets, where the funds from different users accumulate in a single wallet [20]. Websites like unjoin.io, coinomize.biz, and yomix.io provide coin mixing services and allow users to specify when the mixed cryptocurrencies will exit the mixer [21, 22, 23].

When transferring cryptocurrencies to a mixer wallet, users can choose which wallets the outputs will be sent to and the duration before the outputs are sent. During the login process, a user can send their crypto funds to the mixer in a single transaction and set the outputs to be sent to six different wallets. Moreover,

the execution times of these transactions can vary, making it quite challenging to predict which output corresponds to which input value.

In networks that support smart contracts, such as the Ethereum network, smart contracts can also function as cryptocurrency mixers. Smart contracts designed in these networks can act as wallets, hold funds, send funds to other addresses, and most importantly, they are decentralized [24]. Therefore, organizations or groups can create a coin mixer using smart contracts, simultaneously send funds to the smart contract, and forward the outputs to different accounts.

IV. SCENARIO AND DETECTION APPROACHES FOR MONITORING COIN MIXERS

Criminals using coin mixers do not always send the coins they input into the mixer to specific output accounts. In additionally, they have the option to stagger the transfers of the requested funds to the specified output accounts. For example, a user wanting to launder money may transfer a portion of the funds two hours after the initial transaction, and the remaining amount after 72 h. The higher the number and volume of transactions in a mixer per unit of time, the lower the probability of leaving a trace. However, in mixers with very few transactions, suspicious outputs can be traced.

4.1. The Reliability of Cryptocurrency Mixers

For a cryptocurrency mixer to be considered reliable, it must be decentralized and have a large user base.

Decentralization: Security is paramount for a coin mixer, and decentralization is a crucial aspect. Mixers managed by a central system require users to trust an institution or individual, which is not preferred. With transactions managed from a central location, security forces can easily access the obtained records. In short, decentralization is the most important factor for ensuring the safety of a coin mixer.

Number of Users: Another important factor is the number of users using the coin mixer. The anonymity of transactions carried out in a coin mixer is directly proportional to the number of users. Therefore, the more people using a mixer, the more difficult it becomes to track transactions.

4.2. Tracking Scenarios for Cryptocurrency Mixers

One consideration in monitoring mixer processes is the ratio of inputs to outputs. If the number of inputs is high and the number of outputs is lower than the number of inputs, the number of accounts to be tracked will decrease.

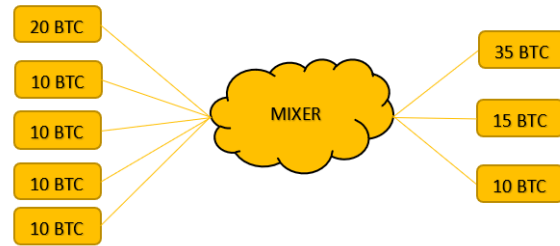


Figure 6. Too many inputs, too few outputs Coin Mixer

As seen in Figure 6, the total number of BTC transferred to the mixer is 60 and the total number of BTC released is 60. When the scenario in Figure 6 is examined, if the person being followed is the owner of the account that transfers 20 BTC and there are three transactions as output, 15 BTC, 10 BTC and 35 BTC, there are different partners working together with the person being tracked. This account should also be followed, as it will result that other accounts transferring to the mixer are associated with this person.

```
function checkInputOutputRatio(transferredInputs, outputTransactions):
    if transferredInputs.length > 0 and outputTransactions.length < transferredInputs.length:
        return true
    else:
        return false
```

If all of the criminal's wallets are being tracked and there are transactions from the criminal's wallets among the entries into the mixer, all the criminal's wallets should be considered as one wallet.

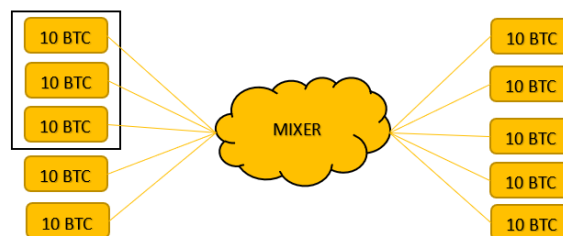


Figure 7. Scenario where suspicious wallets enter the Coin Mixer

As shown in Figure 7, cryptocurrencies from different accounts entering the mixer, which works simply, should be treated as one transaction, and it should be known that all three transactions exiting the mixer are accounts associated with this account. If a mixer takes a set of inputs that will increase its average daily trading volume, the outputs of these inputs are likely to be noticed. This is somewhat similar to the fact that the larger and more ostentatious parent duck is easily distinguished from the baby ducks.

```
function identifyHighVolumeTransaction(inputTransactions, outputTransactions, dailyTradingVolume):
    for transaction in outputTransactions:
        if transaction.value > dailyTradingVolume:
            associatedInput = findAssociatedInput(transaction, inputTransactions)
            if associatedInput is not None:
                associateTransactions(associatedInput, transaction)
```

In this pseudocode, inputTransactions represents the list of input transactions entering the mixer,

outputTransactions represents the list of output transactions exiting the mixer, and dailyTradingVolume represents the average daily trading volume. The function identifyHighVolumeTransaction iterates over each output transaction. If the value of the transaction is greater than the daily trading volume, it indicates a high-volume transaction. The function then attempts to find the associated input transaction for the high-volume output transaction by calling the findAssociatedInput function. If an associated input transaction is found, the associateTransactions function is called to associate the input and output transactions.

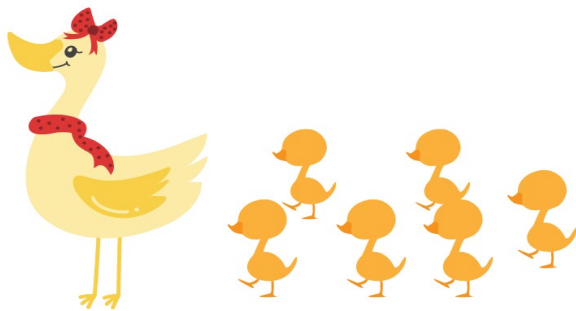


Figure 8. Transaction volume and visibility

As shown in Figure 8, there are no essential features that distinguish baby ducks from each other. If a person says that one of the baby ducks is guilty, it is difficult to guess which baby is guilty. But if he says that the culprit is the biggest and most developed duck (parent duck), it is very easy to determine which he means. The throughput in the mixers was just like in this example. On the other hand, in a scenario where a criminal steal 500 BTC and keeps it all in one wallet. There are two possible scenarios if this criminal wants to use a mixer to avoid being tracked:

In the First Option; After distributing all the money in your wallet to different wallets, transferring them to the mixer and increasing the number of entries, reducing the likelihood of being tracked. This option is also divided into two.

A. The partial outflow of money that is entered in parts.

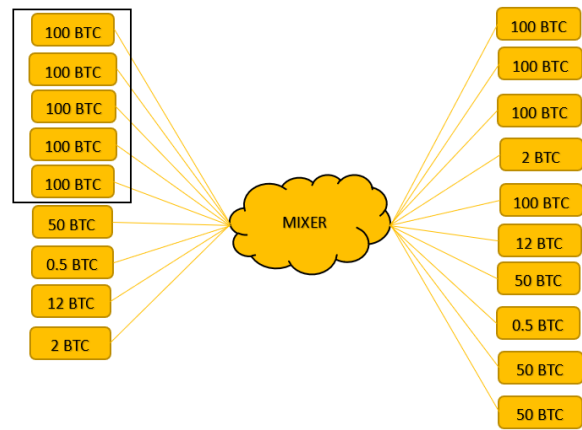


Figure 9. Segmented Entry and Segmented Exit scenario

In a scenario visualized in Figure 9, if the total value of the transfers in the black box is 500 BTC and it belong to the criminal being tracked, the sum of the inputs excluding the inputs made by the criminal can be calculated as 4.5 BTC. When we look at the output values, it is necessary to focus on values greater than 64.5 BTC or 50 BTC. In Figure 9, the suspect has provided 5 inputs of 100 BTC, and there are 4 transactions of 100 BTC as output. In this case, it can be thought that the criminal extracted a transfer with a value of 100 BTC by dividing it out. When examined carefully, there is one 50 BTC transaction as the input value, while there are 3 50 BTC transactions in the output values. That is, it can be said that the criminal split the 100 BTC input into two 50 BTC. One of the important points here is that it is certain that the outputs of 100 BTC belong to the criminal and these transactions should be followed.

```
function trackSplitTransactions(totalTransferValue, inputs, outputs):
    criminalInputs = filterCriminalInputs(inputs)
    sumOfExcludedInputs = calculateSumOfExcludedInputs(criminalInputs)

    for transaction in outputs:
        if transaction.value > (totalTransferValue - sumOfExcludedInputs):
            associateTransactionWithCriminal(transaction)
```

In this pseudocode, totalTransferValue represents the total value of transfers in the black box, inputs represent the list of input transactions, and outputs represents the list of output transactions. The function trackSplitTransactions first filters out the inputs made by the criminal using the filterCriminalInputs function. It then calculates the sum of the inputs excluded from the criminal using the calculateSumOfExcludedInputs function.

B. The money that is entered piecemeal comes out in less pieces or in one piece.

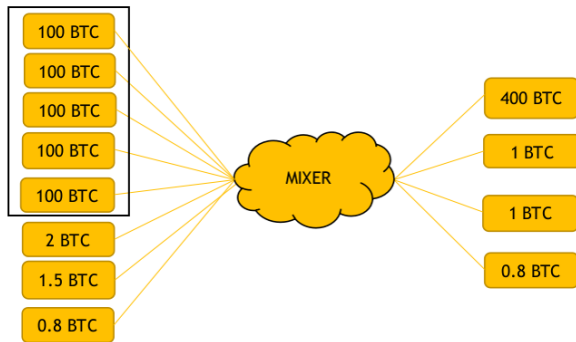


Figure 10. Partial entry, mass exit scenario

As can be seen in Figure 10, the 5 accounts of the criminal that were followed provided 100 BTC input to the mixer. Looking at the output values, there is an eye-catching 400 BTC transaction. On the other hand, there is a high probability that the person who ordered this action is the aforementioned criminal. If attention is paid, it will be understood that the total value of the inputs does not match the total value of the outputs. So, it is likely that the said criminal will extract the remaining BTCs at a different time.

```
function trackMismatchedInputsOutputs(inputs, outputs):
    totalInputValue = calculateTotalInputValue(inputs)
    totalOutputValue = calculateTotalOutputValue(outputs)
    if totalInputValue != totalOutputValue:
        potentialRemainingValue = totalInputValue - totalOutputValue
        identifyPotentialRemainingTransactions(potentialRemainingValue, inputs)
```

In this pseudocode, inputs represent the list of input transactions, and outputs represent the list of output transactions. The function trackMismatchedInputsOutputs first calculates the total value of the inputs using the calculateTotalInputValue function and the total value of the outputs using the calculateTotalOutputValue function.

Next, the function checks if the total input value is different from the total output value. If they do not match, it suggests mismatched inputs and outputs situation. The function then calculates the potential remaining value by subtracting the total output value from the total input value. It calls the identifyPotentialRemainingTransactions function to identify any transactions that may be associated with the remaining value.

In the Second Option; It is to transfer all the money in the wallet to the mixer in one go. This option is also divided into two.

A. Collective outflow of money that is entered collective.

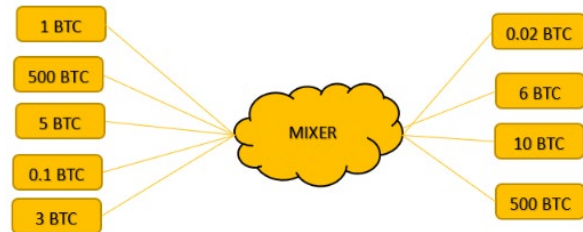


Figure 11. Batch Entry Mass Exit Scenario

In the scenario in Figure 11, the criminal made 500 BTC entries. When the values coming out of the mixer are examined, an; outflow of 500 BTC has been observed. This 500 BTC output is probably the aforementioned culprit.

```
function trackTotalInputOutput(inputValue, outputValue):
    if inputValue == outputValue:
        identifiedCriminal = true
        markAsCriminal(identifiedCriminal)
```

In this pseudocode, inputValue represents the total value of the inputs made by the criminal, and outputValue represents the total value of the outputs observed from the mixer. The function trackTotalInputOutput compares the input and output values. If they are equal, it indicates that the total input and output values match, suggesting that the identified criminal is associated with the 500 BTC output. The function then marks the identified criminal using the markAsCriminal function.

B. Partial outflow of money that is entered collectively.

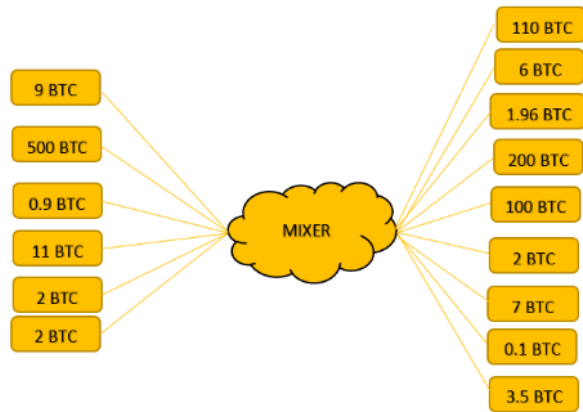


Figure 12. Batch Entry Split Exit scenario

In the scenario in Figure 12, the aforementioned criminal has transferred 500 BTC, and the outputs of any round after the transfer are shown in the image. If we look at the outputs, there are three (100 BTC, 200 BTC, 110 BTC) values that are much more than normal output values. Looking at these available data, it can be said that the aforementioned criminal has a high probability of transferring 310 BTC of 500 BTC in this round. The accounts to which these outputs are transferred and the next transactions of those accounts should be followed.

```
function analyzeOutputs(outputs):
    for each output in outputs:
        if output > normalOutputThreshold:
            identifiedCriminal = true
            transferValue = output
            markAsCriminal(identifiedCriminal, transferValue)
            break
```

In this pseudocode, outputs represent the list of output values observed in the scenario. normalOutputThreshold is a threshold value that determines what is considered a normal output value. The function analyzeOutputs iterates over each output value and checks if it exceeds the normal output threshold. If an output value is higher than the threshold, it indicates a suspicious transaction. The function then marks the identified criminal using the markAsCriminal function and stores the transfer value for further analysis.

V. SAMPLE APPLICATION FOR TRACKING CRYPTOCURRENCY TRANSACTIONS

In open blockchain networks, the transaction performed by the account is clearly recorded in the ledger, so it is not known to whom the transactions occurred [25].

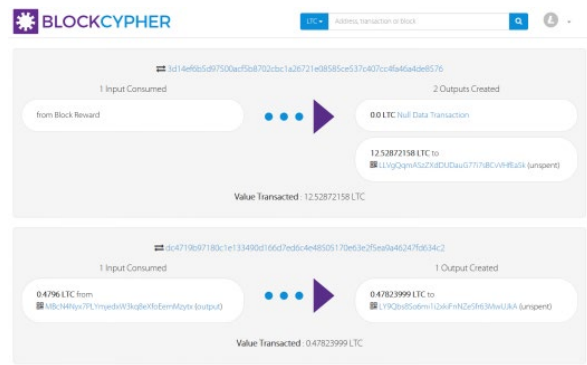


Figure 13. Two transactions that occurred in the Litecoin block [26].

As shown in the example in Figure 13, it can be easily understood by looking at the ledger which outputs are from which account and when the outputs occurred. This provides an advantage in terms of forensic computing. If a cryptocurrency wallet/transaction is to be tracked in a forensic investigation, only information provided by an explorer should not be trusted. To avoid any doubt, transactions on more than one explorer must be followed and the information obtained from the explorers must be compared. If the case is an important case such as a terrorism case, the wallet ledger in question should be downloaded and research should be done on that ledger.

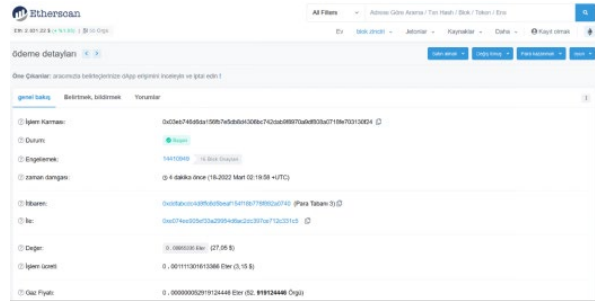


Figure 14. Screenshot taken from etherscan.io [27]

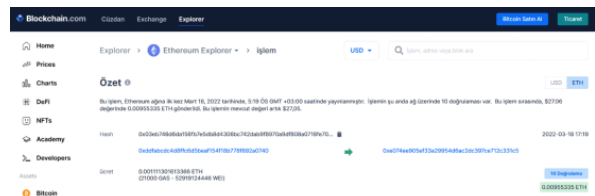


Figure 15. Screenshot taken from Blockchain.com [28]

When the screenshots taken from Etherscan.io shown in Figure 14 and the screenshots taken from Blockchain.com shown in Figure 15 of the same transaction are examined; It is seen that both contain the same information for the same transaction value (hash value). This confirms the value of the transaction in question and between which accounts it took place.

5.1. Ways to Follow for Suspicious Accounts

There are two ways for a suspected cryptocurrency wallet to be tracked by the digital forensic investigator, downloading the Coin ledger and obtaining information from third-party sites.

A. Downloading the Coin Ledger.

This method is quite difficult. Because after the notebook is downloaded, an explorer is also needed to navigate on that notebook. In addition, even if the explorer is written, if the tracked wallet has made too many transactions and there are complex transactions that cannot be examined manually, another tool should be written to determine the relationship between the accounts that perform these transactions. Also, since the blockchain technology used by every cryptocurrency is not the same, these transactions need to be repeated for every cryptocurrency.

B. Collecting Information Using Third Party Sites Like Maltego.

If the followed account has made too many transactions, it is very tedious and time consuming to manually track these transactions and link the accounts where the transactions occurred. For such cases, the use of information-gathering tools such as Maltego eases the processing load of the reviewer. Before starting the process in Maltego, the add-on to

be monitored must be installed. Related add-ons can be listed by clicking on the “Cryptocurrency” category in the Add-ons section. In the example in this study, it was continued with the Tatum plugin made by Maltego himself. Other options are also available. For example, the Blockchain.info (Bitcoin) plugin pulls data from Blockchain.com.

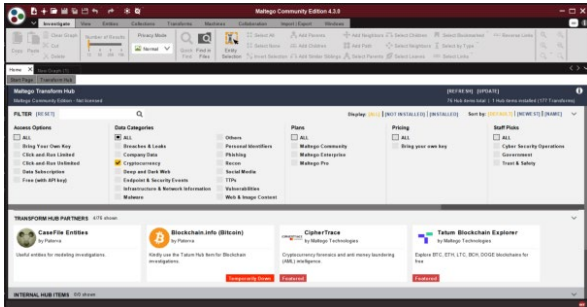


Figure 16. The Screenshot of Maltego homepage [29]

After the selection is made and the plugin is installed, a new review page should open.

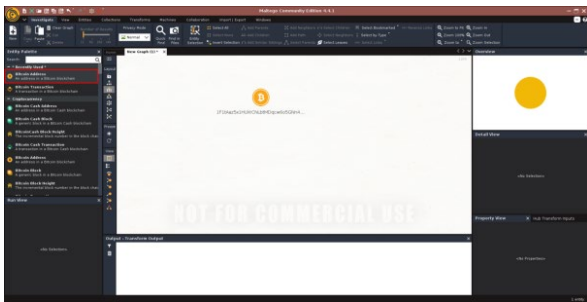


Figure 17. Wallet/transaction tracking screen-1 [29]

The “Bitcoin Address” option on the left side of the page that opens should be selected and the address to be followed should be entered here. The resulting shape should be right-clicked with the mouse and the Tatum Blockchain Explorer option should be selected in the pop-up menu.

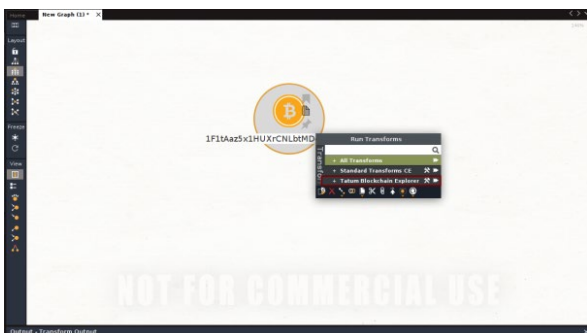


Figure 18. Wallet/transaction tracking screen-2 [29]

A choice must be made among the options that appear, according to the purpose of the examiner. For example, "To Input Address" option should be selected if it is desired to determine from which wallet the funds transferred to the said wallet come from. This option only finds transactions from other wallets.

But the "To Input Transaction" option reflects UTXO inputs and normal transactions.



Figure 19. Wallet/transaction tracking screen-3 [29]

An image of the selection screen is shown in Figure 19. Controls can be provided on wallets by making relevant selections on this screen.

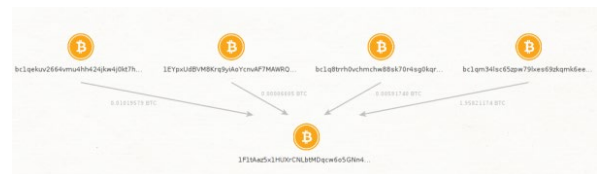


Figure 20. “To Input Address” Window [29]

As shown in Figure 20, after selecting the "To Input Address" option, it can be clearly seen that 11 wallets have been transferred to the address we have followed. The same process can be applied to a user who send money. Thus, the number of suspicious wallets can be increased.

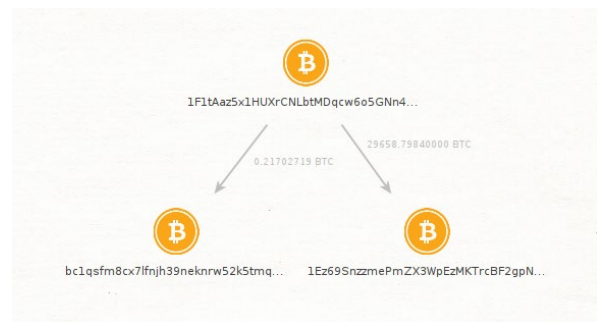


Figure 21. Applying the “To Input Address” option to other addresses [29]

Figure 21 shows the screenshot showing that money transfers made to the address are also clearly visible because of applying the "To Input Address" option to other addresses. One of the points that should not be forgotten here is “time”. As these outputs are all transactions so far, follow-up needs to be done considering the time of the crime.

VI. CONCLUSIONS

Using blockchain technology, cryptocurrencies have become significant financial instruments for criminal and terrorist organizations, enabling them to pursue their objectives through their decentralized structure,

peer- to- peer processing, and user anonymity. Undoubtedly, as digital transformation unfolds rapidly, crimes have transitioned into virtual realms, leading to the development of numerous unique money laundering methods in the criminal world. However, these crimes cannot escape the untraceable methods brought forth by the digital age. While criminals continue to employ methods and platforms to conceal their activities, law enforcement agencies are determined to combat these activities. Consequently, states, intelligence organizations, and law enforcement units must systematically understand existing systems and expose criminal methods.

This study highlights blockchain-based methods in the context of money laundering. It discusses the methods and steps digital investigators should follow when monitoring cryptocurrency wallets, transactions, and money laundering techniques implemented using blockchain-based systems. One of these methods, namely the use of mixers to hide money trails, is examined through the creation of various scenarios.

While the proposed solutions presented in this study are applicable to mixers with a low volume of transactions and straightforward operational logic, their process becomes more complex in specific mixers with several transactions, making it challenging to distinguish the targeted criminal from other users. Nevertheless, considering that the blockchain system can contribute to detecting criminals within this intricate and anonymous structure, this study is a significant step toward preventing crimes.

Furthermore, an exemplary application is provided for digital forensic experts and law enforcement officers, outlining the initial steps required to trace such illicit funds. The application proposes an approach for detecting money transfers through manual analysis of transaction ledgers and subsequent analysis using third-party applications.

While crypto-based methods are complex, this study delves into essential clues for tracking illicit funds, which can be invaluable for investigating illicit financial activities. It is anticipated that this study will contribute to the literature and support law enforcement efforts by shedding light on the topics discussed and inspiring new perspectives.

REFERENCES

- [1] M. Milutinović, “Cryptocurrency Tt - Крппто Валуте,” *Ekonomika*, vol. 64, no. 1, pp. 105–122, (2018), doi: 10.5937/ekonomika1801105m.
- [2] Naqvi, Syed. “Challenges of Cryptocurrencies Forensics: A Case Study of Investigating, Evidencing and Prosecuting Organised Cybercriminals.” *Proceedings of the 13th*

International Conference on Availability, Reliability and Security (2018), doi: 10.1145/3230833.3233290.

- [3] “Bitcoin open source implementation of P2P currency - P2P Foundation.” <http://p2pfoundation.ning.com/forum/topics/bitcoin-open-source> (accessed May 30, 2022).
- [4] “Büyük Kripto Para Birimi Dolandırıcılığı.” <https://www.forbes.com/sites/jayadkisson/2018/11/20/the-great-cryptocurrency-scam/?sh=4b68b2cf359f> (accessed May 29, 2022).
- [5] ONS, “Overview of fraud and computer misuse statistics for England and Wales,” pp. 1–21, 2018, [Online]. Available: <https://www.ons.gov.uk/peoplepopulationandcommunity/crimeandjustice/articles/overviewoffraudandcomputermisusestatisticsforenglandandwales/2018-01-25>.
- [6] E. Fletcher, C. Larkin, and S. Corbet, “Countering money laundering and terrorist financing: A case for bitcoin regulation,” *Research in International Business and Finance*, 2021, doi: 10.1016/j.ribaf.2021.101387.
- [7] M. Freeman, “The sources of terrorist financing: Theory and typology,” *Stud. Confl. Terror.*, 2011, doi: 10.1080/1057610X.2011.571193.
- [8] T. A. Hulme, “The ethical and legal aspects of blockchain technology and cryptoassets,” in *Batten-Corbet-Lucey Handbooks in Alternative Investments*, 2020, 10.1515/9783110660807-008.
- [9] M. Fröwis, T. Gottschalk, B. Haslhofer, C. Rückert, and P. Pesch, “Safeguarding the evidential value of forensic cryptocurrency investigations,” *Forensic Sci. Int. Digit. Investig.*, vol. 33, 2020, doi: 10.1016/j.fsidi.2019.200902.
- [10] V. Veselý and M. Žádník, “How to detect cryptocurrency miners? By traffic forensics!,” *Digit. Investig.*, 2019, doi: 10.1016/j.diin.2019.08.002.
- [11] M. Weber et al., “Anti-Money Laundering in Bitcoin: Experimenting with Graph Convolutional Networks for Financial Forensics,” Jul. 2019, doi: 10.48550/arxiv.1908.02591.
- [12] G. Tziakouris, “Cryptocurrencies - A forensic challenge or opportunity for law enforcement? An INTERPOL perspective,” *IEEE Secur. Priv.*, 2018, doi: 10.1109/MSP.2018.3111243.
- [13] “Money laundering in Australia 2011 | AUSTRAC.” <https://www.austrac.gov.au/business/how-comply-guidance-and-resources/guidance->

- resources/money-laundering-australia-2011 (accessed Jul. 04, 2022).
- [14] K. Singh and P. Best, “Anti-Money Laundering: Using data visualization to identify suspicious activity,” *Int. J. Account. Inf. Syst.*, 2019, doi: 10.1016/j.accinf.2019.06.001.
- [15] “Blockchain.com | Login.” <https://login.bnockchain.com/#/login?product=wallet> (accessed Jul. 05, 2022).
- [16] M. Brewczyńska, “Financial Intelligence Units: Reflections on the applicable data protection legal framework,” *Comput. Law Secur. Rev.*, 2021, doi: 10.1016/j.clsr.2021.105612.
- [17] “Kara Para Aklamayı Önleme (AML) Nedir? | Binance Academy.” <https://academy.binance.com/tr/articles/what-is-anti-money-laundering-aml> (accessed Jul. 05, 2022).
- [18] Bonneau, J., Narayanan, A., Miller, A., Clark, J., Kroll, J. A., & Felten, E. W., **Mixcoin: Anonymity for Bitcoin with accountable mixes** doi: 10.1007/978-3-662-45472-5_31 (2014).
- [19] Wang, Z., Chaliasos, S., Qin, K., Zhou, L., Gao, L., Berrang, P., Livshits, B.; Gervais, A. (2023). On How Zero-Knowledge Proof Blockchain Mixers Improve, and Worsen User Privacy. *Proceedings of the ACM Web Conference 2023, 2022–2032.* <https://doi.org/10.1145/3543507.3583217>
- [20] Wu, L., Hu, Y., Zhou, Y., Wang, H., Luo, X., Wang, Z., Zhang, F., & Ren, K. (2021). Towards understanding and demystifying bitcoin mixing services. *The Web Conference 2021 - World Wide Web Conference, WWW 2021*, 33–44. <https://doi.org/10.1145/3442381.3449880>
- [21] UniJoin, Retrieved May 21, 2023, from <https://unijoin.io/en/coinjoin/btc>
- [22] Coinomize.biz - Start Mixing - Bitcoin Mixer | Bitcoin Blender. Retrieved May 21, 2023, from <https://coinomize.biz/start-mixing>
- [23] Bitcoin Mixer — YoMix.IO. (n.d.). Retrieved May 21, 2023, from <https://yomix.io/en/bitcoin-mixer-blender>
- [24] Su Liu and Jian Wang. DMC: Decentralized Mixer with Channel for Transaction Privacy Protection on Ethereum; *2nd International Conference on Machine Learning Techniques and NLP (MLNLP 2021)*. <https://doi.org/10.5121/csit.2021.111412>
- [25] Gupta S., Sadoghi M. (2021). Blockchain Transaction Processing. *Encyclopedia of Big Data Technologies*, 366–376. https://doi.org/10.1007/978-3-319-77525-8_333
- [26] “BlockCypher - Blockchain Web Hizmetleri.” <https://www.blockcypher.com/> (accessed Jul. 13, 2022).
- [27] “Ethereum (ETH) Blok Zinciri Gezgini.” <https://etherscan.io/> (accessed Jul. 13, 2022).
- [28] “Blockchain.com | Bitcoin, Ethereum ve daha fazlasını güvenle satın alın.” <https://www.blockchain.com/> (accessed Jul. 13, 2022).
- [29] “Main Page - Maltego.” <https://www.maltego.com/> (accessed May. 21, 2022).
- [30] Chung, Heewon, Kyoohyung Han, Chanyang Ju, Myungsun Kim, and Jae Hong Seo. "Bulletproofs+: Shorter Proofs for Privacy-Enhanced Distributed Ledger." *Cryptology ePrint Archive*, Paper 2020/735, 2020. doi: 10.1109/ACCESS.2022.3167806.
- [31] Blockchain Explorer - MoneroHash. (n.d.). Retrieved May 24, 2023, from <https://monerohash.com/explorer/tx/b1e814aed40bf79a2b652753edca346d15bae90ee4d363c25b9c0d915a82430f> (accessed May. 21, 2022).
- [32] Hakkımızda - NakitCoins. Retrieved July 1, 2023, from <https://nakitcoins.com/hakkimizda>.
- [33] Exchange BTC - Bitcoin exchange network - FlyingAtom. Retrieved July 1, 2023, from <https://flyingatom.com/en/exchange-bitcoin/>.
- [34] Motsi-Omoijiade, I. D. (2018). Financial Intermediation in Cryptocurrency Markets – Regulation, Gaps and Bridges. *Handbook of Blockchain, Digital Finance, and Inclusion*, Volume 1: Cryptocurrency, FinTech, InsurTech, and Regulation, 207–223. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-810441-5.00009-9>

Creating City Based Zoning Plans with Game Theory Approach, Example of 1000 Plans

Selim TAŞKAYA¹ 

¹Artvin Çoruh University, Department of Architecture and Urban Planning, 08000, Artvin, Türkiye

Abstract

Zoning plans are the formation of rules that will regulate all kinds of needs of a group of people living on a certain piece of land. While the plans are being formed, they are in a flow from the development plans to the latest implementation plans in the hierarchy from the top to the bottom scale. Subsequently, a zoning application is made in the area determined depending on the population density. In this application, various zoning parameters are formed in accordance with a certain rule. It meets the needs of people by creating a subject, trade, official institution or many social reinforcement areas. It is created for this purpose in plans of 1000 called applications. It is created by making use of approaches such as game theory. Game theory is the task of determining the best strategy within the framework of the rules in an application that is considered a certain game. In planning, it will be possible to determine the formation of the best housing, commercial or social facilities and the determination of development areas with area-based correlation within the planning rules, with game theory. As a game theory element, it was tried to explain how to create the best open application development plan with the integral function of population, population growth amount, area-based surface area amounts according to plan definitions. The study area was about how to examine the parts of an application or revised zoning plan with game theory based on the city-based Elazığ.

Keywords: City Development plan, Game Theory, 1000's plan, Plan Elements, Use of Defined Integral.

Öz

İmar planları belli bir kara parçası üzerinde yaşayan insan grubunun her türlü ihtiyacını düzenleyecek kuralların oluşumudur. Planlar oluşurken üstten alt ölçeğe doğru olan hiyerarşide kalkınma planlarından en son uygulama planlarına kadar bir akış içerisinde. Bundan mütevellit nüfus yoğunluğuna bağlı olarak belirlenen alanda imar uygulaması yapılır. Bu uygulamada çeşitli imar parametreleri belli bir kural bütününde hareketle oluşur. Konut, ticaret, resmi kurum ya da birçok sosyal donatı alanı meydana getirilerek insanların gereksinimini karşılar. Uygulama denilen 1000'lik planlarda bu amaçla oluşturulur. Oluşturulurken oyun teorisi gibi yaklaşımlardan yararlanılarak meydana getirilir. Oyun teorisi, belli bir oyun olarak değerlendirilen bir uygulamada kurallar çerçevesinde en iyi stratejiyi belirleme işidir. Planlama da ise plancılık kuralları içerisinde alan bazlı korelasyon ile en iyi konut, ticari ya da sosyal donatıların oluşumu, gelişim alanlarının tayinini belirlemek oyun teorisi ile mümkün olacaktır. Oyun teorisi öge olarak nüfus, nüfus artış miktarı, plan tanımlarına göre alan bazlı yüz ölçüm miktarları tanımlı integral fonksiyonu ile en iyi gelişime açık uygulama imar planı nasıl oluşacağı açıklanmaya çalışıldı. Çalışma alanı şehir bazlı olarak Elazığ kapsamında baz alınarak oyun teorisi ile bir uygulama ya da revize imar planı kısımlarının nasıl irdeleneceği hakkında olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Şehir İmar planı, Oyun Teorisi, 1000'lik plan, Plan Öğeleri, Tanımlı İntegral Kullanımı.

I. INTRODUCTION

Zoning plans are generally the arrangements that enable the functional use of a certain land, make evaluations in terms of population, and help to take steps for a regular and healthy urbanization in the future. Although the zoning plans are made specific to a certain land, in fact, a model is drawn from a land for the whole city to be healthy and prosperous [1-2]. The basis of the zoning activities carried out within the framework of the Zoning Law is the preparation of the zoning plan and the implementation of this plan within a specific program.

Regular urbanization of a region, benefiting from infrastructure and superstructure services in a healthy way, bringing it to livable standards in accordance with contemporary needs, first of all, make it necessary to prepare, put into effect and implement a zoning plan and program for the region [3]. Settlement areas, the behavior of the people living there and the relations of people with these areas should be regulated and controlled. It is in the nature of man to settle in a place and own an immovable in that place. The issues mentioned here are also human rights. The right to live comes first among the rights related to settling in a place [4].

In addition to the right to live, on the inhabited area of the person; use and move freely, acquire, make changes and save [5-4]. The implementation of the zoning plan is the whole of the methods that ensure that the property texture, for which new usage decisions are made with the zoning plan, is adapted to

legal rules and plans. The zoning regulations and the hierarchy of plans related to it have directly or indirectly affected the zoning movements [8-9]. Although the concept of planning can be evaluated with different approaches, its general meaning is; It refers to a goal to be reached at the last stage and the process to be followed for this purpose [9]. Investment concerns in the construction and real estate sectors, which are in direct interaction with the economic structure of the country, are directly related to the spatial plans and the rent areas revealed by these plans. While determining investment areas in business development processes, each investor tries to develop land with some concerns such as how feasible the investment will be and how suitable the market is for this investment [10-9]. Plan revision and change both apply to plan types at all scales. Many planning works that should be handled within the scope of plan revision are implemented as plan changes [11-12]. According to the planning hierarchy, revisions and changes may come to the fore for the spatial strategy plan, environmental plan, master zoning plan and implementation zoning plans. The most frequent plan changes are on the implementation zoning plans. In the table, it has been determined that there are no big differences between the two regulations. However, it is noteworthy that the phrase "obligatory by the public interest" in the definitions section of the zoning plan change in the Regulation on the Principles of Plan Making has been changed to the phrase "for public benefit" in the Spatial Plans Construction Regulation. It can be said that this change of expression will cause an increase in the number of changes in the zoning plan [12].

When plan-making regulations and plan-making techniques are examined, the techniques, display languages, levels of detail, etc. used within the framework of comprehensive planning understanding while preparing the upper-scale plans and lower-scale

the zoning plan and all kinds of urbanization activities are carried out. However, zoning practices are the basic implementation tools in terms of ensuring the formation of modern and livable healthy cities, and they are processes that are carried out based on the methods whose boundaries are specified in accordance with the laws and regulations [4].

Urban Transformation is conceptually defined as the demolition of unlicensed buildings that do not comply with the city's zoning plan, and the creation of collective settlement areas in accordance with the plans [6-4]. It has been defined as all the actions taken to create housing, trade, culture, tourism and social reinforcement areas, to take precautions against natural disaster risks, to renew and preserve the historical and cultural texture of the city and to use it by keeping it alive [7-4]. Zoning regulations have been established for the development of the constructed buildings within the framework of certain

plans prepared in our country. It is seen that they are made as physical plan documents that are identical with their features [13-14]. Pedestrianization applications have been made in big city centers. With the construction activities in the city centers, historical and cultural values were destroyed and as a result of the increase in density, green and social infrastructures were also insufficient. Buildings in housing areas have started to be built by cooperatives and have been realized. Social housing policies were developed, but the problems in fund transfers were not sufficient to meet the continuity and demand. As a solution, mass housing production has been included in development plans [15-16]. Despite the participation of the state (initiative), mass housing practices were generally carried out by private and local governments [17-16]. Zoning plans are the most important tools that organize urbanization. The functions determined by the zoning plans are to ensure that the citizens of the city have a more organized living space and to control the future growth and development of the city with a certain mechanism. According to the planning hierarchy, 1/100,000 scaled Environmental Plan, 1/5000 scale master plan and 1/1000 scale implementation development plans are made and decisions are made on how and for what purpose the lands will be used, and areas such as housing, commerce, industry, agriculture and forest are determined. The legal and constitutional basis of zoning plans is the concept of superior public interest. They are documents that balance individual interests with the general interests of the people, hence individual interests. It is a social consensus document that balances short-term common benefits and long-term goals, prevents injustices, foresees the problems that may arise, puts physical, geographical, cultural and economic orientations, prohibitions, and determines possibilities [18]. Urban planning, on the other hand, is a public service that prioritizes the

benefit of society in order to provide a safe and sustainable living space to the society it hosts, takes a role in the physical development of cities by

II. THEORETICAL FRAMEWORK AND SCOPE

Planning, with a general definition, includes producing the land use decisions made to determine the usage patterns, capacities and location choices of the functions in the space. Here, planning is defined as the preparation of systematic programs for the future in order to achieve the desired goals [20-21]. These are the applications made in order to ensure that the immovable properties of the immovable owners are made in accordance with the zoning plan without waiting for the actions to be taken by the relevant administrations in the event that the implementing administrations are late in making the lands of the immovable owners comply with the usage decisions specified in the zoning plan. However, in case of different usage decisions with the new zoning plan in the previous subdivision plans, or in cases where the immovables in the subdivision plan need to be divided into smaller pieces and the parcels in small pieces should be combined, applications are made upon the request of the immovable owners [4]. border correction; In case there is a border between two parcels that affects the use of the parcel, it is the correction process carried out with the consent of the parcel owners, provided that the parcel areas do not change. For example, in cases such as the presence of a parcel boundary that makes it difficult to place a building on a parcel with an unfavorable border, or the building appearing as encroaching on the application sketch, the parcel boundaries can be resolved by mutual agreement of the immovable owners. In parcels that need border correction, it is essential that the parcel areas do not change after the correction process [22-4]. The allotment process, after the real estate registered on a separate page of the land registry, is divided into two or more parts, upon the request of the relevant person, in accordance with Articles 15 and 16 of the Zoning Law No. recording it on a separate log page under a separate parcel number [23-4].

Expropriation is one of the tools used in the implementation of zoning plans [24-4]. Road, park, playground, school, hospital, etc. shown in the zoning plan. The ownership of the lands on which the public use or facilities to serve the public will be built may be in the hands of private individuals. In order to perform public services in these places, the ownership of these places must first be transferred to the relevant public institutions. The process of transferring the right of use of the property to the public without seeking the consent of the owners is called expropriation [25-4]. During the preparation of the plans, some ordinary or

considering all needs, is interested in directing the formation of the city, and seeks solutions to problems [19].

extraordinary factors such as unpredictable population movements, socio-economic changes, and increasing social needs may require changing the zoning plans [26-9]. The definition of the master zoning plan, the general principles of the regional plans, if any, and the environmental plans, if any, on the existing maps, again with the cadastral status of the plots, if any; It is a plan that is a whole with the plan provisions and the report, which is prepared to show the general usage patterns, the development, direction and size of the settlement areas, population densities and thresholds, transportation systems and to prepare the application development plans [2]. However, each city has its own economic and political history, in which it forms unique administrative arrangements among its political forces. It is an important mechanism of change in the city in the local governments involved in the implementation process, as well as the planning policies followed [27-28]. In the zoning plans, it is clearly stated how many floors the island and the parcel on the island are allowed to be built. Since the building permits have to be prepared in accordance with the zoning plans, the building should not exceed the number of floors in the zoning plan [29]. These interventions could not solve the structural problems in the spatial planning system. In this process, both the number of upper-scale plans and their relations were redefined. However, the interaction structure required by strategic approach, coordination, continuity and planning has not yet been established in planning practice at the current stage [30]. The preparation and creation of a real project data in distribution and parcellation problems in zoning applications is a very complex process that takes a very long time. It is very difficult to prepare the actual project data as the creation of cadastral islands, parcels and zoning islands, obtaining the location and area data of all the islands and parcels, and generating the land owner data are performed manually by an expert. Because all these data must be fully compatible in terms of area, location and owner. In addition, in a real project area, irregularly shaped islands and parcels can often be found, and cadastral and zoning islands can be in very different regions. In other words, cadastral and zoning areas generally do not overlap. In addition, the areas of the owners can often be very different from each other. While one owner can have a very small area, the other can have a very large area [31]. In urban renewal practices, unlike urban renewal, the participation of the public in the changes to be made in the city and the transformation of the urban space is considered, and it is planned to restructure the region in accordance with the lifestyle of the users living in the renewal region [32-33]. In the project-based system, plans are developed as a political but fair and non-binding public strategy. Plans determine some

framework rules in public and private project implementations in order to realize public and private projects that will contribute to government strategies [34-35]. The hierarchy principle, which is the basis of

the regulatory planning system, is overcome by the horizontal and vertical appropriateness principle in the project-based system [36-35].

III. MATERIAL AND METHOD

Game Theory is a method of determining the most correct strategy against each other in the face of mutually conflicting possibilities by combining two or more opponents under certain rules [37-38]. Game theory is a technique that deals with the process of two or more players interacting with other players in a scarce resource environment. In this application, individuals are called decision makers and they aim to gain profit. The player must aim to gain a certain profit by considering the preferences of other individuals in the game. The determinant of earnings; are the decisions of other players with whom the player interacts. Decision makers are interdependent and either engage in conflict or cooperate to achieve the highest gains. In game theory, every decision made has a cost and every decision affects the opponent's decision, so every action in this process is interdependent [38-39]. Another important concept of game theory is strategy. Strategy is the set of decisions that specify the preferences of the players for all situations that may arise from the beginning to the end of the game. The aim in strategy is to obtain the most appropriate value gain. For this, passive and dominant

strategic ways can be tried. The number of strategies in a game can be finite or infinite [40-38]. Game Theory assumptions; There are a finite number of players and their strategies, each player knows all possible strategies for both himself and his opponent, but the players do not know which of these strategies their opponent will use. Whatever strategy the players choose, each has a limited loss or gain. The gains or losses of the players depend on their own decisions as well as the decisions of their opponents. All possible actions or strategies to be played must be calculable in the same unit of measure. In addition, the most important assumption in game theory is that the individual behaves rationally and acts rationally for the most profitable situation [41-38]. Any social relationship is a game in game theory terminology. Each decision maker has partial control over the outcomes, i.e. the players decide under interdependence. The aim of mathematical game theory is to determine the strategy necessary to rationally protect the interests of the players through formal reasoning and to enable them to decide knowingly what outcome they will achieve when they do this [42].

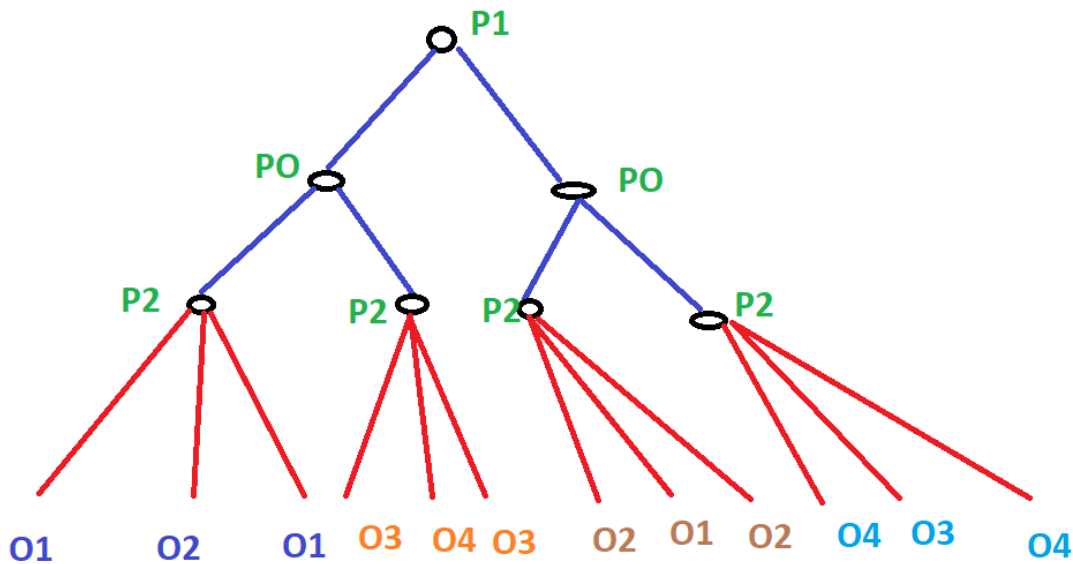


Figure 1. Game Tree Representation Under Uncertainty [43-42].

In strategic thinking it is important both to anticipate what other players will do and to know what other players know. Since the movements are simultaneous in static games, the players cannot obtain information by observing each other. But in ranked games, what

they know is key. In dynamic games, unlike static games, the second player knows by observing how the first player moves before him [42].

$N = \{1, \dots, n\}$ Let be the set of players and 2^N be the family of subsets of N . If,

$$\sum_{S \in 2^N} x(S) e^S = e^N \quad (1)$$

If $\lambda: 2^N \setminus \{\emptyset\} \rightarrow \mathbb{R}^+$ transformation is called balanced transformation. Here, S is the characteristic vector for the coalition,

$$e_i^S = \begin{cases} 1, & i \in S \\ 0, & i \in N \setminus S \end{cases} \quad (2) \text{ olarak tanımlanır [44].}$$

$$M = \frac{M_{\max} + s_{\text{int}}^0 A}{k_{SS} + s_{\text{int}}^A} \quad (3) \quad [45].$$

A game theoretical model; players have four basic elements, which can be summarized as the options available, the consequences of those choices, and the benefit of each outcome to the player. The ability of the examined model to produce a specific solution to the question sought within the scope of the research depends on the complete and systematic consideration of these parameters in the model [46-47].

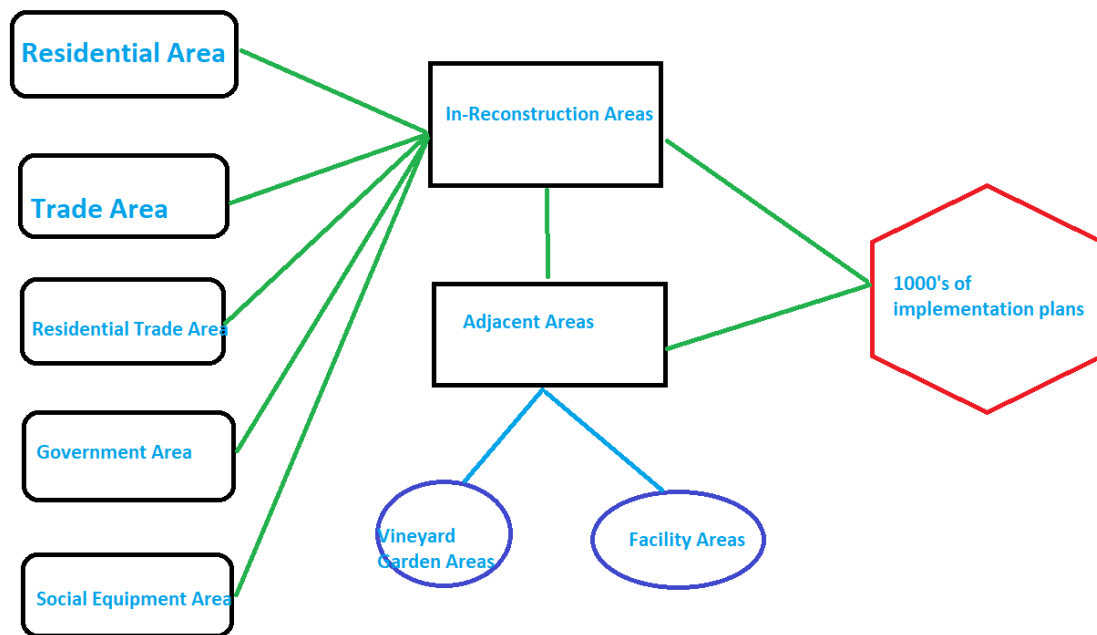


Figure 2. Game theory diagram of formation of 1000! development plan

Game theory provides a theoretical framework that includes a set of concepts and terminology to describe interaction. Within this structure are the players, the possible strategies of each player, the payoffs that result from the strategy combinations, and the sequence of actions. Second, game theory can predict the consequences of competitive situations and identify the most appropriate strategies [48-49]. Game theory and conflict management strategies involve the interaction of the parties from each other and the decisions they make dependent on each other. Therefore, the evaluations of the parties, both for themselves and for others, are important when interacting [49].

IV. THE CONNECTION BETWEEN IMPLEMENTATION ZONING PLAN AND GAME THEORY

The most important point in game theory is to have the stones, that is, the items that will provide you with

the advantage of moves that will make you win the game or lead you to win, and to bring this power to the end that will end the game in your favor. When we consider the game theory logic as one of the best design methods to use in the design process according to the planning phase, the most important element in planning will be the population, population growth rate and the area-based ratio falling according to this speed will be our stones in establishing the game, which is called the most important cornerstone. With the addition of a certain amount of fixed population to the population increase of at least 10 years or more in the current year, the person-based area area we have is taken as at least below the so-called minimum range, and then the maximum range in the area surface measurement rate that will fall on the population found with the fixed population amount in addition to the increasing population rate. When it is determined as a definite integral, an increase in urbanization rates will occur. This brings a different perspective to planning as a game.

With the long-term area-based rates to be released, the current total application zoning area surface measurement will be determined within the total zoning boundaries that will coincide with the best plan year.

(a, b) defined for the continuous $f(x)$ function $\int_b^a f(x)dx = F(x) + c$ (4) as a result of the definite integral, a is taken as the amount in hectares equivalent to the population difference to be obtained from the population difference [50], b the lower limit will be the cornerstones of the game as the rate per current population, and the data in X is the amount of increase as a result of the ratios that will correspond to the data in the current used plan. it will give the new ratios of the implementation plan to be prepared and

the total amount of surface measurement within the boundaries of the zoning plan to be increased.

V. FINDINGS AND DISCUSSION

While the 1/1000 application development plans, which show how areas such as housing development islands, commercial, educational, health, religious facilities, social cultural, green areas, and parks, which are the main parameters in city planning, are created on the basis of population projection, it is based on the basic relationship, that is, its correlation, with the area where the population will live. These numbers are tried to be calculated.

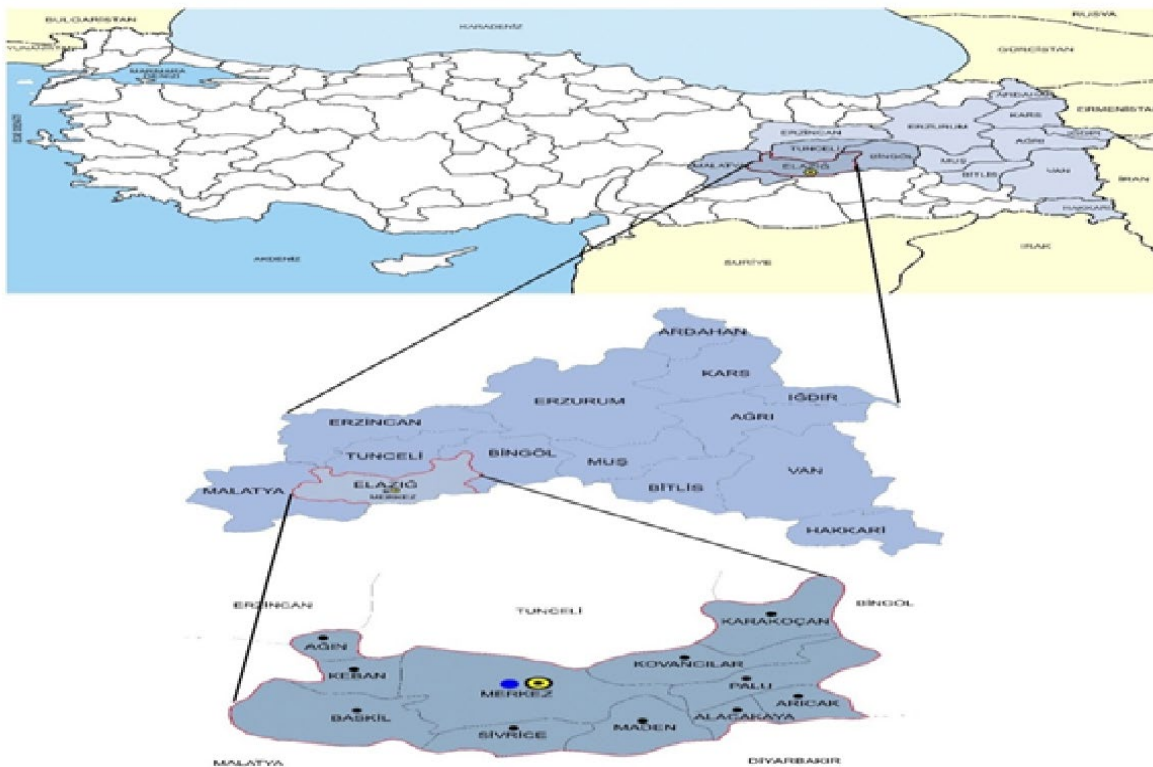


Figure 3. Location of Elazığ City in Turkey [51].

In Figure 3., after explaining in the upper paragraph how a zoning plan should be made with game theory, the current zoning plan of Elazığ Province, which is one of the 81 cities in our country, and an average

implementation zoning plan that will meet the need between 25-30 years can be given as an example. This is the representation of the game theory and plan making over the city and where it is as a location.

Table 1. Population Change in Elazığ City [51].

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Türkiye	75.627.384	76.667.864	77.695.904	78.841.871	79.814.871	80.810.525	82.003.882	83.1549.77	83.614.362
Elazığ	562.703	568.239	568.753	574.304	578.789	585.256	595.638	591.098	587.960
Centre district	406.300	398.108	412.220	424.870	431.294	437.951	421.726	439.687	440.513

In Table 1, the population amounts determined from the address-based registration system from 2012 to 2020 of the city of Elazig, which is considered as a pilot city, are shown. When looked at, it turns out that the 9-year population increase until 2020 is around 7 thousand on average. This 7 thousand population growth rate will be calculated on a yearly basis with the addition of 25 thousand to a city with an average

capacity of this capacity, in the part expressed as a fixed amount of c [50], in the indefinite integrals, according to situations such as migration to the city or an unexpected increase in the population in the event of a disaster in the surrounding provinces. The proportions of all zoning island parameters according to the population in the zoning plan will be formed in this context.

Table 2. Projected population in current 2014 and 2040

Available (2014)		2040				
Population (Person)	Area (ha)	Density (person/ha)	Population (Person)	Total settlement area (ha)	Density (person/ha)	Development area
351.504	3.9	90	1.000.000	9.726	102	5.826

In Table 2, it is seen that the current zoning plan corresponds to 351.504 people and a 3.9 hectare usage area, with 25 thousand constant additions depending on the average population increase of 7 thousand, 26 years after the current zoning plan in force, the population will correspond to 1 million people

compared to 2040. It is seen that it will cover an area of 9,726 hectares by calculating an increase of 600 thousand people, and the increased surface area will correspond to an area of 5,826 hectares. The per capita rate will increase by 12 bands.

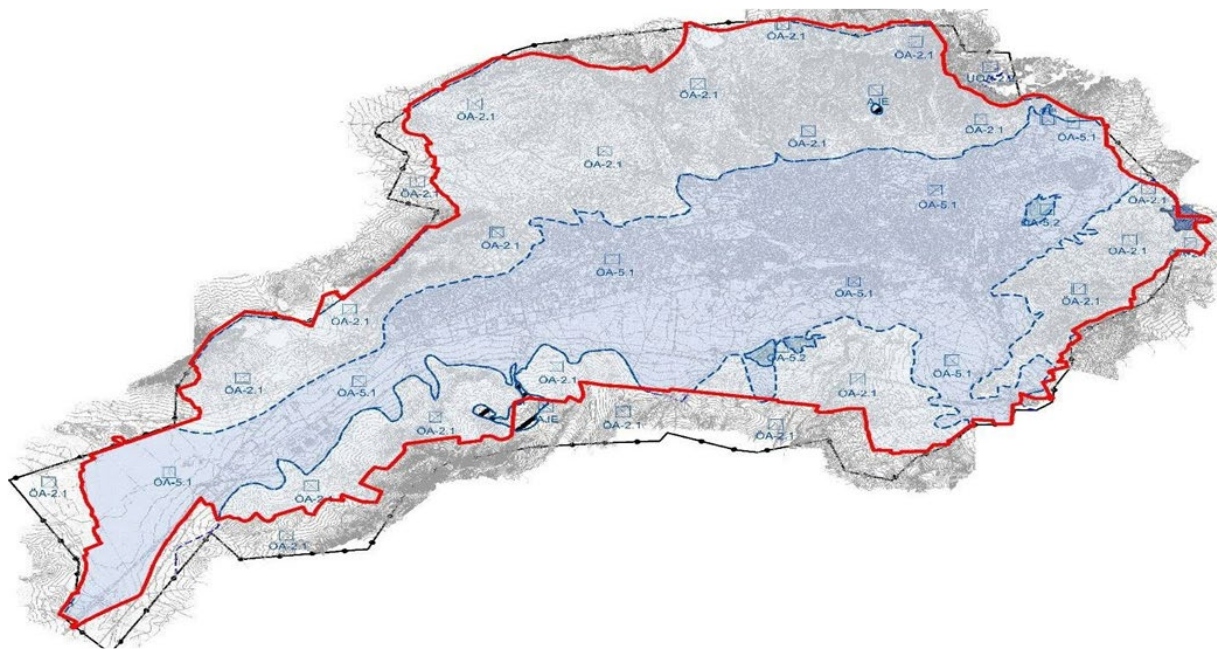


Figure 4. Map of Suitability for Settlement [51].

38 1/5000 scale K42-D- 10-A, K42-D-13-A, K42-D-15-A, K42-C-01-D, K42-D-03-C, K42 covering the borders -D-08-C, K42-D-10-B, K42-D-13-B, K42-D-15-B, K42-C-06-A, K42-D-04-C, K42-D -08-D, K42-D-10-C, K42-D- 13-C, K42-D-15-C, K42-C-06-B, K42-D-04-D, K42-D-09 -A, K42-D-10-D, K42-D-13-D, K42-D-15-D, K42-C-06-C, K42-D-05-C, K42-D-09-B , K42-D-12-A, K42-D-12-B, K42-D-14-A, K42-D-17-A, K42-C-06-D, K42-D-05-D, K42 -D-09-C, K42-D-12-C, K42-D-12-D, K42-D-14-B, K42-D-17-B, K42-C-11-A, K42-D It is a geological/geotechnical

study based on the 1/5000 and 1/1000 scaled zoning plan of the area with an area of approximately 13 365 ha, which is on the border of the 416 1/1000 scaled maps with the number -08-B, K42-D-09-D, It has been prepared for the purpose of obtaining the geological and geotechnical data of the studied area and evaluating the suitability for settlement in the light of these data. In the mapping of the city, when the area is large, it is shown that all objects on the land will be processed according to the layout system and how many and which layouts this area will correspond to.

Table 3. Distribution and rates of uses in the planning area according to areas [51].

Elaziğ (Center) Implementation zoning plan area use distribution			
Domain name	Area (ha)	Ratio (%)	
Housing areas			
Housing area (0.30 precautions)	511.86	4.65	
Housing area (0.60 precautions)	279.61	2.54	
Housing area (0.80 precautions)	41.15	0.38	
Housing area (0.90 precautions)	25.80	0.23	
Housing area (1.00 precautions)	11.63	0.11	
Housing area (1.20 precautions)	317.30	2.89	
Housing area (1.30 precautions)	28.20	0.26	
Housing area (1.50 precautions)	1777.35	16.01	
Housing area (1.60 precautions)	6.98	0.06	
Housing area (1.75 precautions)	1.31	0.01	
Housing area (1.80 precautions)	5.04	0.05	
Housing area (1.85 precautions)	0.99	0.01	
Housing area (2.00 precautions)	20.03	0.19	
Housing area (2.15 precautions)	0.78	0.01	
Housing area (2.34 precautions)	1.09	0.01	
Housing area (2.35 precautions)	1.43	0.02	
Housing area (2.40 precautions)	158.45	1.45	
Housing area (2.50 precautions)	0.83	0.01	
Housing area (2.65 precautions)	0.42	0.01	
Housing area (2.70 precautions)	2.23	0.02	
Housing area (2.80 precautions)	0.39	0.01	
Housing area (3.00 precautions)	1.06	0.01	
Housing area (3.20 precautions)	52.18	0.49	
Housing area (4.00 precautions)	46.53	0.43	
Housing area (4.80 precautions)	34.07	0.32	
Urban work areas			
Tick area (2.40 precedent)	74.89	0.69	
Tick area (2.00 precedent)	98.27	0.90	
Tick area (1.50 precedent)	188.39	1.73	
Tick area (1.85 precedent)	29.11	0.28	
Tick (other)	28.32	0.27	
Tick area (block 12 floor)	47,47	0.55	
Tick area (block 10 floor)	41.20	0.41	
Tick area (block 8 floor)	6.90	0.06	
Tick area (adjust 8 floor)	41.08	0.37	
Trading area	1.80	0.02	
Trade-1 area	5.36	0.06	
Trade -2 area	50.12	0.47	
Trade -3 area	100.80	0.93	
Collective workplaces	5.00	0.05	
Wholesale trading area	8.23	0.07	
Municipal service area	43.28	0.40	
Official institutional area	316.16	2.88	
Fuel and service station area	13.12	0.12	

Logistics facility area	77.50	0.71
Industrial facility area	14.41	0.14
Small Industrial area	38.48	0.36
Storage area	15.51	0.14
Marketplace	11.80	0.11
Military area	295.02	2.69
Conserved areas that will continue to continue today's land use		
Forest area	398.7	3.62
Agricultural areas	75.05	0.69
Tourism areas		
Hotel area	10.21	0.09
Educational facilities areas		
Kindergarten areas	6.98	0.06
Primary school	114.30	1.05
Middle school area	92.53	0.81
High school area	9.31	0.08
Special education fields	3.76	0.03
Public education center	22.60	0.21
Vocational and technical training facility areas	1.66	0.02
Higher education facility areas	971.23	8,85
Health facilities area		
Health facility area	89.01	0.82
Social and cultural facilities areas		
Indoor sports facility area	56.58	0.52
Cultural facility area	66.08	0.62
Worship areas		
Mosque	50.78	0.48
Open and green areas		
Garden	831.13	7.58
Fairground	2.50	0.02
Square	3.89	0.03
Property place	30.98	0.28
Recreation areas	75.47	0.70
Areas to be forested	855.35	7.79
Cemetery areas	78.67	0.72
Technical infrastructure areas		
Transformer area	1.20	0.01
Technical infrastructure area	1.35	0.01
Water, wastewater and waste systems		
Water surface	51.46	0.47
Waste water plant	8.11	0.07
Transportation		
Roads	2142.21	19.19
Car park	1.18	0.01
Intermediate station	55.54	0.51
Terminal	18.34	0.18
Total	11000.00	100

In Table 3., the area and proportions of all the legends of the implementation zoning plans included in the currently used zoning plan of the city of Elaziğ are shown.

1.000.000- 400.000=600.000 **(5)**, when the population increase amount and the 3.9 hectare zoning area are expressed as the area that can respond to the population that will be expanded by the 9.72 hectares of zoning;

All values in Table 4 will be determined by calculating within the scope of the basic binary stone of the game, area and ratio.

The first zoning parameter in Table 3., the rate of housing area with a precedent of 0.30, $\int_{3.9}^{9.72} (4.65)x12$ **(6)**, it will be seen that the determination of other residential areas from this formula will correspond to an area ratio of 20.12 in the form of a total expression.

It will be calculated that the total housing area in 2040 will be 2269.78 hectares as a result of 20.12 ratio total housing development area found according to 2040, subtracting from the total housing area in 2014 and adding the amount obtained as a result of multiplying 11000 hectares in 2014 to the total old housing area.

Let's show the game theory analysis over the health field from the data in Table 3.

$\int_{3.9}^{9.72} (0.82)x12$ **(7)** from here, 0.80 is the ratio of health facility areas in the current zoning plan in 2014, 9.72 is the ratio to be formed according to 1 million population in 2040, 3.9 is the ratio used today and the ratio of 3.9 people to 351 thousand population will be 90, the ratio of 9.72 people according to 1 million people. If it is calculated that it corresponds to 102, when the dx value from 102 -90=12 **(7)** is taken into account, the value of 1.75, which is the new health facility area ratio in 2040, will be found.

In other words, in two demonstrations, it is shown how the game elements will be processed with a mathematical approach and used as a move in the formation of a new application development plan area. Generally,

$\int_B^A f(x)dx$ **(8)** from, the values of all zoning parameters are found.

Table 4. Elazığ City 1000 usage area and distribution

Elazığ(Center) 1/1000 scale application zoning plan area use				Correlation between 2014 and 2040
Domain name	Area (m ²)	Area (ha)	Ratio (%)	
Housing areas				
Residential area	12231135.87	1223.11	10.84	$\int_{3.9}^{9.7} (4.65)x12$
Development Housing areas	22697764.11	2269.78	20.12	$\int_b^a f(2014x) * dx$
Urban works area				
Trading area	1890492.27	189.05	1.68	$\int_b^a f(2014x) * dx$
Commerce- Housing areas (Tick)	6098006.19	609.80	5.41	$\int_b^a f(2014x) * dx$
Trade-Tourism area (Tict)	13524.05	1.35	0.01	$\int_b^a f(2014x) * dx$
Wholesale trading area	4313.80	0.43	0.004	$\int_b^a f(2014x) * dx$
Municipal service area	491699.53	49.17	0.44	$\int_b^a f(2014x) * dx$
Official institutional area	2996392.45	299.64	2.66	$\int_b^a f(2014x) * dx$
Storage area	54182.72	5.42	0.05	$\int_b^a f(2014x) * dx$

Military area	2950371.27	295.04	2.62	$\int_b^a f(2014x) * dx$
Marketplace area	115700.73	11.57	0.10	$\int_b^a f(2014x) * dx$
Industrial area	346390.70	34.64	0.31	$\int_b^a f(2014x) * dx$
Small Industrial area	333229.22	33.32	0.30	$\int_b^a f(2014x) * dx$
Logistics facility area	775003.26	77.50	0.69	$\int_b^a f(2014x) * dx$
Fuel delivery service station area	151009.64	15.10	0.13	$\int_b^a f(2014x) * dx$
Areas to be protected by continuing today's land use				
Agricultural areas	2115252.97	211.53	1.87	$\int_{3.9}^{9.7} (0.69)x12$
Forest area	1901351.21	190.14	1.69	$\int_{3.9}^{9.7} (3.62)x12$
Areas to be protected				
1st grade archaeological site	31154.33	3.12	0.03	$\int_b^a f(2014x) * dx$
Health protection tape	35882.87	3.59	0.03	$\int_b^a f(2014x) * dx$
Tourism areas				
Hotel area	8419.01	0.84	0.01	$\int_b^a f(2014x) * dx$
Education facilities areas				
Kindergarten areas	178753.76	17.88	0.16	$\int_b^a f(2014x) * dx$
Primary school	1424871.12	142.49	1.26	
Middle school area	1246426.77	124.64	1.10	
High school area	505747.01	50.57	0.45	
Public education center	426008.69	42.60	0.38	
Special education fields	59087.00	5.91	0.05	
Field of education areas	8840571.74	884.06	7.84	
Vocational and technical training facility area	103030.21	10.30	0.09	
Health facilities area				
Health facility area	1979569.32	197.96	1.75	$\int_b^a f(2014x) * dx$
Family health center	5399.17	0.54	0.005	
Worship areas				
Mosque	814630.77	81.46	0.72	$\int_b^a f(2014x) * dx$

Social and Cultural facility area				
Social-Cultural facility area	1049056.06	104.91	0.93	$\int_b^a f(2014x) * dx$
Nursery, day house	14812.74	1.48	0.01	
Indoor sports facility area	271779.56	27.18	0.24	
Open sports facility area	325684.12	32.57	0.29	
Open and green areas				
Garden	9299790.31	929.98	8.24	$\int_b^a f(2014x) * dx$
Passive green area	2567.44	0.26	0.002	
Kids garden and playground	6663.84	0.67	0.01	
Property place	309833.72	30.98	0.27	
Area to be aforered	4761194.96	476.12	4.22	
Recreation area	860892.32	86.09	0.76	
Fair, Fair and festival area	62916.74	6.29	0.06	
Cemetery area	810731.61	81.07	0.72	
National garden	216813.23	21.68	0.19	
Square	45641.98	4.56	0.04	
Disaster dangerous areas				
Building prohibited area	2646.45	0.26	0.002	$\int_b^a f(2014x) * dx$
Water, waste water and waste plants				
Water surface	547531.27	54.75	0.49	$\int_b^a f(2014x) * dx$
Wastewater surface areas	81050.70	8.11	0.07	
Technical infrastructure areas	108194.08	10.82	0.10	
Transportation				
General parking area	7605.38	0.76	0.01	$\int_b^a f(2014x) * dx$
Terminal (master gar)	187060.71	18.71	0.17	
Intermediate station	554973.75	55.50	0.49	
Roads	22440427.16	2244.04	19.89	
Energy generation, distribution and storage				
Transformer	23957.44	2.40	0.02	$\int_b^a f(2014x) * dx$
Total	112817197.33	11281.72	100.00	

In Table 4., the amount of new land that will correspond to the population during the planning construction process as an integral part of the area and ratio pair as an instrument used as a result of the ratio values of all implementation zoning parameters in 2014, is shown.

VI. CONCLUSION AND RECOMMENDATION

Implementation zoning plans are the product of the planning process to be prepared according to certain

criteria, which are created in a way to meet the needs of the people and creatures living on that area at certain intervals in both cities or districts. As it can be done with various approaches, when the best approach is taken as a criterion, plans should be produced as a goal that will continue for many years at a level that will meet all needs. In the planning process, calculations can be made to correspond to different projection approaches. In the study, calculations were made based on game theory, which can be applied in studies different from artificial intelligence.

It was based on a ratio to the departure axis of the population, and as a result of taking the planning process at 25-30 years as a long-term basis, the population projection for 2040 was taken as a basis, and the increase of the city in a pilot region of 600 thousand was handled on the 26 year axis.

- Based on the number of people who will go from 400 thousand to 1 million,
- The area/person ratio was calculated to increase from 90 to 102 according to the population base equivalent,
- Considering the basic equation of definite integral game theory, the plan was produced by calculating that the area of 11000 hectares addressing the total population in 2014 would correspond to an area of 11281 hectares at the end of 26 years.

It has been shown in the study how the main planning axis at the 1/1000 level should be calculated on the basis of population projection with game theory and how it can be used in the field of city and planning. Our suggestion is stated how area-based planning can be calculated without complexity to meet the needs with this method.

Author Contributions

The authors contributed equally to the article. The authors have read and approved the final version of the article.

Conflict of Interest

The authors of the article declare that there is no conflict of interest between them.

ACKNOWLEDGMENT

I would like to thank Elazığ Municipality Map Service for their unwavering support in this study.

REFERENCES

- [1] Yayla, Y. (1975) Major Legal Issues of Urban Planning and the Example of Istanbul, IUHF Publications, Istanbul, (YAYLA: City Planning).
- [2] Aslan, S. (2019) Crime of Causing Zoning Pollution (TCK art.184), Ankara Yıldırım Beyazıt University Institute of Social Sciences, Department of Public Law, Master Thesis, Ankara.
- [3] Kulaklı, E. (2014) Zoning Restriction and Land and Land Arrangement Restrictions on Immovable Ownership, Istanbul University Institute of Social Sciences, Department of Private Law, PhD Thesis, Istanbul.
- [4] Terzioğlu, A.G. (2015) Implementation of Zoning Plan in Multi-Shared Plots: Example of Sultanbeyli, Gebze Technical University, Institute of Science and Technology, Department of Geodesy and Photogrammetry Engineering, M.Sc. Thesis, Gebze.
- [5] Kalabalık H. (2002) Zoning Law (Planning, Land, Building, Protection, 1st Edition, Seçkin Publishing.
- [6] Koçak Y. (2014) The Effect of Urban Transformation Practices on Migration in Turkey: Kars 29 Ekim Mahallesi Example, Turkish Studies - International Periodical For The Languages, Literature and History of Turkish or Turkic, 9(5), 1411-1432.
- [7] Erzene Ş.I. (2013) A Method Approach to Urban Transformation and Its Applicability, PhD Thesis, Istanbul Technical University.
- [8] Tanrıvermiş, H., Akipek Öcal, Ş., Demir, E. (2016) Real Estate Legislation, Ankara.
- [9] Yavuz, U. (2017) A Study on the Effects of Development Plan Changes on Building Tendencies: The Case of Kağıthane, Istanbul Technical University, Institute of Science and Technology, Department of Real Estate Development, Master Thesis, Istanbul.
- [10] Sarı, F. (2003) Form and function relations in urban space: Examining the proposals of the Izmir port area urban design competition using the space syntax method, Master Thesis, İ.T.Ü. Institute of Science and Technology, Istanbul.
- [11] Babacan Tekinbaş, B. (2008) Planning in Judicial Decisions, Kozan Ofset, Ankara.
- [12] Tatlı, P. (2017) Questioning the Effects of Interventions in Zoning Plans on the Transportation Network: İzmir New City Center Revision Development Plan, Karadeniz Technical University, Institute of Science and Technology, Department of City and Regional Planning, Master Thesis, Trabzon.
- [13] Ercan, M. (2007) Planning and Management Problems in Our Cities. Planning Journal, p. 69-73.
- [14] Kayahan, B. (2019) Urban Project Development Plan Relationship in the Context of Sustainable Development, Sile (Istanbul) Example, Mimar Sinan Fine Arts University, Institute of Science, Department of City and Regional Planning, Master Thesis, Istanbul.
- [15] Bilgin, İ. (2014) Traces of Modernism in the City, Arkitera Architecture Bulletin, <https://v3.arkitera.com/v1/diyalog/ihsanbilgin/modernizml.htm>.
- [16] Karadeniz, B. (2020) Urban Morphology as a Method in Urban Planning: Görele, Karadeniz Technical University, Institute of Science, Department of City and Regional Planning, PhD Thesis, Trabzon.
- [17] Tekeli İ. (2013) Modernism, Modernity and Turkey's Urban Planning History, History Foundation Yurt Publishing, Istanbul.
- [18] Ebevi, T.M. (2021) The Effect of Zoning Planning Processes on the City: The Case of Çatalca Kiptaş, Mimar Sinan Fine Arts University, Institute of Science and Technology,

- Department of Architecture, Master Thesis, Istanbul.
- [19] Höçük, F.Z. (2021) Bursa Urban Development Process and Planning Periods, Istanbul Arel University Graduate Education Institute, Department of Architecture, Master Thesis, Istanbul.
- [20] Kiper, T. (2013) The Role of Identity in Planning Urban and Rural Areas, Turkish Journal of Scientific Compilations 6 (2), pp: 73-77.
- [21] Topal, H.K. (2019) Limitation of Property Rights Through Development Plans, Yaşar University Institute of Social Sciences, Department of Private Law, Master Thesis, İzmir.
- [22] Kağızmanlı B. (2009) Reconstruction Implementation Methods in Turkey and Analysis of Factors Affecting Its Results”, Master Thesis, Karadeniz Technical University.
- [23] Çelik K. (2006) Planning and Zoning Law Implementation, Land and Land Arrangement, 1st Edition, Devran Printing.
- [24] Yaşar H.N. (2008) Zoning Law, 1st Edition, Filiz Bookstore.
- [25] Tüdeş T. (1997) Zoning Plan Implementation Techniques in Urban Area Arrangements 1st Edition, JEFOD Publications.
- [26] Sen, D. (2000) Monitoring Urban Development: Zoning Changes and Their Effects on Development, Master Thesis, KTU Institute of Science and Technology, Trabzon.
- [27] Reichl, Alexander J. (1997) Historic Preservation And Progrowth Politics In U.S. Cities, Urban Affairs Review, Vol. 32 Issue 4, p513.
- [28] Palamutoğlu, E.G. (2019) Examining the Formation of Housing Areas in the Context of Implementation Zoning Plans and Regulations; Kayseri Kavakyazısı Region, Erciyes University Institute of Science and Technology, Department of Architecture, Master Thesis, Kayseri.
- [29] Kaya, İ. (2020) Building and Zoning Sanctions in the Zoning Law in the Light of the Council of State Decisions, Kırıkkale University Institute of Social Sciences, Department of Public Law, Master Thesis, Kırıkkale.
- [30] Onur, F.Ş. (2020) Re-evaluation of the Settlement Areas of Rural Settlements Transformed into Neighborhoods after the Law No. 6360, in the Scope of Environmental Plan/Master Development Plan Decisions: Trabzon Ortahisar Case, Karadeniz Technical University, Institute of Science, Department of City and Regional Planning, High Undergraduate Thesis, Trabzon.
- [31] Koç, İ. (2020) Realization of Distribution and Parceling Operations in Zoning Applications Using Artificial Intelligence Optimization Algorithms, Konya Technical University Graduate Education Institute, Computer Engineering Department, PhD Thesis, Konya.
- [32] Demirkıran, S. (2008) The role of local governments in urban transformation practices in Turkey: The Example of Bursa Metropolitan Municipality. Trakya University Institute of Social Sciences, Master Thesis, 139, Edirne.
- [33] Yıldız, A. (2021) The Effect of Integrated Planning on Urban Transformation: The Case of Tuzla, Istanbul Commerce University, Institute of Science and Technology, Department of Real Estate Development, Urban Transformation and Planning, Master Thesis, Istanbul.
- [34] Booth, P. (2003) Planning by Consent. The Origins and Nature of British Development Control London, Routledge.
- [35] Kılınç, N. (2021) Analysis of Development Plan Changes from the Perspective of Legal, Spatial and Urban Rent: The Case of Istanbul, Istanbul Technical University Graduate Education Institute, Department of City and Regional Planning, PhD Thesis, Istanbul.
- [36] Rivolin, U. J. (2017) Global crisis and the systems of spatial governance and planning: a European comparison. European Planning Studies, 25 (6), 994-1012.
- [37] İnci, Ç. (2009) Game Theory, Van Yüzüncü Yıl University, Institute of Science and Technology, Master Thesis, Van.
- [38] Oğlakkaya, M.S. (2021) Analysis of the United States and China's Protectionism Policies According to Game Theory Approach, Necmettin Erbakan University Institute of Social Sciences, Department of Economics, Master Thesis, Konya.
- [39] Yüksel, Ş. (2018) Economic Policies and Game Theory Application for Capital Flows, Marmara University Institute of Social Sciences, Master Thesis, Istanbul.
- [40] Çevikkan, N. (2010) Game Theory and a Sectoral Application, Marmara University Institute of Social Sciences, Master Thesis, Istanbul.
- [41] Çubukçu, H. (2016) Game Theory and an Application, Akdeniz University Institute of Social Sciences, Master Thesis, Antalya.
- [42] Gokce, D.H. (2020) Crime and Economics: Game Theory Approach, Istanbul University Institute of Social Sciences, Department of Economics, PhD Thesis, Istanbul.
- [43] Shubik, M. (1984) Game Theory in Social Sciences, Concepts and Solutions, Third Printing, The MIT Press, London.
- [44] Tüzün, S. (2021) On Equal Distribution Rules in Game Theory, Süleyman Demirel University, Institute of Science and Technology, Department of Mathematics, Master Thesis, Isparta.
- [45] Yüksel, O. (2021) Game Theoretical Analysis Of Cooperation And Cheating Among Lipase Producing Yarrowia Lipolytica Sub-Cultures, Submitted to Graduate School of Natural and Applied Sciences in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science in Biotechnology, Istanbul.

-
- [46] Stephen L. Quackenbush and Frank C. Z. (2006) Game Theory: Modeling Interstate Conflict, Making Sense of International Relations Theory, (Ed. Jeniffer Sterling-Folker), 1st edition, Lynne Rienner Publishers, Boulder, , p. 99.
- [47] Şimşek, B. (2022) Analysis of the Cyprus Problem through Game Theory in the Light of the Resolution Initiatives of the United Nations Secretary Generals, Ege University Institute of Social Sciences, Department of International Relations, Master Thesis, İzmir.
- [48] Karabacak, H., & Akdeve, E. (2021) Competitive intelligence and strategy formation: an evaluation from a game theory perspective. Dumlupınar University Journal of Social Sciences, (68), 326-345..
- [49] Aydın, G. (2022) The Interaction of Conflict Management Strategies from the Perspective of Game Theory and an Application for Auditors, Ankara Social Sciences University, Institute of Social Sciences, Department of Audit and Risk Management, Master Thesis, Ankara.
- [50] Url1: https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/81354/mod_resource/content/1/%C4%B0ntegral.pdf (access of date: 25/05/2023).
- [51] Url 2: <https://www.elazig.bel.tr/> (access of date:10/10/2022).

Özetleme Mekanizması Kullanılarak Bilgi Çizgesine Yeni Eklentiler

Novel Extensions to the Knowledge Graph Using the Hashing Mechanism

Savaş TAKAN¹ 

¹Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Yapay Zeka ve Veri Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

Öz

Bilginin doğasına ilişkin, onu şekillendiren çok çeşitli unsurlar bulunmaktadır. Örneğin güvenilirlik, tutarlılık, değişmezlik ve bağlam gibi mekanizmalar bunların başında gelir. Ancak söz konusu mekanizmaların bilgi çizgesinde temsil edilmesi oldukça yaygın bir problemidir. Çalışmamızda bu problemin çözümüne katkıda bulunmak amacıyla, bilginin karmaşık doğasına ilişkin güven, tutarlılık, değişmezlik ve bağlam gibi temel mekanizmalar, hashing teknolojisi kullanılarak bilgi çizgesine entegre edilmiştir. Çalışmamızda bu eklentiler, bilgi çizgesinden ayrı tutularak, yapıların işlevselliklerinin bozulmaması sağlanmıştır. Geliştirdiğimiz eklentiler sayesinde bir bilgi değiştiğinde onu etkileyen tüm bilgilerin otomatik güncellenmesi, belirsizlik, bilgiler arasında sıralama yapılamaması, bazı bilgilerin değişmez olarak tutulmaması ve bilgiler arasında hızlı bir karşılaştırmanın yapılamaması gibi yaygın bilgi çizgesi problemleri, örnek senaryolar üzerinden test edilerek çözüme kavuşturulmuştur. Çalışmamızın, bilgi çizgesinin iyileştirilmesine yönelik literatüre ve bilgi çizgesini kullanan yapay zeka yazılımlarının geliştirilmesine katkı sunması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Bilgi çizgesi, hashing, yapay zeka, yazılım mühendisliği, bilgi temsili

Abstract

There are various elements related to the nature of knowledge that shape it. For example, mechanisms such as reliability, consistency, invariance and context are among the main ones. However, representing these mechanisms in the knowledge graph is a common problem. In our work, in order to contribute to the solution of this problem, basic mechanisms related to the complex nature of information such as trust, consistency, immutability and context are integrated into the knowledge graph using hashing technology. In our work, these plugins are kept separate from the knowledge graph so that the functionality of the structures is not impaired. Thanks to the plugins we developed, common knowledge graph problems such as automatic updating of all the information that affects a piece of information when it changes, ambiguity, inability to sort information, inability to keep some information immutable, and inability to make a quick comparison between information are tested and solved through example scenarios. Our work is expected to contribute to the literature on knowledge graph improvement and to the development of artificial intelligence software that utilizes knowledge graphs.

Keywords: Knowledge graph, hashing, artificial intelligence, software engineering, knowledge representation

I. GİRİŞ

Çok eski zamanlardan beri, bilgiyi edinmek, bilgiyi saklamak ve yönetmek insanlığın temel hedeflerinden biri olmuştur. Günümüzde gelişen teknolojiler sayesinde, bilgi çok hızlı bir şekilde çoğalmaktadır. Dolayısıyla bilgiyi işlemek, çıkarsamak ve kullanmak zorlaşmaktadır. Bu problemlerin çoğu, bilginin nasıl temsil edildiği ile ilintilidir. Bilgi temsili en yaygın kullanılan yöntemlerden biri, bilgi çizgesidir.

Bilgi çizgeleri, son on yılda yapay zekada önemli bir alan olarak öne çıkmıştır [31]. Bir bilgi çizgesini basitçe, bir çeşit semantiğe sahip, yönlendirilmiş, etiketlenmiş, çoklu ilişkisel bir çizge olarak tanımlamak mümkündür [19]. Anlamsal ağ olarak da bilinen bir bilgi çizgesi, gerçek dünya varlıklarının ve ilişkilerinin çizge ile temsilini ifade eder; nesnelere, olaylara, durumlara veya kavramlara ve bunlar arasındaki ilişkiyi gösterir. Bilgi çizgesi, bilgiyi saklamak ve bilgidен çıkarsamaları yapabilmek için önemli bir araçtır.

Son yıllarda, bilgi çizgeleri çok çeşitli alanlarda farklı amaçlar için yaygın olarak uygulanmakta ve buna paralel şekilde çok çeşitli alanlarla entegrasyonuna dair incelemeler bulunmaktadır. Bu incelemeler arasında dijital haber platformlarında haber üretimi, dağıtımı ve tüketimine yönelik anlamsal bilgi çizgelerinin oluşturulması [28], büyük bilgi çizgelerinin oluşturulmasında, heterojen bilgi kaynaklarının entegrasyonu ve Yapay Zeka (YZ) sistemlerinin daha açıklanabilir ve yorumlanabilir olması [31], imalat ve üretim alanında bilgi çizgesinin uygulanması, bilgi çizgesinde muhakeme teknolojileri [7], Anlamsal Web [32], makine öğrenimi, kural tabanlı öğrenme ve doğal dil işleme araç ve yaklaşımlarını uygulama [40] ve istatistiksel

modellerin büyük bilgi grafikleri üzerinde nasıl eğitilebileceği ve dünya hakkında yeni gerçekleri tahmin etmek için nasıl kullanılabilirliği [25] gibi çok çeşitli konular yer almaktadır.

Bilgi çizgesi, yapay zeka alanında bilgiyi saklamak için çok elverişli bir araç olsa da hangi alanda kullanılırsa kullanılsın bilgi çizgesine yönelik bazı önemli gereksinimler ve eksiklikler bulunmaktadır. Bu eksiklikleri, bir bilgi değiştiğinde onu etkileyen tüm bilgilerin otomatik güncellenmesi sorunu, bilgiler arasında sıralama yapılamaması, bazı bilgilerin değişmez olarak tutulmaması ve bilgiler arasında hızlı bir karşılaştırmanın yapılamaması şeklinde özetlemek mümkündür [19, 38, 27]. Çalışmamızda, söz konusu problemlerin çözümüne katkıda bulunmak amacıyla bilgi çizgesine güvenilirlik, tutarlılık, değişmezlik ve bağlam mekanizmaları entegre edilmiştir. Basit olması, uygulanması için bilgi çizgesine çok fazla müdahale gerektirmemesi ve yaklaşık bir müdahale ile güncelleme, değişmezlik, sıralama ve karşılaştırma gibi temel problemleri çözebilmesi dolayısıyla, bu eklentilerin geliştirilmesinde hashing mekanizmasından yararlanılmıştır.

Bilgi çizgesinin her zaman tutarlı olması önemlidir [23]. Herhangi bir bilginin değişmesi durumda bu tutarlılık kaybolabilir. Tutarlılığın yeniden sağlanması için, değişen bilgiye bağlı bütün bilgilerin değişmesi gerekmektedir. Çünkü, bir bilgiyi destekleyen unsurlarda oluşabilecek bir değişiklik, zincirleme bir etkiyle, o bilginin desteklediği tüm unsurların gerçekliğini sorgulanır hale getirir. Bilginin değişiminde tutarlılığı sağlamak açısından zaman faktörü önem taşır [37]. Ayrıca bilginin sürekli tutarlı bir şekilde tutulması, karmaşıklığın azaltılmasını sağlar [21]. Klasik bilgi yapısı, değişen bilgiyi neden-sonuç ve çıkarsama ile bulabilir. Fakat bu gibi yöntemlerin, herhangi bir damgalama ve takip özelliği olmadığı için, karmaşıktır ve değişmesi gereken bilginin gözden kaçırılabilmesine yol açabilir. Ayrıca, bu çıkarsamanın global olması durumunda, performans problemi oluşacaktır, lokal olduğunda ise değişimi yakalayamayacağı için, tutarsız bilgi dönecektir. Aynı zamanda, hatalı bilginin çıkarılması, yeni bilginin eklenmesi veya var olan bilginin değiştirilmesinde ciddi performans kayıpları oluşmaktadır.

Bilgi çizgesi ile ilgili diğer bir gereksinim ise bilgiler arası sıralamanın sağlanabilmesidir [30]. Bu gereksinimin sağlanabilmesi için çalışmamızda, bilgi çizgesine güvenilirlik mekanizması entegre edilmiştir. Buna göre bir bilgiyi destekleyen ne kadar fazla güvenilir unsur varsa, o bilgi o kadar güvenilir kabul edilir. Tam tersi durumda ise, söz konusu bilgi şüpheli olarak yorumlanır. Böylece bilgiler arasında sıralama mümkün hale gelir.

Bilgi çizgesinde diğer bir gereklilik iki bilginin karşılaştırılmasıdır. [42, 17]. Bu karşılaştırma işleminin çok hızlı bir şekilde yapılabilmesi önemlidir. Çalışmamızda bilgi çizgesine entegre ettiğimiz ve bağlam adını verdiğimiz hash mekanizması aracılığıyla, $O(1)$ zamanda iki bilginin özdeşliği tespit edilebilmektedir. Bağlam, bir bilginin bağlamlarına bakılarak o bilgiye ait belirsizliğin giderilmesini sağlar. Örneğin Jaguar hem bir hayvan hem de bir programlama dilini ifade eder. Bir bilgi çizgesinde bunlardan hangisinin ifade edildiğine yönelik belirsizlik, geliştirdiğimiz bağlam eklentisi sayesinde, onu oluşturan bilgilerin karşılaştırılmasıyla giderilebilmektedir.

Bilgi çizgesine dair bir diğer önemli unsur, bilginin değişmez olabilmesidir [6, 4]. Örneğin bir kitabı satın alan ya da okuyan kişiler değişebilirken, kitabın adının ve yazarının değişmez olması gerekir. Yani bilgide, değişebilen unsurlar olduğu gibi, değişmeyen unsurlar da bulunmaktadır.

Çalışma kapsamında geliştirilen eklentilere neden ihtiyaç duyulabileceğini bir örnek ile açıklamak gerekirse, bir sistemde örneğin A, B'yi etkilesin, B, C'yi etkilesin, C de D'yi etkilesin. Bu durumda A'da meydana gelebilecek bir değişiklik anında güncellenmezse, mantıksal çıkarım yapılmak istenen bir durumda sonuçlar yanlış çıkacaktır. Dolayısıyla birbirine etki eden değerlerin anında güncellenmesi kritik önem taşımaktadır. Bu güncellenmenin başarılabilmesi için hash mekanizmasından yararlanılmıştır. Hash mekanizması sayesinde herhangi bir değişik durumda, lokal olarak bu değişikliğin anında fark edilmesi, tespit edilebilmesi ve böylece güncellenmesi sağlanabilmektedir.

Önerdiğimiz eklentide tutarlılık ile ilgili olarak, bilginin değiştiği anda işaretlenmesi ve arka planda istenildiği zaman çalışacak şekilde ilişkili bilgilerin güncellenmesi sağlanmıştır. Bilginin değişmez olmasını sağlayabilmek adına çalışmada, değiştirilemez ve değiştirilebilir verileri saklayacak bir yapı oluşturulmuştur. Çalışmada, bilginin güvenilirliği ile ilgili olarak, sistemde bir bilgi sıralaması geliştirilmiştir. Bağlam ile ilgili olarak, özetleme fonksiyonu sayesinde var olan bağlamlar için eşsiz hash değerleri verilmesi sağlanmıştır. Böylece iki bilginin farklı bağlamları arasında herhangi bir eşleşme sağlandığında, hızlı bir şekilde aynı bağlamlara sahip oldukları anlaşılabilir.

Çalışmada sırasıyla konuyla ilgili araştırmalara yer verilmiş ve ardından önerilen eklentilerin yöntemi açıklanmıştır. Daha sonra, eklentiler ayrıntılı şekilde açıklanmış, sonrasında avantaj ve dezavantajları ortaya konmuştur.

II. İLGİLİ ÇALIŞMALAR

Bilgi çizgesinin konu edildiği çok geniş bir literatür mevcuttur. Konuyla ilgili öncelikle pek çok inceleme makalesi bulunmaktadır [8, 5, 9, 16, 12].

Literatürde, bilgi çizgesinde tutarlılık odaklı çeşitli araştırmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalar içerisinde en fazla etki uyandıran eski bir araştırmada, bir ağdaki kısıtlamalar üzerine iki yeni tamamlayıcı özellik geliştirilmiştir [39]. Yazarlar, bu özelliklerin geri izleme aramasından önce ağın ön işlemde geçirilmesinin faydalı olup olmayacağına karar vermek için kullanılabileceğini öne sürer. Farklı bir araştırmada ise tutarlılık kontrolü için kullanılan araçların, Gen Ontolojisi'ndeki (GO) küçük tutarsızlıkları ve temsilindeki fazlalıkları azaltma fırsatı sağladığı tespit etmiştir [44]. Diğer bir çalışmada ise inanç değişimini ifade etmek için genel, tutarlılık tabanlı bir çerçeve sunulmuştur [13]. Bu çerçeve ile güncelleme ve silme gibi diğer inanç değişikliği işlemleri de ifade edilebilmektedir. Farklı bir araştırmada, olasılıksal bilgi tabanlarındaki tutarsızlık miktarını belirlemeyi amaçlayan bir ölçüm parametresi geliştirilmiştir [22]. Çalışmada tutarsızlığın ölçülmesi, bilgi tabanını tutarlı hale getirmek için gerekli olan ifadelerin kesinlik derecelerinde (yani bu makalede olasılıklar) minimum ayarlamaların dikkate alınmasıyla gerçekleştirilmiştir. Farklı bir araştırmada Mu, bir bilgi tabanındaki her bir formülün o tabanın tutarsızlığındaki sorumluluk derecesi için bir ölçüm önermiştir [23]. Bu ölçüm, bir bilgi tabanının minimum tutarsız alt kümeleri cinsinden verilmektedir.

Konuyla ilgili daha güncel literatüre bakıldığında ise merkezi bir problem olan tutarlılık kontrolünün hesaplama karmaşıklığı ele alan çalışmaların [14] yanı sıra bir bilgi tabanındaki tutarsızlığın doğasını daha iyi anlamak amacıyla bilgi tabanı için tutarsızlığın ölçülmesine yönelik çizge tabanlı bir yaklaşımı içeren [24] çalışmalar ile karşılaşmıştır. Farklı bir güncel çalışmada ise inanç revizyon sürecine dair zorluklardan yola çıkılmaktadır [3]. Buna göre en önemli sorunlardan biri, dikkate alınacak K bilgi tabanının nasıl temsil edileceği ve yeni bilgilerin nasıl ekleneceğidir. Çalışmada, $(K \ E \ (K \ *))$ 'nin ne zaman tutarsız olduğunu pratik bir şekilde belirlemeye olanak tanıyan algoritmik bir öneri geliştirilmiştir.

Tutarlılığın yanı sıra bağlam, güvenlik ve emniyet açısından kritik alanlardaki birçok modern uygulamanın merkezinde yer almaktadır. Farklı bir araştırmada, öge eşleşmesi, dilbilimsel eşdizim yaklaşımları ve wordnet anlamsal ağ mesafesi dahil olmak üzere dört farklı yöntem kullanılarak insan yorumlarının ifade benzerliği belirlenmiştir [36]. Bağlamı dahil eden yöntemin, vakaların %69'unda insan yanıtlayıcılarla aynı geometrik konfigürasyonu seçerek test edilen dört yöntem arasında en başarılı yöntem olduğu ifade edilmektedir. Bilgi çizgelerinde

bağlam konulu farklı bir araştırmada, mevcut bağlam farkındalıklı sistemlerde bilgi ve bağlamın resmi olarak entegre edilmemiş olmasından yola çıkılarak, bağlamsal muhakemeye ulaşmak için biçimsel bir yaklaşım geliştirilmiştir [1].

Literatürde, çizge teorisinde düğümlerin sıralaması konusunda pek çok çalışma bulunmaktadır [33, 26, 15, 11]. Fakat bilgi çizgesinde sıralamaya yönelik bir araştırmaya bilebildiğimiz kadarıyla rastlanmamıştır. Aynı zamanda veri yapıları özelinde değişmezlik konusu sıkça çalışılmış olsa da [10, 29, 35, 2], bilgi çizgesi özelinde değişmezlik odaklı bir çalışmaya rastlanmamıştır. Buna ek olarak, bilgi çizgesinde güvenilirlik ve sıralama odaklı çeşitli çalışmalar bulunsun da [34, 43, 18] bu çalışmalar, makalemizin konusu ile doğrudan ilintili değildir. Benzer şekilde sınırlı sayıda da olsa bilgi çizgesinde hashing [20, 41] odaklı çalışmalar bulunmaktadır ancak literatürdeki mevcut çalışmaların, makalemizde geliştirdiğimiz eklentiler ile ilişkisi bulunmamaktadır.

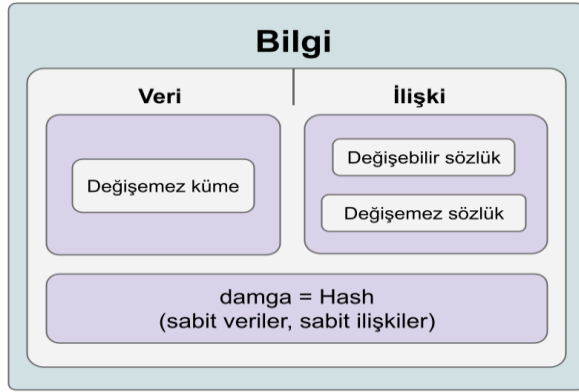
Görülebileceği üzere, literatürde bilgi çizgesine yönelik çalışmalar, çok geniş bir kapsamda ele alınmıştır. Genelde çalışmalarda, bilgi çizgesinin başka alanlara entegre edilmesine odaklanılmıştır. Literatürde bilgi çizgesinde tutarlılık odaklı çalışmalarda ise genellikle kompleks çözümler geliştirilmiştir. Literatürde yer alan bilgi çizgesinde bağlam odaklı sınırlı sayıda çalışmada ise genellikle, bilgi çizgesinin yapısında herhangi bir değişikliğe gidilmeden uygulama tabanlı çözümler geliştirilmiştir. Çalışmamızın, literatürdeki bilgi çizgesinde tutarlılık ve bağlam odaklı mevcut araştırmalardan farklı, söz konusu eklentilerin hash teknolojisi ile sağlamasıdır. Çünkü mevcut literatürde, hash teknolojisi kullanılarak bilgi çizgesine değişmezlik, tutarlılık, güvenilirlik ve bağlam gibi eklentilerin entegre edildiği çalışmalara rastlanmamıştır. Çalışmamızın literatüre temel katkısı, basit bir mekanizma ile (Hashing) bilgi çizgesine dört farklı özelliğin entegre edilebileceğini göstermesidir. Bu yönüyle çalışmamızın, bilginin daha iyi temsil edilmesi ve yaratılan çözümler konusunda literatüre ve bilgi çizgesini kullanan yapay zeka yazılımlarının geliştirilmesine katkı sunması beklenmektedir.

III. YÖNTEM

Çalışmamızda, var olan bir bilginin nereden geldiği, kimler tarafından desteklendiği, desteklenme oranı, sıralama, değiştirilebilir veya değiştirilemez olması ve otomatik güncelleme işlemlerini gerçekleştirebilmek amacıyla bilgi çizgesine tutarlılık, bağlam, güvenilirlik ve değişmezlik mekanizmaları entegre edilmiştir. Bu eklentiler, literatürden farklı olarak, hashing mekanizması kullanılarak geliştirilmiştir. Bunun nedeni, oldukça basit bir mekanizma olan Hashing teknolojisinin, dört farklı özelliği kolaylıkla sağlayabilme imkanı sunmasıdır. Çalışmamızda, bilgi çizgesine tutarlılık, değişmezlik, güvenilirlik ve

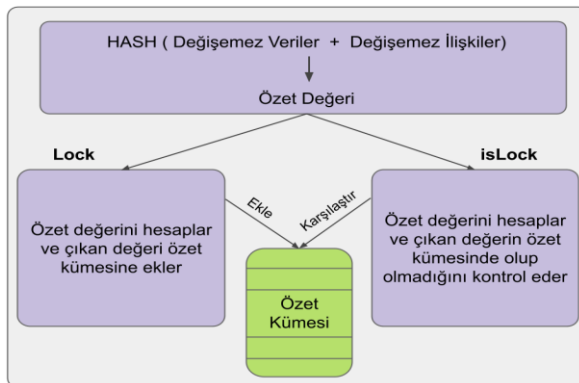
bağlam eklentisi sağlamak için “Knowledge” adını verdiğimiz bir model tasarlanmıştır.

Hashing mekanizması sayesinde, bilgi içerisindeki ilişkilerin ve verilerin değişip değişmediğini kontrol etmek mümkündür. Değişip değişmediğini kontrol edilen ilişkilere sabit ilişki, kontrol edilmeyen ilişkilere değişken ilişki denir. Diğer yandan veriler ise her zaman kontrol edildiği için bilgi çizgesinde sabit olarak kabul edilirler. Şekil 1’de, geliştirdiğimiz bilgi çizgesi genel özellikleriyle gösterilmiştir.



Şekil 1. Etiket yapısının genel gösterim

Bilgi çizgesinde değişmezlik kontrolü, hash mekanizması ile sağlanmıştır. Burada hash, değişmez ilişkilerin ve verinin özetini ifade eder. İstenildiği zaman hash hesaplanır ve hash kümesine eklenir. Geliştirdiğimiz bilgi yapısında bu işlem, lock() fonksiyonu ile gerçekleştirilmektedir. Daha sonra, bilgide herhangi bir değişiklik olup olmadığını kontrol etmek için yeni bir hash değeri hesaplanır ve hash kümesinin içerisindeki eski hash değerleri ile karşılaştırılır. Bu andan sonra, bilginin ilişkilerinde veya verilerinde bir değişiklik gerçekleşirse, farklı hash değeri çıkacağından, bilginin değişip değişmediği ve değişmişse bulunduğu pozisyon otomatik olarak tespit edilebilir. Çıkan sonuçlar eşitse yapının değiştirilmediği; sonuçlar eşit değilse yapının değiştirildiği anlamına gelir. Bu işlem, isLock() fonksiyonu ile gerçekleştirilmektedir. Bilginin Lock ve islock durumunun genel yapısı Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Lock ve Unlock durumu

Örnek hash bulma formülü aşağıdaki gibidir. Burada i değeri, n tane sabit veriden kaçınıcısının ifade edildiğini gösterir. j değeri ise, m tane sabit ilişkiden kaçınıcısının ifade edildiğini gösterir.

$$hash\left(\sum_{i=0}^n \text{sabit veri}_i + \sum_{j=0}^m \text{sabit ilişki}_j\right)$$

Formül (1). Bilgi hash değerinin hesaplanması

Bir bilginin silinmesi, değiştirilmesi, yaratılması ve eklenmesi durumunda, ona bağlı olan bilgiler, tutarlılığı korumak adına Algoritma 1 sayesinde yeniden hesaplanarak güncellenir. Buna paralel olarak, Algoritma 1 sayesinde, bilgi çizgesinde bir değişiklik olup olmadığı tespit edilebilir. Algoritma 1 sayesinde, düşük karmaşıklık ile değişikliklerin bilgi çizgesindeki tüm noktalara taşınması sağlanmaktadır. Ayrıca, bilgi çizgesinde meydana gelen değişikliklerin nerede gerçekleştiği de yine aynı algoritma ile bulunabilmektedir. Algoritmada güncellemeler, bilgi çizgesindeki değişmez ilişkiler üzerinden gerçekleşir. Yani değişken ilişkiler hesaba katılmaz. Bu algoritma, derinlik ilk arama, dinamik programlama ve topolojik sıralama kullanılarak geliştirilmiştir.

```
def update(graph, parent, weight_cost, start_edge):
    stack = [start_edge]
    visited = []
    while stack:
        edge = stack.pop()
        visited.append(edge)
        for neighbor_edge in graph.neighbors(edge):
            if neighbor_edge not in visited:
                visited.append(neighbor_edge)
            if edge not in parent:
                parent[neighbor_edge] = edge
                weight_cost[neighbor_edge] = weight_cost[edge] + graph[neighbor_edge][weight]
                stack.append(neighbor_edge)
def run(graph, start_edge):
    weight_cost = defaultdict(int, {edge: 0 if start_edge else -sys.maxsize for edge in graph.edges})
    weight_cost[start_edge] = 0
    while len(required) > 0:
        update(graph, parent, weight_cost, start_edge)
```

Algoritma 1. Değişikliklerin bilgi çizgesinde güncellenmesi için kullanılan pseudo kod

Bilgi çizgesi çoklu geçişli döngüsel bir çizge olduğundan, bütün geçişlerin gezilebilmesi için düğümlerle kenarlar yer değiştirilmiştir. Böylece tüm kenarların gezilebilmesi sağlanmıştır. Bu sayede tüm sistem O(E) karmaşıklığı ile gezilmiştir. Sonuç olarak lineer bir karmaşıklık ile bütün sistem güncellenebilmektedir. Bilgi çizgesinde güncelleme, kullanıcının verdiği derinlik parametresine göre belirlenebilir ve böylece kaç birim derinliğin güncellenebileceği kullanıcı tarafından oluşturulabilir.

IV. GELİŞTİRİLEN EKLENTİLER

Bu bölümde, bilgi çizgesi için geliştirdiğimiz her bir eklenti açıklanmış ve örnek senaryolarla test edilerek işlevsellikleri ispatlanmıştır. Böylece, geliştirdiğimiz bilgi çizgesi eklentilerinin çok çeşitli yazılım süreçlerinde kullanılabilir olduğu gösterilmiştir.

4.1. Değişmezlik (Kontrol Edilmeyen İlişkiler)

Kontrol edilmeyen ilişkiyi göstermek amacıyla, aşağıda beş farklı bilgi oluşturulmuştur. Burada A bilgisinin, k ve j vasıtasıyla C ve B ile dışı doğru ilişkisi bulunmaktadır. B, C, j, k bilgilerinin ise bu aşamada herhangi bir ilişkisi yoktur. Bu beş bilgiyi oluşturmak için kullanılan JSON formatı aşağıdaki gibidir:

```
k: {'yap'}, Null, Null, Null}
j: {'sat'}, Null, Null, Null}
B: {'Müşteri 1'}, Null, Null, Null}
C: {'Resim 1'}, Null, Null, Null}
A: {'Ressam'}, {k: C}, {j: B}, Null}
```

Yukarıda gösterilen aşamada, lock fonksiyonu çalıştırılmamıştır. Dolayısıyla herhangi bir değişmezlik mekanizması aktive edilmemiş, yani hash değerleri girilmemiş (Null) olarak gösterilecektir. Yukarıdaki JSON gösteriminde dört tane değer bulunmaktadır. Bunlardan ilki kontrol edilen veriler, ikincisi kontrol edilen ilişkiler, üçüncüsü kontrol edilmeyen ilişkiler, dördüncüsü ise hash değeridir. Aşağıdaki komut ile A bilgisinin lock fonksiyonu çağrılarak, sistem kilitlemiş ve böylece değiştirilemez yapılmıştır. A bilgisinin lock fonksiyonunu çağırma komutu aşağıdaki gibidir:

```
A.lock()
```

Lock fonksiyonu uygulandıktan sonraki yapının JSON format görünümü aşağıdaki gibidir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, hash değerlerinin girilmiş olmasıdır. C ve k bilgileri, A bilgisine bağlı olduğu için, A bilgisi değiştirilmez hale getirildiğinde, bu bilgiler de de değiştirilmez hale gelir. Öte yandan j ve B bilgileri kontrol edilmediğinden (değişken ilişkiye sahip olduğundan) dolayı, bu bilgiler sabitlenmez ve hash değeri Null olarak kalmaya devam eder. Bu durum, Formül 1'de rahatlıkla görülebilir. Ayrıca A bilgisi, Formül 1'deki hesaplama ve Algoritma 1 ile k ve C'de bilgilerin değişip değişmediğini, değişmişse hangi bilginin değiştiğini tespit edebilir.

```
k: {'yap'}, Null, Null, {3e4d}
j: {'sat'}, Null, Null, Null}
B: {'Müşteri 1'}, Null, Null, Null}
C: {'Resim 1'}, Null, Null, {13sa}
A: {'Ressam'}, {k: C}, {j: B}, {12ew}}
```

İstendiğinde, değişken ilişki ile bağlı yeni bir bilgi eklenebilir ve bu durumda lock fonksiyonu çalışsa bile hash değeri değişmez. Bu durum tasarımsal esneklik sağlar. Çünkü bazı ilişkiler sabit iken bazıları değişkendir. Örneğin bir eserin ressamı sabit iken, bu eseri satın alan müşteriler değişkendir. Bu yapıyı bilgi çizgesinde oluşturabilmek zordur. Aşağıda, kontrolünü sağlamadığımız (değişken) ilişkiler değişse bile hash değerlerinin değişmediği JSON formatında gösterilmiştir:

```
k: {'yap'}, Null, Null, {3e4d}
j: {'sat'}, Null, Null, Null}
B: {'Müşteri 2'}, Null, Null, Null}
C: {'Resim 1'}, Null, Null, {13sa}
A: {'Ressam'}, {k: C}, {j: B}, {12ew}}
```

İstendiğinde değişmez ilişkiye yeni bilgi eklenirse, hash değerleri yeniden oluşturulur ve bu yeni değerler eski değerlerle karşılaştırıldığında, yeni oluşturulan hash değerlerinin eski hash değerlerinden farklı olduğu görülecektir. Burada dikkat çekmek istediğimiz nokta, yukarıdaki örneğe yeni bir D bilgisi eklendiğinde A bilgisinin hash değerinin değişeceği. Bu durum, aşağıda JSON formatında gösterilmiştir:

```
k: {'yap'}, Null, Null, {3e4d}
j: {'sat'}, Null, Null, Null}
B: {'Müşteri 2'}, Null, Null, Null}
C: {'Resim 1'}, Null, Null, {13sa}
D: {'Resim 2'}, Null, Null, {12de}
A: {'Ressam'}, {k: C, k: D}, {j: B}, {1saw}}
```

Kontrol edilmeyen ilişkilere yönelik çeşitlilik, bilgi çizgesinde bulunmamaktadır. Bu da tasarımsal manipülasyonları önemli ölçüde etkilemektedir. Örneğin, j ve B değişken ilişkilere sahip olmasaydı, müşteri 1 bilgisi sistemde durmaya devam edecekti. Ayrıca herhangi bir değişiklik durumunda tüm sistemin hash değerlerinin yeniden hesaplanması gerekecekti. Bunun dışında bilgi çizgesinde lock ve isLock fonksiyonları bulunmadığı için, sistem ancak manuel şekilde sabitlenebilmekte ya da en baştan oluşturulmaktadır. Bu da ciddi zaman ve alan kayıplarına yol açabilmektedir.

4.2. Güvenilirlik

Güven eklentisi, bilgi çizgesindeki değişmez ilişkilerin toplamından meydana gelir. Güven mekanizması bu yönüyle, bilgilerin sıralanmasını sağlar. Yani, güven değeri yüksek olan bilgi, daha güvenlidir ve üst sıralarda yer alır.

Geliştirilen güvenilirlik eklentisinde, bir bilginin güvenilirliği, o bilginin sabit ilişkilerinin sayısı ile ilintilidir. Yani bir bilgi, diğer bilgilerle ne kadar fazla değiştirilemez ilişkiye sahipse, o kadar güvenilir kabul edilir. Eğer bir bilginin hiçbir sabit ilişkisi bulunmuyorsa, o bilgiye şüpheli bilgi denir. Aşağıdaki örnekte hiçbir sabit ilişkisi bulunmayan C bilgisinin JSON formatında gösterimine yer verilmiştir. Burada C'nin güvenilirlik değeri 0'dır.

```
C: {'Resim 1'}, Null, Null, {13sa}
```

Aşağıdaki örnekte ise birden fazla sabit ilişkisi bulunan Z bilgisinin JSON formatında gösterimine yer verilmiştir. Burada Z'nin güvenilirlik değeri 2'dir. Güvenilirlik açısından kullanıcının derinlik parametresi girmesi durumunda, hesaplamalar söz

konusu derinliğe kadar yapılır. Örneğin Z'nin derinlik parametresi 1 verilirse, güvenilirlik değeri de 1 çıkacaktır. Bu özellik, zaman ve mekan karmaşıklığını önemli ölçüde azaltmak amacıyla geliştirilmiştir.

k: {{'yap'}, Null, Null, {3e4d}}
 j: {{'kullan'}, Null, Null, {2d5S}}
 l: {{'sat'}, Null, Null, Null}
 M: {{'Müşteri 3'}, Null, Null, Null}
 X: {{'Boya'}, Null, Null, {23ft}}
 Y: {{'Resim'}, {j: X}, Null, {feSa}}
 Z: {{'Ressam'}, {k: Y}, {l: M}, {des3}}

Bilgi çizgesinde, geliştirdiğimiz anlamda pratik ve basit bir güvenilirlik mekanizması bulunmamaktadır. Bu nedenle güvenilirliğin derecelendirilmesi de mümkün değildir. Bu da güven eksenli sıralama mekanizmasını engellemektedir. Diğer yandan, geliştirdiğimiz güvenilirlik mekanizması, bilgi çizgesine pratik ve basit bir şekilde uygulanabilmekte, böylece gerekli hallerde güven odaklı sıralama ihtiyacı rahatlıkla giderilebilmektedir.

4.3. Tutarlılık

Bu bölümde, bilgi çizgesinde tutarlılık eklentisi, örnek bir senaryo vasıtasıyla açıklanmıştır. Burada öncelikle beş adet bilgi yaratılmıştır. Bu bilgiler yaratıldığı anda, sabit ya da değişken hiçbir ilişkileri bulunmamaktadır. Aşağıda, bilgilerin yaratımı JSON formatında gösterilmiştir.

Knowledge1: {'36 yaşındaki bir adam eski nişanlısını bıçaklayarak öldürdü.', Null, Null, Null}
 Knowledge2: {'Eski nişanlısını bıçaklayarak öldüren adam hakkında 23 yıl hapis cezası istendi.', Null, Null, Null}
 Knowledge3 :{'Eski nişanlısını bıçaklayarak öldüren adam ilk duruşmada iyi halde serbest bırakıldı.', Null, Null, Null}
 Knowledge4 :{'Kadın hakları aktivistleri, bu kararı mahkeme önünde protesto etti.', Null, Null, Null}
 Knowledge5: {'Feminizm yaygınlaşıyor.', Null, Null, Null}

Bilgiler yaratıldıktan sonra, aralarında neden sonuç ilişkisi kurulur. Eğer bir bilginin herhangi bir ilişkisi bulunmuyorsa bu bilgi güvenilir değildir. Örneğin aşağıdaki komutlarda, beşinci bilginin nedeni dördüncü, dördüncünün nedeni üçüncü, üçüncünün nedeni ikinci, ikincinin nedeni ise birinci bilgi arasındaki ilişkilerdir. Dördüncü bilginin yok olması, beşinci bilginin güvenilirliğini ortadan kaldıracak ve bu bilgi şüpheli hale getirecektir. Aşağıda, bilgilerin neden sonuç ilişkileri girildikten sonra, bilgiler arasındaki ilişkilerin lock fonksiyonu ile kilitlenmiş hali, JSON formatında gösterilmiştir.

Eylem1: {'neden', Null, Null, {12fK}}
 Knowledge1: {'36 yaşındaki bir adam eski nişanlısını bıçaklayarak öldürdü.', Null, Null, {76Tf}}

Knowledge2: {'Eski nişanlısını bıçaklayarak öldüren adam hakkında 23 yıl hapis cezası istendi.', {Eylem1: Knowledge1}, Null, {23wS}}
 Knowledge3 :{'Eski nişanlısını bıçaklayarak öldüren adam ilk duruşmada iyi halde serbest bırakıldı.', {Eylem1: Knowledge2, Eylem1: Knowledge1}, Null, {23dS}}
 Knowledge4 :{'Kadın hakları aktivistleri, bu kararı mahkeme önünde protesto etti.', {Eylem1: Knowledge3}, Null, {P3se}}
 Knowledge5: {'Feminizm yaygınlaşıyor.', {Eylem1: Knowledge4}, Null, {wq2}}

Bilginin kendisinde ya da onu destekleyen sabit bilgilerin herhangi birinde bir hata ya da değişiklik olduğunda model, değişikliğin kaynağını bularak, o kaynağı bağlamdan çıkarır ve o kaynak ile ilişkili olan tüm bilgileri, derinlik parametresine bağlı olarak günceller. Böylece sistemde tutarlılık sağlanmış olur.

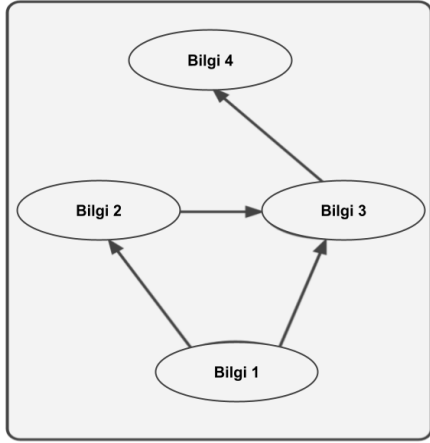
Geliştirdiğimiz eklentideki tutarlılık anlayışı hem bilgi çizgesinin kopyasındaki değişikliğe hem de bilgi çizgesi içerisindeki değişikliklere odaklanır. Bilgi çizgesinin içerisinde herhangi bir bilgide meydana gelebilecek bir değişiklik, bilgi çizgesindeki her bir bilginin güncellenmesine neden olacağı gibi istendiğinde kopyalarındaki değişikliklerin de güncellenmesini mümkün kılar.

4.4. Bağlam

Aşağıda bir bilginin bağlamını açıklayabilmek için dört tane ilişki oluşturulmuştur.

Eylem1: {{'neden'}, Null, Null, Null}
 Knowledge1: {{'veri1'}, Null, Null, Null}
 Knowledge2: {{'veri2'}, {Eylem1:Knowledge1}, Null, Null}
 Knowledge3: {{'veri3'}, {Eylem1:Knowledge1, Eylem1:Knowledge2}, Null, Null}
 Knowledge4: {{'veri4'}, {Eylem1:Knowledge3}, Null, Null}

Aşağıda, yukarıdaki bilgilerin aralarında oluşturdukları bağlam ifade edilmiştir. Burada Knowledge1'in bağlamı yoktur fakat modelde varlığını sürdürür. Bu, Knowledge1'i doğrulayacak herhangi bir değişmez ilişkinin bulunmadığı anlamı taşımaktadır. Değişmez bir ilişkisi bulunmayan ve dolayısıyla normal şartlarda güvenilir olmayan herhangi bir bilginin güvenilir kabul edilip edilmeyeceği, bilgi çizgesini yaratan kişinin inisiyatifine bağlıdır.



Şekil 3. Bilginin bağlam yapısı

Şekil 3'te görüleceği gibi, Knowledge4'ün bağlamı içerisinde Knowledge1, Knowledge2, Knowledge3 bulunmaktadır. Bağlamı hesaplarken hash değeri, çizgeye özgü olacağından, yukarıdaki şekilde Knowledge4'ün bağlamı Knowledge1, Knowledge2, Knowledge3'e ve aralarındaki ilişkiye özgü olacaktır. Şekil 3'te de görülebileceği üzere, hash kümesinde tutulan değerler aynı zamanda bağlamı belirler. Yani bir bilginin birden çok bağlamı olabileceği için istenilen özetler hash kümesine atılarak, o bilginin bağlamlarını oluşturmak mümkündür. Daha sonra bir bilginin, başka bir bilginin bağlamı ile uyumlu olup olmadığı, bu hash değerlerine bakılarak belirlenebilir. Böylece, bilgiye dair pek çok belirsizlik ortadan kaldırılmış olur.

Geliştirdiğimiz eklenti, bilgi çizgesinde bilgi karşılaştırması yapabilmek için bağlam mekanizmasını destekler. Bu sayede, bilgi çizgesinde bilgilerin kolaylıkla karşılaştırılabilmesi mümkün hale gelir. Gerçek yaşamda olduğu gibi bir bilginin değeri, pek çok farklı bağlama göre değişiklik gösterebilir. Geliştirdiğimiz eklentide bu durum rahatlıkla gerçekleştirilebilmektedir.

V. DEĞERLENDİRME

Bu bölümde, bilgi çizgesi için geliştirdiğimiz eklentilerin avantaj ve dezavantajlar ortaya koyulmuştur. Değişmezlik eklentisinin sağladığı avantaj, bilgi çizgesi içerisindeki bilgilerin değişmiş/değişmemiş olarak damgalanması ve böylece hangi bilgilerin değiştiğinin kolaylıkla tespit edilebilmesidir. Veri yapısı konusunda değişmezlik odaklı çok çeşitli çalışmalar bulunsa da bilgi çizgesi odağında değişmezlik konulu çalışmaya rastlanmamıştır.

Değişmezlik eklentisi, bilgilerin kolaylıkla güncellenmesini sağlayarak bilgi çizgesinin tutarlı kalmasına katkıda bulunur. Bu katkı, çalışmamızda tutarlılık eklentisi olarak tanımlanmıştır. Tutarlılık eklentisi, Algoritma 1 sayesinde tüm değişmiş bilgiler

üzerinde gezinerek, bu bilgilerin hızlı bir şekilde güncellenmesini sağlar. Bu fonksiyon, bir bilgi değiştiğinde otomatik olarak çalıştırılır ve etki ettiği tüm bilgileri, söz konusu değişime bağlı olarak günceller. Bilgi çizgesinde tutarlılığa yönelik çok çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Ancak bu çalışmaların hiçbirinde hash mekanizması kullanılmamıştır. Aynı zamanda, literatürdeki çalışmaların hemen hemen hepsi oldukça karmaşık prosedürler içermektedir.

Güvenirlilik eklentisi sayesinde, bilgiler arasında sıralama gerçekleştirilir. Bilgilerin sıralanması, iki ya da daha fazla bilgi arasındaki önemi ortaya koymaktadır. Bilgi çizgesinde bilgilerin, önem derecesine göre sıralanması, bilgiler arası kıyas yapabilmeye avantajı ve esnekliği sunmaktadır. Literatürde, bilgi çizgesinde güvenirlilik ile ilgili az sayıda araştırmanın hiçbirinde hash mekanizması kullanılmamıştır. Aynı zamanda, mevcut çalışmaların hemen hemen hepsi yine oldukça karmaşık prosedürler içermektedir.

Bağlam eklentisi sayesinde iki bilgi arasında karşılaştırma yapılabilir. Bağlam eklentisi, bilgilerin hash değerlerine bakılarak, bu bilgilerin aynı olup olmadığının anlaşılmasını sağlar. Hash kümesi sayesinde bilgi, birden fazla bağlama sahip olur ve yine hash değeri sayesinde bilginin hangi bağlamda bulunduğu tespit edilir. Bu durum bilgi çizgesine esneklik ve soyutlama avantajı sağlar. Ayrıca Hash algoritması ile karşılaştırma yapıldığından dolayı zaman karmaşıklığı $O(1)$ 'dir. Literatürde, bilgi çizgesinde bağlam ile ilgili çeşitli araştırmalar bulunsa da bu araştırmaların hiçbirinde hash mekanizması kullanılmamıştır. Aynı zamanda, mevcut çalışmaların hemen hemen hepsi yine oldukça karmaşık prosedürler içermektedir.

Çalışmamızda, bilgi çizgesi için geliştirilen dört eklentinin dezavantajı, hash mekanizmasından kaynaklanan, bilgi çizgesindeki bilgilerin bağlı olduğu tüm bilgilerin hash değerlerinin tutulmasıdır. Burada, bilginin N tane bağı varsa, $N \times (256 \text{ Byte})$ uzunluğunda hash değeri saklanır. Bu durum alan karmaşıklığını az da olsa artırır. Diğer bir husus, güncelleme fonksiyonunun $O(E)$ karmaşıklığındaki çalışma zamanıdır. Güncelleme, çap parametresi ile hem azaltılabilir hem de artırılabilir. Bu durum, karmaşıklık üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Güncelleme karmaşıklığının çap parametresi ile azaltılabilmesi, sığ öncelikli arama (Breadth First Search)'daki derinliği ifade etmektedir. Daha az derinlikte olması, karmaşıklığın yanı sıra bilgi miktarını da azaltacağı için belirli bir denge yakalanması gerekli olmaktadır. Buradaki karmaşıklık, Breadth First Search'deki karmaşıklık ile aynıdır. Burada $O(E)$ karmaşıklığındaki E , kenar sayısını ifade etmektedir.

Geliştirdiğimiz eklentilerin, bilgi çizgesine sağladığı katkılar göz önüne alındığında, dezavantaj olarak ifade edilebilecek bu iki hususun göz ardı edilebileceği düşünülmektedir.

VI. SONUÇ

Çalışmamızda, var olan bir bilginin nereden geldiği, kimler tarafından desteklendiği, desteklenme oranı, sıralama, değiştirilebilir veya değiştirilemez olması ve otomatik güncelleme işlemlerini gerçekleştirebilmek amacıyla bilgi çizgesine tutarlılık, bağlam, güvenilirlik ve değişmezlik mekanizmaları modüler bir biçimde entegre edilmiştir. Bu eklentilerin geliştirilmesinde hashing mekanizması kullanılmıştır. Bunun nedeni, oldukça basit bir mekanizma olan Hashing teknolojisinin, dört farklı özelliği kolaylıkla sağlayabilme imkanı sunmasıdır. Çalışmamızda, bilgi çizgesine tutarlılık, değişmezlik, güvenilirlik ve bağlam eklentisi sağlamak için “Knowledge” adını verdiğimiz bir model tasarlanmıştır.

Önerdiğimiz eklentilerin ilki olan değişmezlik, bir bilgi değiştirilemez yapıldığında, onunla ilintili bütün bilgilerin değiştirilemez olmasını sağlar. Bu sayede bilgi güvenilirliği garanti altına alınır. Herhangi bir değişiklik olduğunda, hash bilgisi değişeceğinden, söz konusu değişikliğin nerede olduğu hemen tespit edilir. Güvenilirlik düzeyi, bilgiyi destekleyen güvenilir bilgilerin miktarı ile ilgilidir. Bu sayede bilgilerin güvenilirlik derecesine göre sıralanması sağlanır. Tutarlılık, bilgi çizgesinde herhangi bir değişiklik olduğunda, bu değişiklikten etkilenen tüm bilgilerin anında güncellenmesini ifade eder. Bağlam ise, bir bilgi ile ilgili tüm bilgilerden ve bunların arasındaki ilişkilerden oluşur. Farklı bağlamlar hesaplanarak, bir bağlam dizisi içine kaydedilir ve bilgilerin bağlam dizisine bakılarak, diğer bağlamlarla uygunlukları kontrol edilebilir.

Geliştirdiğimiz eklentiler sayesinde, bilgi çizgesine ek özellikler kazandırılarak, bilginin daha kapsamlı şekilde yansıtılması sağlanmıştır. Eklentilerin, bilgi çizgesinin iyileştirilmesine yönelik literatüre ve bilgi çizgesini kullanan yapay zeka yazılımlarının geliştirilmesine katkı sunması beklenmektedir. Daha geniş anlamda ise çalışmamızın, bilgi temsiline ihtiyaç duyulan yazılımların geliştirilmesinin yanı sıra, bilginin her alanda kullanılan bir yapı olması dolayısıyla, bilgi ile ilgili çok geniş bir alana katkı sunması beklenmektedir. İleriki çalışmalarda, bir tasarı olarak geliştirilen eklentilerin kapsamlı plot uygulamalarının gerçekleştirilmesi planlanmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Alsaig, A., Alagar, V., & Nematollaah, S., Contelog: A declarative language for modeling and reasoning with contextual knowledge. *Knowledge-Based Systems*, 207, 106403, (2020).
- [2] Balakrishnan, D., Ziarek, L., & Kennedy, O., Fluid data structures. *In 17th ACM SIGPLAN International Symposium on Database Programming Languages*, 3–17., (2019).
- [3] Bello López, P., & De Ita Luna, G., An Algorithm to Belief Revision and to Verify Consistency of a Knowledge Base. *IEEE Latin America Transactions*, 19(11), 1867–1874, (2021).
- [4] Besançon, L., Da Silva, C. F., Ghodous, P., & Gelas, J.-P., A Blockchain Ontology for DApps Development. *IEEE Access*, 10, 49905–49933, (2022).
- [5] Cambria, E., Ji, S., Pan, S., & Yu, P. S., Knowledge graph representation and reasoning. *Neurocomputing*, 461, 494–496, (2021).
- [6] Cano-Benito, J., Cimmino, A., & García-Castro, R., Toward the Ontological Modeling of Smart Contracts: A Solidity Use Case. *IEEE Access*, 9, 140156–140172, (2021).
- [7] Chen, X., Jia, S., & Xiang, Y., A review: Knowledge reasoning over knowledge graph. *Expert Systems with Applications*, 141, 112948, (2020).
- [8] Chen, X., Xie, H., Li, Z., & Cheng, G., Topic analysis and development in knowledge graph research: A bibliometric review on three decades. *Neurocomputing*, 461, 497–515, (2021).
- [9] Chen, Z., Wang, Y., Zhao, B., Cheng, J., Zhao, X., & Duan, Z., Knowledge Graph Completion: A Review. *IEEE Access*, 8, 192435–192456, (2020).
- [10] Chowdhury, M. J. M., Colman, A., Kabir, M. A., Han, J., & Sarda, P., Blockchain Versus Database: A Critical Analysis. *2018 17th IEEE International Conference On Trust, Security And Privacy In Computing And Communications/ 12th IEEE International Conference On Big Data Science And Engineering (TrustCom/BigDataSE)*, 1348–1353, (2018).
- [11] Christoforou, E., Nordio, A., Tarable, A., & Leonardi, E., Ranking a Set of Objects: A Graph Based Least-Square Approach. *IEEE Transactions on Network Science and Engineering*, 8(1), 803–813, (2021).
- [12] Dai, Y., Wang, S., Xiong, N. N., & Guo, W., A Survey on Knowledge Graph Embedding: Approaches, Applications and Benchmarks. *Electronics*, 9(5), 750, (2020).
- [13] Delgrande, J. P., & Schaub, T., A consistency-based approach for belief change. *Artificial Intelligence*, 151(1), 1–41, (2003).
- [14] Grant, J., Molinaro, C., & Parisi, F., Probabilistic spatio-temporal knowledge bases: Capacity

- constraints, count queries, and consistency checking. *International Journal of Approximate Reasoning: Official Publication of the North American Fuzzy Information Processing Society*, 100, 1–28, (2018).
- [15] Huang, Y., Zhang, L., Yang, X., Chen, Z., Liu, J., Li, J., & Hong, W., An Efficient Graph-Based Algorithm for Time-Varying Narrowband Interference Suppression on SAR System. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 59(10), 8418–8432, (2021).
- [16] Issa, S., Adekunle, O., Hamdi, F., Cherfi, S. S.-S., Dumontier, M., & Zaveri, A., Knowledge Graph Completeness: A Systematic Literature Review. *IEEE Access*, 9, 31322–31339, (2021).
- [17] Jabla, R., Khemaja, M., Buendia, F., & Faiz, S., Automatic Rule Generation for Decision-Making in Context-Aware Systems Using Machine Learning. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022, 5202537, (2022).
- [18] Jiang, S., Liu, Y., Zhang, Y., Luo, P., Cao, K., Xiong, J., Zhao, H., & Wei, J., Reliable Semantic Communication System Enabled by Knowledge Graph. *Entropy*, 24(6), (2022).
- [19] Kejriwal, M., Knowledge Graphs: A Practical Review of the Research Landscape. *Information. An International Interdisciplinary Journal*, 13(4), 161, (2022).
- [20] Khan, N., Ma, Z., Yan, L., & Ullah, A., Hashing-based semantic relevance attributed knowledge graph embedding enhancement for deep probabilistic recommendation. *Applied Intelligence, Dordrecht, Netherlands*, 53(2), 2295–2320, (2023).
- [21] Liberatore, P., & Schaerf, M., Belief Revision and Update: Complexity of Model Checking. *Journal of Computer and System Sciences*, 62(1), 43–72, (2001).
- [22] Muiño, D. P., Measuring and repairing inconsistency in probabilistic knowledge bases. *International Journal of Approximate Reasoning: Official Publication of the North American Fuzzy Information Processing Society*, 52(6), 828–840, (2011).
- [23] Mu, K., Responsibility for inconsistency. *International Journal of Approximate Reasoning: Official Publication of the North American Fuzzy Information Processing Society*, 61, 43–60, (2015).
- [24] Mu, K., Measuring inconsistency with constraints for propositional knowledge bases. *Artificial Intelligence*, 259, 52–90, (2018).
- [25] Nickel, M., Murphy, K., Tresp, V., & Gabrilovich, E., A Review of Relational Machine Learning for Knowledge Graphs. *Proceedings of the IEEE*, 104(1), 11–33, (2016).
- [26] Nirmala, P., & Nadarajan, R., Cumulative centrality index: Centrality measures based ranking technique for molecular chemical structural graphs. *Journal of Molecular Structure*, 1247, 131354, (2022).
- [27] Noy, N., Gao, Y., Jain, A., Narayanan, A., Patterson, A., & Taylor, J., Industry-scale Knowledge Graphs: Lessons and Challenges. *ACM Queue: Tomorrow's Computing Today*, 17(2), 48–75, (2019).
- [28] Opdahl, A. L., Al-Moslmi, T., Dang-Nguyen, D.-T., Gallofré Ocaña, M., Tessem, B., & Veres, C., Semantic Knowledge Graphs for the News: A Review. *ACM Comput. Surv.*, 55(7), 1–38, (2022).
- [29] Ozdayi, M. S., Kantarcioglu, M., & Malin, B., Leveraging blockchain for immutable logging and querying across multiple sites. *BMC Medical Genomics*, 13(Suppl 7), 82, (2020).
- [30] Porebski, S., Evaluation of fuzzy membership functions for linguistic rule-based classifier focused on explainability, interpretability and reliability. *Expert Systems with Applications*, 199, 117116, (2022).
- [31] Rajabi, E., & Etminani, K., Knowledge-graph-based explainable AI: A systematic review. *Journal of Information Science and Engineering*, 01655515221112844, (2022).
- [32] Ryen, V., Soyulu, A., & Roman, D., Building Semantic Knowledge Graphs from (Semi-)Structured Data: A Review. *Future Internet*, 14(5), 129, (2022).
- [33] Sciriha, I., & da Fonseca, C. M., On the rank spread of graphs. *Linear and Multilinear Algebra*, 60(1), 73–92, (2012).
- [34] Seo, S., Oh, B., & Lee, K.-H., Reliable Knowledge Graph Path Representation Learning. *IEEE Access*, 8, 32816–32825, (2020).
- [35] Stančić, H., & Bralić, V., Digital Archives Relying on Blockchain: Overcoming the Limitations of Data Immutability. *Computers*, 10(8), 91, (2021).
- [36] Stock, K., & Yousaf, J., Context-aware automated interpretation of elaborate natural language descriptions of location through learning from empirical data. *International Journal of Geographical Information Science: IJGIS*, 32(6), 1087–1116, (2018).
- [37] Terenziani, P., Integrated temporal reasoning with periodic events. *Computational Intelligence. An International Journal*, 16(2), 210–256, (2000).
- [38] Troussas, C., & Krouska, A., Path-Based Recommender System for Learning Activities Using Knowledge Graphs. *Information. An International Interdisciplinary Journal*, 14(1), 9, (2022).
- [39] Van Beek, P., & Dechter, R., Constraint tightness and looseness versus local and global consistency. *Journal of the ACM*, 44(4), 549–566, (1997).
- [40] Verma, S., Bhatia, R., Harit, S., & Batish, S., Scholarly knowledge graphs through structuring scholarly communication: A review. *Complex & Intelligent Systems*, 1–37, (2022).

-
- [41] Wang, H., Shang, Y., & Qiao, X., The Integrated Organization of Data and Knowledge Based on Distributed Hash. *2020 IEEE International Conference on Knowledge Graph (ICKG)*, 243–250, (2020).
- [42] Wu, W., Zhu, Z., Zhang, G., Kang, S., & Liu, P., A reasoning enhance network for multi-relation question answering. *Applied Intelligence*, 51(7), 4515–4524, (2021).
- [43] Yang, M., Chen, K., Sun, S., Han, Z., Kong, L., & Meng, Q., A Pattern Driven Graph Ranking Approach to Attribute Extraction for Knowledge Graph. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 18(2), 1250–1259, (2022).
- [44] Yeh, I., Karp, P. D., Noy, N. F., & Altman, R. B., Knowledge acquisition, consistency checking and concurrency control for Gene Ontology (GO). *Bioinformatics*, 19(2), 241–248, (2003).

Metformin Administration to Glucose-restricted Cells Attenuates PKA Signaling in *S. cerevisiae*

Esra BÖRKLÜ¹ 

¹ Genetic Diseases Evaluation Center, Koc University Hospital, 34010, İstanbul, Türkiye

Abstract

Recent research in cancer treatment points to metformin, a drug for type 2 diabetes, as a potential anti-cancer therapeutic, as well as carbon limitation as a dietary measure. A new study, investigating effects of metformin treatment on colorectal cancer cells, pointed to the fact that response to metformin treatment depended on extracellular glucose concentration. That is why in the current study, effects of both carbon limitation and metformin treatment are explored via transcriptomics analyses. It is demonstrated that cells grown in glucose-limited and metformin treated medium had the highest variance according to transcriptional profiles, compared to individual treatments. Metformin administration, when combined with glucose restriction, downregulates proliferative pathways such as transcription initiation and ribosome biogenesis while upregulates energy derivation and autophagic mechanisms. Enrichment analyses point to an attenuated cAMP-PKA signaling pathway in the cells grown in combined treatment medium. It is proposed that combined treatment exerts its beneficial effect on this pathway, since cAMP-PKA signaling may be a potential target for pharmacological treatment of tumors.

Keywords: Systems Biology, *S. cerevisiae*, Metformin, Glucose Restriction, Transcriptomics, Cancer

Öz

Kanser tedavisindeki son araştırmalar, tip 2 diyabet tedavisi için kullanılan metforminin potansiyel bir kanser önleyici terapötik olduğunu ve ayrıca bir diyet önlemi olarak karbon sınırlamasının önemini işaret etmektedir. Metformin tedavisinin kolorektal kanser hücreleri üzerindeki etkilerini araştıran yeni bir çalışma, metformin tedavisine verilen yanıtın hücre dışı glikoz konsantrasyonuna bağlı olduğunu ortaya koymuştur. Bu nedenle bu çalışmada hem karbon sınırlamasının hem de metformin tedavisinin etkileri transkriptomik analizlerle araştırılmıştır. Glikoz-sınırlı ve metformin ile tedavi görmüş ortamda büyütülen hücrelerin, bireysel tedavilere kıyasla transkripsiyonel profillere göre en yüksek varyansa sahip olduğu gösterilmiştir. Metformin tedavisi, glikoz kısıtlaması ile birleştirildiğinde, transkripsiyon başlangıcı ve ribozom biyogenezi gibi proliferatif yolları baskımlarken, enerji ortaya çıkışı ve otofajik mekanizmaları tetiklemiştir. Gen ontolojisi zenginleştirme analizleri, kombine tedavi ortamında büyütülen hücrelerde zayıflamış bir cAMP-PKA sinyal yolağına işaret etmektedir. cAMP-PKA sinyal yolağı, tümörlerin farmakolojik tedavisi için potansiyel bir hedef olabileceğinden, kombine tedavinin yararlı etkisini bu yolak üzerinden gösterdiği düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: Sistem Biyolojisi, *S. cerevisiae*, Metformin, Glikoz Kısıtlaması, Transkriptomiks, Kanser

1. INTRODUCTION

Cancer is a multi-faceted disorganization of the cell, involving alterations in numerous signaling pathways which result in abnormal cellular growth and a potential to invade other parts in the body. Recently, revisiting of an old theory emerged as one of the prospective anti-cancer treatments: nutrient limitation. First stated by Otto Warburg in 1920s [1], tumor cells should be deprived of glucose to fight cancer, based on the observation that they rely on an excess amount of extracellular glucose to sustain growth. Indeed, recent work showed that administration of glucose restriction and chemotherapy increases the therapeutic effect as well as reduces side-effects that healthy cells endure [2-3].

Metformin is an FDA approved drug, a biguanide used to treat type 2 diabetes. Its mechanism of action relies on reducing blood glucose concentrations, without causing overt hypoglycemia [4]. Several clinical studies have indicated that type 2 diabetic patients treated with metformin might have a lower cancer risk [5] compared to those who do not follow such a regimen. Numerous research on metformin treatment in cancer has been conducted since but a definite result was not obtained. Of note, several studies have pointed to the fact that metformin treatment affected aggressiveness in solid cancers [6].

Corresponding Author: Esra BÖRKLÜ, Tel: 0850 250 82 50, e-posta: eborklu@gmail.com

Submitted: 22.02.2023, **Revised:** 13.04.2023, **Accepted:** 18.07.2023

In a recent study, the two players mentioned here were combined and the role of extracellular glucose on the response to metformin treatment was investigated for colorectal cancer cells. It was demonstrated that the cell lines show inhibitory growth after metformin treatment under physiological (low) glucose conditions, but not in high glucose conditions [7]. This result underlines the importance of experimental design in cancer research: glucose concentrations in the experiments should be considered carefully when evaluating the sensitivity of cancer cells to biguanides or other therapeutic agents.

Saccharomyces cerevisiae, the budding yeast, has long been used as a model organism for human diseases and cancer, both for the broader investigation of cellular machineries leading to cancer biogenesis [8] and for studying the response to anti-cancer agents [9]. The ease of manipulation of yeast cells, coupled with their genetic and metabolic similarity to tumor cells such as preferring fermentation over respiration, even when glucose is abundant, renders yeast an attractive model organism for cancer studies. In fact, deeper understanding of vital processes playing roles in tumorigenesis such as DNA damage response [10], autophagy [11], and lipid metabolism [12] are elaborately studied in yeast first. Moreover, several anti-cancer drug screening experiments as well as mechanism of action studies are also conducted in yeast [12-14], broadening our understanding of cancer therapy.

In this study, the yeast *S. cerevisiae* is used as a model organism to explore the effects of metformin treatment and glucose restriction at the transcriptome level. According to the results, simultaneous administration of both interventions captures the highest variance in the transcription data and seems to result in attenuation of cAMP-PKA signaling pathway.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Yeast Strains and Growth Conditions

Saccharomyces cerevisiae strain adopted for the cultures was ΔHO derived from BY4742 background, Mata; *his3 Δ 1*; *leu2 Δ 0*; *lys2 Δ 0*; *ura3 Δ 0*; YDL227c::kanMX4 obtained from EUROSCARF deletion collection. The overnight grown cultures in SDC were diluted to an OD₆₀₀ value of 0.1 before the main inoculation. All experiments were carried out in biological triplicates in micro-aerated flasks, with a working volume of 1:5. Temperature was set to 30 °C and rpm to 180 for the batch-wise grown cultures. At the mid-exponential phase (OD₆₀₀~0.6), the main culture was split to three aliquots and treatments are performed. Prior to transfer to the treatment media, the cells of the three aliquots were centrifuged at 6000 rpm for 5 min and washed with water. Treatment media comprised of fresh SDC (2% glucose) for the control case, C; SDC + 0.25% glucose for the carbon

limited case, CR; SDC + 1.66% metformin for the metformin treated case, M; and SDC + 0.25% glucose + 1.66% metformin for simultaneous treatment case, CR+M. Samples for RNA extraction were collected 2 hours after the transfer to the treatment media.

2.2. Microarray Analysis

Extracted RNA was quantitatively assessed by UV-vis spectrophotometer (NanoDrop ND-1000, Thermo Fisher Scientific Inc., U.S.A) while qualitatively examined with Bioanalyzer 2100 for RNA integrity number (RIN, using RNA6000 Nanokit (Agilent Technologies, USA)). Samples with a RIN value > 7 were processed. The Affymetrix GeneChip® Expression Analysis Technical Manual was followed for the microarray analysis wet-lab steps. dChip software [15] was adopted for the outlier detection. Raw cell files without outliers were then processed in R 4.1.3. via “affy” and “affycoretools” packages of Bioconductor [16], with Robust Multichip Average (rma) normalization. Log₂ transformed expression values for the genes were used for further statistical analyses. Data were submitted to Arrayexpress platform under the accession numbers E-MTAB-6847 and E-MTAB-3001.

2.3. Statistical Analyses

Principal Component Analysis (PCA) was performed with log₂ transformed expression values in MATLAB R2013. Data were processed with one way analysis of variance (ANOVA, $\alpha=0.01$) in MATLAB R2013 to determine significantly expressed genes. GO term and KEGG pathway analyses of the differentially expressed gene groups were performed with the web-based “gprofiler” tool [17]. GeneCluster 2.0 software was adopted to cluster the data with self-organizing maps algorithm, using the default values [18].

2.4. ReporterFeatures Analysis

Corrected p-values calculated by ANOVA and transcription factor-gene interaction data downloaded from YEASTRACT (February 2023) [19] were the two input files to ReporterFeatures software [20], with default settings.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Transcriptomics Analyses Reveal that the Highest Impact on Cellular Reprogramming is Encountered when Metformin was Administrated to Carbon-limited Cells

When the normalized and log-transformed gene expression data belonging to glucose restriction, metformin administration and simultaneous application of both treatments are scrutinized, it is

demonstrated that principal component 1 captures the highest variance in the data (94%), separating metformin administrated carbon limited cells from the

remaining points on the principal component analysis (PCA) plot (Figure 1).

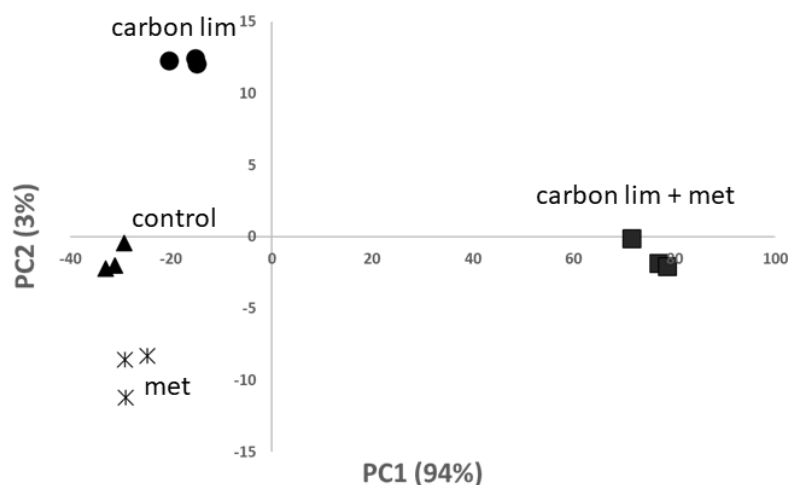


Figure 1. PCA plot of transcriptomics data. Triangles, circles, stars and squares represent data of the cells grown in control, carbon-limited, metformin-administered and both carbon-limited and metformin-administered media, respectively.

The dominance of the simultaneous treatments' effects on the variance of the data is also supported by the ANOVA results. This statistical analysis identified a total number of 332 genes which were differentially expressed in metformin-treated case and 326 for carbon-limited case, according to FDR corrected p-values ($p \leq 0.01$). However, none of those genes passed the fold change threshold of 1.5. Instead, 1185 genes were significantly expressed according to the simultaneous effect of both carbon limitation and

metformin treatment, 605 upregulated and 580 downregulated, each passing the fold change threshold of 1.5 (Figure 2).

This result may be of importance when the current anti-cancer therapeutic strategy of “combining nutrient limitation and drug administration” [21] is taken into consideration. It is demonstrated in this study (Figure 1) that this kind of combination creates an effect greater than that of the individual responses, at least at the transcriptional level.

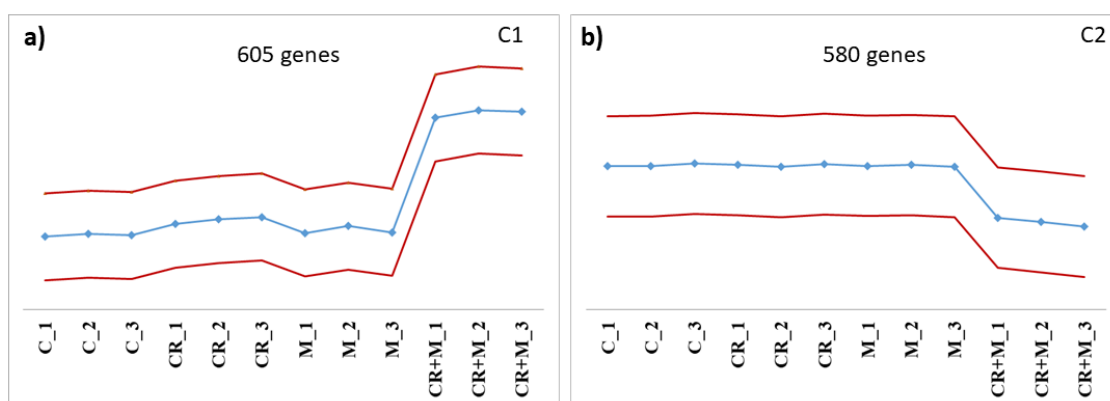


Figure 2. Self-organizing maps of the transcriptome profiles of interaction specific genes around a 1 x 2 arrangement. C, CR, M and CR+M denote control, carbon limited, metformin administrated, and simultaneous treatment cases respectively. a) significantly upregulated genes whereas b) significantly downregulated genes. The cluster number and number of genes in each cluster are indicated in the top right corner and in the top center of each cell. The blue and red curves represent the centroids and standard deviation around the centroids, respectively.

3.2. Cells Grown in Carbon-limited and Metformin Treated Medium Upregulate Genes in the Energy Derivation and Oxidation Reduction Processes while Repress Transcriptional and Translational Machineries

The GO Process term enrichment of the 605 genes of cluster C1 on Figure 2 resulted in numerous processes related to energy derivation, ranging from aerobic respiration to fatty acid oxidation (Table 1). It seems that yeast cells adapt to this environment *via* inducing catabolic pathways to produce energy, i.e., stimulation of aerobic respiration and fatty acid oxidation (FAO) (Table 1) and suppressing energy requiring machineries such as transcription and translation (Table 2), since nutrients are scarce. At a first glance, this is exactly the expected healthy cellular response from cells grown in glucose-limited medium, as proven to take place in our previous study [22], contrary to the behavior of cancer cells: tumor cells generally exhibit induced energy derivation pathways along with proliferative ones, such as increased ribosome synthesis [23].

Addition of metformin to the carbon limited medium however, gives rise to other terms such as “autophagy of mitochondrion” (Table 1). In our previous study, we concluded that metformin hampered copper-dependent cytochrome c oxidase (complex IV) activity, mildly uncoupled the completion of electron transport during respiration and thus stimulated a pseudo-hypoxic response, even in aerated culture [22]. In fact, the dose-dependent effect of metformin on cellular respiration has already been demonstrated also in mammalian cells [24]. Thus, it may be hypothesized that the simultaneous treatment helps to

eliminate damaged mitochondria through upregulating mitophagy. For cells which are grown in glucose restricted medium, aerobic respiration is already expected to be upregulated due to the attenuation of the Crabtree effect [25] which is defined as the repression of respiration because of elevated glucose concentrations. Crabtree effect, as well as Warburg effect, is one of the hallmarks of cancer cells [26], thus alleviation of this effect might be one of the beneficial effects of the current study’s interventions. FAO is also expected to increase when glucose is scarce, however it is a double-edged sword for cancer therapy. Recently, an important role of FAO in chemoresistance has been shown, stating that elevated FAO results in increased phospholipid synthesis, which in its turn elevates phospholipids in mitochondrial membranes to induce mitochondrial fitness of tumor cells [27]. However, no increase of *de novo* synthesis and/or uptake of exogenous lipids is detected in this study, at least at the transcriptional level. Moreover, mitophagy is one of the induced processes, hinting that the simultaneous treatment does not increase mitochondrial fitness but eliminate damaged mitochondria.

“Glutamine family amino acid catabolic process”, “methylglyoxal catabolic process to lactate”, “cellular response to oxidative stress”, “NADPH regeneration” and “cellular oxidant detoxification” are among the enriched terms pertinent to upregulated genes, hinting cells of this combined medium cope with the ROS encountered by aerobic respiration/hampering of aerobic respiration and fatty acid oxidation also by properly regulating genes of the oxidative stress response, apart from mitophagy. In fact, methylglyoxal is a debated tumor-promoting factor, hence its catabolism to lactate may be one of the beneficial effects of the combined medium [28-29].

Table 1. Enriched GO process terms of the genes of cluster C1 (Figure 2)

GO BP Term	Term No	p-val
aerobic respiration	GO:0009060	7.12E-21
cellular response to oxidative stress	GO:0034599	5.10E-07
glycogen biosynthetic process	GO:0005978	1.41E-05
respiratory chain complex IV assembly	GO:0008535	4.91E-05
cellular oxidant detoxification	GO:0098869	3.06E-04
glutamine family amino acid catabolic process	GO:0009065	3.97E-04
mitochondrial translation	GO:0032543	5.52E-04
fatty acid beta-oxidation	GO:0006635	1.05E-03
methylglyoxal catabolic process to lactate	GO:0061727	1.81E-03
autophagy of mitochondrion	GO:0000422	5.27E-03
long-chain fatty acid import into peroxisome	GO:0015910	9.42E-03
protein kinase A signaling	GO:0010737	1.09E-02
NADPH regeneration	GO:0006740	1.60E-02

Downregulated genes are enriched mainly in translation and transcription related terms (Table 2). “Ribosome biosynthesis” as well as “transcription initiation at RNA polymerase I promoter” terms are the main terms of Table 2, demonstrating the cellular reprogramming encountered in carbon limitation and metformin treatment. The reduction in protein synthesis machinery is generally attributed to deficiencies in TOR signaling [30]. Although the repression of TOR signaling in response to carbon limitation is currently under debate, simultaneous administration of metformin and carbon limitation

seems to alter this signaling machinery, possibly in part by the upregulated “glutamine amino acid catabolic process term” (Table 1). In fact, metformin has already been proposed to inhibit TORC1 signaling in mammalian cells [31]. The last one of the enriched terms of significantly downregulated 580 genes is the “methylation” term. Hyper or hypomethylation of DNA in cancer has long been studied [32], hinting that one of the beneficial effects of simultaneous administration of both interventions, is to suppress this mechanism.

Table 2. Enriched GO process terms of the genes of cluster C2 (Figure 2)

GO BP Term	Term No	p-val
ribosome biogenesis	GO:0042254	1.49E-135
methylation	GO:0032259	1.16E-38
transcription initiation at RNA polymerase I promoter	GO:0006361	6.37E-09
cellular amino acid biosynthetic process	GO:0008652	6.46E-04
peptidyl-diphthamide biosynthetic process from peptidyl-histidine	GO:0017183	4.04E-03
pyrimidine nucleoside monophosphate biosynthetic process	GO:0009130	4.82E-02

3.3. Metformin Administration to Carbon-limited Cells Attenuates PKA Signaling

Another upregulated term in Table 1 is “Protein kinase A (PKA) signaling”, with a p-value of 1.09E-02. When the 4 genes responsible for this enrichment result are investigated in depth, namely *TPK1*, *TPK2*, *GPA2*, and *YAK1*, it was seen that nearly all key members of PKA pathway were upregulated in cells grown in simultaneous treatment medium, except *TPK3* (Figure 3). This result is in strict contradiction with our previous study, where *TPK1* and *TPK2*, the two catalytic subunits of cAMP-dependent protein kinase of yeast, were found to be among the significantly downregulated genes unique to carbon limited case, with fold change values of 1.54 and 1.30. Thus, metformin administration reverses this behavior.

The cAMP-PKA signaling in *S. cerevisiae* is a major controller of numerous essential cellular processes

associated with fermentative growth, the entrance into stationary phase, stress responses and developmental pathways [33]. cAMP synthesis in yeast is induced in response to two stimuli: extracellular fermentable sugars, which is not the case in this study, and intracellular acidification [34]. *CYR1* encoding the adenylate cyclase which required for cAMP production is found to be upregulated nearly 1.3 fold in cells grown in simultaneous treatment medium. This leads to the hypothesis of increased intracellular acidification in those cells since extracellular glucose is limited. Although extracellular acidification by metformin treatment is demonstrated in *S. cerevisiae* [22], other studies point to a role for metformin also in the acidification of lysosomal/endosomal compartments in rat microglia [35]. Establishment of such acidification may be of potential for anti-cancer treatment, since acid stress triggers apoptosis [36].

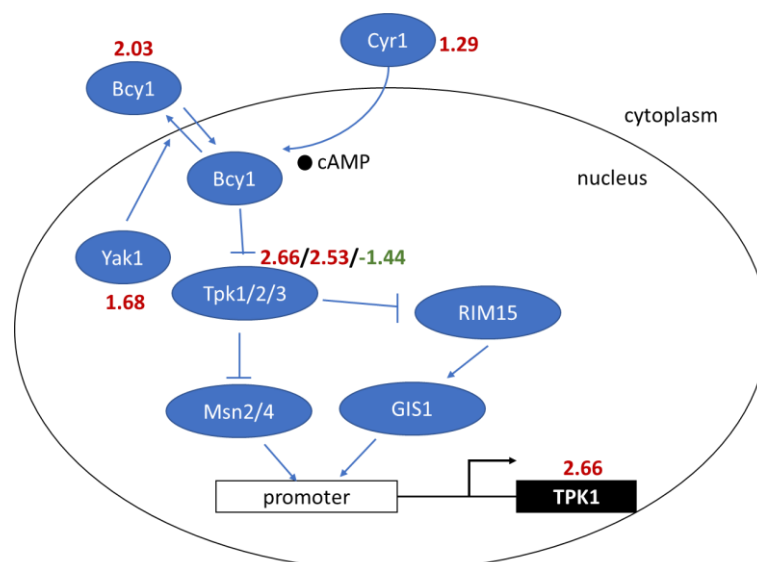


Figure 3. Negative regulation of *TPK1* by active cAMP-PKA signaling. Red denotes upregulation in gene expression while green is for downregulation.

TPK1, *TPK2*, *TPK3*, and *BCY1* promoters, are all known to be activated under low or null protein kinase A activity [37], and they are all upregulated in this study (Figure 3). Current study demonstrates that, at the transcriptional level, the increase in *CYR1* levels does not induce the subsequent PKA activation in cells grown in carbon limited and metformin administered medium, leading to an attenuated PKA activity, which in its turn upregulates genes involved in its own pathway.

Although cAMP signaling in cancer cells is affected by the type of cell and its surroundings, oncogenic activation of PKA signaling is found to be in many tumor types [38]. Thus, another beneficial effect of combined treatment may be the attenuation of this pathway.

3.4. Cells Grown in Combined Treatment Medium are Under the Effect of *Msn2p/Msn4p* Transcription Factors

Adoption of the Reporter Features software, which is used for the identification of key biological features around which transcriptional changes are significantly concentrated, enabled the identification of the transcription factors which are responsible for the organization of the current transcriptome data. *Msn2p* and *Msn4p* are among the top ten regulated transcription factors, with Z-scores of 10.62 and 9.85 respectively (Figure 4). *Msn2p* and *Msn4p* are regulators of the stress response in *S. cerevisiae*, under the negative effect of PKA signaling. Hence, this result also supports a low PKA signaling activity in cells grown in the combined medium.

Although functional orthologues are not identified in mammals, *Msn2p* and *Msn4p* are involved in response to various stress factors in *S. cerevisiae*. Genes of Figure 4, significantly upregulated in combined medium, do not yield an enrichment result. However, deeper investigation shows that most of them are upregulated in response to osmotic shock, a pathway under *Hog1p* control in yeast. *Hog1p* is the yeast orthologue of mammalian MAPK p38, which is involved in the inflammatory and stress responses. Results of the current study may imply an effect of combined medium on MAPK signaling, an outcome in line with metformin exerting an apoptosis-mediated effect through activating the JNK/p38 MAPK pathway in lung tumor cells [39].

In summary, glucose restriction and metformin treatment, when applied together, have a greater effect than individual treatments at the transcriptional level. The enrichment results of the differentially expressed genes point to repression of ribosome and cellular amino acid biosyntheses, while terms related to energy generation such as fatty acid oxidation and aerobic respiration are induced. Another transcriptionally induced term is “PKA signaling”, and it is known that this pathway is activated under low or null protein kinase A activity, hinting a low PKA activity in the cells grown in combined medium. This result is further supported by the determination of key transcription factors (TFs): *Msn2p* and *Msn4p* which are under the negative control of PKA signaling are among the top ten key TFs and they positively upregulate genes situated at the downstream of MAPK signaling pathway.

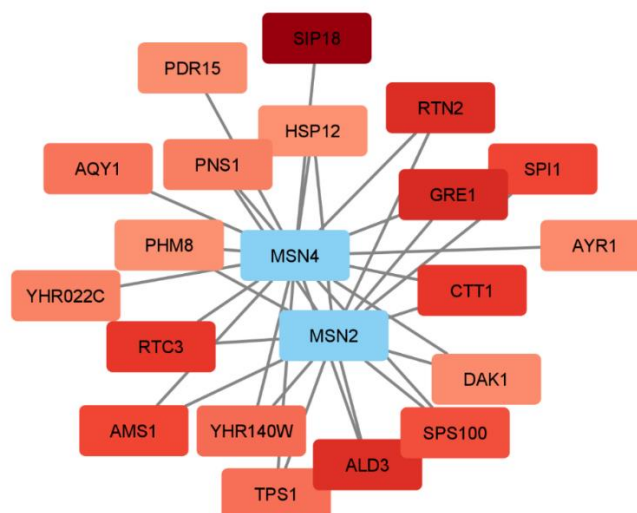


Figure 4. Differentially upregulated genes under the positive control of Msn2p-Msn4p

4. CONCLUSIONS

Recently, carbon limitation, i.e., glucose restriction has taken a greater interest in treating tumor cells, especially as a subsidiary intervention combined with chemotherapeutic agents. In this study, I tried to capture the cellular reprogramming in terms of transcriptional responses, when glucose limitation is combined with the promising anti-cancer agent metformin administration. Results of the current study points to downregulation of terms pertinent to ribosome biogenesis and proliferation. Another key result of the study is the low cAMP-PKA signaling activity in the cells of the simultaneous treatment medium. Drug administration, when combined with nutrient limitation, may downregulate PKA signaling cascade to properly respond to cellular stress and induce autophagic machinery. Another shadow player seems to be the MAPK machinery, demonstrated by the genes responsive to Msn2/4p, although further experimentation is needed for a definite result. Experiments which target MAPK and/or cAMP-PKA pathway in combination with dietary restriction and metformin administration will provide valuable insights for anti-tumor therapy.

REFERENCES

- [1] Warburg O, Wind F, Negelein E. (1927). The Metabolism of Tumors in the Body. *J Gen Physiol.* 7:8(6):519-30. doi: 10.1085/jgp.8.6.519. PMID: 19872213; PMCID: PMC2140820.
- [2] Elgendy M., Cirò M., Hosseini A., Weiszmann J., Mazzarella L., Ferrari E., Cazzoli R., Curigliano G., De Censi A., Bonanni B., et al. (2019). Combination of hypoglycemia and metformin impairs tumor metabolic plasticity and growth by modulating the PP2A-GSK3B-MCL-1 axis. *Cancer Cell.* 35:798–815. doi: 10.1016/j.ccell.2019.03.007.
- [3] Di Tano M., Raucci F., Vernieri C., Caffa I., Buono R., Fanti M., Brandhorst S., Curigliano G., Nencioni A., de Braud F., et al. (2020) Synergistic effect of fasting-mimicking diet and vitamin C against KRAS mutated cancers. *Nat. Commun.* 11:2332–2342. doi: 10.1038/s41467-020-16243-3.
- [4] Wollen N, Bailey CJ. (1988). Inhibition of hepatic gluconeogenesis by metformin. Synergism with insulin. *Biochem Pharmacol.* 37(22):4353-8. doi: 10.1016/0006-2952(88)90617-x. PMID: 3058129.
- [5] Morales DR, Morris AD. (2015). Metformin in cancer treatment and prevention. *Annu Rev Med.* 66:17-29. doi: 10.1146/annurev-med-062613-093128. Epub 2014 Nov 6. PMID: 25386929.
- [6] Marini C, Cossu V, Bauckneht M, Lanfranchi F, Raffa S, Orengo AM, Ravera S, Bruno S, Sambuceti G. (2021). Metformin and Cancer Glucose Metabolism: At the Bench or at the Bedside? *Biomolecules.* 11(8):1231. doi: 10.3390/biom11081231. PMID: 34439897; PMCID: PMC8392176.
- [7] Alhourani AH, Tidwell TR, Bokil AA, Røslund GV, Tronstad KJ, Søreide K, Hagland HR. (2021). Metformin treatment response is dependent on glucose growth conditions and metabolic phenotype in colorectal cancer cells. *Sci Rep.* 11(1):10487. doi: 10.1038/s41598-021-89861-6.

- [8] Cazzanelli G, Pereira F, Alves S, Francisco R, Azevedo L, Dias Carvalho P, Almeida A, Côrte-Real M, Oliveira MJ, Lucas C, Sousa MJ, Preto A. (2018). The Yeast *Saccharomyces cerevisiae* as a Model for Understanding RAS Proteins and their Role in Human Tumorigenesis. *Cells*. 7(2):14. doi: 10.3390/cells7020014. PMID: 29463063; PMCID: PMC5850102.
- [9] Matuo R, Sousa FG, Soares DG, Bonatto D, Saffi J, Escargueil AE, Larsen AK, Henriques JA. (2012). *Saccharomyces cerevisiae* as a model system to study the response to anticancer agents. *Cancer Chemother Pharmacol*. 70(4):491-502. doi: 10.1007/s00280-012-1937-4. Epub 2012 Aug 1. PMID: 22851206.
- [10] Pizzul P, Casari E, Gnugnoli M, Rinaldi C, Corallo F, Longhese MP. (2022). The DNA damage checkpoint: A tale from budding yeast. *Front Genet*. 13:995163. doi: 10.3389/fgene.2022.995163. PMID: 36186482; PMCID: PMC9520983.
- [11] Kondo Y, Kanzawa T, Sawaya R, Kondo S. (2005). The role of autophagy in cancer development and response to therapy. *Nat Rev Cancer*. 5(9):726-34. doi: 10.1038/nrc1692. PMID: 16148885.
- [12] Moosavi B, Gao M, Zhu XL, Yang GF. (2020). The anti-cancer compound Schweinfurthin A targets Osh2 and disrupts lipid metabolism in the yeast model. *Bioorg Chem*. 94:103471. doi: 10.1016/j.bioorg.2019.103471. Epub 2019 Nov 25. PMID: 31813476.
- [13] Taymaz-Nikerel H, Karabekmez ME, Eraslan S, Kırdar B. (2018). Doxorubicin induces an extensive transcriptional and metabolic rewiring in yeast cells. *Sci Rep*. 8(1):13672. doi: 10.1038/s41598-018-31939-9. PMID: 30209405; PMCID: PMC6135803.
- [14] Simon JA. (2001). Yeast as a model system for anticancer drug discovery. *Expert Opin Ther Targets*. 5(2):177-95. doi: 10.1517/14728222.5.2.177. PMID: 15992175.
- [15] Li C, Wong WH. (2001). Model-based analysis of oligonucleotide arrays: expression index computation and outlier detection. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 98(1):31-6. doi: 10.1073/pnas.98.1.31. PMID: 11134512; PMCID: PMC14539.
- [16] Gautier L, Cope L, Bolstad BM, Irizarry RA. (2004). affy--analysis of Affymetrix GeneChip data at the probe level. *Bioinformatics*. 20(3):307-15. doi: 10.1093/bioinformatics/btg405. PMID: 14960456.
- [17] Raudvere U, Kolberg L, Kuzmin I, Arak T, Adler P, Peterson H, Vilo J. (2019). g:Profiler: a web server for functional enrichment analysis and conversions of gene lists (2019 update). *Nucleic Acids Res*. 47(W1):W191-W198. doi: 10.1093/nar/gkz369. PMID: 31066453; PMCID: PMC6602461.
- [18] Reich M, Ohm K, Angelo M, Tamayo P, Mesirov JP. (2004). GeneCluster 2.0: an advanced toolset for bioarray analysis. *Bioinformatics*. 20(11):1797-8. doi: 10.1093/bioinformatics/bth138. Epub 2004 Feb 26. PMID: 14988123.
- [19] Teixeira MC, Viana R, Palma M, Oliveira J, Galocha M, Mota MN, Couceiro D, Pereira MG, Antunes M, Costa IV, Pais P, Parada C, Chaouiya C, Sá-Correia I, Monteiro PT. (2023). YEASTRACT+: a portal for the exploitation of global transcription regulation and metabolic model data in yeast biotechnology and pathogenesis. *Nucleic Acids Res*. 51(D1):D785-D791. doi: 10.1093/nar/gkac1041. PMID: 36350610; PMCID: PMC9825512.
- [20] Oliveira AP, Patil KR, Nielsen J. (2008). Architecture of transcriptional regulatory circuits is knitted over the topology of biomolecular interaction networks. *BMC Syst Biol*. 2:17. doi: 10.1186/1752-0509-2-17. PMID: 18261202; PMCID: PMC2268660.
- [21] Marchesi F, Vignali D, Manini B, Rigamonti A, Monti P. (2020). Manipulation of Glucose Availability to Boost Cancer Immunotherapies. *Cancers (Basel)*. 12(10):2940. doi: 10.3390/cancers12102940. PMID: 33053779; PMCID: PMC7650629.
- [22] Borklu-Yucel E, Eraslan S, Ulgen KO. (2015). Transcriptional remodeling in response to transfer upon carbon-limited or metformin-supplemented media in *S. cerevisiae* and its effect on chronological life span. *Appl Microbiol Biotechnol*. 99(16):6775-89. doi: 10.1007/s00253-015-6728-5. Epub 2015 Jun 23. PMID: 26099330.
- [23] Nait Slimane S, Marcel V, Fenouil T, Catez F, Saurin JC, Bouvet P, Diaz JJ, Mertani HC. (2020). Ribosome Biogenesis Alterations in Colorectal Cancer. *Cells*. 9(11):2361. doi: 10.3390/cells9112361. PMID: 33120992; PMCID: PMC7693311.
- [24] Szymczak-Pajor I, Wenclewska S, Śliwińska A. (2022). Metabolic Action of Metformin. *Pharmaceuticals (Basel)*. 15(7):810. doi: 10.3390/ph15070810. PMID: 35890109; PMCID: PMC9317619.
- [25] Alexander, M. A. and T. W. Jeffries. (1990). Respiratory Efficiency and Metabolite Partitioning as Regulatory Phenomena in Yeasts. *Enzyme and Microbial Technology*. 12 (1): pp. 2–19.

- [26] Diaz-Ruiz R, Rigoulet M, Devin A. (2011). The Warburg and Crabtree effects: On the origin of cancer cell energy metabolism and of yeast glucose repression. *Biochim Biophys Acta*. 1807(6):568-76. doi: 10.1016/j.bbabi.2010.08.010. Epub 2010 Sep 8. PMID: 20804724.
- [27] Li YJ, Fahrman JF, Aftabzadeh M, Zhao Q, Tripathi SC, Zhang C, Yuan Y, Ann D, Hanash S, Yu H. (2022). Fatty acid oxidation protects cancer cells from apoptosis by increasing mitochondrial membrane lipids. *Cell Rep*. 39(9):110870. doi: 10.1016/j.celrep.2022.110870. Erratum in: *Cell Rep*. 2022 Jun 28;39(13):111044. PMID: 35649368.
- [28] Antognelli C, Moretti S, Frosini R, Puxeddu E, Sidoni A, Talesa VN. (2019). Methylglyoxal Acts as a Tumor-Promoting Factor in Anaplastic Thyroid Cancer. *Cells*. 8(6):547. doi: 10.3390/cells8060547. PMID: 31174324; PMCID: PMC6627963.
- [29] Leone A, Nigro C, Nicolò A, Prevezano I, Formisano P, Beguinot F, Miele C. (2021). The Dual-Role of Methylglyoxal in Tumor Progression - Novel Therapeutic Approaches. *Front Oncol*. 11:645686. doi: 10.3389/fonc.2021.645686. PMID: 33869040; PMCID: PMC8044862.
- [30] Powers T, Walter P. (1999). Regulation of ribosome biogenesis by the rapamycin-sensitive TOR-signaling pathway in *Saccharomyces cerevisiae*. *Mol Biol Cell*. 10(4):987-1000. doi: 10.1091/mbc.10.4.987. PMID: 10198052; PMCID: PMC25225.
- [31] Kalender A, Selvaraj A, Kim SY, Gulati P, Brûlé S, Viollet B, Kemp BE, Bardeesy N, Dennis P, Schlager JJ, Marette A, Kozma SC, Thomas G. (2010). Metformin, independent of AMPK, inhibits mTORC1 in a rag GTPase-dependent manner. *Cell Metab*. 11(5):390-401. doi: 10.1016/j.cmet.2010.03.014. PMID: 20444419; PMCID: PMC3081779.
- [32] Nishiyama A, Nakanishi M. (2021). Navigating the DNA methylation landscape of cancer. *Trends Genet*. 37(11):1012-1027. doi: 10.1016/j.tig.2021.05.002. Epub 2021 Jun 10. PMID: 34120771.
- [33] Portela P, Rossi S. (2020). cAMP-PKA signal transduction specificity in *Saccharomyces cerevisiae*. *Curr Genet*. 66(6):1093-1099. doi: 10.1007/s00294-020-01107-6. Epub 2020 Sep 15. PMID: 32935175.
- [34] Thevelein JM, de Winder JH. (1999). Novel sensing mechanisms and targets for the cAMP-protein kinase A pathway in the yeast *Saccharomyces cerevisiae*. *Mol Microbiol*. 33(5):904-18. doi: 10.1046/j.1365-2958.1999.01538.x. PMID: 10476026.
- [35] Labuzek K, Liber S, Gabryel B, Adamczyk J, Okopień B. (2010). Metformin increases phagocytosis and acidifies lysosomal/endosomal compartments in AMPK-dependent manner in rat primary microglia. *Naunyn Schmiedebergs Arch Pharmacol*. 381(2):171-86. doi: 10.1007/s00210-009-0477-x. Epub 2009 Dec 11. Erratum in: *Naunyn Schmiedebergs Arch Pharmacol*. 2017 Mar;390(3):329-330. PMID: 20012266.
- [36] Lagadic-Gossmann D, Huc L, Lecœur V. (2004). Alterations of intracellular pH homeostasis in apoptosis: origins and roles. *Cell Death Differ*. 11(9):953-61. doi: 10.1038/sj.cdd.4401466. PMID: 15195071.
- [37] Pautasso C, Rossi S. (2014). Transcriptional regulation of the protein kinase A subunits in *Saccharomyces cerevisiae*: autoregulatory role of the kinase A activity. *Biochim Biophys Acta*. 1839(4):275-87. doi: 10.1016/j.bbagr.2014.02.005. Epub 2014 Feb 14. PMID: 24530423.
- [38] Chan GKL, Maisel S, Hwang YC, Pascual BC, Wolber RRB, Vu P, Patra KC, Bouhaddou M, Kenerson HL, Lim HC, Long D, Yeung RS, Sethupathy P, Swaney DL, Krogan NJ, Turnham RE, Riehle KJ, Scott JD, Bardeesy N, Gordan JD. (2023). Oncogenic PKA signaling increases c-MYC protein expression through multiple targetable mechanisms. *Elife*. 12:e69521. doi: 10.7554/eLife.69521. PMID: 36692000; PMCID: PMC9925115.
- [39] Wu N, Gu C, Gu H, et al. (2011). Metformin induces apoptosis of lung cancer cells through activating jnk/p38 mapk pathway and gadd153. *Neoplasma*. 58(6):482-90.

Effects of Flow Parameters on Heat Transfer and Temperature Distribution of a Thermoelectric Module

Furkan KILIÇ¹ , Enes KILINÇ¹ 

¹Karabük University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Karabük, Türkiye

Abstract

The effects of the hot air inlet velocity and hot air inlet temperature on the hot side temperature, the temperature difference between the hot and cold sides, and the heat transfer rate on the hot side of a thermoelectric module (TEM) were investigated by computational fluid dynamics (CFD) analyzes. CFD model is constituted as hot and cold air will flow on both sides of the TEM. During the analyzes, hot and cold air inlet velocities are varied between 1 m/s and 15 m/s, while hot air inlet temperature is altered between 400 °C and 800 °C. Simultaneously, cold air inlet temperature is kept constant at 25 °C. As a result of CFD analysis, the maximum hot side temperature, the temperature difference between the hot and cold sides, and the average heat transfer rate on the hot side of the TEM are found to be 274.9 °C, 70.4 °C, and 33.8 W, respectively, at 15 m/s of hot air inlet velocity. Besides, the maximum hot side temperature, the temperature difference between the hot and cold sides, and the average heat transfer rate on the hot side of the TEM are determined to be 432.8 °C, 114.9 °C, and 55.1 W, respectively, for 800 °C of hot air inlet temperature at 15 m/s of hot air inlet velocity. As a result, increasing the hot air inlet velocity and inlet temperature increases the hot side temperature, the temperature difference between the hot and cold sides, and the heat transfer rate on the hot side of the TEM.

Keywords: Thermoelectrics, thermoelectric power generation, heat transfer, temperature distribution, CFD.

Öz

Bu çalışmada, sıcak hava giriş hızı ve sıcak hava giriş sıcaklığının bir termoelektrik modülün (TEM) sıcak yüzey sıcaklığına, sıcak ve soğuk yüzeyler arasındaki sıcaklık farkına ve sıcak yüzeydeki ısı transfer hızına etkisi hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) analizleri ile incelenmiştir. HAD analizleri sonucunda TEM'in maksimum sıcak taraf sıcaklığı, sıcak ve soğuk yüzey arasındaki sıcaklık farkı ve sıcak yüzeydeki ortalama ısı transfer hızı 15 m/s sıcak hava giriş hızında sırasıyla 274,9 °C, 70,4 °C ve 33,8 W olarak bulunmuştur. Diğer taraftan, TEM'in maksimum sıcak yüzey sıcaklığı, sıcak ve soğuk yüzeyler arasındaki sıcaklık farkı ve sıcak yüzeydeki ortalama ısı transfer hızı 15 m/s sıcak hava giriş hızı ve 800 °C sıcak hava giriş sıcaklığı için sırasıyla 432,8 °C, 114,9 °C ve 55,1 W olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak, sıcak hava giriş hızının ve giriş sıcaklığının artması, TEM'in sıcak yüzey sıcaklığını, sıcak ve soğuk yüzeyler arasındaki sıcaklık farkını ve sıcak yüzeydeki ısı transfer hızını artırmıştır.

Anahtar Kelimeler: Termoelektrik, Termoelektrik Güç Üretimi, Isı Transferi, Sıcaklık Dağılımı, CFD.

I. INTRODUCTION

Thermoelectric technology has been used in laboratorial and industrial engineering applications in thermoelectric modules (TEMs) and thermoelectric generators. Recently, TEMs have been widely used as coolers for cooling applications and electricity generators on the closure side of the photovoltaic cells to decrease the temperature [1–3]. On the other hand, they can be used as alternative electricity generators utilizing available waste heat from factories, automobiles, etc., due to the thermoelectric effect [4]. Currently, researchers declare analytical studies focusing on the application of TEMs in the exhaust system of an automobile to retrieve the exhaust gas waste heat [5]. Other heat sources, including waste heat, can also generate a temperature difference between the hot and cold sides of the TEMs (ΔT) to produce electricity [6]. Other studies suggest that TEMs formed in different designs have a higher consciousness of radiation heat in industrial furnace applications [7].

A three-dimensional model of the TEM can be created by computational fluid dynamics (CFD) to investigate and optimize the temperature distribution on both sides and the power generation performance of the TEM [8]. The finite difference method model covers Seebeck, Joule, and Thomson effects equations, including Fourier's law and temperature-dependent properties. Also, the model structure gives numerical analysis higher accuracy, even in more complicated designs [9].

In TEM applications, different fluids can pass through both sides of the TEM. The type, velocity, and other parameters of the fluid affect the temperature distributions on both sides, heat transfer, and, therefore, the electrical power to be obtained from the TEM. Bell mentioned the need to connect TEMs with fluid flows flowing in opposite directions (counter-current flow) to obtain wider temperature ranges in his series work [10]. In their study, Temizer and Ilkilic investigated the exhaust gas flow and temperatures of the internal combustion engine at different speeds and loads and the different fluid flow directions. As a result, the counter-flow direction can increase the heat transfer, thus

In this study, the hot side temperature (T_{hs}), ΔT , and the heat transfer rate on the hot side of the TEM (\dot{Q}_h) were investigated by passing hot and cold air over both sides of the TEM, designed in ANSYS DesignModeler software. Flow analyses were performed using CFD analysis on ANSYS Fluent software. Hot air and cold air are modeled to flow as counter-flow to increase ΔT and \dot{Q}_h . Hot air inlet velocity (V_{hi}) and cold air inlet velocity (V_{ci}) were varied as 1 m/s, 3 m/s, 5 m/s, 10 m/s, and 15 m/s by keeping the hot air inlet temperature (T_{hi}) at 500 °C and the cold air inlet temperature (T_{ci}) at 25 °C. By keeping V_{hi} at 15 m/s and T_{ci} at 25 °C, T_{hi} ranged from 400 °C, 500 °C, 600 °C, 700 °C, and 800 °C. Effects of V_{hi} and the T_{hi} on the temperature distribution and \dot{Q}_h of the TEM were investigated.

II. METHODOLOGY

In this study, CFD analyses of a TEM composed of 8 pairs of p- and n-type TE legs with circular cross-sections were used to evaluate the temperature distribution and \dot{Q}_h on the TEM. The CFD analysis of the TEM was performed on Ansys Fluent software. Air was used as the fluid for both surfaces of the TEM in the analysis. During the CFD analyses, the temperature distribution on both sides and \dot{Q}_h of the TEM were investigated at different V_{hi} and T_{hi} . In the analyses, the TEM was designed in ANSYS DesignModeler. Appropriate mesh structure was obtained for the analysis, and boundary conditions were determined by defining material and fluid properties in Ansys Fluent. The effects of V_{hi} and T_{hi} on the temperature distribution and \dot{Q}_h of the TEM were investigated as a result of the analysis.

TE power generation from the exhaust gas heat using the Ansys 12.0 Fluent software [11]. As a result of the analysis, the water temperature increased along the surface, and the cooling efficiency decreased. Although there is a tendency to decrease the pressure and flow values of the exhaust gas at a certain distance when it enters the TEM system, there was not much change, and there was no loss compared to the inlet. In their study, He et al. examined different flow types on both sides of the TEM [12]. Output powers were analyzed according to yielding greater thermoelectric output power than the co-flow direction.

The TEM model was constituted as the legs of the TEM are connected in series for electrical connection and parallel for the heat transfer. The dimensions of both legs were designed to be Ø8x5 mm, and the distance between the legs was designed as 3 mm. In the model, the legs were placed between 2 pieces of alumina plates with 50x50x1 mm dimensions. The meshing of the TEM model performed using the finite volume method is shown in **Figure 1**.

For the flow analyses, CFD model was constituted as hot and cold air would flow on both sides of the TEM. Hot and cold air enclosures were designed using ANSYS DesignModeler software for both sides of the TEM. After generating hot and cold air enclosures, the designed TEM model was transferred to ANSYS Fluent software. The inlet and outlet of the hot and cold flows were specified as there will be a counter-current flow to increase ΔT and \dot{Q}_h . Walls of the hot and cold air enclosures and lateral surfaces of the TEM were considered adiabatic in the model. The no-slip condition was applied for the fluids flowing on both sides of the TEM. In the solution setup, V_{hi} and V_{ci} of 1 m/s, 3 m/s, 5 m/s, 10 m/s, and 15 m/s, and T_{hi} of 400 °C, 500 °C, 600 °C, 700 °C, and 800 °C were specified as the inlet boundary conditions. Simultaneously, cold air inlet temperature was kept constant at 25 °C. The ambient temperature and the convection heat transfer coefficient for the outer surfaces were defined as 25 °C and 10 W/m²K, respectively. Moreover, the thermal and thermoelectric properties of alumina plates, silver conductors, p- and n-type legs, and the fluid properties of air flowing on both sides of the TEM were specified.

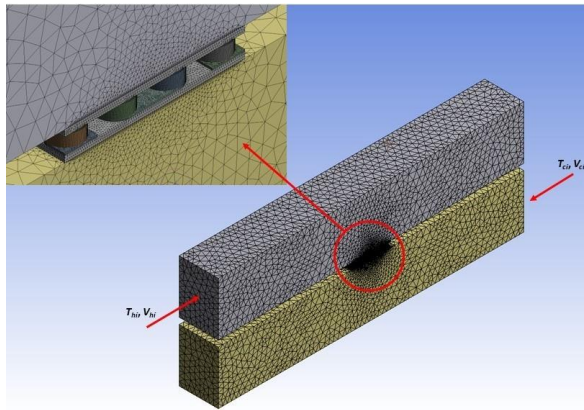


Figure 1. TEM model for the CFD analyses.

Mesh number and mesh quality are important parameters in CFD analyses to get results closer to reality. The adequate number of mesh nodes and elements suitable for the TEM determines the quality of the meshing process. Since the software uses a lot of CPU in the computer, mesh optimization is very important in terms of time-saving. In this respect, two different body sizing were defined in the bottom tab of the meshing process, and different meshing properties were defined according to the dimensions of the TEM's parts. The first type of body sizing was applied for the silver conductors and the legs in the TEM, while the second type was applied for the alumina plates. The average element sizes for the sections where the first and second types of body sizing were applied were defined as 0.25 mm and 0.5 mm, respectively. The average element size of the remaining meshing of the enclosure sections was 5 mm. As a result, number of elements was optimized at 2,915,567 elements using tetrahedral and hexahedral elements. Lastly, the analyses were optimized in 500 iterations, and the results were obtained.

III. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Effect of the Hot Air Inlet Velocity on the Temperature Distribution of the TEM

CFD analyses were carried out to determine the temperature distributions on both sides and through the TEM at different hot air inlet velocities. T_{hi} and T_{ci} of the TEM were taken constantly at 500 °C and 25 °C, respectively, while modifying V_{hi} . V_{hi} was altered as 1 m/s, 3 m/s, 5 m/s, 10 m/s, and 15 m/s. As a result of the analyses, the temperature distributions on both sides and the temperature distribution through the TEM are shown in **Figure 2** to **Figure 6** for V_{hi} of 1 m/s, 3 m/s, 5 m/s, 10 m/s, and 15 m/s, respectively.

Obtaining the results, the temperature drops between the inlet and outlet regions of both sides of the TEM were observed. Increasing V_{hi} increases T_{hs} , cold side temperature (T_{cs}), and ΔT between both sides of the TEM, and the temperature distributions show similar characteristics at all V_{hi} .

When **Figure 2** is examined, the maximum T_{hs} and T_{cs} of the TEM are obtained as 122.7 °C and 114.7 °C, while the maximum temperature through the TEM is found to be 122.3 °C for 1 m/s of V_{hi} . According to **Figure 3**, when the V_{hi} increases to 3 m/s, the maximum T_{hs} and T_{cs} of the TEM increase similarly to 186.4 °C and 165.7 °C, respectively, while the maximum temperature through the TEM increases to 184.2 °C. When the V_{hi} increases to 5 m/s, the TEM's maximum T_{hs} and T_{cs} are realized as 214.6 °C and 183.9 °C, respectively. The maximum temperature through the TEM is 211.3 °C (**Figure 4**). **Figure 5** illustrates the temperature distributions on both sides and through the TEM for 10 m/s of V_{hi} . According to the figure, the maximum T_{hs} and T_{cs} of the TEM are found to be 252.8 °C and 200.5 °C, respectively, while the maximum temperature through the TEM is obtained as 247.1 °C. Finally, when **Figure 6** is inspected, the TEM's maximum T_{hs} and T_{cs} are acquired as 274.9 °C and 204.5 °C, while the maximum temperature through the TEM is 266.9 °C for 15 m/s of V_{hi} . According to these results, the increase in T_{hs} of the TEM with the increase in the V_{hi} can be attributed to the increase in the Re number, which yields an increase in the Nu number and the convection heat transfer coefficient.

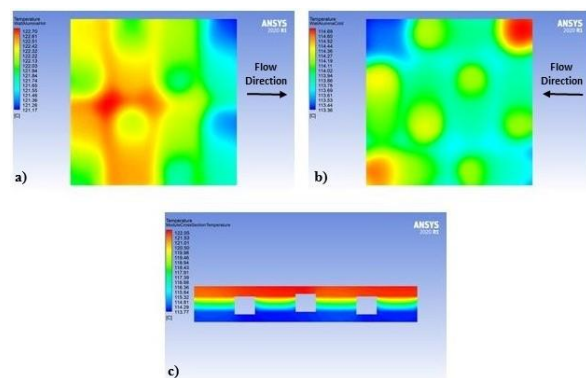


Figure 2. Temperature distributions for 1 m/s of V_{hi} : a) on the hot side of the TEM, b) on the cold side of the TEM, and c) through the TEM.

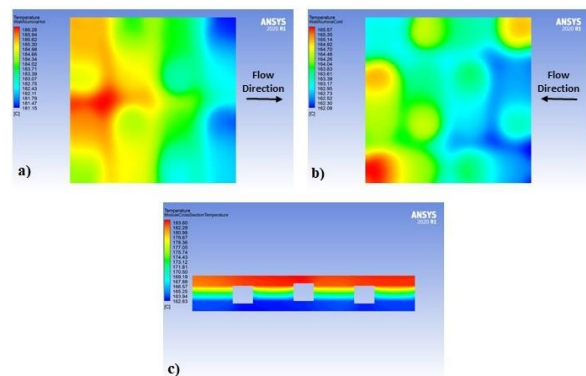


Figure 3. Temperature distributions for 3 m/s of V_{hi} : a) on the hot side of the TEM, b) on the cold side of the TEM, and c) through the TEM.

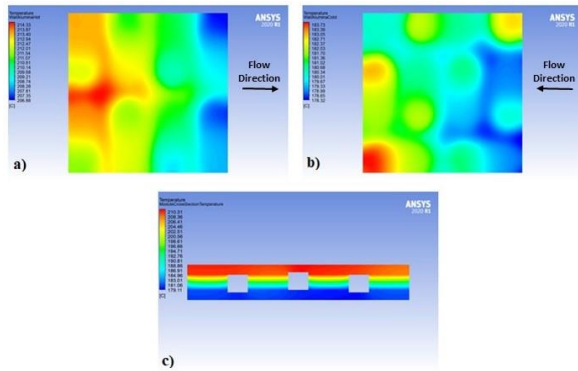


Figure 4. Temperature distributions for 5 m/s of V_{hi} : a) on the hot side of the TEM, b) on the cold side of the TEM, and c) through the TEM.

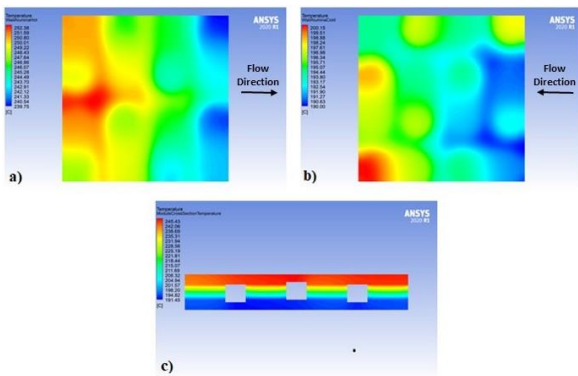


Figure 5. Temperature distributions for 10 m/s of V_{hi} : a) on the hot side of the TEM, b) on the cold side of the TEM, and c) through the TEM.

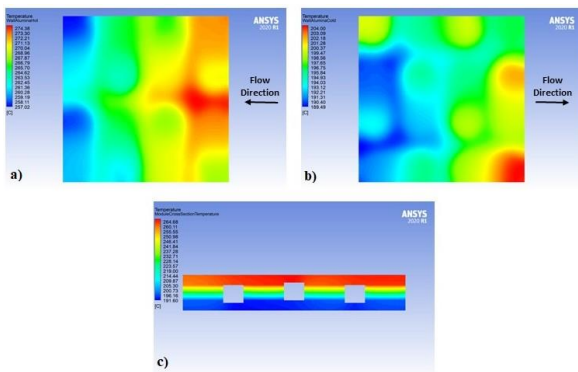


Figure 6. Temperature distributions for 15 m/s of V_{hi} : a) on the hot side of the TEM, b) on the cold side of the TEM, and c) through the TEM.

According to the temperature distributions, it has been analyzed that ΔT of the TEM increase with the increase in V_{hi} . This increase results in ΔT of 8.0 °C, 20.7 °C, 30.7 °C, 52.3 °C, and 70.4 °C for 1 m/s, 3 m/s, 5 m/s, 10 m/s, and 15 m/s of V_{hi} , respectively, under constant T_{hi} and T_{ci} . The TEM's T_{hs} and T_{cs} for the V_{hi} are given in **Figure 7**. When the temperature distributions are further investigated, it seems that temperature distributions on both sides of the TEM are not homogeneous. The temperature differences on the hot side are 1.5 °C, 5.1 °C, 7.4 °C, 12.6 °C, and 17.3 °C,

where the temperature differences on the cold side are 1.3 °C, 3.4 °C, 5.4 °C, 10.1 °C, and 14.5 °C for 1 m/s, 3 m/s, 5 m/s, 10 m/s, and 15 m/s of V_{hi} , respectively. This difference on the same surface originates from the difference between the conduction heat transfer (occurs between the alumina plate and the silver conductor and between the silver conductor and p- and n-type legs) and the convection heat transfer (occurs between the alumina plate and the ambient air and between p- and n-type legs and the ambient air). In addition, the difference in the thermal conductivity values of the TEM materials (silver conductor and p- and n-type legs) constitutes different values for the conduction heat transfer.

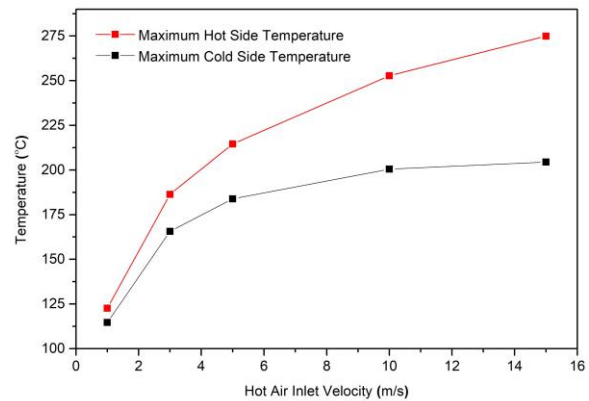


Figure 7. Effect of the V_{hi} on the T_{hs} and T_{cs} of the TEM.

In addition to temperature distributions, the average heat transfer rates on the hot (\dot{Q}_h) and cold sides (\dot{Q}_c) of the TEM were investigated. According to the results in **Table 1**, the average \dot{Q}_h are found to be 4.6 W, 11.3 W, 16.1 W, 25.6 W, and 33.8 W for 1 m/s, 3 m/s, 5 m/s, 10 m/s, and 15 m/s of V_{hi} , respectively. In addition, the average \dot{Q}_c is analyzed to be 1.8 W, 6.7 W, 10.9 W, 20.0 W, and 28.2 W for 1 m/s, 3 m/s, 5 m/s, 10 m/s, and 15 m/s of V_{hi} , respectively. According to these results, increasing V_{hi} yields an increase in \dot{Q}_h and \dot{Q}_c . As expected, the maximum average \dot{Q}_h and \dot{Q}_c resulted in the maximum V_{hi} . The increase in \dot{Q}_h and \dot{Q}_c can be attributed to the increase in the Re number, which yields an increase in the Nu number and the convection heat transfer coefficient.

Table 1. Average \dot{Q}_h and \dot{Q}_c for V_{hi} .

V_{hi} [m/s]	\dot{Q}_h [W]	\dot{Q}_c [W]	T_{hs} [°C]	T_{cs} [°C]	ΔT [°C]
1	4.6	1.8	122.7	114.7	8.0
3	11.3	6.7	186.4	165.7	20.7
5	16.1	10.9	214.6	183.9	30.7
10	25.6	20.0	252.8	200.5	52.3
15	33.8	28.2	274.9	204.5	70.4

3.2. Effect of the Hot Air Inlet Temperature on the Temperature Distribution of the TEM

CFD analyses were carried out to determine the temperature distributions on both sides and through the TEM at different T_{hi} . When the effect of the V_{hi} on the temperature distribution of the TEM was analyzed, it was specified that the maximum T_{hs} and the maximum ΔT were obtained at 15 m/s of the V_{hi} . Accordingly, the V_{hi} of the TEM was kept constant at 15 m/s while modifying T_{hi} . During the analyses, T_{ci} was kept constant at 25 °C, and the T_{hi} were varied to 400 °C, 500 °C, 600 °C, 700 °C, and 800 °C. As a result of the analyses, the temperature distributions on both sides and through the TEM are shown in **Figure 8** to **Figure 12** for the T_{hi} of 400 °C, 500 °C, 600 °C, 700 °C, and 800 °C, respectively.

According to the CFD results, the temperature drops between the inlet and outlet regions of both sides of the TEM were observed. Increasing the T_{hi} increases the T_{hs} and T_{cs} and ΔT of the TEM. As can be seen from the figures, the temperature distributions show similar characteristics at all T_{hi} .

When **Figure 8** is examined, the maximum T_{hs} and T_{cs} of the TEM are obtained as 222.3 °C and 166.7 °C, while the maximum temperature through the TEM is found to be 216.0 °C for 400 °C of T_{hi} . According to **Figure 9**, when the T_{hi} increases to 500 °C, the maximum T_{hs} and T_{cs} of the TEM increase in a similar manner to 274.9 °C and 204.5 °C, respectively, while the maximum temperature through the TEM increases to 266.9 °C. When the T_{hi} increases to 600 °C, the TEM's maximum T_{hs} and T_{cs} are realized as 327.5 °C and 242.3 °C, respectively. The maximum temperature through the TEM is 317.9 °C (**Figure 10**). **Figure 11** illustrates the temperature distributions on both sides and through the TEM for 700 °C of T_{hi} . According to the figure, the maximum T_{hs} and T_{cs} of the TEM are found to be 380.1 °C and 280.0 °C, respectively, while the maximum temperature through the TEM is obtained as 368.8 °C. Finally, when **Figure 12** is inspected, the maximum T_{hs} and T_{cs} of the TEM are acquired as 432.8 °C and 317.8 °C, while the maximum temperature through the TEM is found to be 419.8 °C for 800 °C of T_{hi} . According to these results, the increase in the T_{hs} of the TEM with the increase in the T_{hi} can be attributed to the increase in the ΔT between the hot air and the hot side of the TEM, which yields an increase in the convection heat transfer rate.

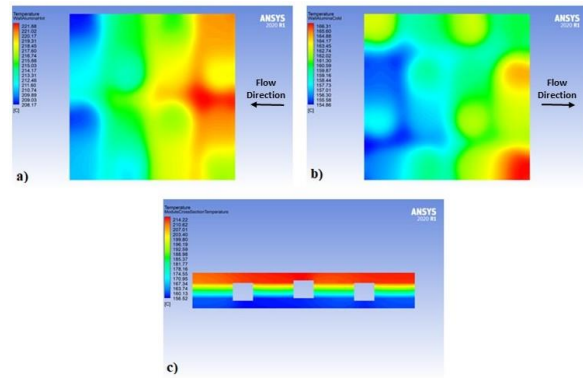


Figure 8. Temperature distributions for 400 °C of T_{hi} : a) on the hot side of the TEM, b) on the cold side of the TEM, and c) through the TEM.

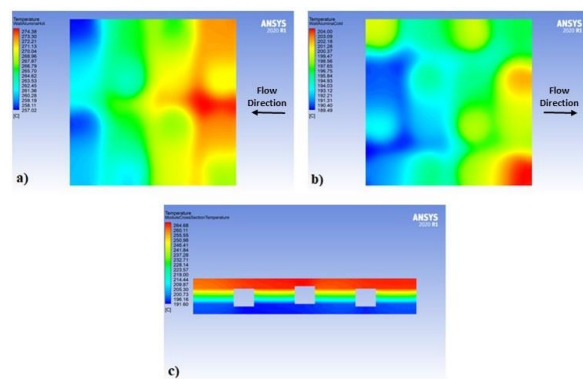


Figure 9. Temperature distributions for 500 °C of T_{hi} : a) on the hot side of the TEM, b) on the cold side of the TEM, and c) through the TEM.

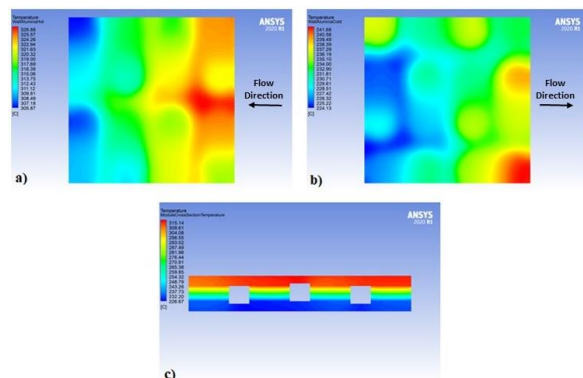


Figure 10. Temperature distributions for 600 °C of T_{hi} : a) on the hot side of the TEM, b) on the cold side of the TEM, and c) through the TEM.

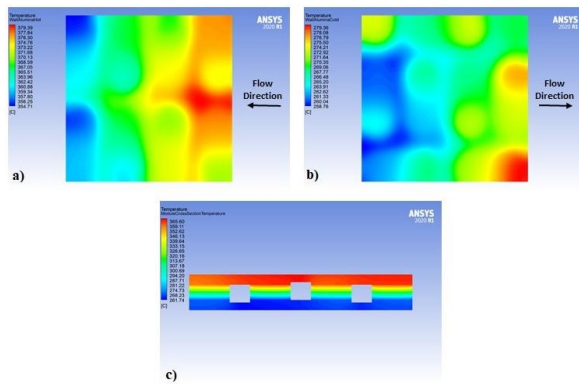


Figure 11. Temperature distributions for 700 °C of T_{hi} : a) on the hot side of the TEM, b) on the cold side of the TEM, and c) through the TEM.

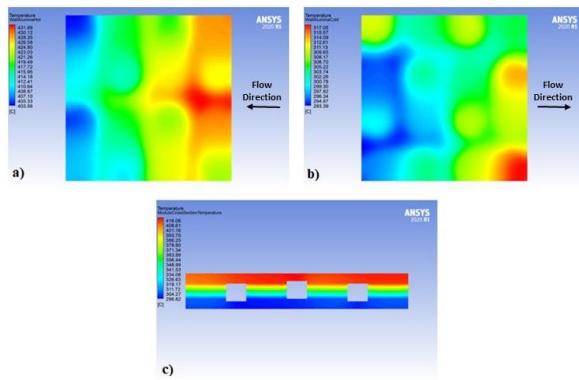


Figure 12. Temperature distributions for 800 °C of T_{hi} : a) on the hot side of the TEM, b) on the cold side of the TEM, and c) through the TEM.

According to the temperature distributions, it has been analyzed that the ΔT of the TEM increase with the increase of the T_{hi} . This increase results in ΔT of 55.6 °C, 70.4 °C, 85.2 °C, 100.1 °C, and 115.0 °C for 400 °C, 500 °C, 600 °C, 700 °C, and 800 °C of T_{hi} , respectively, under constant V_{hi} . The TEM's T_{hs} and T_{cs} for the T_{hi} are given in **Figure 13**. When the temperature distributions are further investigated, it seems that temperature distributions on both sides of the TEM are not homogeneous. The temperature differences on the hot side are 13.7 °C, 17.3 °C, 21.0 °C, 24.6 °C, and 28.3 °C, where the temperature differences on the cold side are 11.4 °C, 14.5 °C, 17.5 °C, 20.6 °C, and 23.6 °C for 400 °C, 500 °C, 600 °C, 700 °C, and 800 °C of T_{hi} , respectively. This difference on the same surface originates from the difference between the conduction heat transfer (occurs between the alumina plate and the silver conductor and between the silver conductor and p- and n-type legs) and the convection heat transfer (occurs between the alumina plate and the ambient air and between p- and n-type legs and the ambient air). In addition, the difference in the thermal conductivity values of the TEM materials (silver conductor and p- and n-type legs) constitutes different values for the conduction heat transfer.

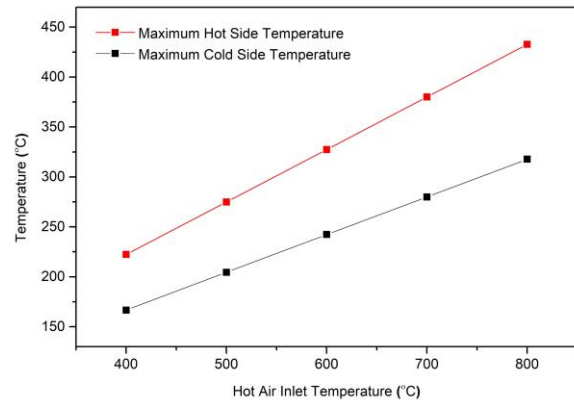


Figure 13. Effect of the T_{hi} on the T_{hs} and T_{cs} of the TEM.

In addition to temperature distributions, the average \dot{Q}_h and \dot{Q}_c of the TEM were investigated. According to the results in **Table 2**, the average \dot{Q}_h of the TEM are found to be 26.7 W, 33.8 W, 40.9 W, 48.0 W, and 55.1 W for 400 °C, 500 °C, 600 °C, 700 °C, and 800 °C of T_{hi} , respectively. In addition, the average \dot{Q}_c of the TEM are analyzed to be 22.2 W, 28.2 W, 34.1 W, 40.0 W, and 45.9 W for 400 °C, 500 °C, 600 °C, 700 °C, and 800 °C of T_{hi} , respectively. According to these results, increasing the T_{hi} yields an increase in \dot{Q}_h and \dot{Q}_c of the TEM. As expected, the maximum average \dot{Q}_h and \dot{Q}_c resulted in the maximum T_{hi} . The increase in \dot{Q}_h and \dot{Q}_c of the TEM can be attributed to the increase in the ΔT between the hot air and the hot side of the TEM, which yields an increase in the convection heat transfer rate.

Table 2. Average \dot{Q}_h and \dot{Q}_c for T_{hi} .

T_{hi} [m/s]	\dot{Q}_h [W]	\dot{Q}_c [W]	T_{hs} [°C]	T_{cs} [°C]	ΔT [°C]
400	26.7	22.2	222.3	166.7	55.6
500	33.8	28.2	274.9	204.5	70.4
600	40.9	34.1	327.5	242.3	85.2
700	48.0	40.0	380.1	280.0	100.1
800	55.1	45.9	432.8	317.8	115.0

IV. CONCLUSIONS

In this study, temperature distributions and \dot{Q}_h and \dot{Q}_c of a TEM were investigated using CFD analyzes. V_{hi} and T_{hi} were altered to specify their effects on T_{hs} , ΔT , and \dot{Q}_h . During the analyses, the V_{hi} varied as 1 m/s, 3 m/s, 5 m/s, 10 m/s, and 15 m/s while keeping T_{hi} and T_{ci} at 500 °C and 25 °C, respectively. Afterward, keeping the V_{hi} constant at 15 m/s, and the T_{hi} was modified to 400 °C, 500 °C, 600 °C, 700 °C, and 800 °C.

According to the results, the TEM's maximum T_{hs} and T_{cs} are 274.9 °C and 204.5 °C, respectively. In comparison, the maximum temperature through the TEM is acquired as 266.9 °C for 15 m/s of V_{hi} by keeping the T_{hi} at 500 °C. Increasing the V_{hi} increases

the T_{hs} and T_{cs} and the ΔT of the TEM. This increase derives a ΔT of 70.4 °C for 15 m/s of V_{hi} . In addition to temperature distributions, the average \dot{Q}_h is found to be 33.8 W for 15 m/s of V_{hi} . According to these results, the increase in the T_{hs} and \dot{Q}_h with the increase in V_{hi} can be attributed to the increase in the Re number, which yields an increase in the Nu number and the convection heat transfer coefficient.

When the V_{hi} was kept constant at 15 m/s, the TEM's maximum T_{hs} and T_{cs} were specified as 432.8 °C and 317.8 °C. In contrast, the maximum temperature through the TEM is 419.8 °C for 800 °C of T_{hi} . Increasing the T_{hi} yields an increase in the T_{hs} and T_{cs} and ΔT of the TEM. This increase derives a ΔT of 115.0 °C for 800 °C T_{hi} . In addition to temperature distributions, the average \dot{Q}_h is 55.1 W for 800 °C of T_{hi} . According to these results, the increase in the T_{hs} and \dot{Q}_h with the increase in the T_{hi} can be attributed to the increase in the temperature difference between the hot air and the hot side of the TEM, which yields an increase in the convection heat transfer rate.

ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported by the Scientific and Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) [grant number 120R009]. Concurrent studies were carried out within the Scientific Research Projects Coordinatorship of Karabuk University [grant number KBÜBAP-21-YL-052].

REFERENCES

- [1] Chein, R., Huang, G. Thermoelectric cooler application in electronic cooling. *Applied Thermal Engineering*, 24 (14–15), 2207–2217 (2004).
- [2] Riffat, S. B., Ma, X. Thermoelectrics: A review of present and potential applications. *Applied Thermal Engineering*, 23 (8), 913–935 (2003).
- [3] Xu, X., Dessel, S. V., Messac, A. Study of the performance of thermoelectric modules for use in active building envelopes. *Building and Environment*, 42 (3), 1489–1502 (2007).
- [4] Rowe, D. M., Min, G. Evaluation of thermoelectric modules for power generation. *Journal of Power Sources*, 73 (2), 193–198 (1998).
- [5] Hsiao, Y. Y., Chang, W. C., Chen, S. L. A mathematic model of thermoelectric module with applications on waste heat recovery from automobile engine. *Energy*, 35 (3), 1447–1454 (2010).
- [6] Champier, D., Bedecarrats, J. P., Rivaletto, M., Strub, F. Thermoelectric power generation from biomass cook stoves. *Energy*, 35 (2), 935–942 (2010).
- [7] Ploteau, J. P., Glouannec, P., Noel, H. Conception of thermoelectric flux meters for infrared

- radiation measurements in industrial furnaces. *Applied Thermal Engineering*, 27 (2–3), 674–681 (2007).
- [8] Chen, W. H., Wang, C. M., Huat Saw, L., Hoang, A. T., Bandala, A. A. Performance evaluation and improvement of thermoelectric generators (TEG): Fin installation and compromise optimization. *Energy Conversion and Management*, 250, 114858 (2021).
- [9] Martínez, A., Astrain, D., Rodríguez, A. Dynamic model for simulation of thermoelectric self-cooling applications. *Energy*, 55, 1114–1126 (2013).
- [10] Bell, L. E. Cooling, Heating, Generating Heat with and Recovering Waste Thermoelectric. *Science*, 321 (5895), 1457–1461 (2008).
- [11] Temizer, I., Ilkiliç, C. The performance and analysis of the thermoelectric generator system used in diesel engines. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 63, 141–151 (2016).
- [12] He, W., Wang, S., Lu, C., Li, Y., Zhang, X. An optimization analysis of thermoelectric generator structure for different flow directions of working fluids. *Energy Procedia*, 61, 718–721 (2014).

Kalp Kası Enfeksiyonlarına Yönelik Üç Boyutlu Biyofonksiyonel Doku İskelesi Üretimi ve Karakterizasyonu

Fabrication and Characterization of Three-Dimensional Biofunctional Tissue Scaffolds for Myocardial Infections

Songül ULAĞ¹ 

¹Marmara Üniversitesi Nanoteknoloji ve Biyomalzemeler Uygulama ve Araştırma Merkezi (NBUAM), 34722, İstanbul, Türkiye

Öz

Miyokardit, kalp kası iltihabı olarak tanımlanır ve akut yetmezlik vakalarının %10'unu oluşturur. Kalp kası iltihaplanmalarının oluşmasına başta virüsler olmak üzere bakteri, mantar ve otoimmün hastalıklar sebep olmaktadır. Doku mühendisliği, herhangi bir nedenle yapısı bozulmuş biyolojik dokuları yeniden eski haline getirmeyi, yapısal ve fonksiyonel özelliklerini onarmayı amaçlayan multidisipliner bir bilim dalıdır. Bu çalışmada, kalp kası enfeksiyonlarına yönelik doku mühendisliği yaklaşımı ile kurkumin (KUR) yüklü üç boyutlu polilaktik asit (PLA) doku iskeleleri üretilmiş ve morfolojik, kimyasal, mekanik ve biyolojik özellikler bakımından test edilmişlerdir. KUR'un etkisini incelemek için üç farklı miktar (10, 15 ve 20 mg) %17 PLA içerisine eklenip, üç boyutlu doku iskeleleri üretilmiştir. Taramalı elektron mikroskop (SEM) ile yapılan morfolojik analizler, tüm iskele yapılarının homojen por dağılımına sahip olduklarını göstermiştir. Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR) ile yapılan kimyasal analiz sonucunda, KUR eklenmesinin matriks yapıya ait pikleri kaydırdığı gözlenmiştir. Çekme testi sonuçları incelendiğinde KUR eklenmesinin %17 PLA'nın çekme dayanımını arttırdığı gözlenmiş ve en yüksek çekme dayanımı (12.51±1.3 MPa) 20 mg KUR içeren doku iskelesine ait olarak bulunmuştur. H9C2 kardiyomiyosit hücre hattı ile yapılan 1, 3 ve 7 günlük MTT testi sonuçlarına bakıldığında, en yüksek hücre canlılığı (%124.12) 15 mg KUR içeren iskeleye ait olarak bulunmuştur. *S. aureus* ve *C. albicans* suşlarına karşı yapılan antimikrobiyal test sonucuna bakıldığında, KUR yüklenmesinin iskelelere antimikrobiyal özellik kazandırmadığı gözlenmiştir. *In vitro* ortamda yapılan biyobozunurluk testi sonucunda, KUR yüklenmesiyle bozunma oranının arttığı gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Doku iskelesi; kardiyomiyosit; kurkumin; miyokardit; PLA; üç boyutlu yazıcı

Abstract

Myocarditis is defined as inflammation of the heart muscle and accounts for 10% of acute failure cases. Inflammation of the heart muscle is caused mainly by viruses, bacteria, fungi, and autoimmune diseases. Tissue engineering is a multidisciplinary science that aims to regenerate the structural and functional properties of biological tissues that have been damaged for any reason. In this study, three-dimensional polylactic acid (PLA) scaffolds loaded with curcumin were fabricated and tested in terms of morphological, chemical, mechanical, and biological properties with a tissue engineering approach for cardiac muscle infections. In order to examine the effect of curcumin (CUR), three different amounts (10, 15, and 20 mg) were added into 17% PLA, and three-dimensional scaffolds were produced. The morphological analyses with the scanning electron microscope (SEM) showed that all the scaffolds had homogeneous pore distributions. As a result of chemical analysis with fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), it was observed that the addition of CUR shifted the peaks of the matrix structure. When the tensile test results were examined, it was observed that the addition of CUR increased the tensile strength of 17% PLA and the highest tensile strength (12.51±1.3 MPa) was found in the 17% PLA/20 CUR scaffolds. When the results of the 1, 3, and 7 days MTT test performed with the H9C2 cardiomyocyte cell line were examined, the highest cell viability (124.12%) was found in the 17% PLA/15 CUR scaffold. When the antimicrobial test results against *S. aureus* and *C. albicans* strains were examined, it was observed that the loading of CUR did not impart antimicrobial properties to the scaffolds. As a result of the *in vitro* biodegradability test, it was observed that the rate of degradation increased with the loading of CUR.

Keywords: Cardiomyocyte; curcumin; myocarditis; PLA; tissue scaffold; 3D printing

I. GİRİŞ

Miyokard kalp kası olarak bilinir ve kalbin büyük bir bölümü miyokardan oluşmaktadır. Miyokardit, kalp kasının (miyokard) iltihaplanması olarak bilinmektedir. Miyokardit iltihabı, kalp kası hücrelerinin ölümüne ve dejenerasyonuna neden olabilmektedir. Kalp kası iltihaplarının oluşmasının başlıca nedenlerinin arasında virüsler olmak üzere bakteri, mantar, otoimmün hastalıklar yer almaktadır.

Oluşan kalp kası iltihapları hızla ilerleyebilir ve hatta ölümcül sonuçlanabilir [1, 2]. Kalp nakli, kök hücre tedavisi, hidrojel enjeksiyonu ve kardiyak doku mühendisliği dahil olmak üzere klinik ve klinik öncesi çalışmalarda kardiyak rejenerasyona yönelik birçok

yaklaşım bulunmaktadır. Doku mühendisliği, herhangi bir nedenle yapısı bozulmuş biyolojik dokuları yeniden eski haline getirmeyi, yapısal ve fonksiyonel özelliklerini onarmayı amaçlayan multidisipliner bir bilim dalıdır ve mühendislik bilgileri ile biyomalzemeleri kullanarak doku hasarlarına alternatif çözüm sunmaktadır [3]. Doku mühendisliğinin hızlı gelişimi, doku hasarlarının tedavisi için yeni yöntemler sağlamıştır. Kök hücre teknolojisindeki büyük başarılar, rejenerasyon amacıyla sınırsız sayıda kök hücre türevi kalp hücresinin sağlanabilmesini mümkün kılmaktadır [2, 4]. Bir başka yeni yöntem, hücre büyümesini ve entegre hücre oluşumunu destekleyen iskele veya yamaların üretilmesidir [5, 6]. Doku iskeleleri kullanılırken malzeme seçimi, mekanik özellikler, yüzey özellikleri, bozunma hızı ve hücre kültür koşullarına dikkat etmek gerekmektedir [7]. Biyomalzemeler, insan vücudundaki canlı dokuların işlevlerini yerine getirmek amacıyla kullanılan doğal ya da sentetik malzemelerin tümüne denmektedir. Bu malzemeler, sürekli olarak veya belli bir süre için vücut içindeki akışkanlar ile temas halindedir. Vücudun bu malzemelere karşı verdiği tepkiler son derece önemlidir. Son yıllarda biyomalzeme/doku etkileşimleri üzerinde önemli çalışmalar yapıldığı ve bu çalışmalar neticesinde, vücudun doğal dokularını yeniden yapılandırmaya yönelik biyoyumlu malzemelerin geliştirildiği görülmektedir [7, 8]. Bu çalışmada, PLA taşıyıcı malzeme olarak, KUR ise biyoyumluluğu artırıcı etken madde olarak seçilmiştir. Kolajen, fibrinojen, kitosan ve jelatin, kalp kası doku mühendisliğinde kullanılan tipik doğal polimerlerdir. Kollajen, fibrin ve polisakaritler, etkili hücre farklılaşmasını destekleme ve kalp hücreleriyle teması geliştirme kapasitelerini gösteren doğal polimerlerin örnekleridir. Bununla birlikte, doğal polimerlerin çoğu, ortalamanın altında mekanik niteliklere sahiptir [9]. PLA gibi sentetik biyoyumlu polimerler, daha yüksek mekanik özellikler gerektiğinde alternatif bir çözümdür. PLA'nın endüstriyel uygulamaları incelendiğinde medikal malzeme, yapı iskelesi, implant, medikal dikiş ipliği, hijyen ürünleri ve kontrollü ilaç salımı gibi çok çeşitli uygulamalarına rastlanmaktadır [10]. PLA biyobozunur, biyoyumlu, yüksek gerilme ve bükülme gücü gibi kabul edilebilir fiziko-mekanik özelliklere sahiptir [11]. KUR, 1,6-heptadien-3,5-dion-1,7-bis(4-hidroksi-3- metoksifenil)-(1E,6E) veya diferülolmetan olarak tanımlanmıştır [12]. Yaygın olarak zerdeçal ismi ile bilinen KUR, zencefilgiller ailesine (*Zingiberaceae*) ait olan zerdeçal (*Curcuma longa*, *turmeric*, *zerdeçöp*, *safran kökü*, *sarıboya*, *zerdeçav*, *hint safranı*) bitkisinin köklerinden elde edilir. KUR, hidrofobik yapılı polifenolik bir bileşik olup sarı-turuncu pigmentli bir maddedir [13]. Steroidler, büyüme faktörleri, heparin, nitrik oksit, gen aktarımı gibi kalp hastalıklarında kullanılan bazı ilaçlar ve moleküller vardır [14]. Son çalışmalar, KUR'un kanser, artrit, inflamatuvar bağırsak hastalığı, kardiyovasküler hastalıklar ve diğerleri dahil olmak üzere çeşitli hastalıkların tedavisi için umut

verici bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir [15]. Biyofonksiyonel doku iskelesi üretimi için üç boyutlu yazıcı teknolojisi kullanılmıştır. Üç boyutlu yazıcı teknolojisi, doku mühendisliği uygulamalarında iskele üretmek için kullanılan yeni nesil bir teknolojidir. Geleneksel üretim teknikleri arasında emülsifikasyon, faz ayırma/ters çevirme, fiber bağlama, partikül/tuz süzme, dondurarak kurutma ve gazla köpürtme yer alır. Bu teknikler gözenek şeklini, gözenekliliği ve geometriyi yönetmekte zorlanabilir. Geleneksel prosedürlerin avantajları, 3D baskı adı verilen son teknoloji bir teknoloji ile aşılabılır. Bu teknolojinin yardımıyla, daha iyi hücre gelişimi ve yenilenmesini destekleyen, belirli formlara ve gözeneklere sahip yapı iskeleleri oluşturulmaktadır [16]. Üç boyutlu yazıcı ile üretilen iskeleler, mükemmel hücrel etkileşimler ve yeni fonksiyonel dokuların oluşumu için gerekli olan küçük gözenek boyutlarına ve geniş bir yüzey alanına sahiptir [17]. Son zamanlarda 3 boyutlu baskı teknolojisinin hızlı gelişimi ile karmaşık üç boyutlu karmaşık yapıların tasarımı kolaylaşmış ve 3 boyutlu yazıcı teknolojisi ile gözenekli kompozit malzemelerin hazırlanması uygun hale gelmiştir [18, 19].

II. MATERYAL VE METOD

2.1. Malzeme

PLA 2003D, Nature Works LLC, ABD' den tedarik edilmiştir. Kloroform ($CHCl_3$), Sigma Aldrich, St. Louis, MO, ABD tarafından sağlanmıştır. KUR, Sigma-Aldrich firmasından tedarik edilmiştir.

2.2. %17 PLA ve %17 PLA/(10, 15, 20) KUR Solüsyonların Hazırlanması

Hazırlanan ilk kontrol çözeltisinde, 10 ml kloroform çözücüsü içine 1.7 gram PLA eklenmiştir ve manyetik karıştırıcıda 1.5 saat, 400 dönme hızında karıştırılmıştır. Ardından KUR yüklü solüsyonlar için, 10, 15 ve 20 mg KUR %17 PLA çözeltisi içine ayrı ayrı eklenmiş ve 1 saat süresince 400 rpm hızda karıştırılmıştır.

2.3. Üç Boyutlu Yazıcı İle %17 PLA, %17 PLA/(10, 15, 20) KUR Doku İskelelerinin Üretimi

Üç boyutlu doku iskelesi modeli, üç boyutlu bir çizim programı (Solidworks) kullanılarak tasarlanmıştır ve Slic3r yazılımı tarafından G koda dönüştürülmüştür. İskele konfigürasyonu, 20 mm × 20 mm x 0.1 mm boyutlarında kare şekilde tasarlanmıştır. Üç boyutlu doku iskelesi üretimi için ekstrüzyon tabanlı Hyrel 3D (Engine HR, SDS-5 Extruder, GA, ABD) cihazı kullanılmıştır. Hazırlanan çözelti 10 ml hacimli şırıngaya koyulmuş ve cihazın haznesine yerleştirilmiştir. 0.2 mm çapındaki iğne ile 10 mm/sn yazım hızında ve 1 ml/saat akış miktarında tüm iskeleler üretilmiştir. İskele doluluk oranı %96 olarak ayarlanmış ve toplam 7 katmana sahip iskeleler üretilmiştir.

2.4. Üretilen Üç Boyutlu Doku İskelelerinin Karakterizasyonu

2.4.1. Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi ile kimyasal analiz

Üretilen üç boyutlu doku iskelelerinin kimyasal karakterizasyonu, fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi (FTIR, JASCO-4000) ile incelenmiştir. Tüm spektrumlar absorbans modunda 4 cm^{-1} çözünürlük ile $4000\text{-}400\text{ cm}^{-1}$ tarama aralığında alınmıştır.

2.4.2. SEM analizi

Üretilen üç boyutlu doku iskelelerinin mikroyapı morfolojilerini gözlemek için SEM kullanılmıştır. SEM ile analize başlamadan önce tüm iskeleler Au ile 60s boyunca kaplanmıştır. Por boyutları Image J programı ile ölçülmüş ve SPSS programı ile histogram oluşturulmuştur.

2.4.3. Üç boyutlu doku iskelelerinin diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) cihazı ile termal analizi

$25\text{-}200\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklık aralığı ve kalorimetrik ölçüm aralığı: $\pm 150\text{ mW}$ olan Shimadzu DSC-60 Plus cihazı kullanılarak, üretilen üç boyutlu doku iskelelerinin termal davranışı gözlenmiştir. Yapılar, $25\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{dakikalık}$ sabit bir ısıtma hızında taranmıştır.

2.4.4. Üç boyutlu doku iskelelerinin çekme cihazı ile mekanik analizi

Doku iskelelerinin gerilme-gerinim eğrisi, tek eksenli Shimadzu çekme cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Yapılar doğrudan çenelerin arasına yerleştirilmiştir. Analizden önce tüm örneklerin boyutları ve kalınlıkları ölçülüp sistem yazılımına kaydedilmiştir. Analiz 5 kN kuvvet altında $5\text{ mm}/\text{dakika}$ çekme hızında gerçekleşmiştir.

2.4.5. MTT testi

H9C2 hücresi, Amerikan Tipi Kültür Koleksiyonun' dan (ATKK' dan) satın alınan bir insan kardiyomiyosit hücre dizisidir. Hücreler, %10 fetal sığır serumu (FBS), %1 Penisilin/Streptomisin ile desteklenmiş Dulbecco' nun Değiştirilmiş Kartal Ortamı (DMEM) içinde ve $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' de ve %5 CO_2 atmosferinde inkübe edilmiştir. Hücre canlılığını görmek için; tüm iskeleler 96 kuyucuklu plakalara konulmuş ve UV ile sterilize edilmiştir. Kuyu başına 20.000 hücre olacak şekilde 1 mL %10 fetal sığır serumu (FBS), %1 Penisilin/Streptomisin takviyeli DMEM içerisinde, $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve %5 CO_2 atmosferinde tüm iskeleler inkübe edilmiştir. DMEM gün aşırı değiştirilmiştir. Hücre canlılığı, PBS ($5\text{ mg}/\text{ml}$) içinde çözülmüş MTT reaktifi (Sigma-Aldrich) kullanılarak ölçülmüştür. Hazırlanan ana stoktan $100\text{ }\mu\text{L}$ alınmış ve %10 FBS, %1 penisilin/streptomisin ile desteklenmiş DMEM içindeki hücreler ve iskeleler üzerine eklenmiş ve $37\text{ }^{\circ}\text{C}$, %5 CO_2 ' de 3 saat süresince inkübe edilmiştir. İnkübasyon sonrası, DMEM hücre ortamından geri çekilmiş ve formazan kristalleri $500\text{ }\mu\text{L}$ dimetil sülfoksit (DMSO) çözeltisi içinde çözülmüştür, ardından 570 nm ' de absorbans değerleri ölçülmüştür. Üretilen iskeleler üzerinde hücre ekimi ve proliferasyonunu gözlemek için floresan mikroskopisi kullanılmıştır. İskeleler kültürden 1. ve 3. gün sonra alınmış ve üç kez

PBS solüsyonu ile yıkanmıştır. Hücrelerin malzemeler üzerinde fiksasyonu %4 paraformaldehit ile 30 dakika süresince yapılmış, DAPI solüsyonu ($1\text{ }\mu\text{g}/\text{mL}$, Invitrogen) ile boyanıp 10 dakika karanlık odada tutulmuştur. Görüntüler, Andor DSD2 konfokal birimi ile yapılandırılmış Olympus BX-51 mikroskobu ile çekilmiştir.

2.4.6. KUR'un iskelelerden salım davranışının incelenmesi

İlaç salım testinde ilk olarak 5 farklı miktardaki ilacın (0.2 , 0.4 , 0.6 , 0.8 ve 1 mL) absorbans değerleri ölçülerek ilaca ait lineer kalibrasyon eğrileri belirlenmiştir. KUR'a ait absorbans piki 428 nm 'de gözlenmiştir. Daha sonra ilaç salımı için, 5 mg KUR yüklü üç boyutlu iskeleler hazırlanmış ve 1 mL fosfat tamponlu salin (PBS) solüsyonu içeren eppendorf tüplere yerleştirilmiştir. Tüpler, $37\text{ }^{\circ}\text{C}$, 300 rpm ' de bir termal çalkalayıcıya yerleştirilmiştir. UV-görünür spektrofotometre ile farklı zaman aralıklarında ölçümler alınmış ve numunelere her ölçümden sonra taze PBS eklenmiştir.

2.4.7. Antimikrobiyal aktivite testi

S. aureus (ATCC 29213) için, bir gün önce %5 koyun kanlı Columbia Agar (COS; Biomerieux, Fransa) besiyerlerine azaltma ekimleri yapılmıştır. $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de bir gece inkübasyona bırakıldı. Mueller Hinton sıvı besiyerinde (MHB; Biomerieux, Fransa), 0.5 McFarland ($1\text{-}5\times 10^8\text{ cfu}/\text{mL}$) bulanıklığında bakteri süspansiyonları hazırlanmıştır. Süspansiyonlar Mueller Hinton E Agar (MHE; Biomerieux, Fransa) besiyerinin tüm yüzeyi kaplayacak şekilde yayılmıştır. Daha önce UV ışık altında 10 dk sterilize edilen disk şeklinde kesilmiş iskeleler eşit mesafede olacak şekilde besiyerleri üzerine yerleştirilmiştir. Kontrol amaçlı olarak %17 PLA diskler ve $30\text{ }\mu\text{g}$ amikasin kullanılmıştır. Besiyerler $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de $16\text{-}20$ saat inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon sonrası disk çevresindeki üreme inhibisyonuna ait zon çapı mm cinsinden belirlenmiştir. *C. albicans* (SC5314) saboraud dekstroz agar (SDA; Biomerieux, Fransa) besiyerine ekilmiş ve $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ etüvde bir gece inkübasyona bırakılmıştır. Üreyen koloniler ile serum fizyolojik içerisinde 0.5 McFarland ($1\text{-}5\times 10^6\text{ cfu}/\text{mL}$) bulanıklığında süspansiyon hazırlanmıştır. Mantar süspansiyonları MHE agar besiyerine yayılmıştır. Diskler eşit mesafede olacak şekilde yerleştirilmiştir. Kontrol disk olarak %17 PLA kullanılmıştır. Diskler, $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de $20\text{-}24$ saat inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon sonrası disk çevresindeki üreme inhibisyonuna ait zon çapı mm cinsinden ölçülerek saptanmıştır.

2.4.8. In vitro biyobozunurluk testi

Üretilen doku iskelelerinin biyolojik bozunma davranışı in vitro koşullarda test edilmiştir. Yapı iskelelerinin bozunma özellikleri, zaman içinde kütlelerindeki değişiklikler izlenerek belirlenmiştir. Bozunma testi, $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' de 1 mL PBS solüsyonunda (pH 7.4) yapılmıştır. İskeleler PBS ile birlikte eppendorf tüp içerisinde termal çalkalayıcıya konulmuştur. Belirli zaman aralıklarında, doku iskelelerinin kurumuş

ağırlıkları, bozunma davranışlarını değerlendirmek için ölçülmüştür. İskeleler bir gün PBS içinde kaldıktan sonra, diğer gün PBS'den ayrılıp etüvde 37°C'de 24 saat kurutulmuştur ve kuru ağırlıkları not edilmiştir. Bozunma değeri (BD), aşağıdaki denklem kullanılarak belirlenmiştir.

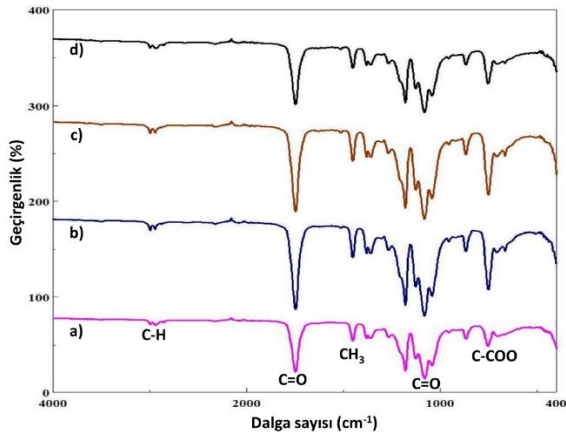
$$BD = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100 \quad (1)$$

Bu denklem, sırasıyla W_1 ve W_2 ile temsil edilen, bozulmadan önceki ve sonraki yapı iskelelerinin ağırlıklarını temsil etmektedir.

III. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

3.1. FTIR Analizi

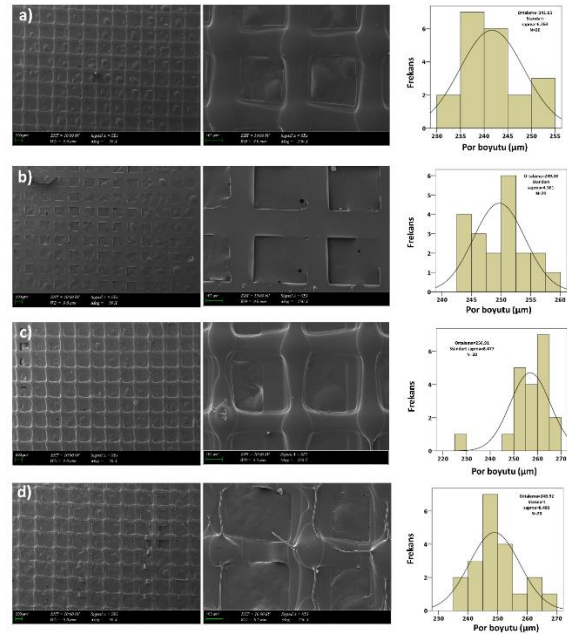
Şekil 1 üç boyutlu doku iskelelerine ait FTIR spektrumlarını göstermektedir. %17 PLA'ya ait temel absorpsiyon pikleri, 1749 cm^{-1} (C=O titreşimi), 1453 cm^{-1} (CH_3 asimetrik makaslama), 1080 cm^{-1} (C-O, C-O-C, germe), 1042 cm^{-1} (C- CH_3 , germe) ve 867 cm^{-1} (C-COO, esneme) dalga sayılarında gözlenmiştir [11]. Şekil 1 (b, c, d), %17 PLA' sırasıyla 10, 15 ve 20 mg KUR eklenmesiyle oluşan spektrumları temsil etmektedir. Genel olarak bakıldığında, KUR eklenmesi %17 PLA'ya ait temel pikleri önemli olmayan derecede sağa ve sola kaydırmıştır. %17 PLA'ya KUR eklenmesiyle spektrumdaki değişimler önemsiz düzeyde olmuştur. Bunun sebebi ana polimer olan PLA, ilaca göre daha fazla oranda kullanıldığından, PLA'ya ait pikler baskın gelmiştir [20]. Mai ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada, %5 KUR %8 PLA içerisine konulup elektroegirme tekniği ile nanofiber üretilmiştir. Çalışmada yapılan FTIR analizine göre, yüksek PLA/KUR oranı nedeniyle, PLA'nın tipik pikleri hem saf PLA'da hem de KUR-yüklü PLA'da net ve güçlü bir şekilde gözlenmiştir [21]. Reddy ve Kim tarafından yapılan bir çalışmada, PLA/KUR kompozit filmler çift vidalı ekstruder ile üretilmiştir ve FTIR ile yapılan kimyasal analiz sonucunda, KUR ilavesinin PLA'nın temel piklerinde bazı kaymalara sebep olduğu gözlenmiştir [22].



Şekil 1. %17 PLA (a), %17 PLA/10 KUR (b), %17 PLA/15 KUR (c) ve %17 PLA/20 KUR (d) iskelelerine ait FTIR spektrumları.

3.2. SEM Analizi

3B baskı iskelelerinin gözenek boyutunun, doku mühendisliği uygulamaları sırasındaki işlevleri üzerinde doğrudan etkileri vardır. Açık gözenekli ve birbirine bağlı ağlar, hücre beslenmesi, göçü, çoğalması ve geçirgenliği nedeniyle doku oluşumu için gereklidir [23]. Şekil 2, üretilen %17 PLA ve KUR yüklü %17 PLA doku iskelelerine ait SEM görüntülerini temsil etmektedir. İskelelere ait SEM görüntülerine bakıldığında, tüm iskelelerin homojen por boyutlarına ve pürüzsüz morfolojilere sahip oldukları gözlenmektedir. Şekil 2a, %17 PLA doku iskelesine ait morfolojik yapıyı temsil etmektedir. 250X büyütmeye ait görüntüye bakıldığında, iskelelerin porlarının tüm iskele boyunca homojen olduğu söylenebilmektedir. Şekil 2 (b, c, d), 10, 15 ve 20 mg KUR eklenerek üretilen %17 PLA doku iskelesine ait morfolojik görüntüleri temsil etmektedir. İskelelere ait por boyutları %17 PLA, %17 PLA/10 KUR, %17 PLA/15 KUR ve %17 PLA/20 KUR için sırasıyla $241.65 \pm 6.7 \mu\text{m}$, $249.69 \pm 4.3 \mu\text{m}$, $256.91 \pm 8.4 \mu\text{m}$, $248.92 \pm 8.4 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür. Sonuçlara bakıldığında, tüm yapı boyunca iskelelerin homojen porlara ve por boyutlarına sahip oldukları söylenebilmektedir. Ek olarak, KUR yüklü iskelelerin %17 PLA'ya ait morfolojiyi değiştirmediği gözlenmektedir.

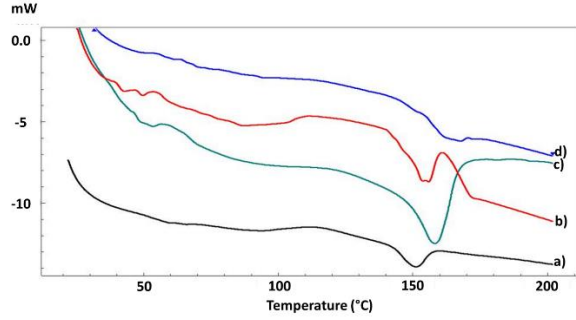


Şekil 2. Üretilen doku iskelelerine ait SEM görüntüleri, %17 PLA (a), %17 PLA/10 KUR (b), %17 PLA/15 KUR (c) ve %17 PLA/20 KUR (d).

3.3. DSC Analizi

Şekil 3, üç boyutlu doku iskelelerine ait DSC eğrilerini göstermektedir. %17 PLA'ya ait erime sıcaklığı yaklaşık 150°C'de gözlenmiştir (Şekil 3a) [24]. Şekil 3b, %17 PLA/10 KUR doku iskelesine ait DSC eğrisini göstermektedir. Şekil 3b'de görüldüğü üzere, %17 PLA'ya 10 mg KUR eklenmesi, erime sıcaklığını

yaklaşık 155 °C'ye çıkarmıştır. 15 mg KUR eklenmesi ise, %17 PLA'nın erime sıcaklığını tekrar sola kaydırmıştır (Şekil 3c). Öte yandan 20 mg KUR eklenmesi tekrar erime sıcaklığını sağa doğru kaydırmıştır (Şekil 3d). Sonuçlara bakıldığında, %17 PLA'ya KUR eklenmesi, PLA'nın erime sıcaklığını kısmi ölçüde arttırmıştır fakat önemli derecede etkilememiştir.



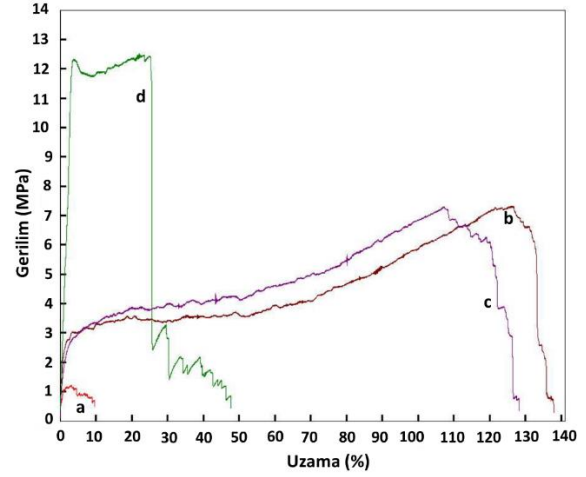
Şekil 3. Üretilen %17 PLA (a), %17 PLA/10 KUR (b), %17 PLA/15 KUR (c) ve %17 PLA/20 KUR (d) doku iskelelerine ait DSC eğrileri.

3.4. Çekme Test Analizi

Çeşitli konsantrasyonlarda KUR katkılı iskelelerin mekanik özellikleri çekme testi ile incelenmiştir. Tablo 1 ve Şekil 4 çekme testi sonucunda malzemenin sahip olduğu mekanik dayanımı göstermektedir. Sonuçlara bakıldığında, %17 PLA'nın çekme dayanımı 1.21 ± 0.5 MPa ve kopma uzaması 31.2 ± 11 olarak bulunmuştur. %17 PLA'ya KUR eklenmesi genel olarak çekme dayanımını arttırmıştır. Fakat 10 mg KUR ile 15 mg KUR eklenmiş üç boyutlu doku iskeleleri arasında çekme dayanım değerleri açısından çok fazla fark yoktur. %17 PLA'ya KUR eklenmesi kopma uzamasını büyük oranda arttırmaktadır. En yüksek uzama (137 ± 23), 10 mg KUR eklendiği zaman gözlenmiştir. 20 mg KUR eklenmesi ise malzemenin kopma uzamasında gözle görülür bir düşüşe neden olmuştur. Bu durum, 20 mg KUR ilavesinin esnekliği düşürmeye başladığını göstermiştir. İskele bütünlüğünü korumak için yara tedavisinde yüksek gerilme mukavemeti değerleri ve kopmada yüksek uzama değerleri gereklidir [16]. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar ile üretilen üç boyutlu yara örtülerinin yara tedavisinde kullanılabilme potansiyelini göstermektedir.

Tablo 1. Üretilen %17 PLA, %17 PLA/10 KUR, %17 PLA/15 KUR ve %17 PLA/20 KUR doku iskelelerine ait çekme dayanım ve kopmada uzama değerleri.

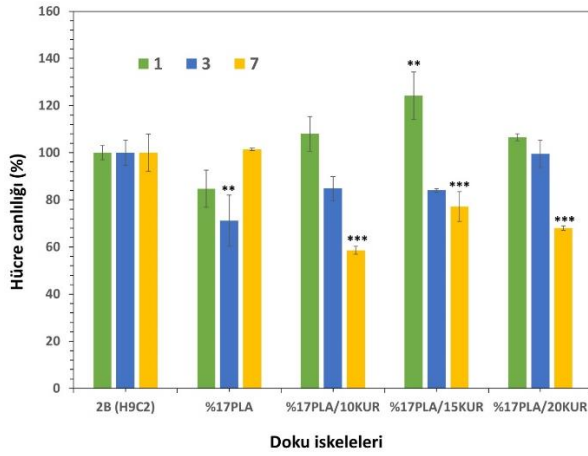
	Çekme Dayanımı (MPa)	Kopmada Uzama (%)
%17 PLA	1.21 ± 0.5	31.2 ± 11
%17 PLA+10 mg KUR	7.32 ± 0.3	137 ± 23
%17 PLA+15 mg KUR	7.29 ± 0.6	128.3 ± 15
%17 PLA+20 mg KUR	12.51 ± 1.3	47.4 ± 17



Şekil 4. Üretilen %17 PLA (a), %17 PLA/10 KUR (b), %17 PLA/15 KUR (c) ve %17 PLA/20 KUR (d) doku iskelelerine ait çekme dayanım grafikleri.

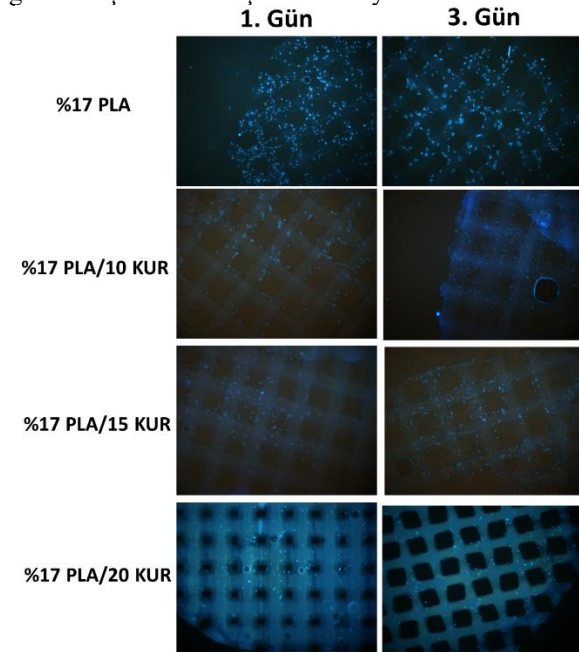
3.5. MTT Analizi

Üretilen doku iskeleleriyle kültürlenmiş hücrelerin canlılık değerleri 1, 3 ve 7 günlük inkübasyon sonrası incelenmiştir ve sonuç Şekil 5'te verilmektedir. 1. Gün sonrası elde edilen canlılık değerlerine bakıldığında, en yüksek hücre canlılığı (%124.12) %17 PLA/15 KUR içeren doku iskelesinde gözlenmiştir. En düşük hücre canlılığı (%84.71) kontrol grubu olan %17 PLA doku iskelesinde gözlenmiştir. Bu sonuca bakıldığında, KUR ilavesinin kardiyomyosit hücrelerin canlılığına olumlu yönde etki ettiğini ve hücrelerin çoğalmasını arttırdığı söylenebilir. Üç günlük kültürden sonra, genel olarak tüm iskeleler için hücre canlılığı ilk güne göre düşmüştür. Üçüncü günde en yüksek hücre canlılık oranı (%99.56) %17 PLA/20 KUR doku iskelesine ait olarak bulunmuştur. İnkübasyondan 7 gün sonra hücrelerin canlılık değerleri incelendiğinde, %17 PLA doku iskelesi hariç, KUR yüklü tüm iskeleler için hücre canlılık değeri düşmeye devam etmiştir. Üçüncü ve yedinci günde hücre canlılığının azalması, ölü hücrelerin ayrılmasından kaynaklanabilir [25]. %17 PLA ile kültürlenmiş hücrelerin canlılık değerleri 7. günde, 3.güne göre tekrar artışa geçmiştir. Genel olarak, tüm sonuçlar incelendiğinde, tüm iskeleler için hücre canlılık değerleri %70 ve yukarıdır ve bu durum iskelelerin toksik olmadığını ve biyouyumlu olduklarını göstermektedir.



Şekil 5. Kardiyomiyosit hücreleriyle kültürlenmiş iskelelerin 1, 3 ve 7. gün sonrası hücre canlılık oranları.

İskeleler üzerinde kültürlenmiş kardiyomiyosit hücrelerinin morfolojisini gözlemek için yapılan floresan boyama görüntüleri Şekil 6' da verilmiştir. Sonuçlara bakıldığında, hücrelerin iskeleler üzerinde homojen bir şekilde dağıldığı ve hücre dağılımının en az olduğu iskelelerin %17 PLA/20 KUR olduğu gözlenmiştir. Bu sonuç MTT ile uyumludur.

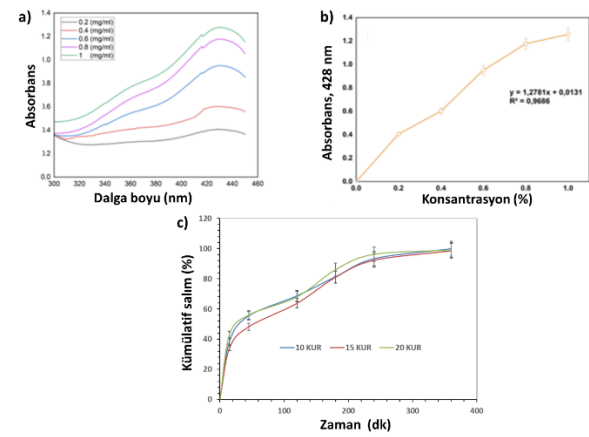


Şekil 6. Üretilen üç boyutlu iskelelerin kardiyomiyosit hücreleriyle 1. ve 3. gün inkübasyonu sonrası floresan mikroskop görüntüleri.

3.6. KUR'un İskeleden Salım Davranışı

KUR'un salım profili, KUR yüklü %17 PLA doku iskelelerinin belirli zamanlarda UV-spektrofotometre ile alınan absorbans değerleri kullanılarak belirlenmiştir (Şekil 7). Şekil 7a KUR'a ait kalibrasyon eğrisini göstermektedir. Kalibrasyon eğrisinin en yüksek pik noktasının sahip olduğu absorbans değerlerini kullanarak elde edilen absorbans grafiği Şekil 7b' de verilmiştir. Şekil 7c KUR'un iskeleden

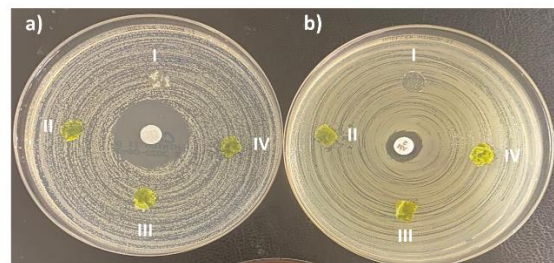
salım davranışını göstermektedir. İnkübasyonun ilk 45 dakikası boyunca, %17 PLA/10 KUR, %17 PLA/15 KUR ve %17 PLA/20 KUR iskelelerine ait kümülatif salım değerleri yaklaşık %55, %48 ve %56 olarak bulunmuştur. İlk ani salımın nedeni doku iskelesi yüzeyinde bulunan KUR'un öncelikli salımından kaynaklı olabilir [26]. 6 saatlik inkübasyondan sonra, kümülatif salım değerleri %17 PLA/10 KUR, %17 PLA/15 KUR ve %17 PLA/20 KUR doku iskeleleri için sırasıyla %99, %98 ve %99 olarak bulunmuştur. Sonuca bakıldığında, 6 saat içinde doku iskeleleri içerisinde bulunan farklı miktarlardaki KUR'un tamamen salındığı söylenebilir. Üç boyutlu doku iskelelerinin ilaç taşıma kapasitesi, katman sayısı ve kalınlığı ile kontrol edilebilir [27], fakat bu çalışmada tüm doku iskeleleri aynı katman sayısı ve kalınlığında üretildiğinden benzer salım davranışı göstermişlerdir.



Şekil 7. KUR'un %17 PLA doku iskelesinden kümülatif salım davranışı.

3.7. Disk Difüzyon Test Sonuçları

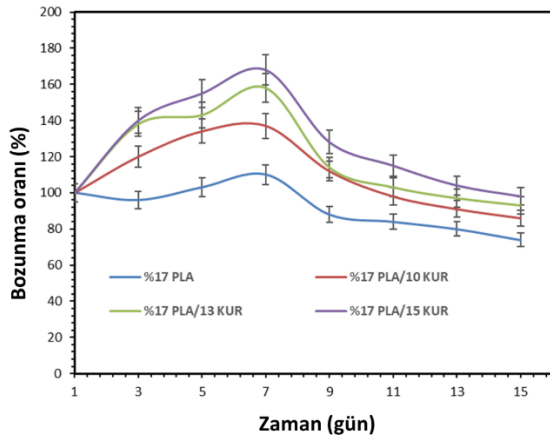
Şekil 8 üç boyutlu iskelelere ait antimikrobiyal aktivite test sonuçlarını göstermektedir. İnkübasyon sonrası KUR yüklü iskelelerin *S. aureus* ve *C. albicans* suşlarına karşı antimikrobiyal aktivite göstermedikleri gözlenmiştir. Bu sonuç, KUR'un miktarının az olmasından ya da KUR'un orijini ve bileşimi, kullanılan ekstraksiyon teknikleri, test edilen mikroorganizmalar vb. gibi bazı farklılıklardan kaynaklanabilir [28].



Şekil 8. Üç boyutlu iskelelerin *C. albicans* (a) ve *S. aureus* (b) suşlarına karşı gösterdikleri antimikrobiyal aktiviteleri: %17 PLA (I), %17 PLA/10 KUR (II), %17 PLA/15 KUR (III) ve %17 PLA/20 KUR (IV).

3.8. Üç Boyutlu Doku İskelelerinin Biyobozunurluk Davranışları

İskele bozunma süreci, doku mühendisliği alanında çok önemli bir rol üstlenir ve yeni doku mühendisliği stratejilerinin geliştirilmesine ve iyileştirilmesine önemli ölçüde katkıda bulunur [29]. Şekil 9 üç boyutlu doku iskelelerine ait bozunma davranışını göstermektedir. Sonuçlara bakıldığında, üçüncü gün sonunda en yüksek bozunma oranının (%140) %17 PLA/20 KUR iskelesine ait olduğu gözlenmiştir en düşük bozunma oranı (%96) ise %17 PLA doku iskelesine ait olarak gözlenmiştir. 5., 7., 9., 11., 13. ve 15. günler için de aynı bozunma davranışı devam etmiştir. Saylam ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, üç boyutlu %17 PLA doku iskeleleri üretmiş olup içine levedopa ilacını koymuşlardır. *In vitro* koşullarda PBS içerisinde yapılan bozunma testi sonucuna göre en düşük bozunma oranının %17 PLA doku iskelesine ait olduğunu ve ilaç içeren %17 PLA iskelelerinin %17 PLA iskelesine göre daha fazla bozunma oranına sahip olduklarını bulmuşlardır [29].



Şekil 9. Üretilen üç boyutlu doku iskelelerin bozunma davranış grafiği.

IV. SONUÇ

Sunulan çalışmada üç boyutlu yazıcı ile PLA ve KUR içeren üç boyutlu doku iskeleleri üretilmiştir. KUR ilavesi ile biyoaktivitenin artırılması amaçlanmıştır. Sonuçlar incelendiğinde, mekanik dayanım özelliklerinin KUR eklenmesiyle arttığı gözlenmiştir. FTIR analizi ile kimyasal etkileşimler incelenmiş ve sonuçlara bakıldığında KUR ilavesiyle %17 PLA matrisine ait piklerin kaydığı gözlenmiştir. DSC ile yapılan termal analiz sonucuna bakıldığında, KUR eklenmesiyle termal geçiş noktalarında önemli bir değişiklik olmamıştır. Biyoyumurluluk sonuçları incelendiğinde, 15 mg KUR ilaveli %17 PLA doku iskeleleri ile kültürlenmiş kardiyomyosit hücrelerinin canlılık değerleri diğer iskelelerle kültürlenmiş hücrelerin canlılık değerine göre daha fazladır. *S. aureus* ve *C. albicans* suşlarına karşı yapılan antimikrobiyal aktivite testi sonucunda KUR yüklü iskelelerin antimikrobiyal özellik göstermediği bulunmuştur. Hücre canlılık değerleri ile antimikrobiyal aktivite test sonuçları beraber

incelendiğinde, 20 mg KUR içeren iskelelerin hücre canlılığını düşürmeye başladığı ve daha fazla miktarda KUR eklenmesinin antimikrobiyal aktivite sağlayabileceği fakat hücre canlılığını olumsuz etkileyebileceği sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Ayhan, E., Işık, T. MİYOKARDİT. *Balikesir Sağlık Bilimleri Dergisi*, 1, (2012).
- [2] Feldman, A.M., McNamara, D. Myocarditis. *N Engl J Med.*, 343 (19), 1388-98, (2000).
- [3] Ramanan, V., Scull, M. A., Sheahan, T. P., Rice, C. M., Bhatia, S. N. New Methods in Tissue Engineering: Improved Models for Viral Infection. *Annu. Rev. Virol.*, 1:475-99, (2014).
- [4] Blauwet, L. A., Cooper, L.T. Myocarditis. *Progress in Cardiovascular Diseases*, 52, 274-88, (2010).
- [5] Brady, W.J., Ferguson, J.D., Ullman, E.A., Perron, A.D. Myocarditis: emergency department recognition and management. *Emerg Med Clin North Am.*, 22 (4): 865-85, (2004).
- [6] Liu, P.P., Schultheiss, H.P. Myocarditis. In: Braunwald's heart disease: a textbook of cardiovascular medicine. *Philadelphia*, 2, 1784-5, (2008).
- [7] Lanza, R. Methods of Tissue Engineering, Elsevier, 23-29, 463-471, 2006.
- [8] Kular, J. K., Basu, S., Sharma, R. The extracellular matrix: Structure, composition, age-related differences, tools for analysis and applications for tissue engineering. *Journal of Tissue Engineering*, 5: 1-17, (2014).
- [9] Kitsara, M., Agbulut, O., Kontziampasis, D., Chen, Y., Menasché, P. Fibers for hearts: A critical review on electrospinning for cardiac tissue engineering. *Acta Biomaterialia*, 48, (2017).
- [10] Graupner, N., Herrmann, A. S., Müssig, J. Natural and man-made cellulose fibre-reinforced poly(lactic acid) (PLA) composites: An overview about mechanical characteristics and application areas. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 40 (6-7), (2009).
- [11] Cesur, S., Ulag, S., Ozak, L., Gumussoy, A., Arslan, S., Yilmaz, B. K., Ekren, N., Agirbasli, M., Gunduz, O. Production and characterization of elastomeric cardiac tissue-like patches for Myocardial Tissue Engineering. *Polymer Testing*, 90, 106613, (2020).
- [12] Aggarwal, B.B., Sundaram, C., Malani, N., Ichikawa, H., Kurkumin: the Indian solid gold, in The molecular targets and therapeutic uses of kurkumin in health and disease. Springer. p. 1-75, (2007).
- [13] Shen, L., Ji, H.-F. Theoretical study on physicochemical properties of kurkumin, *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 67, 619-623, (2007).
- [14] Spadaccio, C., Chello, M., Trombetta, M., Rainer, A., Toyoda, Y. and Genovese, J.A. Drug releasing

- systems in cardiovascular tissue engineering. *Journal of Cellular and Molecular Medicine*, 13: 422-439, (2009).
- [15] Song, Y., Ge, W., Cai, H., Zhang, H. Curcumin protects mice from coxsackievirus B3-induced myocarditis by inhibiting the phosphatidylinositol 3 kinase/Akt/nuclear factor- κ B pathway. *J Cardiovasc Pharmacol Ther.*, 18 (6): 560-9, (2013).
- [16] Aki, D., Ulag, S., Unal, S., Sengor, M., Ekren, N., Lin, CC., Yılmaz, H., Ustundag, C. B., Kalaskar, D. M., Gunduz, O. 3D printing of PVA/hexagonal boron nitride/bacterial cellulose composite scaffolds for bone tissue engineering. *Materials & Design*, 196, 109094, (2020).
- [17] Ayran, M., Dirican, A. Y., Saatcioglu, E., Ulag, S., Sahin, A., Aksu, B., Croitoru, AM., Fikai, D., Gunduz, O., Fikai, A. 3D-Printed PCL Scaffolds Combined with Juglone for Skin Tissue Engineering. *Bioengineering*, 9(9), 427, (2022).
- [18] Ulag, S., Sahin, A., Guncu, M.M., Aksu, B., Ekren, N., Sengor, M., Kalaskar, DM., Gunduz, O. A novel approach to treat the Thiel-Behnke corneal dystrophy using 3D printed honeycomb-shaped polymethylmethacrylate (PMMA)/Vancomycin (VAN) scaffolds. *Bioprinting*, 24, e00173, (2021).
- [19] Ulag, S., Uysal, E., Bedir, T., Sengor, M., Ekren, N., Ustundag, C. B., Midha, S., Kalaskar, DM., Gunduz, O. Recent developments and characterization techniques in 3D printing of corneal stroma tissue. *Polym Adv Technol.*, 32:3287–3296, (2021).
- [20] Altan, E., Karacelebi, Y., Saatcioglu, E., Ulag, S., Sahin, A., Aksu, B., Croitoru, AM., Codrea, C. I., Fikai, D., Gunduz, O., Fikai, A. Fabrication of Electrospun Juglans regia (Juglone) Loaded Poly(lactic acid) Scaffolds as a Potential Wound Dressing Material. *Polymers*, 14 (10), 1971, 2022.
- [21] Mai, T. T. T., Nguyen, T.T.T., Le, Q. D., Nguyen, T. N., Ba, T. C., Nguyen, H. B., Phan, T. B. H., Tran, D. L., Nguyen, X. P., Park, J. S. A novel nanofiber Cur-loaded polylactic acid constructed by electrospinning. *Adv. Nat. Sci: Nanosci. Nanotechnol.*, 3, 025014, (2012).
- [22] Ranjeth Kumar Reddy, T., Kim, HJ. Mechanical, Optical, Thermal, and Barrier Properties of Poly (Lactic Acid)/Curcumin Composite Films Prepared Using Twin-Screw Extruder. *Food Biophysics*, 14, 22–29, (2019).
- [23] Ilhan, E., Ulag, S., Sahin, A., Yilmaz, B. K., Ekren, N., Kilic, O., Sengor, M., Kalaskar, D. M., Oktar, F. N., Gunduz, O. Fabrication of tissue-engineered tympanic membrane patches using 3D-Printing technology. *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials*, 114 104219, (2021).
- [24] Croitoru, AM., Karaçelebi, Y., Saatcioglu, E., Altan, E., Ulag, S., Aydoğan, H. K., Sahin, A., Motelica, L., Oprea, O., Tihauan, B. M., Popescu, RM., Savu, D., Trusca, R., Fikai, D., Gunduz, O., Fikai, A. Electrically triggered drug delivery from novel electrospun poly (lactic acid)/graphene oxide/quercetin fibrous scaffolds for wound dressing applications. *Pharmaceutics*, 13(7), 957, (2021).
- [25] Chhabra, P., Tyagi, P., Bhatnagar, A., Mittal, G., Kumar, A. Optimization, characterization, and efficacy evaluation of 2% chitosan scaffold for tissue engineering and wound healing. *J Pharm Bioallied Sci.*, 8(4): 300-308, (2016).
- [26] Karuppannan, S. K., Raghavendra, R., SB Mohamed, K., Shazia Anjum, M., Mohammed Junaid Hussain D., Ganesh, MR., Kantha Deivi, A. Copper oxide nanoparticles infused electrospun polycaprolactone/gelatin scaffold as an antibacterial wound dressing. *Materials Letters*, 294: 129787, (2021).
- [27] Somayeh Baghersad, S., Hajir B., Marziyeh Ranjbar, M., Mohammad Reza Mohaddes M., Peiman Brouki, Milan. Development of biodegradable electrospun gelatin/aloe-vera/poly(ϵ -caprolactone) hybrid nanofibrous scaffold for application as skin substitutes. *Materials Science and Engineering: C*, 93, 367-379, (2018).
- [28] Saatcioglu, E., Koyun, M., Ulag, S., Sahin, A., Yilmaz, B.K., Aksu, B., Gunduz, O. 3D printing of Osage orange extract/Chitosan scaffolds for soft tissue engineering. *Food Hydrocolloids for Health*, 1, 100039, (2022).
- [29] Saylam, E., Akkaya, Y., Ilhan, E., Cesur, S., Guler, E., Sahin, A., Cam, M. E., Ekren, M., Oktar, F. N., Gunduz, O., Fikai, D., Fikai, A. Levodopa-Loaded 3D-Printed Poly (Lactic) Acid/Chitosan Neural Tissue Scaffold as a Promising Drug Delivery System for the Treatment of Parkinson's Disease. *Appl. Sci.*, 11(22), 10727, (2021).

Technoeconomic Optimization of a Recuperator Considering Pressure Drops and Operating Costs

Bir Reküperatörün Basınç Düşüşleri ve İşletme Maliyetleri Göz önünde bulundurularak Teknoekonomik Optimizasyonu

Erhan KAYABASI¹ 

¹ Karabuk University, Engineering Faculty, Mechanical Engineering Department, Karabuk, Turkey

Abstract

In this study, heat transfer and cost optimization of a gas-to-gas heat exchanger (recuperator) operating in the targeted temperature range has been made. Firstly, the thermophysical properties of the waste heat source and the volumetric flow rates of the flows were obtained, and the maximum heat that could be recovered was obtained. Afterward, a parametric study was carried out to size the recuperator. The parameters affecting the cost, such as hot flow and cold flow outlet temperatures, were determined by the overall heat transfer coefficient, effectiveness, and pressure drop. Finally, the thermal parameters obtained from the parametric study are used in the technoeconomic analysis. The recuperator geometry with the maximum saving coefficient was determined considering investment and operating costs. As a result, the 108th simulation resulted in maximum savings with 653 252 \$/year using 321.19 m² heat transfer surface area. Efficiency, overall heat transfer coefficient and pressure drops for cold and hot flow were obtained as 0.65, 107.3 W/m²K 0.024 and 0.022 bar, respectively.

Keywords: waste heat recovery, cost optimization, dimension optimization, technoeconomy, recuperator

Öz

Bu çalışmada, hedeflenen sıcaklık aralığında çalışan bir gazdan gazı ısı değiştiricinin (reküperatör) ısı transferi ve maliyet optimizasyonu yapılmıştır. Öncelikle atık ısı kaynağının termofiziksel özellikleri ve akışların hacimsel debileri elde edilerek geri kazanılabilecek maksimum ısı elde edilmiştir. Daha sonra reküperatörü boyutlandırmak için parametrik bir çalışma yapılmıştır. Sıcak akış ve soğuk akış çıkış sıcaklıkları gibi maliyeti etkileyen parametreler, toplam ısı transfer katsayısı, etkinlik ve basınç düşüşü dikkate alınarak belirlendi. Son olarak, parametrik çalışmadan elde edilen termal parametreler teknoekonomik analizde kullanılmıştır. En yüksek tasarruf katsayısına sahip reküperatör geometrisi, yatırım ve işletme maliyetleri dikkate alınarak belirlenmiştir. Sonuç olarak, 108. Simülasyonda elde edilen geometrideki reküperatörün 321.19 m² ısı transfer yüzey alanı ile yılda 653 252 \$ ile maksimum tasarruf sağlayabileceği tespit edilmiştir. Etkenlik, toplam ısı transfer katsayısı ve soğuk ve sıcak akış için basınç düşüşleri sırasıyla 0.65, 107.3 W/m²K 0.024 ve 0.022 bar olarak elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Atık ısı geri kazanımı, aliyet optimizasyonu, boyut optimizasyonu, teknoekonomi, reküperatör

I. INTRODUCTION

The recovery of waste heat from industrial operations is crucial for reducing production costs and emissions in addition to the effective use of energy in industrial processes. In particular, the flue gases between 900 °C - 1600 °C arising from the high-temperature melting processes between 1650 °C-1750 °C in iron and steel production are considered as a secondary energy source [1-3]. Heat exchangers, useful static devices operating without consuming energy, are frequently used in industrial processes to utilize wasted thermal energy [4,5]. Gas-to-gas heat exchangers (recuperators) located between the furnace and stack consists of tube bundles used for heat recovery from flue gas in high temperature to combustion air used in the burning process [6,7]. Since the fluids in recuperators are gas, the total heat transfer coefficient is lower than the liquid heat exchangers, so a relatively higher heat transfer area is required. The increased surface area increases the volume that needs to be allocated inside the factory to install heat exchangers and the investment costs. Therefore, the size optimization of the recuperator should be done precisely to achieve heat recovery with the lowest heat transfer surface area and the lowest cost [8,9]. Many methods and tools have been used for this purpose. For example, Dehaj and Hajabdollahi [10] studied thermoeconomic optimization on fin and tube heat to achieve an optimum construction. They used a multi-objective genetic algorithm to optimize the heat exchanger structure, employing effectiveness and total annual cost in the objective function. They reached a maximum 6.65% increase in effectiveness value. Söylemez [11] studied the cost optimization of heat pipe heat exchangers using ϵ -NTU and P_1 - P_2 methods. He achieved 50 \$/(W/K) savings, optimum effectiveness of 0.8. Manjunath et al. [12] calculated entropy generation and made a

thermoeconomic analysis of printed circuit heat exchangers by different construction materials. As a result, although hastelloy-N showing a higher second law efficiency than stainless steel, it is not cost-effective. Sahin et al. [13] studied numerically using cost and performance analysis on counterflow single-pass heat exchangers. They used heat transfer rate cost as an objective function considering total exergy loss and investment cost. They achieved the maximum objective function value while the heat capacity ratio is 1, NTU is 12, and effectiveness is 0.93. Maghsoudi et al. [14] studied a thermoeconomic investigation to improve the performance of plate-finned recuperators by employing the NSGA-II algorithm and DEA model. Consequently, they achieved 0.81 effectiveness and 0.716 kPa pressure drop with 326 688 \$ cost. Zhenyu and Huier [15] studied the optimization of design parameters using a multi-objective optimization model considering heat transfer performance, heat exchanger weight, and pressure loss. As a result, they discovered that corrugated foil geometries should be avoided for better performance. Hu et al. [16] studied the 1-D dynamic model of an S-CO₂ cycle recuperator considering the physical properties of the flows, temperatures, and pressures using MATLAB. They have discovered the physical properties variations of the flows in recuperator depending on time domain in detail. In order to achieve high heat flux, Chen and Liu [14] researched the design of the recuperator in Hampson cryocoolers based on the low pressure drop theory rather than the low temperature difference [17]. As a result of the study equivalent average temperature was decreased by 30%. As summarized in previous studies, most of the studies are focused on the dimensions, temperature distributions and heat flux etc., with limited variations and without considering the investment and operating costs with the aid of artificial intelligence algorithms. However, there is wide gap in the researches on comprehensive studies performed on numerous options using well developed commercial software and considering the both the investment and operating costs in order to determine the optimum geometric dimensions, effectiveness, pressure drop and heat transfer coefficient that providing maximum saving.

This study focuses on the sizing of a gas-to-gas heat exchanger was studied parametrically using the Simcenter Flomaster software. The optimum heat exchanger dimensions with the lowest saving coefficient were precisely determined. Firstly, the flow rates and temperatures of the recuperator flue gas and fresh air to be heated were selected. Afterward, the recuperator was modeled 1-D parametrically in Simcenter Flomaster software. Simulations were made by giving the initial dimensions. In addition,

dimensionless savings coefficients were obtained for each simulation result using the factory thermal energy production costs and unit cost of heat transfer area. Finally, optimal recuperator dimensions have been determined considering the furnace operating conditions. Thus, the thermal, dimensional and economic optimization of a recuperator has been realized in a versatile way.

II. MATERIALS AND METHODS

This study consists of three main steps: determining the operating conditions under operating conditions, simulating the recuperator dimensions parametrically and economic optimization.

1.1. Operating conditions

In the facility where the recuperator will be operated, the combustion air used in the reheating furnace is heated with the flue gas. The flue gas temperature and flow rate were measured with Testo 350 flue gas analyzer to obtain the thermophysical properties, flue gas mass flow rate. As a result of the flue gas analysis, flue gas contains 6.2% O₂, 7.8% CO₂, 15.9% H₂O and 70.1% N₂. The flue gas and atmospheric air temperature values are 650 °C and 20 °C, respectively.

The flue gas content and volumetric ratios were identified in the Simcenter Flomaster software. The heat transfer coefficient, specific heat, dynamic viscosity, and kinematic viscosity values of the flue gas were calculated depending on the temperature variation. Thus, the simulations were carried out according to changing temperatures to flue gas and combustion air thermophysical properties.

1.2. Recuperator dimensions

Flue gas rejected from the furnace with a mass flow rate of 12.5 kg/s and a temperature of 650°C enters the recuperator as mixed crossflow through the banks of tubes. Unmixed internal flow of combustion air with a mass flow rate of 8.3 kg/s and a temperature of 20 °C enters the recuperator. To avoid H₂O concentration in the flue gas condensing, the outlet temperature of flue gas is anticipated to be greater than 120°C. The flows' outlet pressures were set at 1 bar. The general layout of the entire process that the recuperator installment proposed is given in Figure 1. Cold flow has two passages, and hot flow has one passage across the recuperator, as shown in Figure 2a. The recuperator pipe arrangement has been chosen as an aligned arrangement.

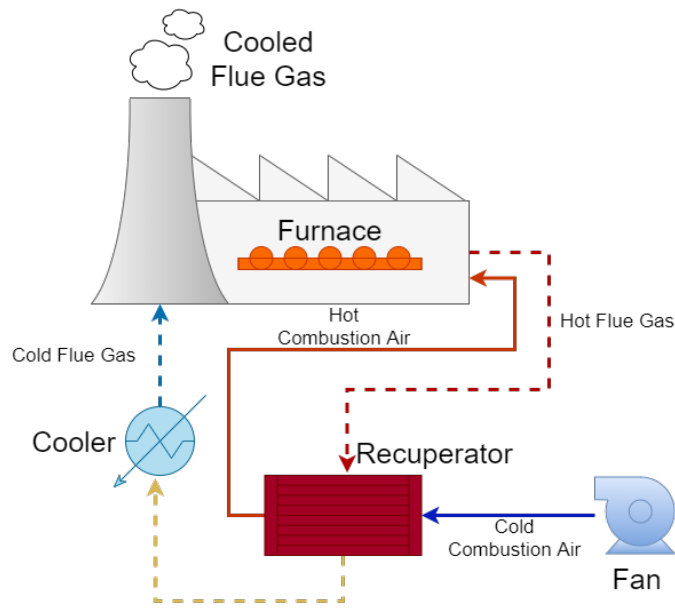


Figure 1. Flow chart of the total system for the proposed recuperator.

One dimensional model of the flow paths in the recuperator was modeled using Simcenter Flomaster software, as given in Figure 2b. Simcenter Flomaster is helpful software that can model one-dimensional thermo-fluid systems. It permits the creation of virtual networks and models the behavior of thermo-fluid systems under various conditions, including steady-state and transient. It is also possible to model existing "real world" systems to predict behavior under varying conditions or design new techniques, to develop a virtual version before committing to building it. Simcenter Flomaster contains the calculations, curves,

and surfaces required to predict the behavior of a range of fluid systems. These calculations are held in Component Analytical Models (CAMs), which form the basis of "components" building blocks of virtual fluid systems. It simulates fluid systems parametrically as networks that comprise connected components, each with its own set of results, such as volumetric flow rate, total heat flow, and pressure. Additionally, different types of simulation (depending upon your license type), such as incompressible, compressible, heat transfer and two phases, are also possible to simulate accurately [18].

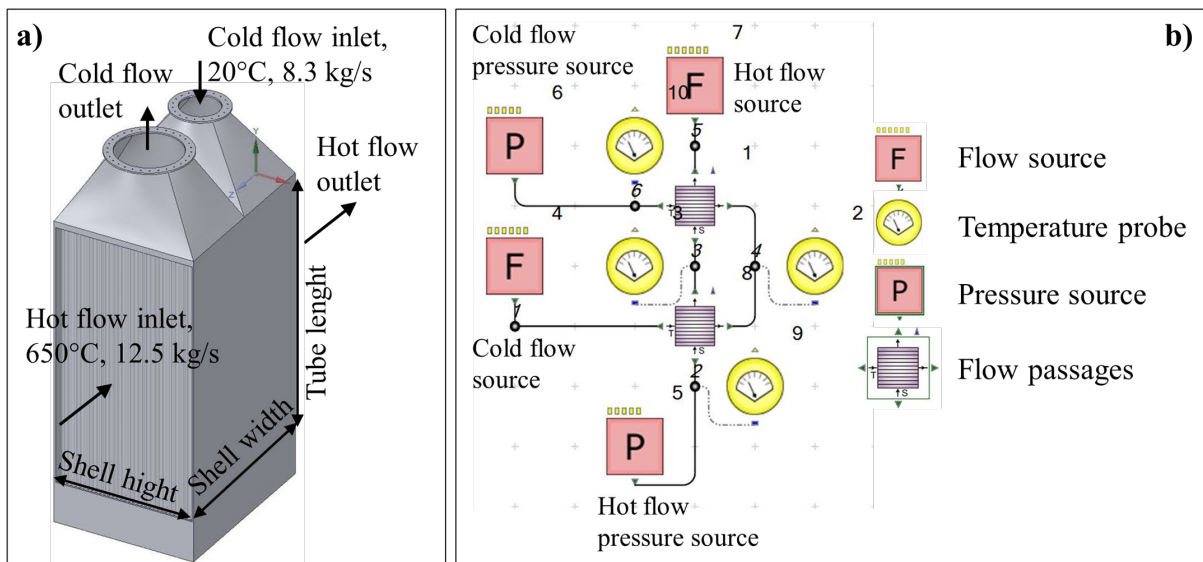


Figure 2. The general arrangement of the recuperator: a) 3D model, b) cell model.

Flow sources permit the definition of mass flow rates and inlet temperatures of the flows. Pressure sources are used for the pressure conditions through the flow. Temperature probes are imaginary measurement

devices to read the temperature values of the nodes between the passages and the sources. In this study, two flow and pressure sources for hot and cold flow, four

temperature probes, two for outlets and two for the nodes between the passages were defined. By the way, temperature variation can be monitored easily at the desired location of the flows, as demonstrated in Figure 1b.

The comprehensive list of parametric dimensions and the relations between the parameters for simulating the recuperator are given in Table 1. The pipe material was selected as steel with 0.08% Carbon content.

Table 1. Parameters and the relations in Simcenter Flomaster simulations.

Property	Value	Relations and constants intervals
Tube Arrangement	Aligned	-
No. of tube rows per pass	[TRP]	20-40
No. of tubes per row	[TR]	20-40
Tube transverse pitch [m]	[PT]	[Do]*1.5
Tube longitudinal pitch [m]	[PL]	[Do]*1.5
Tube material	Steel-Low Carbon 0.008%	Steel-Low Carbon 0.008%
Tube inner diameter [m]	[Di]	0.0127-0.03
Tube outer diameter [m]	[Do]	[Di]+0.0015
Tube length [m]	[TL]	2-3
Shell width [m]	[SW]	([TRP]+1)x[PL]
Shell length [m]	[SL]	2-3
Shell height [m]	[SH]	([TR]+1)x[PT]

According to the options given in Table 1, simulations were carried out for 135 different recuperator sizing in total.

1.3. Thermodynamic analysis

1.3.1. External Flow

In this study the tube arrangement over the banks of tubes were selected aligned arrangement. Diagonal pitch is calculated using the following equation;

$$S_D = \left[S_L^2 + \left(\frac{S_T}{2} \right)^2 \right] \tag{1}$$

For the aforementioned correlation, the Reynolds number $Re_{D,max}$ is based on the highest fluid velocity happening inside the tube bank,

$$Re_{D,max} = \frac{\rho V_{max} D}{\mu} \tag{2}$$

From the mass conservation requirement for an incompressible fluid, V_{max} occurs for the aligned arrangement at the transverse plane A_1 ,

$$V_{max} = \frac{S_T}{S_T - D} V \tag{3}$$

The pressure drop, which may be stated as, is directly related to the power needed to transport the fluid over the bank, which is frequently a significant operational expenditure,

$$\Delta P = N_L \chi \left(\frac{\rho V_{max}}{2} \right) f \tag{4}$$

Note that $\chi = 1$ for both square and equilateral triangle arrangements. Friction factor is obtained from the related diagrams from [reference] according to the Reynolds number.

Nusselt Number for external flow;

$$Nu = C Re^m Pr^{0.36} \left(\frac{Pr}{Pr_s} \right)^{0.25} \tag{5}$$

Here C and m are constants received from the related tables from reff [19] Pr and Prs are the Prandtl number under initial and average temperature values respectively.

The power required considering pressure drop;

$$\dot{W}_{pump} = \frac{\dot{m} \Delta P}{\rho} \tag{6}$$

1.3.2. Internal Flow

Due to the accuracy between $0.5 < Pr < 2000$ and $3 \times 10^3 < Re < 5 \times 10^6$ Gnielinski equation Nusselt number was calculated using the following;

$$\dot{m} = \rho u_m A_c \tag{7}$$

Re_D was calculated with Equation 8.

$$Re_D = \frac{4\dot{m}}{\pi D \mu} \tag{8}$$

The friction factor (f) in internal flow is a function of internal surface condition. It is unimportant on smooth surfaces but increases with the increase of internal surface roughness. Equation 6 was used due to giving best results on smooth surface conditions.

$$f = 0.316 Re_D^{-0.25}, Re_D \leq 2.10^4 \tag{9}$$

Nusselts number in internal flow was calculated with Equation 10.

$$Nu = \frac{\frac{f}{8}(Re-1000)Pr}{1+12.7(\frac{f}{8})^{0.5}(\frac{2}{Pr^3}-1)} \tag{10}$$

Heat convection coefficients for both flows are calculated using the following equation;

$$Nu = \frac{hL}{k} \tag{11}$$

Overall heat transfer coefficient U was calculated for the cylindrical shapes as given in Equation 12.

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{r_1}{k} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{r_1}{r_2} \frac{1}{h_2}} \tag{12}$$

1.4. Thermo-economic analysis

For economic savings to be maximum, the efficiency, the number of transfer units (NTU) and heat transfer surface area must be optimum. Therefore, the total saving S (\$/year) in a facility using thermal energy is given by Eq. 13 [20].

$$S = P - E \tag{13}$$

P (\$/year) is the annual profit gained by the recuperator's establishment as calculated in Eq. 2, and E (\$/year) is the yearly cost of the recuperator as calculated in Eq.'s 14-18.

$$P = (\kappa_h + \kappa_c) T_B \varepsilon C_{min} (T_{h,i} - T_{c,i}) \tag{14}$$

Where κ_h and κ_c are the thermal energy production unit cost and cooling unit cost of flue gas (\$/kWh), T_B is annual operating time, ε is the effectiveness of the heat exchanger, C_{min} is the minimum heat capacity.

$$E = \kappa_a A_{RZ} + (\dot{W}_h - \dot{W}_c) T_B \kappa_e \tag{15}$$

Where κ_a (\$/m²) is the unit cost of heat transfer surface area, κ_e electricity cost (\$/kWh), A_R (m²) is the overall

heat transfer surface area, and z (1/year) is the depreciation coefficient, \dot{W}_h (kW) power requirement for hot flow, \dot{W}_c (kW) power requirement for cold flow. The recuperator investment cost is defined as functions of thermal or size-related parameters to form the investment cost and the maintenance costs, interest rates and life of the plant as in Eq 16 [21]. The life of the recuperator is taken as five years, while the overall plant life is assumed as 30 years. Therefore, the investment cost of the recuperator is multiplied by six for a more precise product cost estimation. The thermal energy production unit cost required for the processes is calculated as 0.023 \$/kWh.

$$\dot{Z} = \frac{CRF \phi}{\tau} PEC_{Rec} \tag{16}$$

Where CRF is the capital recovery factor, ϕ is the maintenance factor. PEC is the purchase equipment cost of the recuperator, τ is the indicates the operating duration in seconds. CRF is defined as a function of interest rate (i) and annual operation period (n) as in Eq. (17)[22]:

$$CRF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \tag{17}$$

Where the annual operation period, the maintenance factor, and the interest rate are taken to be as 8640 h, 1.12 and 15 %, respectively [23], PEC for the recuperator is calculated by Eq. (18) [24,25].

$$PEC_{Rec} = 2681 A_R^{0.59} \tag{18}$$

III. RESULTS AND DISCUSSIONS

In this study, the dimensions of a recuperator are optimized considering the economic gains. First, information such as flue gas mass flow rate, content, and operating conditions temperature were obtained. Then, flue gas temperature and its components have been defined in Simcenter Flomaster software together with component ratios to consider the changing thermophysical properties of the flue gas depending on the temperature. As a result of the simulations, heat exchanger areas, hot flow and cold flow outlet temperatures, total heat recovery, pressure drops for hot and cold flow and heat exchanger effectiveness were obtained for 135 different recuperator options. While . On the contrary, as the simulation number increases, savings values first increase and then decrease. For example, although maximum profit is observed in the 123rd simulation with 861 862 \$/year and minimum expense is observed in 7th simulation with 128 119 \$/year, Fig. 2 indicates 108th simulation that gives the

determining the optimum recuperator dimensions, the cost of the heat exchanger and the decrease in the fuel consumption occurring after heat recovery were considered. Therefore, recuperator sizes that maximize the annual savings were preferred, and results were discussed. As the simulation number increases in a general view of Fig. 2, the cost value increases as the recuperator dimensions increase.

Similarly, as the heat transfer surface area rises depending on the size of the heat exchanger, it increases the heat recovery, and the profit values also increase

maximum saving with 653 372 \$/year. Due to the maximum saving value, the optimum expense for the investment and maintenance of the recuperator and optimum profit after recuperator investment are observed as 189 358 \$/year and 842 730 \$/year, respectively.

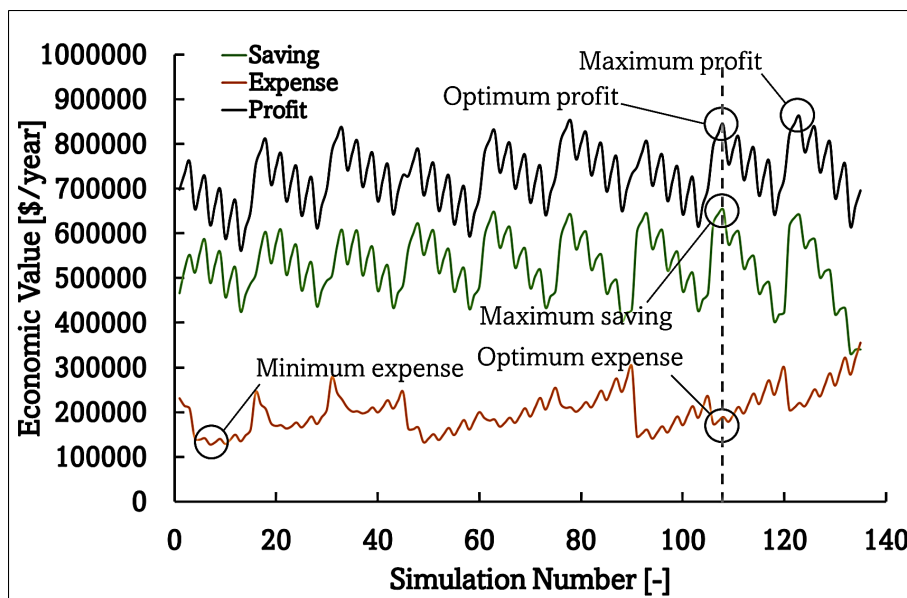


Figure 3. Economic evaluation versus simulation number.

When Fig. 3 is examined, it is seen that the highest cold flow outlet temperature and the lowest hot flow outlet temperature are in the 123rd simulation with 556.5 °C and 307.2 °C, respectively. The heat transfer surface area required to achieve these outlet temperatures is 428.2 m². Similarly, starting from Fig. 2, in the 108th simulation, which gives the highest economic saving value, the cold and hot flow outlet temperatures and heat transfer surface areas are 545.12 °C, 315.12 °C and

321.2 m², respectively. The heat transfer surface area determined in simulation 108 is exactly 25% lower than the 123rd simulation result, which gives the highest cold flow temperature and the lowest hot flow temperature. Whereas the cold flow outlet is 11.38 °C lower and the hot flow temperature is 7.92 °C higher. Therefore, with the minor losses in the outlet temperatures, the heat transfer surface area and investment cost are reduced significantly.

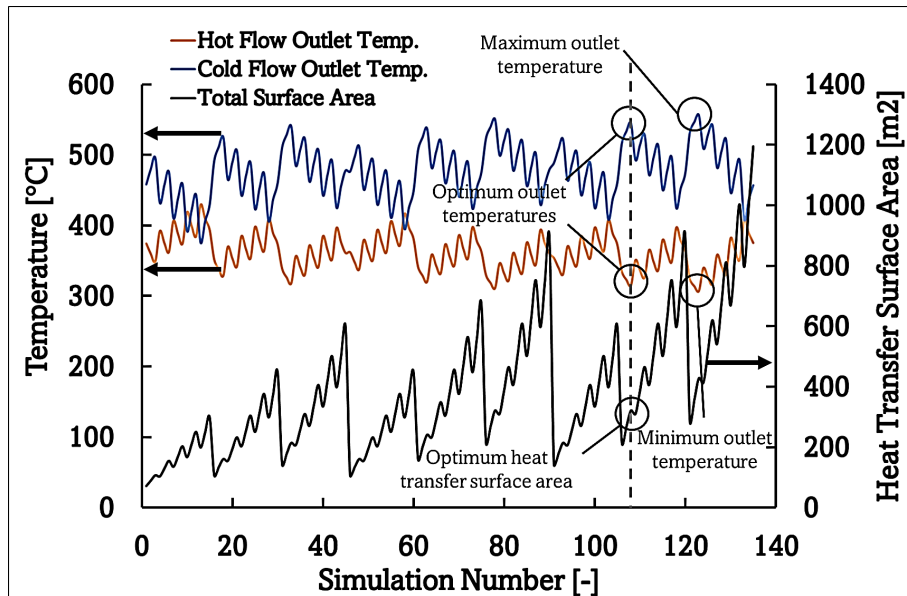


Figure 4. Outlet temperatures of flows and heat transfer surface area versus simulation numbers.

Fig. 4 shows the change in recuperator efficiency and heat recovery values. As a result of the 123rd simulation, where heat recovery and efficiency are the highest, efficiency and heat recovery are observed as 0.67 and 4660.7 kW, respectively. However, for the maximum

saving value, the optimum effectiveness and optimum heat recovery value were obtained as 0.65 and 4557.27 kW, respectively. Thus, 12 134 \$ higher annual saving is possible, with a minor decrease in heat recovery and efficiency.

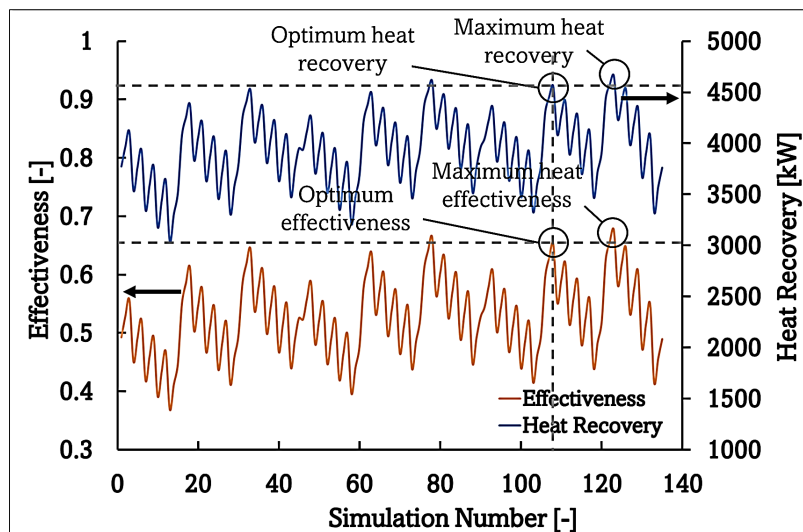


Figure 5. Effectiveness variation versus simulation numbers.

Figure 5 shows the pressure drops in hot and cold flow according to the simulation number. The highest-pressure drop is observed in both flows as 0.202 bar, in the 31st simulation in hot flow and the third simulation in cold flow. Since these pressure drops increase electricity consumption, the recuperator's annual

operating costs increase. In the 108th simulation, the optimum pressure drop for hot and cold flow is observed at 0.0225 bar and 0.0248 bar, respectively. The corresponding required power inputs for overcoming the pressure drops were given in Figure 6.

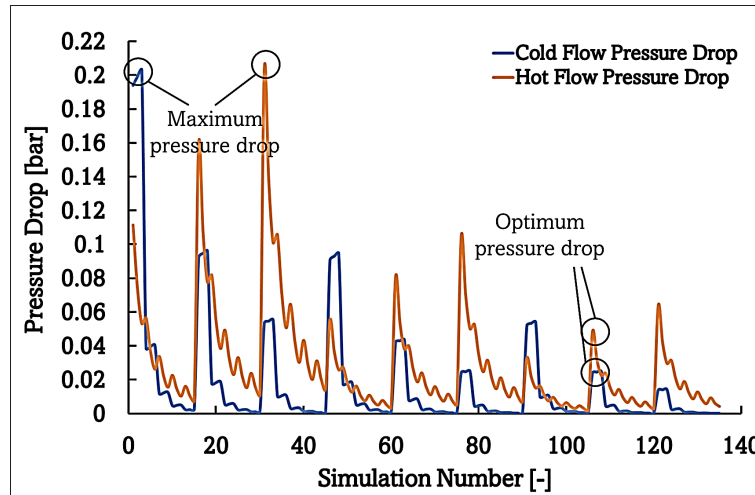


Figure 6. Pressure drop variation for hot side and cold side versus simulation number.

Pressure drops in heat exchangers in applications operating continuously for whole years cause electricity consumption tremendously depending on the volumetric flow rates and the constructions. Here, electricity consumption varies in a wide range between 1814.9 \$/year and 178654.2 \$/year due to pressure drops. For optimum pressure drop values, electricity

consumption for hot and cold flow is observed at 17409.80 \$/year and 10015.08 \$/year. The total electricity consumption for each flow is observed at 27424.89 \$/year. To understand the relation between the pressure drop and geometry of the recuperator, Figure 7 exhibits significant results.

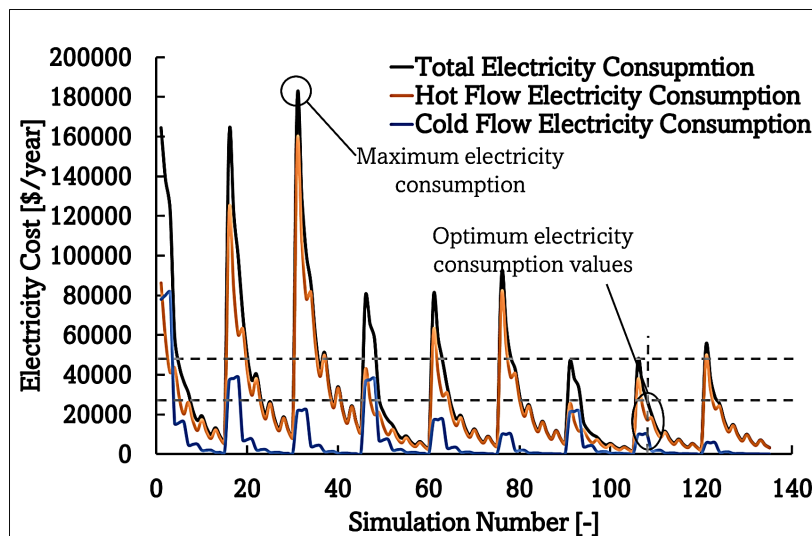


Figure 7. Electricity consumption for the pressure drops.

Figure 7a represents the geometric values of shell height (SH) and shell width (SW). SH and SW values increase depending on the number of tubes per row, number of tubes per row (TP), and tube rows per pass (TRP). Figure 7b demonstrates the repeating geometric values D_o , D_i , PL, and PT through the simulation, such

as the inner and outer diameter of the tubes and transverse and longitudinal pitches. According to the variations in geometric values in Figures 7a and 7b, the overall heat transfer coefficient (OHTC) variation is depicted in Figure 7c. According to the optimum values in simulation 108, OHTC is 107.04 W/m²K.

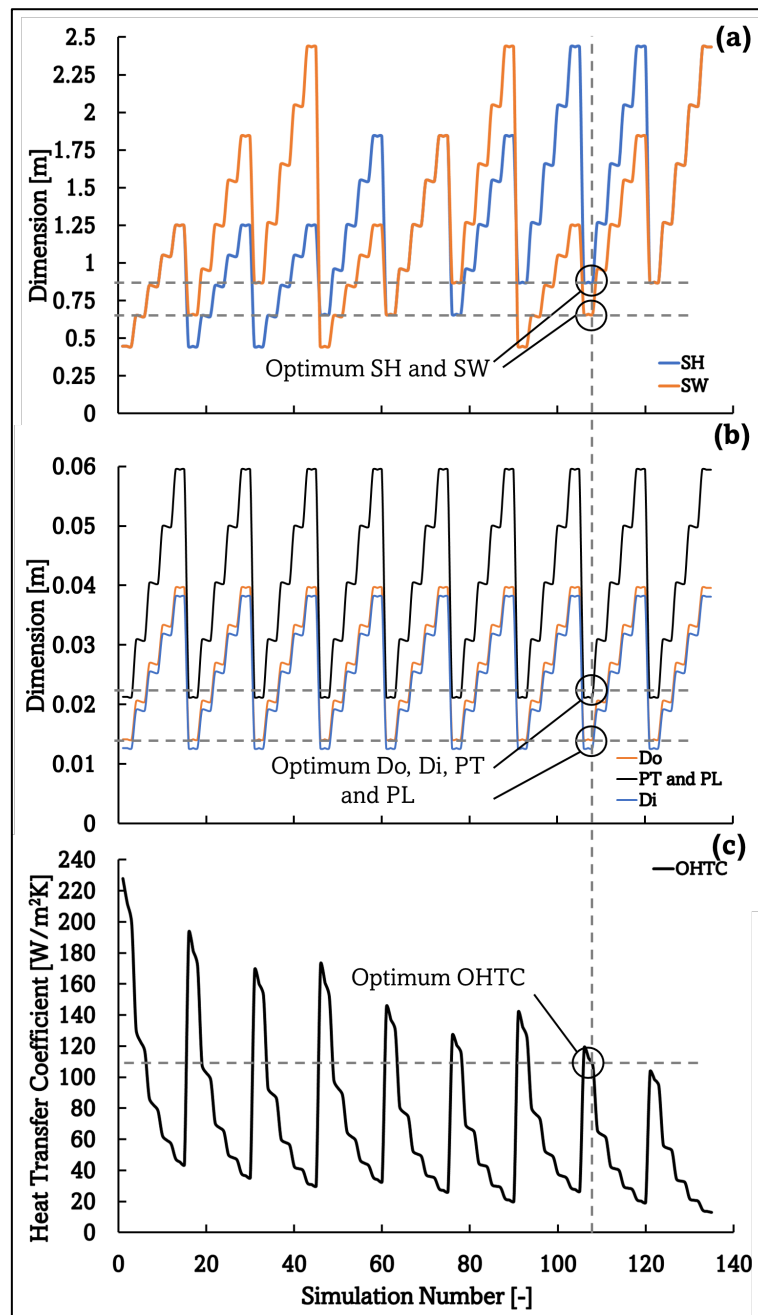


Figure 8. Overall heat transfer coefficient and recuperator dimensions versus simulation number.

The geometric and thermal results summarized in Figure 6 and Figure 7 are listed in Table 2 in detail for maximum saving. According to geometric properties in simulation 108, the Shell length and tube length are 3 m, inlet and outlet diameters of the tubes are 0.0127 m and 0.0142 m, respectively. The effectiveness of the recuperator is determined as 0.652, and outlet temperatures of the flow rates are observed as 315.12 °C and 545.11°C for hot and cold flow,

respectively. In addition, the Temperature distribution is monitored in detail in Figure 8 in the passages. Temperatures between hot and cold flow passages are 521.5 °C and 345.7 °C, respectively. Hence, the temperature increase of cold flow in the first passage is 325.7 °C, and in the second passage, 199.2 °C. In addition, the temperature decrease of hot flow in the first passage is 128.5 °C, and in the second passage, 206.38 °C.

Table 2. Optimum dimensions and properties in simulation 108.

Dimension	Value	Unit
[SL]	3	[m]
[Di]	0.0127	[m]
[Do]	0.0142	[m]
[TL]	3	[m]
[SW]	0.6603	[m]
[PT]	0.0213	[m]
[PL]	0.0213	[m]
[SH]	0.8733	[m]
Property		
OHTC	107.0396	[W/m ² K]
Hot Flow Outlet Temp.	315.1243	[°C]
Cold Flow Outlet Temp.	545.1196	[°C]
Total Surface Area	321.1964	[m ²]
Effectiveness	0.65247	[-]
Total Heat Recovery	4557.27	[kW]
Cold Flow Pressure Drop	0.024848	[bar]
Hot Flow Pressure Drop	0.022489	[bar]

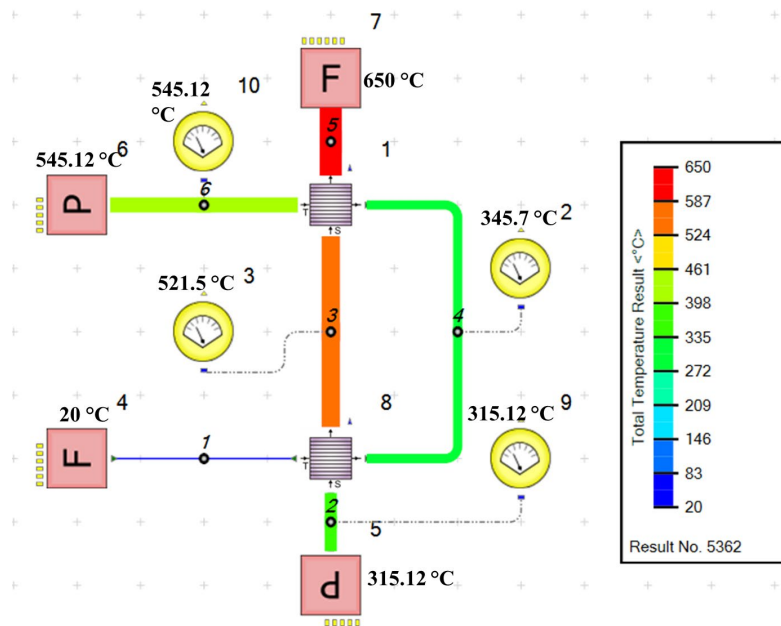


Figure 9. Temperature results for optimum parameters.

Considering the tubular recuperator optimization, the results obtained in this study seem to be compatible with the literature when compared with the results in the comprehensive review studies by [26] and [27].

IV. CONCLUSIONS

The gas-to-gas heat exchanger (recuperator) dimensions intended for an iron and steel plant have been optimized by considering economic parameters. Simulations were made for 135 different sizes in the recuperator by parameterizing the shell length, height, tube length, and longitudinal and transverse distances. For the recuperator's simulation results, the recuperator's investment costs and the energy consumption corresponding to the pressure drops were

calculated, and the optimum geometry that gives maximum savings was determined. As a result, the 108th simulation provided maximum savings with 653 252 \$ / year by using 321.19 m² of heat transfer surface area. As a future plan, the effects of a recuperator's behavior in dynamic operating conditions on furnace and chimney operating conditions and operating costs can be examined.

Nomenclature

Symbols

Ac: Crosssectional area [m²]
 H: heat convection coefficient [W/m²K]
 SD: Diagonal pitch [mm]
 SL: Longitudinal pitch [mm]
 ST: Transverse pitch [mm]
 V: velocity [m/s]
 D: diameter [mm]
 ρ: density [kg/m³]
 μ: dynamic viscosity [kg/ms]
 ΔP: pressure drop [bar]
 N: pipe number [-]
 γ: correction factor [-]
 f: friction factor [-]
 ε: Effectiveness [-]
 ṁ: massflow rate [kg/s]
 um: meal velocity [m/s]
 U: overall heat transfer coefficient [W/m²K]
 k: heat conductivity [W/mK]
 r: radius [mm]
 S: saving [\$ / year]
 P: profit [\$ / year]
 E: expense [\$ / year]
 α: unit cost [\$ / kWh]
 TB: Operating time [hour/year]

τ : operating duration [s]
 Z :cost rate [\$ / s]
 W :work [kW]
 z: depreciation coefficient [-]
 C: heat capacity [kW/K]
 T: temperature [°C]

Subscripts

L: longitudinal
 h: hot
 c: cold
 i: inlet
 o: outlet
 e: electrical
 R: recovery

Abbreviations

Nu: Nusselt number [-]
 PEC: purchase equipment cost [\$]
 Re: Reynolds number [-]
 Pr: Prandtl number [-]
 Rec: Recuperator
 CRF: capital recovery factor

ACKNOWLEDGMENT

We thank Karabuk University for providing its software and hardware infrastructure to realize the current study.

Conflict of Interest

The authors declare that they have no conflict of interest

REFERENCES

- [1] Pashchenko D, Nikitin M. Forging furnace with thermochemical waste-heat recuperation by natural gas reforming: Fuel saving and heat balance. *Int J Hydrogen Energy* 2021;46:100–9. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.09.228>.
- [2] Pashchenko D. How to choose endothermic process for thermochemical waste-heat recuperation? *Int J Hydrogen Energy* 2020;45:18772–81. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.04.279>.
- [3] Wang RQ, Jiang L, Wang YD, Roskilly AP. Energy saving technologies and mass-thermal network optimization for decarbonized iron

- and steel industry: A review. *J Clean Prod* 2020;274:122997.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122997>.
- [4] Kayabasi E, Kurt H. Simulation of heat exchangers and heat exchanger networks with an economic aspect. *Eng Sci Technol an Int J* 2018;21:70–6.
<https://doi.org/10.1016/j.jestch.2018.02.006>.
- [5] Tom B, Kayabasi E. Design and simulation of a microchannel heat exchanger for cooling a micro processor using ethylene. *El-Cezeri J Sci Eng* 2021;8:1243–53.
<https://doi.org/10.31202/ecjse.909855>.
- [6] Seong BG, Hwang SY, Kim KY. High-temperature corrosion of recuperators used in steel mills. *Surf Coatings Technol* 2000;126:256–65.
[https://doi.org/10.1016/S0257-8972\(00\)00523-5](https://doi.org/10.1016/S0257-8972(00)00523-5).
- [7] Dawood TA, Raphael R, Barwari I, Akroot A. Solar Energy and Factors Affecting the Efficiency and Performance of Panels in Erbil / Kurdistan Solar Energy and Factors Affecting the Efficiency and Performance of Panels in Erbil / Kurdistan. *Int J Heat Technol* 2023;41:304–12.
<https://doi.org/10.18280/ijht.410203>.
- [8] Bdaiwi M, Akroot A, Abdul Wahhab HA, Assaf YH, Nawaf MY, Talal W. Enhancement Heat exchanger performance by insert dimple surface ball inside tubes: A review. *Results Eng* 2023;19:101323.
<https://doi.org/10.1016/J.RINENG.2023.101323>.
- [9] Kareem AF, Akroot A, Wahhab HAA, Talal W, Ghazal RM, Alfaris A. Exergo – Economic and Parametric Analysis of Waste Heat Recovery from Taji Gas Turbines Power Plant Using Rankine Cycle and Organic Rankine Cycle. *Sustainability* 2023;15:9376.
- [10] Shafiey Dehaj M, Hajabdollahi H. Fin and tube heat exchanger: Constructal thermoeconomic optimization. *Int J Heat Mass Transf* 2021;173:121257.
<https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2021.121257>.
- [11] Söylemez MS. On the thermoeconomical optimization of heat pipe heat exchanger HPHE for waste heat recovery. *Energy Convers Manag* 2003;44:2509–17.
[https://doi.org/10.1016/S0196-8904\(03\)00007-4](https://doi.org/10.1016/S0196-8904(03)00007-4).
- [12] Manjunath K, Sharma OP, Kaushik SC. Entropy generation and thermoeconomic analysis of printed circuit heat exchanger using different materials for supercritical CO₂ based waste heat recovery. *Mater Today Proc* 2020;21:1525–32.
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.11.077>.
- [13] Sahin B, Ust Y, Teke I, Erdem HH. Performance analysis and optimization of heat exchangers: a new thermoeconomic approach. *Appl Therm Eng* 2010;30:104–9.
<https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2009.07.004>.
- [14] Maghsoudi P, Sadeghi S, Khanjarpanah H, Gorgani HH. A comprehensive thermoeconomic analysis, optimization and ranking of different microturbine plate-fin recuperators designs employing similar and dissimilar fins on hot and cold sides with NSGA-II algorithm and DEA model. *Appl Therm Eng* 2018;130:1090–104.
<https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.11.087>.
- [15] Liu Z, Cheng H. Multi-objective optimization design analysis of primary surface recuperator for microturbines. *Appl Therm Eng* 2008;28:601–10.
<https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2007.04.010>.
- [16] Hu H, Guo C, Cai H, Jiang Y, Liang S, Guo Y. Dynamic characteristics of the recuperator thermal performance in a S–CO₂ Brayton cycle. *Energy* 2021;214:119017.
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.119017>.
- [17] Chen H, Liu Y wen. A new optimization concept of the recuperator based on Hampson-type miniature cryocoolers. *Energy* 2021;224:120091.
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.120091>.
- [18] Siemens. Simcenter Flomaster™ User Guide. 2020.
- [19] Cengel YA. *Heat Transfer: A Practical Approach*. 2nd ed. McGraw-Hill; 2003.
- [20] Kardos J, Strelow O, Walde R. Bewertung und Optimierung des Wärmerückgewinns in Rekuperatorsystemen. *Chem Tech* 1983;35:71–4.
- [21] Yuksel YE, Ozturk M. Thermodynamic and thermoeconomic analyses of a geothermal energy based integrated system for hydrogen production. *Int J Hydrogen Energy* 2017;42:2530–46.
<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.04.172>.
- [22] Tozlu A, Kayabasi E, Ozcan H. Thermoeconomic analysis of a low-temperature waste-energy assisted power and hydrogen plant at off-NG grid region. *Sustain Energy Technol Assessments* 2022;52:102104.
<https://doi.org/10.1016/j.seta.2022.102104>.
- [23] Tozlu A, Abuşoğlu A, Özahi E. Thermoeconomic analysis and optimization of a Re-compression supercritical CO₂ cycle using waste heat of Gaziantep Municipal Solid Waste Power Plant. *Energy* 2018;143:168–80.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.10.120>.
- [24] Zhang Q, Ogren RM, Kong SC. Thermo-

- economic analysis and multi-objective optimization of a novel waste heat recovery system with a transcritical CO₂ cycle for offshore gas turbine application. *Energy Convers Manag* 2018;172:212–27. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.07.019>.
- [25] Ozcan H, Kayabasi E. Thermodynamic and economic analysis of a synthetic fuel production plant via CO₂ hydrogenation using waste heat from an iron-steel facility. *Energy Convers Manag* 2021;236:114074. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2021.114074>.
- [26] Xiao G, Yang T, Liu H, Ni D, Ferrari ML, Li M, et al. Recuperators for micro gas turbines: A review. *Appl Energy* 2017;197:83–99. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.03.095>.
- [27] Reznicek EP, Neises T, Braun RJ. Optimization and techno-economic comparison of regenerators and recuperators in sCO₂ recompression Brayton cycles for concentrating solar power applications. *Sol Energy* 2022;238:327–40. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2022.03.043>.

Phylogenetic Analysis of *Pistacia* Species with *rbcL* Chloroplast Gene Region

Ezgi ÇABUK ŞAHİN ¹ 

¹Department of Biology, Faculty of Science and Arts, Marmara University, 34722, Istanbul, Turkey

Abstract

The phylogeny of five species in the genus *Pistacia* was assessed using the plastid *rbcL* gene region. Total genomic DNA was isolated from plant leaf and polymerase chain reaction (PCR) with primer of *rbcL* gene region and DNA sequencing were performed. Using obtained sequence data, phylogenetic and PCoA (Principle Component Analysis) analyses were performed for reveal the phylogenetic relationships among *Pistacia* species. According to the result of phylogenetic analysis, closer grouping in clades was observed between *P. vera*; *P. khinjuk* and *P. atlantica*; between *P. palaestina* and *P. terebinthus*. Result of PCoA analysis supported the result of phylogenetic analysis. As a result, *rbcL* gene region was found powerful at species-based grouping. Revealed sequence information of chloroplast gene region is reliable to elaborate a molecular database to conduct breeding programs on local pistachio gene pool.

Keywords: *Pistacia*, chloroplast gene, *rbcL*, phylogeny.

Öz

Pistacia cinsindeki beş türün filogenisi, plastid *rbcL* gen bölgesi kullanılarak değerlendirilmiştir. Bitki yaprağından tüm genomik DNA izole edilmiş ve *rbcL* gen bölgesi primeriyle polimeraz zincir reaksiyonu (PZR) ve DNA dizilemesi yapılmıştır. Elde edilen dizi verileri kullanılarak *Pistacia* türleri arasındaki filogenetik ilişkileri ortaya çıkarmak için filogenetik ve PCoA (Principle Component Analysis) analizleri gerçekleştirilmiştir. Filogenetik analiz sonucuna göre, *P. vera*, *P. khinjuk* ve *P. atlantica* arasında; *P. palaestina* ve *P. terebinthus* arasında dallarda daha yakın gruplaşma gözlenmiştir. PCoA sonuçları filogenetik analiz sonucunu desteklemiştir. Sonuç olarak, *rbcL* gen bölgesi tür bazlı gruplandırma güçlü bulunmuştur. Kloroplast gen bölgesi dizi bilgisi, yerel fıstık gen havuzu üzerinde yürütülecek ıslah programları kapsamında hazırlanacak moleküler bir veri tabanı için güvenilirlerdir.

Anahtar Kelimeler: *Pistacia*, kloroplast geni, *rbcL*, filogeni.

I. INTRODUCTION

Pistacia is a genus of aromatic trees of the cashew family that belongs to the Anacardiaceae family, which includes approximately 70 genera and 600 species. It contains pistachio (*Pistacia vera*) and several therapeutic plants. Pistachio's economic value stems from its status as one of the world's most popular nuts. Furthermore, pistachio has significant oil content, accounting for around 50-62 % of its weight. Other species and sub-species that produce smaller nuts and are mostly utilized as rootstocks or in oil, agroforestry, lumber production, and carpentry include; *P. integerrima*, *P. kinjuk*, *P. atlantica*, *P. lentiscus*, *P. cabulica*, *P. chinensis*, *P. terebinthus*, *P. mutica*, *P. falcata*, *P. kurdica*, *P. palaestina* [1].

Regardless of their manner of conservation, cultivars and accessions require accurate identification. Conventional techniques of identification and characterisation might be problematic at times. Current cultivar identification and breeding programs use molecular approaches since morphological markers are time-and environment-consuming. Molecular markers provide significant benefits in breeding and reliable selection under various environmental conditions, and they also speed up the process of breeding by allowing elite varieties to be selected by identifying specific genes/genotypes throughout populations that have crossed [2, 3]. DNA markers are powerful tools for estimating and evaluating genetic diversity, DNA fingerprinting, evolutionary relations within and across cultivars, and better selection performance in plant breeding by marker-assisted selection for complex characteristics [4].

The phylogeny of the genus *Pistacia* has rarely been studied, with most studies relying on morphological analysis. The first molecular characterization study of pistachio (*P. vera*) was done by Hormaza et al. [5]. Researchers determined the relationship between 15 pistachio varieties using the RAPD technique. Using cpDNA sequence

data, Parfitt and Badenes [6] categorized *Pistacia* species at the molecular level and divided the genus into *Lentiscus* and *Terebinthus*. Then, Kafkas and Perl-Treves [7] morphologically and molecularly defined *Pistacia* species in Türkiye, and the researchers revealed the misidentification of *P. khinjuk* Stocks as *P. eurycarpa*, which had already been reported by Yaltirik [8]. In another research, Kafkas and Perl-Treves [9] used RAPD markers to classify nine *Pistacia* species, determining that *P. palaestina* Boiss. is a subspecies of *P. terebinthus* L. and dividing the genus into two sections. At the molecular level, Werner et al. [10] characterized *P. saportae* Burnat. as a hybrid between *P. terebinthus* and *P. lentiscus*. *Pistacia* species were identified in Israel and Greece using AFLP and RAPD markers, respectively, by Katsiotis et al. [11] and Golan-Goldhirsh et al. [12].

Molecular systematics can benefit from the identification of polymorphic loci in chloroplast genomes [13]. The chloroplast genes *matK*, *ndhF*, *atpB*, *atpB-rbcL*, *rbcL*, *rps4-trnS*, *rpl16*, *rps16*, *trnS-G*, *trnL-F*, *trnH-psbA*, etc are now used for phylogenetic studies at several taxonomic levels within organelle-

based markers [14]. These chloroplast genes can be used as potential plant DNA barcoding markers [15]. The key DNA barcodes for reliable determination of plants are *matK* and *rbcL*, according to the Consortium for the Barcode of Life (CBOL) [16]. The *rbcL* gene has the advantages of being easy to amplification, sequencing and alignment in many land plants, and being a useful DNA barcoding region for plants at the family and genus level [17, 18, 19, 20]. The aim of this study is to identify *Pistacia* species using *rbcL* chloroplast gene region and to reveal their relationships.

II. MATERIAL AND METHOD

2.1. Plant material

Five *Pistacia* species of which each species contains two specimens (**Table 1**) from Pistachio Research Institute (Gaziantep, Turkey) were used as plant material. *Anacardium excelsum* (Accession no: JQ590132.1) from Anacardiaceae family was used as an outgroup.

Table 1. *Pistacia* species used in this study.

No	Species
1	<i>Pistacia terebinthus</i> 1
2	<i>Pistacia terebinthus</i> 2
3	<i>Pistacia vera</i> 1
4	<i>Pistacia vera</i> 2
5	<i>Pistacia palaestina</i> 1
6	<i>Pistacia palaestina</i> 2
7	<i>Pistacia khinjuk</i> 1
8	<i>Pistacia khinjuk</i> 2
9	<i>Pistacia atlantica</i> 1
10	<i>Pistacia atlantica</i> 2

2.2. Genomic DNA Isolation and PCR Amplification

The Doyle and Doyle technique [21] which is modified by Kafkas et al. [22] was used to isolate total genomic DNA using *Pistacia* young leaf tissues. The Qubit 2.0 fluorometer was used to determine the

concentration of isolated DNA using the Qubit dsDNA BR Assay Kit.

rbcL gene region of chloroplast genome was amplified using universal primer with accession number and sequence information given in **Table 2**.

Table 2. Accession number, primer sequence and reference of the *rbcL* gene used in the study.

Gene	Accession Number	Sequence (5'-3')	Reference
<i>rbcL</i>	AF275990	F: gTggACTgATggACTTACC R: CgATgAATgTgAAgAAgTAGg	[23]

PCR amplification reactions were performed using 1×PCR buffer, 2.5 mM MgCl₂, 0.025 U Taq DNA polymerase, 0.2 mM dNTPs, 0.4 μM forward and reverse primers, and 4 ng of genomic DNA in final volume of 25 μl reactions. Amplification was performed as follows: 94°C for 3 min, followed by 40 cycles of 94°C for 1 min., 60 °C for 1 min. and 72°C for 1 min, followed by an elongation step for 72°C for 10 min.

2.3. Sequence Analysis

For DNA sequencing of *rbcL* gene region, PCR products were purified with the ChargeSwitch-Pro PCR Clean-up Purification Kit. After the quantitative measurement of PCR products by Qubit 2.0 fluorometer, cycle sequencing reactions were performed with ABI BigDye Terminator v3.1 Cycle Sequencing Kit. The cycle sequenced products were cleaned with Applied Biosystems BigDye XTerminator Purification Kit and purified PCR products were sequenced with ABI 310 Genetic Analyzer. The results were carefully analysed by comparing the electropherograms and the sequence data.

2.4. Data Analysis

The UPGMA (Unweighted pair-group method of arithmetic average) approach was used to do

phylogenetic analysis based on DNA sequence data. Following the bootstrap test (100 replicates), the percentages of replicate trees in which the related taxa grouped together can be seen next to the branches). The Kimura 2-parameter method was used to calculate the evolutionary distances with MEGA11 software. Genetic diversity assessment was carried out by Principal Coordinates Analysis (PCoA). Using MEGA11 software, the specimens were pairwise aligned and pairwise distance was computed based Kimura 2-parameter model. Finally, GenA1Ex 6.4 program was run to evaluate genetic distance.

III. RESULT AND DISCUSSION

rbcL chloroplast gene region was used to discover polymorphisms for five *Pistacia* species. DNA isolation, PCR amplification and sequencing of *rbcL* gene region with three replicates were performed successfully for each ten specimens. PCR products was found about 448-604 bp for all the studied specimens. The sequences of ten *Pistacia* specimens were given in **Table 3**. The genetic relationships among *Pistacia* species were revealed after data analysis with phylogenetic tree and PCoA.

Table 3. DNA sequences of 10 *Pistacia* specimens obtained from the *rbcL* barcode gene region.

> <i>P.khinjuk_1</i> AGGAACTCCCAACTCTCTTGCAAATACAGCCCTTTTTAGCATTCTTCGCATGTACCTGCAGTAG CATTCAAGTAATGACCTTTAATTTACCTGTTTCAGCCTGCGCTTTATAAATTGCTTCCGCACAAA ATAGGAAACGGTCTCTCCAACGCATAAATGGTTGGGAGTTCACGTTCTCATCATCTTTGGTAAAG TCAAGTCCACCACGTAGACATTCATAAACAGCTCTACCGTAGTTCTTAGCGGATAAACCTAATTT AGGTTTAATAGTACATCCCAATAGGGGACGTCCATACTTGTTCAATTTATCTCTCTCAACTTGGA TCCCATGTGGTGGTCCTTGAAAGTTTTGTATACGCGGTAGGGATTCGTAGATCCTCTAGACGT AGAGCGCGCAGGGCTTTGAACCCAAATACATTACCCACAATGGAAGTAAACATGTTAGTAACAG AACCTTCTTCAAAAAGGTCTAAAGGGTAAGCTACATAACATATATATTGACTTTTCTTCTCAGC AACGGGCTCA
> <i>P.khinjuk_2</i> AGGAACTCCCAACTCTCTTGCAAATACAGCCCTTTTTAGCATTCTTCGCATGTACCTGCAGTAG CATTCAAGTAATGACCTTTAATTTACCTGTTTCAGCCTGCGCTTTATAAATTGCTTCCGCACAAA ATAGGAAACGGTCTCTCCAACGCATAAATGGTTGGGAGTTCACGTTCTCATCATCTTTGGTAAAG TCAAGTCCACCACGTAGACATTCATAAACAGCTCTACCGTAGTTCTTAGCGGATAAACCTAATTT AGGTTTAATAGTACATCCCAATAGGGGACGTCCATACTTGTTCAATTTATCTCTCTCAACTTGGA TCCCATGTGGTGGTCCTTGAAAGTTTTGTATACGCGGTAGGGATTCGTAGATCCTCTAGACGT AGAGCGCGCAGGGCTTTGAACCCAAATACATTACCCACAATGGAAGTAAACATGTTAGTAACAG AACCTTCTTCAAAAAGGTCTAAAGGGTAAGCTACATAACATATATATTGACTTTTCTTCTCAGC AACGGGCTCA

<p>><i>P.terebinthus_1</i></p> <p>TCATGCATTACGATAGGAACTCCCAACTCTCTTGCAAATACAGCCCTTTTTAGCATTCTTCGCAT GTACCTGCAGTAGCATTCAAGTATGACCTTTAATTTACCTGTTTCAGCCTGCGCTTTATAAATTG CTTCCGCACAAAATAGGAAACGGTCTCTCCAACGCATAAATGGTTGGGAGTTCACGTTCTCATCA TCTTTGGTAAAGTCAAGTCCACCACGTAGACATTCATAAACAGCTCTACCGTAGTTCATTAGCGGA TAAACCTAATTTAGGTTTAATAGTACATCCCAATAGGGGACGTCCATACTTGTTCAATTTATCTC TCTCAACTTGATCCCATGTGGTGGTCTTGAAAGTTTTTGTATACGCGGTAGGGATTTCGTAGA TCCTCTAGACGTAGAGCGCGCAGGGCTTTGAACCCAAATACATTACCCACAATGGAAGTAAACA TGTTAGTAACAGAACCTTCTTCAAAAAGGTCTAAAGGGTAAGCTACATACACATATATTGATTTT CTTCTCCAGCAACGGGCTCA</p>
<p>><i>P.terebinthus_2</i></p> <p>TCATGCATTACGATAGGAACTCCCAACTCTCTTGCAAATACAGCCCTTTTTAGCATTCTTCGCAT GTACCTGCAGTAGCATTCAAGTATGACCTTTAATTTACCTGTTTCAGCCTGCGCTTTATAAATTG CTTCCGCACAAAATAGGAAACGGTCTCTCCAACGCATAAATGGTTGGGAGTTCACGTTCTCATCA TCTTTGGTAAAGTCAAGTCCACCACGTAGACATTCATAAACAGCTCTACCGTAGTTCATTAGCGGA TAAACCTAATTTAGGTTTAATAGTACATCCCAATAGGGGACGTCCATACTTGTTCAATTTATCTC TCTCAACTTGATCCCATGTGGTGGTCTTGAAAGTTTTTGTATACGCGGTAGGGATTTCGTAGA TCCTCTAGACGTAGAGCGCGCAGGGCTTTGAACCCAAATACATTACCCACAATGGAAGTAAACA TGTTAGTAACAGAACCTTCTTCAAAAAGGTCTAAAGGGTAAGCTACATACACATATATTGATTTT CTTCTCCAGCAACGGGCTCA</p>
<p>><i>P.atlantica_1</i></p> <p>CCTTTAATTTACCTGTTTCAGCCTGCGCTTTATAAATTGCTTCCGCACAAAATAGGAAACGGTC TCTCCAACGCATAAATGGTTGGGAGTTCACGTTCTCATCATCTTTGGTAAAGTCAAGTCCACCAC GTAGACATTCATAAACAGCTCTACCGTAGTTCATTAGCGGATAAACCTAATTTAGGTTTAATAGTA CATCCCAATAGGGGACGTCCATACTTGTTCAATTTATCTCTCTCAACTTGGATCCCATGTGGTGG TCCTTGAAAGTTTTTGTATACGCGGTAGGGATTTCGTAGATCCTCTAGACGTAGAGCGCGCAGG GCTTTGAACCCAAATACATTACCCACAATGGAAGTAAACATGTTAGTAACAGAACCTTCTTCAA AAAGGTCTAAAGGGTAAGCTACATAACATATATATTGATTTTTCTTCTCAGCAACGGGCT</p>
<p>> <i>P.atlantica_2</i></p> <p>CCTTTAATTTACCTGTTTCAGCCTGCGCTTTATAAATTGCTTCCGCACAAAATAGGAAACGGTC TCTCCAACGCATAAATGGTTGGGAGTTCACGTTCTCATCATCTTTGGTAAAGTCAAGTCCACCAC GTAGACATTCATAAACAGCTCTACCGTAGTTCATTAGCGGATAAACCTAATTTAGGTTTAATAGTA CATCCCAATAGGGGACGTCCATACTTGTTCAATTTATCTCTCTCAACTTGGATCCCATGTGGTGG TCCTTGAAAGTTTTTGTATACGCGGTAGGGATTTCGTAGATCCTCTAGACGTAGAGCGCGCAGG GCTTTGAACCCAAATACATTACCCACAATGGAAGTAAACATGTTAGTAACAGAACCTTCTTCAA AAAGGTCTAAAGGGTAAGCTACATAACATATATATTGATTTTTCTTCTCAGCAACGGGCT</p>
<p>><i>P.vera_1</i></p> <p>GCCAGCTAGTATTTGCGGTAAATCCCCCTGTTAAGTAGTCATGCATTACGCTAGGAACTCCCAAC TCTCTTGCAAATACAGCCCTTTTTAGCATTCTTCGCATGTACCTGCAGTAGCATTCAAGTAATGA CCTTTAATTTACCTGTTTCAGCCTGCGCTTTATAAATTGCTTCCGCACAAAATAGGAAACGGTC TCTCCAACGCATAAATGGTTGGGAGTTCACGTTCTCATCATCTTTGGTAAAGTCAAGTCCACCAC GTAGACATTCATAAACAGCTCTACCGTAGTTCATTAGCGGATAAACCTAATTTAGGTTTAATAGTA CATCCCAATAGGGGACGTCCATACTTGTTCAATTTATCTCTCTCAACTTGGATCCCATGTGGTGG TCCTTGAAAGTTTTTGTATACGCGGTAGGGATTTCGTAGATCCTCTAGACGTAGAGCGCGCAGG GCTTTGAACCCAAATACATTACCCACAATGGAAGTAAACATGTTAGTAACAGAACCTTCTTCAA AAAAGGTCTAAAGGGTAAGCTACATAACATATATATTGACTTTTTCTTCTCAGCAACGGGCTCAAT GTTGTAGCATCGTCCTTTGTA</p>
<p>><i>P.vera_2</i></p> <p>GCCAGCTAGTATTTGCGGTAAATCCCCCTGTTAAGTAGTCATGCATTACGCTAGGAACTCCCAAC TCTCTTGCAAATACAGCCCTTTTTAGCATTCTTCGCATGTACCTGCAGTAGCATTCAAGTAATGA CCTTTAATTTACCTGTTTCAGCCTGCGCTTTATAAATTGCTTCCGCACAAAATAGGAAACGGTC TCTCCAACGCATAAATGGTTGGGAGTTCACGTTCTCATCATCTTTGGTAAAGTCAAGTCCACCAC GTAGACATTCATAAACAGCTCTACCGTAGTTCATTAGCGGATAAACCTAATTTAGGTTTAATAGTA CATCCCAATAGGGGACGTCCATACTTGTTCAATTTATCTCTCTCAACTTGGATCCCATGTGGTGG TCCTTGAAAGTTTTTGTATACGCGGTAGGGATTTCGTAGATCCTCTAGACGTAGAGCGCGCAGG GCTTTGAACCCAAATACATTACCCACAATGGAAGTAAACATGTTAGTAACAGAACCTTCTTCAA AAAAGGTCTAAAGGGTAAGCTACATAACATATATATTGACTTTTTCTTCTCAGCAACGGGCTCAAT GTTGTAGCATCGTCCTTTGTA</p>
<p>> <i>P.palaestina_1</i></p>

```

TTCCCATGTACCTGCAGTAGCATTCAAGTATGACCTTTAATTTACACCTGTTTCAGCCTGCGCTTTA
TAAATTGCTTCCGCACAAAATAGGAAACGGTCTCTCCAACGCATAAATGGTTGGGAGTTCACGT
TCTCATCATCTTTGGTAAAGTCAAGTCCACCACGTAGACATTCATAAACAGCTCTACCGTAGTTC
TTAGCGGATAAACCTAATTTAGGTTTAATAGTACATCCCAATAGGGGACGTCCATACTTGTTCAA
TTTATCTCTCTCAACTTGGATCCCATGTGGTGGTCTTTGAAAAGTTTTTGTATACGCGGTAGGGAT
TCGTAGATCCTCTAGACGTAGAGCGCGCAGGGCTTTGAACCCAAATACATTACCCACAATGGAA
GTAAACATGTTAGTAACAGAACCTTCTTCAAAAAGGTCTAAAGGGTAAGCTACATACATATATA
TTGATTTTCTTCTCCAGCAACGGGCTCA

```

>*P.palaestina_2*

```

TTCCCATGTACCTGCAGTAGCATTCAAGTATGACCTTTAATTTACACCTGTTTCAGCCTGCGCTTTA
TAAATTGCTTCCGCACAAAATAGGAAACGGTCTCTCCAACGCATAAATGGTTGGGAGTTCACGT
TCTCATCATCTTTGGTAAAGTCAAGTCCACCACGTAGACATTCATAAACAGCTCTACCGTAGTTC
TTAGCGGATAAACCTAATTTAGGTTTAATAGTACATCCCAATAGGGGACGTCCATACTTGTTCAA
TTTATCTCTCTCAACTTGGATCCCATGTGGTGGTCTTTGAAAAGTTTTTGTATACGCGGTAGGGAT
TCGTAGATCCTCTAGACGTAGAGCGCGCAGGGCTTTGAACCCAAATACATTACCCACAATGGAA
GTAAACATGTTAGTAACAGAACCTTCTTCAAAAAGGTCTAAAGGGTAAGCTACATACATATATA
TTGATTTTCTTCTCCAGCAACGGGCTCA

```

UPGMA algorithm was used to analyse *rbcL* region sequences, which included 10 in-groups and 1 outgroup taxa. With a difference in bootstrapping value, the UPGMA tree topology revealed that the species are closely connected to each other. In UPGMA tree, it was observed that the *Anacardium excelsum* used as an outgroup was the first to be separated. The ingroup consists of two main clades. The first main clade is

divided into two subclades, the first subclade included two species namely *P. vera* and *P. khinjuk*; the second subclade included *P. atlantica*. The second main clade is also divided into two subclades, consisting of the first subclade *P. terebinthus*; the second subclade *P. palaestina* (**Figure 1**). According to the UPGMA tree, *P. khinjuk*, *P. vera* and *P. atlantica*; *P. palaestina* and *P. terebinthus* were closely related to each other.

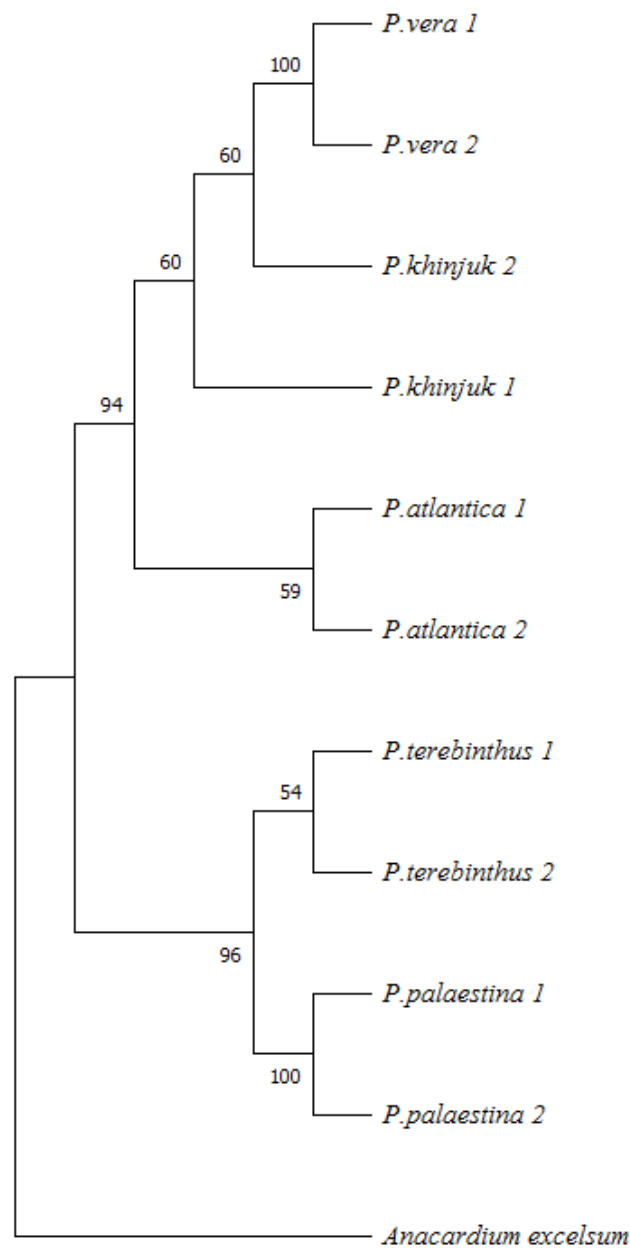


Figure 1. Phylogenetic tree of 10 *Pistacia* species with *rbcL* gene region based on UPGMA method (*Anacardium excelsum* an outgroup).

The PCoA plot derived from the the *rbcL* chloroplast gene region data showing the distribution of the *Pistacia* species belonging to their distance from themselves at the spatial level was given in **Figure 2**. PCoA results showed that percentage of variation explained by the first 3 axes as 96.98, 2.62 and 0.22%, respectively. When PCoA results were evaluated, the

10 specimens were divided into two clusters in the PCoA analysis. The cluster I consisted of *P. palaestina* and *P. terebinthus* species. The cluster II consisted of *P. vera*, *P. khinjuk* and *P. atlantica*. The phylogenetic tree and PCoA data show that, while intraspecific relationships were validated, interspecies genetic distances were also revealed.

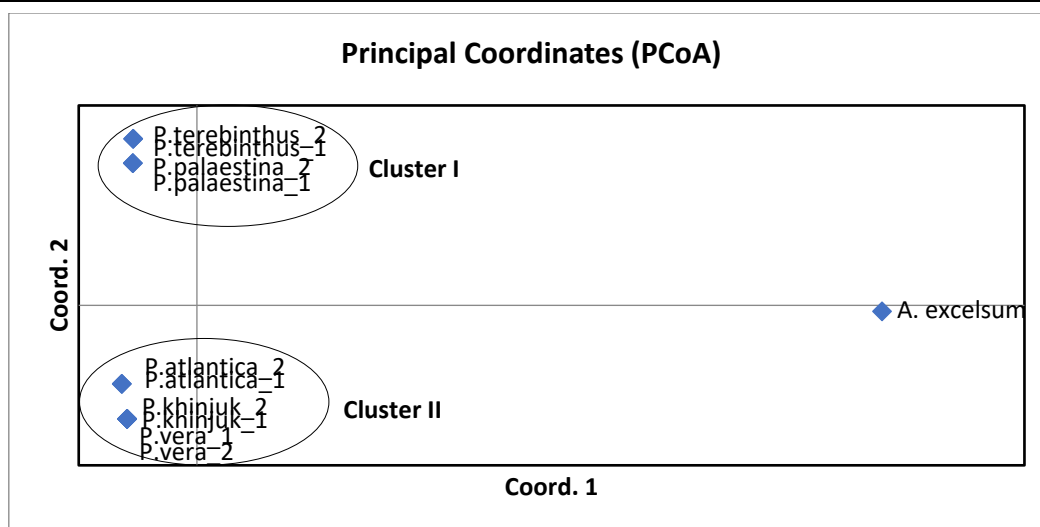


Figure 2. PCoA results of 10 *Pistacia* specimens with GenAlEx 6.4 program (*Anacardium excelsum* an outgroup).

Arabnezhad et al. [24] created two DNA libraries by enriching the dinucleotide (AG) with trinucleotide (ATG) from the *P. khinjuk* genome in order to evaluate the genetic relationships of wild and cultivated *Pistacia* species grown in Iran. A total of 27 SSR primer pairs were designed from the repetitive regions. Then, interspecies phylogenetic analysis was performed with these primers. According to the results obtained, *P. khinjuk* was found to be the closest species to *P. vera*. Talebi et al. [25] used the SRAP marker technique to characterize 36 pistachio genotypes and varieties originating from Türkiye, Iran, Syria and the USA. 30 SRAP primer pairs were tested. 11 primer pairs produced a total of 202 bands, of which 168 (83%) were found to be polymorphic. The closest species to *P. vera* were determined as *P. atlantica* and *P. khinjuk*, respectively. Yi et al. [26] used the nuclear ribosomal *ITS*, the nuclear nitrate reductase gene's third intron (*NIA-i3*), the plastid *ndhF*, *trnL-F*, and *trnC-trnD* sequences to analyse the phylogeny of *Pistacia*. They also reported that *P. terebinthus* and *P. palaestina*, as well as *P. khinjuk*, *P. atlantica* and *P. vera* share a close genetic relationship. Talebi et al. [27] conducted molecular characterization studies on 17 cultivated and wild pistachio genotypes using 4 different gene regions of cpDNA (*atpB-rbcL*, *trnCpetN*, *psbM-trnD* and *petN-psbM*) in their research. According to the results of their phylogenetic analysis with the UPGMA method, cultivated pistachio species and *P. vera* var. *sarakhs* have a common ancestor and *P. vera* was collected in a separate group. Also they showed that *P. palaestina* and *P. terebinthus* species were grouped together and reported that genomic chloroplast could accurately determine pistachio interspecies relations.

The results of this study's phylogenetic tree and PCoA analysis supported each other and were consistent with the molecular literatures researching into the

relationships between various pistachio species. In sight of all of this data, the relationship between *P. khinjuk*, *P. vera*, and *P. atlantica*; between *P. terebinthus* and *P. palaestina* were shown in this study using *rbcl* chloroplast gene region sequence data. As a result of this study, it can be said that the *rbcl* chloroplast gene region is successful in describing the *Pistacia* species and showing the relationship of the species with each other.

IV. CONCLUSION

In this study, 5 *Pistacia* species (*P. vera*, *P. terebinthus*, *P. khinjuk*, *P. palaestina*, *P. atlantica*) were classified *rbcL* chloroplast gene region. The findings suggest that the species share a similar genetic sequence and, as a result, may have a tendency to follow the same evolutionary route. As a result of this research, it appears that the *rbcL* gene might be a useful marker for distinguishing *Pistacia* species and determining their evolutionary relationships. The identification and classification of *Pistacia* species are critical for the establishment of a systematic database. Also, molecular data and phylogenetic relationships seem to be very useful in facilitating classical breeding methods. Information provided on the cultivar relationships profile is significant since it may be utilized as a source of knowledge for effective hybridisation and the development of new cultivars in the future. The investigation of genetic diversity and relationships among the *Pistacia* species used in this study is required to highlight the priority for plant genetic resource conservation programs. Future studies can contribute to the studies of *Pistacia* species by obtaining more comprehensive findings with more and different combinations of barcode gene regions and more samples.

ACKNOWLEDGEMENT

I thank Prof. Ahu Altinkut Uncuoğlu (Department of Bioengineering, Marmara University) and Prof. Yıldız Aydın (Department of Biology, Marmara University) for contributions to this study.

REFERENCES

- [1] Catalan, L., Alvarez-Ortí, M., Pardo-Giménez, A., Gomez, R., Rabadan, A., and Pardo, J.E. (2017). Pistachio oil: A review on its chemical composition, extraction systems, and uses. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 119(5), 1600126.
- [2] Dar, A.A., Mudigunda, S., Mittal, P.K., and Arumugam, N. (2017). Comparative assessment of genetic diversity in *Sesamum indicum* L. using RAPD and SSR markers. *3 Biotech*, 7, 1-12.
- [3] Sharma, S., Pradhan, S., Khajuria, P., and Dar, A.A. (2017). Genetic diversity studies in cucumber (*Cucumis sativus* L.) using RAPD markers. *Vegetable Science*, 44(1), 34-37.
- [4] Altıntaş, S., Toklu, F., Kafkas, S., Kilian, B., Brandolini, A., and Özkan, H. (2008). Estimating genetic diversity in durum and bread wheat cultivars from Turkey using AFLP and SAMPL markers. *Plant breeding*, 127(1), 9-14.
- [5] Hormaza, J.I., Dollo, L., and Polito, V.S. (1994). Determination of relatedness and geographical movements of *Pistacia vera* (Pistachio; Anacardiaceae) germplasm by RAPD analysis. *Economic Botany*, 349-358.
- [6] Parfitt, D.E., and Badenes, M.L. (1997). Phylogeny of the genus *Pistacia* as determined from analysis of the chloroplast genome. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 94(15), 7987-7992.
- [7] Kafkas, S., and Perl-Treves, R. (2001). Morphological and molecular phylogeny of *Pistacia* species in Turkey. *Theoretical and Applied Genetics*, 102, 908-915.
- [8] Yaltirik, F. (1967). Anacardiaceae. In: Flora of Turkey, P.H., Davis (ed.), Volume 2, Edinburgh University Press, Edinburgh, UK, p. 544-548. [9] Kafkas, S., and Perl-Treves, R. (2002). Interspecific relationships in *Pistacia* based on RAPD fingerprinting. *HortScience*, 37(1), 168-171.
- [10] Werner, O., Sánchez-Gómez, P., Guerra, J., and Martínez, J.F. (2001). Identification of *Pistacia* × *saportae* Burnat (Anacardiaceae) by RAPD analysis and morphological characters. *Scientia horticultrae*, 91(1-2), 179-186.
- [11] Katsiotis, A., Hagidimitriou, M., Drossou, A., Pontikis, C., and Loukas, M. (2003). Genetic relationships among species and cultivars of *Pistacia* using RAPDs and AFLPs. *Euphytica*, 132, 279-286.
- [12] Golan-Goldhirsh, A., Barazani, O., Wang, Z.S., Khadka, D.K., Saunders, J.A., Kostiukovsky, V., and Rowland, L.J. (2004). Genetic relationships among Mediterranean *Pistacia* species evaluated by RAPD and AFLP markers. *Plant Systematics and Evolution*, 246, 9-18.
- [13] Daniell, H., Lin, C. S., Yu, M., and Chang, W.J. (2016). Chloroplast genomes: diversity, evolution, and applications in genetic engineering. *Genome biology*, 17, 1-29.
- [14] Xing, G., Yu-Ping, Z., Bao-Cheng, W., Ya-Mei, Z., Jian-Qun, C., and Yue-Yu, H. (2008). Phylogeny of Dioscorea sect. Stenophora based on chloroplast *matK*, *rbcL* and *trnL-F* sequences. *Journal of Systematics and Evolution*, 46(3), 315.
- [15] Kress, W.J., Wurdack, K.J., Zimmer, E.A., Weigt, L.A., and Janzen, D.H. (2005). Use of DNA barcodes to identify flowering plants. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102(23), 8369-8374.
- [16] Li, F.W., Kuo, L.Y., Rothfels, C.J., Ebihara, A., Chiou, W.L., Windham, M.D., and Pryer, K.M. (2011). *rbcL* and *matK* earn two thumbs up as the core DNA barcode for ferns. *PLoS One*, 6(10), e26597.
- [17] Lahaye, R., Van der Bank, M., Bogarin, D., Warner, J., Pupulin, F., Gigot, G., Maurin, O., Duthoit, S., Barraclough, T.G., and Savolainen, V. (2008). DNA barcoding the floras of biodiversity hotspots. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(8), 2923-2928.
- [18] Fazekas, A.J., Burgess, K.S., Kesanakurti, P.R., Graham, S.W., Newmaster, S.G., Husband, B.C., Percy, D.M., Hajibabaei, M., and Barrett, S.C. (2008). Multiple multilocus DNA barcodes from the plastid genome discriminate plant species equally well. *PLoS One*, 3(7), e2802.
- [19] Hollingsworth, M.L., Andra Clark, A., Forrest, L.L., Richardson, J., Pennington, R.T., Long, D.G., Cowan, R., Chase, M.W., Gaudeul, M., and Hollingsworth, P.M. (2009). Selecting barcoding loci for plants: evaluation of seven candidate loci with species-level sampling in three divergent groups of land plants. *Molecular Ecology resources*, 9(2), 439-457.
- [20] Chen, S., Yao, H., Han, J., Liu, C., Song, J., Shi, L., Zhu, Y., Ma, X., Gao, T., Pang, X., Luo, K., Li, Y., Li, X., Jia, X., Lin, Y., and Leon, C. (2010). Validation of the *ITS2* region as a novel DNA barcode for identifying medicinal plant species. *PLoS One*, 5(1), e8613.
- [21] Doyle, J.J., and Doyle, J.L. (1987). A rapid DNA isolation procedure from small quantities of fresh leaf tissues. *Phytochem. Bulletin*. 19 (1): 11-15.

- [22] Kafkas, S.K., Cetiner, G.D., Perl-Treves, R., and Nissim-Levi, A.N. (2001). Development of sex-associated RAPD markers in wild *Pistacia* species. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 76(2), 242-246.
- [23] Patterson, T.B., and Givnish, T.J. (2002). Phylogeny, concerted convergence, and phylogenetic niche conservatism in the core Liliales: insights from *rbcL* and *ndhF* sequence data. *Evolution*, 56(2), 233-252.
- [24] Arabnezhad, H., Bahar, M., and Pour, A.T. (2011). Evaluation of genetic relationships among Iranian pistachios using microsatellite markers developed from *Pistacia khinjuk* Stocks. *Scientia horticultrae*, 128(3), 249-254.
- [25] Talebi, M., Kazemi, M., and Sayed-Tabatabaei, B.E. (2012). Molecular diversity and phylogenetic relationships of *Pistacia vera*, *Pistacia atlantica* subsp. *mutica* and *Pistacia khinjuk* using SRAP markers. *Biochemical Systematics and Ecology*, 44, 179-185.
- [26] Yi, T., Wen, J., Golan-Goldhirsh, A., and Parfitt, D.E. (2008). Phylogenetics and reticulate evolution in *Pistacia* (Anacardiaceae). *American Journal of Botany*, 95(2), 241-251.
- [27] Talebi, M., Akbari, M., Zamani, M., and Sayed-Tabatabaei, B.E. (2016). Molecular polymorphism in *Pistacia vera* L. using non-coding regions of chloroplast DNA. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, 14(1), 31-37.

Süreç Hatalarının Analizinde Taksonomi Yöntemini Temel Alan Yeni Bütünleşik Tereddütlü Bulanık Yöntem Önerisi

A Novel Integrated Hesitant Fuzzy Method for Process Failure Analysis Based on Taxonomy Method

Cansu SAKARYA¹ , Kumru Didem ATALAY¹ , Esra DİNLER¹ 

¹Başkent Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

Öz

Siparişe özel üretim sistemlerinde üretim aşamasına geçmeden önce mühendislik ve tasarım faaliyetlerinin gerçekleştirildiği sipariş işleme süreci firmaların kilit görevi gören süreçlerinin başında gelmektedir. Bu sürecin verimliliği sonraki aşamalar için oldukça önemlidir. Bu çalışmada, otomotiv sektöründe yer alan bir firmada mühendislik ve tasarım faaliyetlerinin gerçekleştirildiği sipariş işleme sürecinde ortaya çıkan hataların azaltılmasına yönelik Yeni Bütünleşik Tereddütlü Bulanık Entropi Tabanlı Geliştirilmiş Taksonomi Yöntemi önerilmiştir. Çalışmanın amacı, sipariş işleme sürecindeki mühendislik ve tasarım çalışmalarının tekrar edilmesine sebep olan hataların kaynaklandığı bölümleri önem düzeylerine göre sıralamaktır. Önerilen yöntemde, kriterlerin farklı karar vericiler tarafından değerlendirilmesi ve karar vericilerin kendi görüşlerinde net olmaması gibi nedenlerle tereddütlü bulanık sayılar kullanılmıştır. Kriterlerin önem ağırlıklarını bulmak amacıyla Tereddütlü Bulanık Entropi Yöntemi kullanılmıştır. Hataların kaynaklandığı bölümlerin önem düzeylerine göre sıralanmasında birbirinden bağımsız kriterlerin bulunduğu durumlarda kullanılan taksonomi yöntemi geliştirilmiş şekliyle uygulanmıştır. Önerilen yeni bütünleşik yöntem ile elde edilen sonuçlar farklı yöntemler ile karşılaştırılmış ve sıralamalar arasında istatistiksel bir fark olup olmadığını gözlemlemek amacıyla Spearman Rank Korelasyon uygulanmıştır. Çalışmanın ilgili literatüre iki önemli katkısı bulunmaktadır. Birincisi, belirsizlik içeren bir yapıda bulunan veride düzensiz bilginin ortadan kaldırması, ikincisi ise süreç verimliliğinin artırılmasına yönelik yeni bir yöntem geliştirilmiş olmasıdır.

Anahtar Kelimeler: Tereddütlü bulanık entropi, Geliştirilmiş taksonomi yöntemi, Süreç hata analizi, Siparişe özel üretim sistemleri, Çok kriterli karar verme

Abstract

In make-to-order systems, order processing, in which engineering and design activities are carried out before the production phase, is one of the leading key processes of the companies. The efficiency of this process is very important for the next stages. In this study, a New Integrated Hesitant Fuzzy Entropy Based Improved Taxonomy Method is proposed to reduce the failures occurring in order processing in which engineering and design activities are carried out of a company operating in the automotive industry. The aim of the study is to rank the departments causing failures that lead to the repetition of engineering and design activities in order to process according to their importance levels. In the proposed method, hesitant fuzzy numbers are used because of reasons such as the criteria have been evaluated by different decision makers. Hesitant Fuzzy Entropy Method is used to find the importance weights of the criteria. In ranking the departments leading to failures according to their importance levels, the taxonomy method, used in cases where there are independent criteria from each other is applied in its developed form. The results obtained with the proposed new integrated method are compared with different methods and the Spearman Rank Correlation is applied to observe whether there is a statistical difference between the rankings. The study has two important contributions to the related literature. The first one is the elimination of disordered information in uncertain structured data and the second one is the development of a new method to increase process efficiency.

Keywords: Hesitant fuzzy entropy, Improved taxonomy method, Process failure analysis, Make-to-order systems, Multi-criteria decision making

I. GİRİŞ

Otomotiv endüstrisi, teknolojik ve yönetsel yeniliklerin yanı sıra büyüme ve istihdamın dünya çapındaki en önemli itici güçlerinden biridir. Giderek daha karmaşık ve rekabetçi hale gelen küresel pazar nedeniyle, otomotiv firmaları kârlı kalabilmek için operasyonlarını iyileştirmenin yeni yollarını aramaktadırlar. Otomotiv endüstrisinin özelliklerinden biri, aynı anda geliştirilen birkaç yeni ürünün yönetimi ile ilgilidir. Otomotiv firmaları genellikle birkaç ürün hattına sahiptir ve mevcut ürünleri değiştirmek veya tamamen yeni ürün hatları eklemek için sürekli

olarak yeni ürünler geliştirir. Teknolojinin gelişmesi genel anlamda zihinlerde makine ve ekipmanların gelişmesi olarak düşünülmektedir. Ancak son dönemlerde teknolojik gelişmelerden en çok etkilenen alanlardan bir tanesi de Araştırma Geliştirme (Ar-Ge). Ar-Ge alanında faaliyet gösteren işletmeler incelendiğinde bu alandaki kaynakların ağırlıklı olarak işgücü ve zaman parametrelerinden oluştuğu gözlemlenmektedir. Dolayısıyla bu alanda gerçekleştirilen her birim işgücü ve zaman tasarrufu işletmenin giderlerini direkt olarak azaltır, verimlilik ve kâr artışını sağlamaktadır. Bu alandaki kaynakların verimini arttırmanın en iyi yolu ise yapılan hataları azaltarak, tekrar eden işleri ve bundan dolayı ortaya çıkan iş gücü ve zaman kaybını önlemektir.

Bu çalışmada, tasarım ve mühendislik alanında yoğun çalışmalar yürüten, otomotiv sektöründe yer alan çok uluslu bir firmada mühendislik ve tasarım faaliyetlerinin gerçekleştirildiği sipariş işleme sürecinde ortaya çıkan hataların azaltılmasına yönelik bütünleşik bir yöntem önerilmiş ve uygulaması gerçekleştirilmiştir. Önerilen Bütünleşik Tereddütlü Bulanık Entropi Tabanlı Geliştirilmiş Taksonomi Yöntemi ile hataların azaltılması veya erken tespit edilmesine yönelik bir çalışma gerçekleştirilmiştir.

Çalışmanın gerçekleştirildiği firma birçok farklı araç tipi üretmekte ve her bir araç tipinde siparişe özel müşteri isteklerine göre modifikasyonlar yapmaktadır. Bundan dolayı her sipariş için üretim aşamasından önce siparişe özel kapsamlı mühendislik ve tasarım faaliyetlerinin gerçekleştirildiği sipariş işleme sürecinden geçmektedir. Bu süreç boyunca gerçekleştirilen mühendislik ve tasarım çalışmalarının tekrar edilmesine yol açan her bir hata maliyetlerin artması ile sürecin kritik noktalarında tespit edilmesi durumunda projenin zaman planını riske atmaktadır. Bu hataların azaltılması ve erken tespitinin sağlanması direkt olarak firmanın mühendislik çalışma maliyetini azaltarak verimlilik artışını sağlayacağından ve projelerin risk düzeyini azaltacağından sipariş işleme sürecinde gerçekleştirilecek hata analizi çalışmasının sonucunun firmaya büyük ölçüde fayda sağlayacağı açıkça görülmektedir.

Çalışmanın amacı sipariş işleme süreci boyunca mühendislik ve tasarım çalışmalarının tekrar edilmesine sebep olan hataların kaynaklandığı bölümleri önem düzeylerine göre sıralamak olduğu için, bu önem düzeylerini belirlemede önem teşkil eden kriterler karar vericiler tarafından belirlenmiştir. Seçilen kriterlerin farklı karar vericiler tarafından değerlendirilmesi sonucunda derecelendirmelerin farklı olması ve bunun yanı sıra kendi görüşlerinin net olmaması nedeni ile değerlendirmede tereddütlü bulanık sayılar kullanılmıştır. Seçilen her kriterin farklı bir önceliği olduğu için uygun önem ağırlığını bulmak amacıyla objektif bir değerlendirme yöntemi olan ve bilgi teorisinde tesadüfî bir değişkenle ilişkili belirsizliğin ölçüsü olarak tanımlanan entropi

kavramını baz alan Tereddütlü Bulanık Entropi Yöntemi kullanılmıştır [1]. Seçilen kriterlerin ağırlıklandırması gerçekleştirildikten sonra hataların kaynaklandığı bölümlerin önem düzeylerine göre sıralanması amacıyla birbirinden bağımsız kriterlerin bulunduğu durumlarda kullanılan taksonomi yöntemi geliştirilmiş şekliyle uygulanmıştır [2].

Bu çalışmada önerilen bütünleşik yöntem, bilgi içeriği veya belirsizlik miktarını ölçebilen ve bilgiye dayalı bir yaklaşım olan Tereddütlü Bulanık Entropi Yönetimi kriter ağırlıklarını belirlemek amacı ile tercih edilmiştir. Ayrıca hataların sıralandırılması için kullanılan Taksonomi Yöntemi tutarlı ve bilinçli kararlar almayı sağladığı için avantajlıdır.

İkinci bölümde verilen literatür araştırmasının ardından üçüncü bölümde önerilen Yeni Bütünleşik Tereddütlü Bulanık Entropi Tabanlı Geliştirilmiş Taksonomi Yöntemi adımlarıyla detaylı olarak açıklandıktan sonra dördüncü bölümde önerilen yeni yöntemin ilgili firmadaki sipariş işleme sürecindeki hata analizinde uygulamasına yer verilmiştir. Çalışma, beşinci bölümde sonuçların karşılaştırılması ve ardından altıncı bölümde sonuçlar verilerek tamamlanacaktır.

II. LİTERATÜR TARAMASI

Üretim aşamasından önce siparişe özel kapsamlı mühendislik ve tasarım faaliyetlerinin gerçekleştirildiği sipariş işleme süreci firmaların kilit görevi gören süreçlerinin başında gelmektedir. Bu sürecin verimliliği ileride gerçekleştirilen faaliyetler için oldukça önemlidir. Literatürde sipariş işleme sürecinin verimliliğinin artırılmasına yönelik çalışmalarda daha çok tedarik ve lojistik konuları ele alınmış ve bu çalışmaların da oldukça sınırlı olduğu gözlenmiştir. Uthayakumar ve Rameswari [3] sipariş işleme süresinin azaltılması ve kalite iyileştirme yatırım değerlendirmeleri koşulları altında entegre bir envanter modeli sunmuşlardır. Çalışmalarında önerdikleri model, sipariş işleme süresinin azaltılması ve kalite iyileştirmenin entegre envanter modeli üzerindeki etkilerinin araştırılmasında öncü bir çalışma olmuştur. Acero vd. [4] yedek parçalar için tedarik zinciri yönetimi süreçlerine odaklanarak yalın metodolojilerin kullanımını değerlendirmişlerdir. Değer akışı analizi metodolojilerini uygulayarak malzeme siparişi işleme prosedürlerini iyileştirmek için bir vaka çalışması gerçekleştirmişlerdir. Çalışmanın amacı, sürekli iyileştirme ve yalın düşünce ile uyumlu bir şekilde yalın ve Altı Sigma yaklaşımlarını bütünleştirmeye yönelik uygulanmıştır.

Üretim firmaları rekabetçi avantaj sağlamak için, süreç iyileştirmeleri yaparak süreç verimliliğini arttırmaya çalışır. Bu nedenle süreç verimliliğini arttırmaya yönelik çalışmalar son yıllarda farklı alanlarda farklı metodların geliştirilmesi ile büyük önem kazanmıştır. Literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde süreçlerin iyileştirilmesi için çok kriterli karar verme

yöntemlerinin sık kullanıldığı gözlemlenmiştir. Ancak gerçek hayat problemlerinde verilerin net olmaması durumunda uygulanan yöntemler belirsizliğin ele alındığı yöntemler olmuştur. Toklu vd. [5] çalışmalarında SWOT analizi, Kök Neden Analizi, değiştirilmiş Bolden taksonomisi ve bulanık ANP metodolojilerinden oluşan sıralı bir model önermişlerdir. Firmanın güçlü ve zayıf yönlerini belirlemek için SWOT analizini, zayıflıkların ana ve alt nedenlerini tanımlamak için kök neden analizini, sorunları sosyal bakış açısıyla değerlendirmeye yardımcı olan yeni bir yön ekleyerek Bolden'in sınıflandırmasını geliştirmişlerdir. Zayıflığın temel nedenlerinden türetilen iyileştirmeye açık alanları, olası eylem planlarıyla eşleştirmek için değiştirilmiş Bolden taksonomisini kullanmışlar ve bu eylem planlarını iyileştirmeye açık alanların önemine göre önceliklendirmek için bulanık ANP'yi kullanmışlardır. Önerdikleri Bulanık Sıralı Model, hangi eylem planının organizasyonu daha fazla etkileyeceğini belirlemeye yardımcı olmuştur. Yadav vd. [6] çalışmalarında, atık azaltma ve kalite iyileştirme zorluklarının üstesinden gelmede uygulamaları kolaylaştırmak için çözüm yaklaşımlarının önceliklendirilmesine dayanan yalın altı sigmada hibrit bir çerçeve önermeyi amaçlamışlardır. Çalışmalarında bulanık AHP-PROMETHEE kullanmışlar ve önerdikleri yöntemi bir üretim firmasında uygulamasını gerçekleştirerek uygunluğunu test etmişlerdir. Tian vd. [7] hata türlerinin uygulanabilir ve etkili bir risk önceliği sıralamasını formüle etmek için bulanık en iyi-en kötü yöntemi ve bağıl entropiyi birleştirerek Hata Türleri ve Etkileri Analizi için kapsamlı bir bulanık Çok Kriterli Karar Verme yaklaşımı önermişlerdir. Gupta vd. [8] Mikro Küçük Orta Ölçekli İşletmeler organizasyonu için bir Altı Sigma uygulama gerçekleştirmiştir. Önerdikleri yöntemi, Hindistan'daki bir firmada vaka çalışması yardımıyla ayrıntılı olarak göstermişlerdir. Bu çalışmanın uygulanmasından sonra elde edilen sonuçlar, çok kriterli karar verme yöntemlerinin Altı Sigma'ya dahil edilmesinin, yeterli verinin olmamasına rağmen firmanın sigma seviyesinde önemli bir iyileşmeye yol açtığını göstermektedir. Akbar vd. [9] Nesnelere İnterneti'nin güvenliğini olumsuz yönde etkileyebilecek faktörlerin bir sınıflandırmasını geliştirmek amacıyla yaptıkları çalışmada, uzmanların nitel tahminini nicel önceliklendirme değerlerine dönüştürmek için bulanık AHP yaklaşımını kullanmışlardır. Taksonomi, literatür taraması ve uzmanlarla yürütülen endüstriyel çalışma sırasında belirlenen zorlu faktörlere dayanmaktadır ve belirsizlikler getirebilecek uzman görüşlerine dayalı birden fazla faktöre öncelik vermek zordur. Gerçekleştirilen çalışma, uygulayıcıların ve araştırma topluluğunun güvenli Nesnelere İnternet'i için yeni stratejileri gözden geçirmesine ve geliştirmesine yardımcı olabilecek, faktörlerin önceliklendirmesine dayalı bir sınıflandırmayı sağlayarak katkıda bulunmaktadır.

Üretim sistemlerinde süreç iyileştirme çalışmaları incelendiğinde, bu çalışmada önerilen bütünleşik yapıda kullanılan Entropi ve Taksonomi yöntemlerinin kullanıldığı bir çalışmaya rastlanmamıştır. Ancak çok kriterli karar vermede Entropi ve Taksonomi yöntemlerinin kullanıldığı çalışmalar bulunmaktadır. Rafi vd. [10] çalışmalarında geliştirme ve operasyon ekipleri arasındaki iletişim, koordinasyon ve entegrasyon yollarını iyileştirmek için DevOps olarak bilinen bir paradigma benimsemişlerdir ve DevOps süreç iyileştirmesine yardımcı olacak DevOps başarı faktörlerini belirlemişlerdir. DevOps mantıksal ilişki ve kriterlerine dayalı olarak başarı faktörlerinin sıralamasına dayalı bir taksonomi geliştirmişlerdir. Khan vd. [11] Çin Küresel Yazılım Geliştirme endüstrisindeki çevik yöntemlerin ölçeklendirme sürecini olumlu yönde etkileyebilecek faktörlerin bir taksonomisini geliştirmişlerdir. Çalışmada Bulanık AHP yaklaşımı kullanılarak faktörler kategorize edilmiş, önceliklendirilmiş ve taksonomileri geliştirilmiştir. Verilen taksonomi, Küresel Yazılım Geliştirme endüstrisinin çevik yöntemlerin ölçeklendirme sürecini değerlendirmesi ve geliştirmesi için önemli ve ileridir. Jing vd. [12] Tahran Menkul Kıymetler Borsası'nda işlem gören şirketlerde çok kriterli karar verme yöntemlerini kullanarak en uygun hisse senedi portföyü seçimi için kapsamlı bir modelleme yapmışlardır. Tahran Menkul Kıymetler Borsasındaki endeks, hisse senedi portföyü için kapsamlı ve optimal bir model sağlamak için farklı çok endeksli karar verme yöntemleri, TOPSIS, Taksonomi, ARAS, VIKOR, COPRAS ve WASPAS yöntemlerini kullanarak optimum hisse senedi portföyünü ve en yüksek getiri için en iyi hisse senedi portföyünü belirlemeyi hedeflemişlerdir. Yang vd. [13] olasılıksal tereddütlü bulanık kümeler için üstel olasılıksal tereddütlü bulanık entropi olarak adlandırılan yeni bir bulanık entropi önermişlerdir. Buna bağlı olarak kardinal uzlaşma yöntemi ve TODIM yöntemine dayalı, öznitelik ağırlığının entegrasyon sonuçlarının üstel olasılıksal tereddütlü bulanık entropisi tarafından belirlendiği birçok kriterli karar verme problemi önermişlerdir. Bu yöntemin etkinliğini göstermek adına yeşil binada bir uygulama örneği vermişlerdir. Deveci vd. [14] çalışmalarında belirli bir rota için en uygun uçak tipinin seçiminde Entropi Tabanlı Ağırlıklı Toplu Toplam Ürün Değerlendirmesi yöntemini ve aralıklı tip-2 kararsız bulanık kümeleri entegre eden yeni birçok kriterli karar verme yaklaşımı önermişlerdir. Belirli bir vaka çalışması kullanılarak bu yöntem test edilmiştir. Wan vd. [15] çok kriterli grup karar verme için tereddütlü bir bulanık Tercih Derecelendirme Organizasyon Yöntemi geliştirmişler ve bunu yeşil tedarikçi seçimine uygulamışlardır. Tereddütlü bulanık eleman için yeni bir tereddüt indeksi tanımlayarak, üyelik değerlerinin bireysel sapması ve tereddüt indeksini eş zamanlı olarak dikkate almışlar ve genelleştirilmiş bir tereddütlü bulanık Hausdorff mesafesi önermişlerdir. Tereddütlü bulanık elemanın tanımlanmış bulanıklık entropisi ve tereddüt entropisini

entegre eden birleşik bir tereddütlü bulanık entropi sunmuşlardır.

III.YENİ BÜTÜNLEŞİK TEREDDÜTLÜ BULANIK ENTROPİ TABANLI GELİŞTİRİLMİŞ TAKSONOMİ YÖNTEMİ

Bu çalışmada önerilen bütünleşik yöntem Tereddütlü Bulanık Yaklaşım tabanlı Entropi yöntemi ve çok kriterli karar verme yöntemlerinden olan Taksonomi yöntemlerini içermektedir. Bu bölümde önerilen bütünleşik yöntem içerisinde kullanılan metotlara ilişkin temel bilgiler ve kavramlar açıklanmıştır.

Zadeh (1965) tarafından ortaya atılan belirsizlik içeren gerçek hayat problemlerinde sıklıkla kullanılan bulanık küme teorisinin geliştirilmiş versiyonları karar verme süreçlerinde etkili bir yöntemdir. Bu yöntemler incelendiğinde Tip-2, sezgisel, tereddütlü, nötrosofik, polihedron gibi farklı yaklaşımlar olduğu gözlenmiştir. Bu yaklaşımlardan problemdeki bulanıklığın yapısına göre uygun yöntemin seçilmesi gerekir. Tereddütlü bulanık yaklaşım, karar verme problemlerinde birden fazla karar vericinin olduğu ve bu karar vericilerin verdiği kararlarda kesin yargılara varamadığı durumlarda tercih edilebilir [16]. Bu yaklaşımda karar vericilerin görüşleri birden fazla üyelik derecesi ile ifade edilir. Tereddütlü Bulanık yaklaşım ile karar verme yöntemi nitel kriterlerin değerlendirilmesinde karar vericinin kararsız doğasına yakın ve esnek bir şekilde değerlendirmesini sağlamaktadır. Bu yöntem sayesinde karar vericilerin görüşlerindeki belirsizlik göz önüne alınarak değerlendirmeler yapılabilir [17]. Tereddütlü Bulanık yaklaşımda, elemanların üyelik derecelerinin bir bulanık kümeye atanması sırasında ortaya çıkabilecek kararsızlıktan kaynaklanan belirsizliği modellemeyi amaçlayan bulanık kümelerin bir uzantısıdır [18]. Tereddütlü Bulanık Küme ve Tereddütlü Bulanık Eleman (TBE) kavramları Tanım 1 ile verilmiştir.

Tanım 1: X boş olmayan bir küme iken, X üzerinde tanımlı Tereddütlü Bulanık Küme A , $[0,1]$ değerlerinden oluşan bir alt kümedir ve Eşitlik (1) ile verilmiştir.

$$A = \{x, \alpha(x) \mid x \in X\} \quad (1)$$

Burada $\alpha(x)$, $x \in X$ 'in A kümesine ait üyelik derecelerini gösterir. $\alpha(x)$ Tereddütlü Bulanık Eleman olarak adlandırılır ve H bu elemanların oluşturduğu bir kümedir [19]. TBE'ler farklı sayıda elemanlara sahip olabildiği için $\alpha(x)$ 'in içerdiği eleman sayıları l_x ile gösterilmiştir. $\alpha(x) = \{\alpha^{\lambda(j)}(x)\}_{j=1}^{l_x}$ olmak üzere, burada $\alpha^{\lambda(j)}(x)$, $\alpha(x)$ içindeki j inci en büyük değeri temsil eder. Eleman sayılarını eşit hale getirmek amacı ile $\alpha(x)$ 'in içerdiği elemanlar artan sıraya göre düzenlenir ve eksik olan elemanlar en büyük eleman ekleme yöntemi ile her biri eşit sayıda olacak şekilde

düzenlenerek normalizasyon işlemi gerçekleştirilir [20].

Entropi kavramı ise, bilim ve mühendislik dalları olan fizik, bilgi teorisi ve matematik, termodinamik alanında gelişmiş ve ardından bilgi entropisi ortaya çıkmıştır. Entropi ilk olarak, Rudolph tarafından 1865'te termodinamik alanında geliştirilmiş ve 1948'de Shannon tarafından bilgi entropisi kavramı ortaya atılmıştır [1]. Bilgi teorisinde entropi yöntemi, elde edilen verinin sağladığı faydalı bilginin miktarının ölçülmesi amacıyla kullanılmaktadır. Karar probleminin hiyerarşik yapısını oluşturmadan, kriterlerin önem düzeylerinin ortaya çıkarılmasında kullanılan bu yöntem, ağırlıkların hesaplanması için objektif bir değerlendirme yöntemidir [21].

Tanım 2: α TBE olmak üzere, α için entropi $E_A(\alpha)$ Eşitlik (2) ile verilmiştir [14].

$$E_A(\alpha) = 1 - \frac{2}{l_x T} \sum_{i=1}^{l_x} \left(\frac{(1+q\alpha_{\lambda(i)}) \ln(1+q\alpha_{\lambda(i)}) + (1+q(1-\alpha_{\lambda(l_x-i+1)})) \ln(1+q(1-\alpha_{\lambda(l_x-i+1)}))}{2} - \frac{2+q\alpha_{\lambda(i)}+q(1-\alpha_{\lambda(l_x-i+1)})}{2} \ln \frac{2+q\alpha_{\lambda(i)}+q(1-\alpha_{\lambda(l_x-i+1)})}{2} \right), q > 0 \quad (2)$$

Burada $T = (1+q) \ln(1+q) - (2+q)(\ln(2+q)) - \ln 2$ 'dir. q ise tereddüt düzeyini kontrol eden parametredir. Genellikle $[1, \infty)$ aralığında bir değer alır ve $q = 1$ olduğunda, formül klasik bulanık entropiye karşılık gelir. q değeri arttıkça, belirsizlik düzeyi daha fazla vurgulanır ve homojenliği öne çıkarır.

3.1. Taksonomi Yöntemi

Taksonomi yöntemi, 1763 yılında Adanson tarafından geliştirilmiştir [22]. 1968 yılında Hellwing bu yöntemi bir sınıflandırma aracı olarak tanıtmıştır [23]. Bu yöntem farklı alternatiflerin, belirli fayda ve maliyet kriterleri bazında derecelendirilmesi, sınıflandırılması ve karşılaştırılması için uygundur. Taksonomi yöntemi, karmaşık karar verme problemlerinde birden fazla kriterin dikkate alınmasını ve sistematik bir şekilde alternatiflerin sınıflandırılmasını sağlar. Bu yöntem, karar vericilere bir yapı ve yönlendirme sağlar ve analitik bir karar verme süreci sunar. Yöntemin temelinde taksonomik sınıflandırma bulunmaktadır ve değerlendirme sonuçlarına dayanarak, alternatifler taksonomik sınıflandırma yöntemiyle sınıflandırılır. Bu sınıflandırma, alternatiflerin önceliklerine veya performanslarına dayanarak gruplandırma yapılmasını sağlar. En iyi performansla sahip alternatifler en üst taksonlarda yer alırken, daha düşük performansla sahip alternatifler alt taksonlarda yer alır. Taksonomi yöntemi, çok kriterli karar verme süreçlerinde kullanılan bir yöntemdir ve karmaşık karar verme süreçlerinde önceliklendirme gerektiren durumlarda, bilgi ve veri sınıflandırmasının yapılması gerektiğinde kullanılır. Bu yöntem tutarlı ve bilinçli kararlar almayı sağlar. Karar vericilerden alınan bilgiler doğrultusunda oluşturulan kriter ağırlıklarını kullanan ve alternatifleri önem derecelerine göre sıralayan bir yöntemdir.

Taksonomi yönteminde, sınıflandırma ve gelişme derecesini belirlemede bir araç olarak kabul edildiğinden, pek çok uygulaması olan, alternatiflerin sıralanması için gelişmişlik indeksi kullanılır. Bu tekniğin bir dezavantajı uygulanması zor bir yöntem olmasıdır [2]. Ancak yöntemin birçok avantajı bulunmaktadır. Karmaşık karar verme süreçlerinde hiyerarşik bir yapıda düzenleme yaparak yapılandırılmış bir yaklaşım sunar. Bu, karar vericilere adımları takip etme ve kararları analiz etme konusunda rehberlik eder. Ayrıca kriterler ve alternatifler hiyerarşik bir yapıda düzenlendiği için analiz süreci daha net ve kapsamlı olur. Değerlendirme süreci, kriterlerin ve ölçüklerin kullanımıyla objektif bir şekilde gerçekleştirilir. Bu, seçeneklerin performansını daha iyi değerlendirmeyi sağlar. Bunlara ek olarak yöntem, bilgi veya verilerin sınıflandırılması gereken durumlarda kullanılabilir. Büyük veri setlerinde veya bilgi ağlarında sınıflandırma yapmak için taksonomik yaklaşımın kullanılması, bilgi yönetimini ve analizini kolaylaştırır.

3.2. Entropi Yöntemi

Entropi yöntemi kriterler arasındaki bilgi içeriği veya belirsizlik miktarını ölçerek kriterlerin önem derecelerini belirlemeyi amaçlar. Entropi yönteminde, her bir kriterin değeri dağılımının ne kadar homojen veya heterojen olduğu dikkate alınır. Eğer bir kriterin değeri tüm seçenekler için aynıysa, bu kriterin bilgi içeriği veya belirsizlik miktarı düşüktür. Ancak, değerler arasında büyük farklılıklar varsa, kriterin bilgi içeriği yüksek olur. Bu sebeple karar verme sürecine daha fazla veri odaklılık ve bilgiye dayalı bir yaklaşım getirir. Ayrıca bu yöntem kriter değerlerindeki değişikliklerin sonuçlar üzerindeki etkisini daha hassas bir şekilde değerlendirerek duyarlılık analizine olanak sağlar. Kriterlerin değer dağılımlarını dikkate aldığı için tutarlı bir karar verme süreci sağlar. Bu yöntem farklı alanlardaki çeşitli karar verme süreçlerine uygulanabilir esnek bir yöntemdir. Bu özellikleri ile Entropi yöntemi çok kriterli karar verme süreçlerinde tercih edilen bir yöntemdir.

Bulanık küme teorisinde, bir veri kümesinin belirsizlik veya tereddüt düzeyi, bulanık entropi ile ölçülebilir. Bulanık entropi, bir kümenin homojenliğini veya belirsizliğini temsil eder. Bu entropi, kümelerin elemanları arasındaki benzerlik veya ayrımcılık ölçüleriyle ilişkilidir. Tereddütlü Bulanık Entropi ise Bulanık Entropi yönteminin geliştirilmiş bir versiyonu olup belirsizlikleri daha ayrıntılı ve doğru bir şekilde ifade edebilme yollarından biridir.

İşleyişi tanımlanabilen bir süreçte ortaya çıkan hataların analizi için yukarıda açıklanan yöntemlerin kullanılması ile Şekil 1’de akışı verilen yeni bütünlük bir algoritma önerilmiş ve adımları aşağıda sunulmuştur.

Adım 1: Tereddütlü bulanık karar matrisini oluştur.

m alternatif $A_i (i = 1, \dots, m)$, n kriter $C_j (j = 1, \dots, n)$ ve k karar verici $KV_k (k = 1, \dots, v)$ ’nin bulunduğu bir süreç ele alınsın. k . karar verici tarafından j . kriter için belirlediği TBE α_{kj} olsun. $l_{\alpha_{kj}}$ ise TBE α_{kj} ’nin uzunluğunu (eleman sayısını) gösterir. TBE α_{kj} ’lerden oluşan tereddütlü bulanık karar matrisi Eşitlik (3) ile verilmiştir.

$$TBKM = \begin{bmatrix} \alpha_{11} & \dots & \alpha_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \alpha_{v1} & \dots & \alpha_{vn} \end{bmatrix}_{v \times n}; \quad (3)$$

Adım 2: Normalize tereddütlü bulanık karar matrisini oluştur.

Her bir TBE α_{kj} farklı uzunluklarda olduğu için elemanları küçükten büyüğe doğru sıralanır ve uzunluğu en büyük olan TBE ye eşit olacak şekilde sahip olduğu en büyük üyelik derecesi eklenerek Eşitlik (4) ile gösterilen normalize tereddütlü bulanık karar matrisi A elde edilir.

$$A = \begin{bmatrix} \alpha'_{11} & \dots & \alpha'_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \alpha'_{v1} & \dots & \alpha'_{vn} \end{bmatrix}_{v \times n} \quad (4)$$

Adım 3: Normalize TBE α'_{kj} için Çapraz entropi değerlerini hesapla.

Normalize TBE α'_{kj} için çapraz entropi değeri $E(\alpha'_{kj})$, Eşitlik (2) kullanılarak hesaplanır.

Adım 4: Tereddütlü bulanık çapraz entropi matrisi E’yi oluştur.

Adım 3’te hesaplanan $E(\alpha'_{kj})$ $k = 1, \dots, v, j = 1, \dots, n$ çapraz entropi değerleri kullanılarak tereddütlü bulanık çapraz entropi matrisi E, Eşitlik (5) ‘deki gibi oluşturulur.

$$E = \begin{bmatrix} E(\alpha'_{11}) & \dots & E(\alpha'_{1n}) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ E(\alpha'_{v1}) & \dots & E(\alpha'_{vn}) \end{bmatrix}_{v \times n} \quad (5)$$

Adım 5: Her bir kriter için entropi değerini hesapla.

Eşitlik (5)’ de verilen çapraz entropi değerleri kullanılarak j . kriterin kriter entropi değeri E_j Eşitlik (6) ile hesaplanır.

$$E_j = \frac{1}{v} \sum_{k=1}^v E(\alpha_{kj}) ; j = 1, \dots, n \quad (6)$$

Adım 6: Her bir kriter için entropi kriter ağırlığını hesapla.

Eşitlik (6) ile verilen kriter entropi değerleri kullanılarak j . kriterin entropi kriter ağırlığı w_j , Eşitlik (7) ile hesaplanır.

$$w_j = \frac{1 - E_j}{n - \sum_{j=1}^n E_j} ; j = 1, \dots, n \quad (7)$$

Adım 7: Alternatiflerin kriterlere göre karar matrisini oluştur.

Taksonomi yöntemini uygulayabilmek için karar matrisi X oluşturulmuş Eşitlik (8) ile verilmiştir.

$$X = \begin{bmatrix} r_{11} & \dots & r_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix}_{m \times n} \quad (8) \quad F_i = \frac{G_i}{G}; \quad i = 1, \dots, m \quad (15)$$

Burada r_{ij} karar matrisi X'in i. alternatifin j. kritere göre oluşturulan her bir elemanını göstermektedir.

Adım 8: Kriterlerin ortalama ve standart sapmalarını hesapla.

j. kriterin ortalaması \bar{r}_j ve j. kriterin standart sapması sırasıyla Eşitlik (9) ve Eşitlik (10) ile hesaplanır.

$$\bar{r}_j = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m r_{ij}; \quad j = 1, \dots, n \quad (9)$$

$$s_j = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (r_{ij} - \bar{r}_j)^2}; \quad j = 1, \dots, n \quad (10)$$

Adım 9: Standardize Z karar matrisini oluştur.

Eşitlik (9)-(10) kullanılarak i. alternatifin j. kritere göre standardize karar matrisi Z Eşitlik (11) ile verilmiştir.

$$Z = \begin{bmatrix} z_{11} & \dots & z_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ z_{m1} & \dots & z_{mn} \end{bmatrix}_{m \times n} \quad (11)$$

Burada standardize karar matrisi Z'nin elemanları, $z_{ij} = \frac{r_{ij} - \bar{r}_j}{s_j}; \quad i = 1, \dots, m, j = 1, \dots, n$ ile hesaplanır.

Adım 10: Ağırlıklandırılmış standardize B karar matrisini oluştur.

Eşitlik (7) ile verilen entropi kriter ağırlıkları kullanılarak, ağırlıklandırılmış standardize B karar matrisi oluşturulur. Burada B karar matrisinin elemanları $b_{ij} = w_j * z_{ij}; \quad i = 1, \dots, m, j = 1, \dots, n$ ile elde edilir ve Eşitlik (12) ile gösterilir.

$$B = \begin{bmatrix} b_{11} & \dots & b_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{m1} & \dots & b_{mn} \end{bmatrix}_{m \times n} \quad (12)$$

Adım 11: Geliştirilmiş alternatif değeri G_i 'yi hesapla.

Her bir alternatif $i = 1, \dots, m$ için, geliştirilmiş alternatif değeri G_i , Eşitlik (13) ile hesaplanır.

$$G_i = \sqrt{\sum_{j=1}^n (b_{ij} - b_j)^2}; \quad i = 1, \dots, m \quad (13)$$

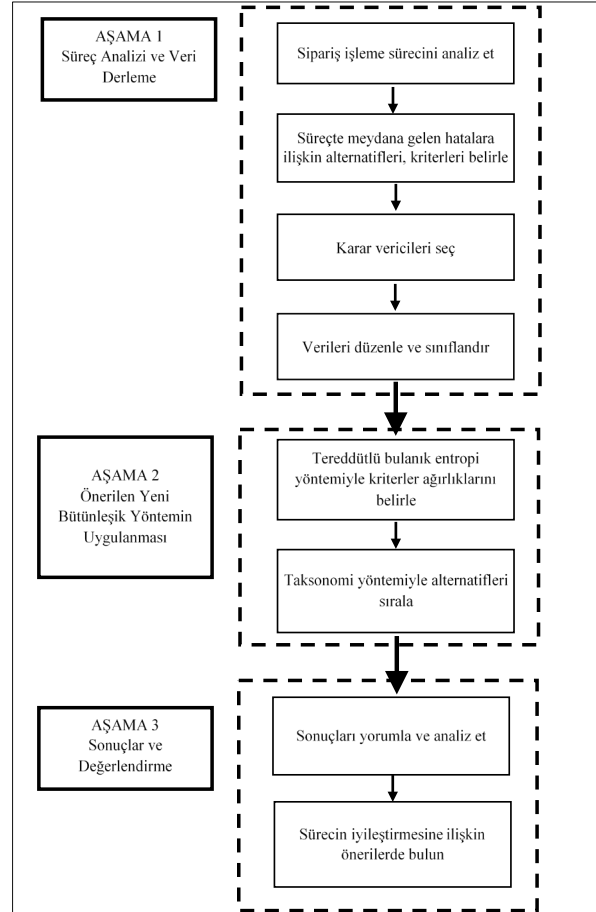
Burada b_j , j. kriterin ideal değeri olup, maksimize edilmek istenen bir kriter için B matrisinde ait olduğu kriterin aldığı en büyük değeri ve minimize edilmek istenen bir kriter için ise en küçük değeri ifade eder.

Adım 12: Geliştirilmiş alternatif değeri üst sınır G'yi, geliştirilmiş alternatif önem değeri F_i 'yi hesapla ve alternatifleri sırala.

Geliştirilmiş alternatif değeri üst sınır G ve geliştirilmiş alternatif önem değeri F_i , $i = 1, \dots, m$ sırasıyla Eşitlik (14) ve Eşitlik (15) kullanılarak hesaplanır.

$$G = \bar{G}_i + 2s_{G_i}; \quad i = 1, \dots, m \quad (14)$$

Eşitlik (15) ile elde edilen F_i değerleri küçükten büyüğe doğru sıralanarak alternatif sıralamaları elde edilir. Burada en küçük geliştirilmiş alternatif önem değerine sahip olan en önemli alternatiftir.



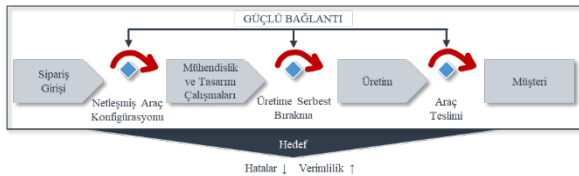
Şekil 1. Önerilen yönteme ilişkin akış şeması

IV. ÖNERİLEN YENİ BÜTÜNLEŞİK YÖNTEMİN SİPARİŞ İŞLEME SÜRECİNE UYGULANMASI

Önerilen yeni bütünleşik yöntem, otomotiv sektörü sipariş işleme sürecinde, mühendislik ve tasarım faaliyetlerinin tekrar edilmesine sebep olan hataların analiz edilip, hangi bölümlerin en önemli hatalara sahip olduğunu belirlenmesinde kullanılmıştır. Üretim sistemlerinde sipariş işleme süreçleri maliyet ve verimlilik kriterleri açısından kritik bir süreçtir. Bu süreçte ortaya çıkan hataların analiz edilmesi ve önlenmesi çok önemlidir. Bu hataların analiz sürecinin bilinçli, tutarlı, hassas ve kapsamlı bir şekilde yürütülmesi gerekmektedir. Bu durum göz önünde bulundurularak bu çalışmada bilgi içeriği veya belirsizlik miktarını ölçebilen ve bilgiye dayalı bir yaklaşım olan Tereddütlü Bulanık Entropi Yönetimi kriter ağırlıklarını belirlemek amacı ile tercih edilmiştir. Ayrıca hataların sıralandırılması için tutarlı

ve bilinçli kararlar almayı sağlayan Taksonomi Yöntemi kullanılmıştır.

Uygulamanın gerçekleştirildiği firmada karma birçok farklı araç tipi tasarlanıp, üretilmesinin yanı sıra her araç tipinde de siparişe özel müşteri isteklerine göre modifikasyonlar yapılmaktadır. Müşteri özel istekleriyle aracın iç, dış, mekanik ve elektrik gibi her türlü sistemi ve donanımı değişebilmektedir. Müşteri özel isteklerinin kabulünden önce, araç konfigürasyonu Ar-Ge birimindeki ilgili bölüm çalışanları tarafından teknik yapılabilirlik ve üretimdeki uygulanabilirlik açısından teyit edilmektedir. Araç konfigürasyonu netleştikten sonra gerekli tüm mühendislik ve tasarım çalışmaları gerçekleştirilmektedir. Müşteri talep ettiği araç için bir veya birden fazla sipariş verebilmektedir. Bu durumda tüm çalışmalar sadece bir defa yapılmaktadır. Aracın üretilmesi ve müşteriye teslim edilmesiyle son bulan sipariş işleme süreci Şekil 2'de gösterildiği gibidir.



Şekil 2. Sipariş işleme sürecinin iş akışı

Sipariş işleme sürecinde gerçekleştirilen mühendislik ve tasarım çalışmalarının tekrar edilmesine sebep olan hatalar ortaya çıkabilmektedir. Bu hatalar aynı işlerin tekrar edilmesiyle işgücü kapasitesinin gereksiz kullanılmasına sebep olmaktadır. Bununla birlikte, hataların sipariş işleme sürecinin sonlarına doğru ortaya çıkması durumunda, projenin zaman planını ciddi ölçüde riske atmaktadır. İşletmenin amacı, hataların azaltılması ve erken tespitinin sağlanmasıyla mühendislik çalışma maliyetinde azalma ve verimlilikte artış elde etmektir.

Çalışma kapsamında sipariş işleme sürecinde mühendislik ve tasarım çalışmalarının tekrar edilmesine sebep olan hataların kaynaklandığı bölümler yani alternatifler belirlenmiş, bu bölümlerde meydana gelen hataların sürecin hangi aşamalarında ortaya çıktıkları tespit edilmiştir. Otomotiv sektöründeki firma yetkililerinden oluşan karar vericiler sipariş işleme sürecindeki hataların meydana geldiği bölümlerin önem sıralamasını gerçekleştirmek amacıyla ele alınacak kriterleri belirlemişlerdir. Bu kriterler, siparişteki araç sayısı (C_1), hatanın sürecin hangi aşamasında tespit edildiği (C_2), hatanın düzeltilmesi için parça ihtiyacının olup olmaması (C_3) ve hatanın düzeltilmesi için harcanan mühendislik çalışma süresi (C_4) olmak üzere dört ana başlık altında incelenmiştir. Bu kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesi için dört karar vericinin görüşleri alınmıştır. Değerlendirmeleri sonucunda karar vericilerin aralarında farklı derecelendirmeler bulunduğu ve kendi derecelendirmelerinde de net olmadıklarından

dolayı TBE'lerden oluşan tereddütlü bulanık karar matrisi oluşturulmuş ve matrisin elemanları Tablo 1'de verilmiştir. Bu matristeki her bir TBE'nin değerleri küçükten büyüğe doğru sıralanmıştır.

Tablo 1. Tereddütlü bulanık karar matrisi elemanları tablosu

	C_1	C_2	C_3	C_4
KV ₁	{0,2;0,4}	{0,4;0,5;0,7}	{0,3;0,4;0,5}	{0,2;0,4;0,6;0,7}
KV ₂	{0,4;0,5}	{0,6;0,8}	{0,3;0,5;0,8}	{0,1;0,2;0,4}
KV ₃	{0,3;0,5;0,6}	{0,4;0,5;0,6}	{0,3;0,4;0,7}	{0,1;0,5;0,6;0,7}
KV ₄	{0,3;0,6;0,7}	{0,5;0,6;0,7;0,8}	{0,4;0,5;0,7;0,8}	{0,2;0,3;0,5;0,6}

Her bir kriter için, farklı sayıda üyelik derecesi içeren TBE'lerin eleman sayılarını eşitlemek için normalize bulanık karar matrisi oluşturulmuştur. Bu amaçla ilgili kriterlere ait en uzun TBE'nin içerdiği değer sayısına ulaşıncaya kadar her bir TBE'nin sonuna, kendi içindeki en büyük üyelik derecesi eklenerek Tablo 2'de verilen normalize tereddütlü bulanık karar matrisi elde edilmiştir.

Tablo 2. Normalize tereddütlü bulanık karar matrisi

	C_1	C_2	C_3	C_4
KV ₁	{0,2;0,4;0,4}	{0,4;0,5;0,7;0,7}	{0,3;0,4;0,5;0,5}	{0,2;0,4;0,6;0,7}
KV ₂	{0,4;0,5;0,5}	{0,6;0,8;0,8;0,8}	{0,3;0,5;0,8;0,8}	{0,1;0,2;0,4;0,4}
KV ₃	{0,3;0,5;0,6}	{0,4;0,5;0,6;0,6}	{0,3;0,4;0,7;0,7}	{0,1;0,5;0,6;0,7}
KV ₄	{0,3;0,6;0,7}	{0,5;0,6;0,7;0,8}	{0,4;0,5;0,7;0,8}	{0,2;0,3;0,5;0,6}

Eşitlik (5) kullanılarak normalize tereddütlü bulanık karar matrisinde yer alan k. karar verici tarafından j. kriter için normalize TBE α'_{kj} için entropi değeri $E(\alpha'_{kj})$ hesaplanarak normalize tereddütlü bulanık çapraz entropi matrisi E Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Tereddütlü bulanık çapraz entropi matrisi

	C_1	C_2	C_3	C_4
KV ₁	0,88355	0,97577	0,97587	0,99490
KV ₂	0,99361	0,74755	0,95072	0,79857
KV ₃	0,99348	0,99521	0,99511	0,97415
KV ₄	0,98724	0,91255	0,96071	0,96071

Eşitlik (6) ile hesaplanan kriter entropi değerleri ve Eşitlik (7) ile hesaplanan kriter entropi ağırlıkları Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4: Kriter entropi değerleri ve kriter entropi ağırlıklar

	C_1	C_2	C_3	C_4
E_j	0,9645	0,9078	0,9706	0,9321
w_j	0,1579	0,4098	0,1306	0,3018

Hataların kaynaklandığı on iki bölümün her bir kritere göre aldığı değerlerden oluşan alternatiflerin kriterlere göre karar matrisi X, Tablo 5’te verilmiştir.

Tablo 5. Karar matrisi

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄
A ₁	4,0	14,0	0,571	3,0
A ₂	5,0	10,0	1,000	34,0
A ₃	5,0	32,0	0,690	5,0
A ₄	4,0	37,0	0,605	3,0
A ₅	4,0	37,0	1,000	6,4
A ₆	3,0	37,0	0,778	7,0
A ₇	3,5	37,0	0,333	5,0
A ₈	2,0	37,0	0,000	5,0
A ₉	5,5	23,5	1,000	8,0
A ₁₀	3,0	49,0	0,667	13,0
A ₁₁	4,0	37,0	0,565	9,5
A ₁₂	1,5	10,0	1,000	23,5

Kriterlerin ortalamaları Eşitlik (8)’e ve standart sapmaları Eşitlik (9)’a göre hesaplanmış ve Tablo 6 ile sunulmuştur.

Tablo 6. Ortalama ve standart sapma değerleri

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄
Ortalama	3,708	30,042	0,684	10,200
Standart Sapma	1,145	12,101	0,293	8,972

Eşitlik (10) kullanılarak Tablo 7’de verilen standardize karar matrisi Z oluşturulmuştur.

Tablo 7. Standardize karar matrisi

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄
A ₁	0,255	-1,326	-0,384	-0,802
A ₂	1,128	-1,656	1,077	2,653
A ₃	1,128	0,162	0,021	-0,580
A ₄	0,255	0,575	-0,269	-0,802
A ₅	0,255	0,575	1,077	-0,424
A ₆	-0,619	0,575	0,319	-0,357
A ₇	-0,182	0,575	-1,196	-0,580
A ₈	-1,492	0,575	-2,333	-0,580
A ₉	1,565	-0,541	1,077	-0,245
A ₁₀	-0,619	1,567	-0,060	0,312
A ₁₁	0,255	0,575	-0,406	-0,078
A ₁₂	-1,929	-1,656	1,077	1,482

Standardize matristeki her değer ilgili kritere ait Eşitlik (7) ile hesaplanan kriter ağırlığı ile çarpıldıktan sonra i. hatanın kaynaklandığı bölümün j. kritere göre ağırlıklandırılmış standardize edilmiş değeri b_{ij} hesaplanmış ve bu değerlerden oluşan ağırlıklandırılmış standardize B matrisi Tablo 8 ile verilmiştir.

Tablo 8. Ağırlıklandırılmış standardize matris

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄
A ₁	0,041	-0,514	-0,065	-0,225
A ₂	0,184	-0,643	0,182	0,744
A ₃	0,184	0,063	0,004	-0,162
A ₄	0,041	0,223	-0,045	-0,225
A ₅	0,041	0,223	0,182	-0,119
A ₆	-0,101	0,223	0,054	-0,100
A ₇	-0,030	0,223	-0,202	-0,162
A ₈	-0,243	0,223	-0,394	-0,162
A ₉	0,255	-0,210	0,182	-0,069
A ₁₀	-0,101	0,608	-0,010	0,087
A ₁₁	0,041	0,223	-0,068	-0,022
A ₁₂	-0,314	-0,643	0,182	0,416

Eşitlik (13) ile i. hatanın kaynaklandığı bölümün geliştirilmiş alternatif değeri G_i hesaplandıktan sonra bu değerler kullanılarak Eşitlik (15) ile i. hatanın kaynaklandığı bölümün önem derecesini temsil eden F_i geliştirilmiş alternatif önem değeri hesaplanmıştır. Geliştirilmiş alternatif önem değerlerine göre hatanın kaynaklandığı her bölümün hangi önem sırasına sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu değerler Tablo 9’de verilmiştir.

Tablo 9. Geliştirilmiş alternatif değerleri, geliştirilmiş alternatif önem değerleri ve sıralama

	Geliştirilmiş alternatif değerleri	Geliştirilmiş alternatif önem değerleri	Sıralama
A ₁	0,041	-0,514	12
A ₂	0,184	-0,643	10
A ₃	0,184	0,063	5
A ₄	0,041	0,223	6
A ₅	0,041	0,223	3
A ₆	-0,101	0,223	4
A ₇	-0,030	0,223	7
A ₈	-0,243	0,223	9
A ₉	0,255	-0,210	8

A ₁₀	-0,101	0,608	1
A ₁₁	0,041	0,223	2
A ₁₂	-0,314	-0,643	11

V. SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

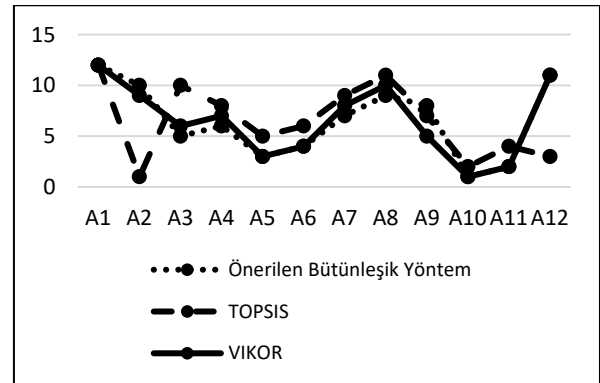
Önerilen yeni bütünleşik tereddütlü bulanık entropi tabanlı geliştirilmiş taksonomi yöntemi ile elde edilen sonuçların karşılaştırması amacıyla elde edilen sonuçlar literatürde sıkça kullanılan ve etkinliği birçok farklı çalışmada gösterilmiş iki farklı sıralama yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Kriterlerin ağırlıklandırılmasında uygulamada kullanılan tereddütlü bulanık entropi yöntemiyle bulunan ağırlıklar kullanılmıştır. Ardından alternatifler TOPSIS ve VIKOR Yöntemi ile sıralanmış ve sonuçlar Tablo 10'da verilmiştir.

Tablo 10. Sıralama değerleri karşılaştırması

Bütünleşik Tereddütlü	TOPSIS yöntemi ile		VIKOR
Bulanık Entropi Tabanlı	elde edilen sıralama		yöntemi ile
Geliştirilmiş Taksonomi	Yöntem ile sıralama		elde edilen
Yöntem ile sıralama			sıralama
A ₁	12	12	12
A ₂	10	1	9
A ₃	5	10	6
A ₄	6	8	7
A ₅	3	5	3
A ₆	4	6	4
A ₇	7	9	8
A ₈	9	11	10
A ₉	8	7	5
A ₁₀	1	2	1
A ₁₁	2	4	2
A ₁₂	11	3	11

Sonuçların analizi için sıralamalar arasında istatistiksel bir fark olup olmadığını gözlemlenmek amacıyla Spearman Rank Korelasyon uygulanmış ve önerilen yöntem ile VIKOR arasındaki sıralama korelasyonları anlamlı bulunmuştur. Korelasyon katsayısı 0,951'dir ($p < 0.05$). Yeni yöntem ile TOPSIS sıralamaları arasındaki korelasyon ise istatistiksel olarak anlamsızdır ($p > 0.05$). Önerilen yöntemin belirsizliği de içinde barındırması yanı sıra ortalama ve standart sapma gibi istatistikleri de kullanması daha gerçekçi ve analitik sonuçlar elde edilmesine olanak sağlamıştır. Bu çalışmada gerçek bir hayat problemi ele alınmıştır. Önerilen yeni yöntem ile elde edilen sonuçlar, çalışmanın gerçekleştirildiği firmadaki uzmanlar tarafından incelenerek uygunluğu onaylanmıştır ve tutarlı olduğu görüşüne varılmıştır.

Temel yaklaşım olarak Taksonomi yöntemi, karar verme sürecini sınıflandırma ve taksonomik bir yapıya dayandırırken, TOPSIS yöntemi karar verme sürecini performansa dayalı olarak sıralama ve ideal çözüme benzerlik ölçütlerine dayandırır. Taksonomi yöntemi, seçenekleri taksonomik düzende gruplara ayırır ve sınıflandırır. TOPSIS yöntemi ise seçenekleri ideal çözüme olan benzerliklerine göre sıralar. Ayrıca optimal ve ideal bir alternatifin seçimini hedefler. Alternatifler pozitif ideal çözüme olan benzerliğe göre sıralanır, en yüksek benzerliğe sahip alternatif en üstte yer alır. Bu yöntem ideal alternatiflere olan benzerlikleri vurgular ve diğer alternatiflerle kesin bir denge sağlamaz. Taksonomi yöntemine benzer olarak VIKOR yöntemi hem iyi sonuçları elde etmeyi hem de kötü sonuçları telafi etmeyi hedefler. Bu nedenle daha esnek bir yaklaşım sunar. Performansın dengelenme, süreç iyileştirme ve hata analizi gibi konularda kullanışlıdır. Bu yöntemler, kompleks sistemlerin çok kriterli optimizasyonu için geliştirilmiştir. "Yakınlığa" dayalı "ideal çözüm"ün birçok kritere göre ortaya konulmasıdır. İdeal alternatifte yakınlık ölçüsüne göre karşılaştırılarak uzlaşık sıralama yapılmaktadır. Bu sebeple VIKOR ve Taksonomi yöntemini içeren bütünleşik yaklaşım benzer sonuçlar verirken TOPSIS yönteminden elde edilen sıralama farklılaşmıştır.



Şekil 3. Farklı yöntemlere ait sonuçların karşılaştırılması

Şekil 3' de bu çalışmada önerilen bütünleşik yaklaşım ile TOPSIS ve VIKOR yöntemleri ile elde edilen sıralama sonuçlarının karşılaştırması verilmektedir. Buna göre önerilen bütünleşik yöntem ile VIKOR yöntemi ile elde edilen sıralama sonuçlarının benzerlik gösterdiği, ancak TOPSIS yöntemi ile elde edilen sıralama sonuçlarının farklılaştığı net olarak gözlenmektedir. Grafik sonuçları korelasyon testinden elde edilen sonuçları desteklemektedir.

VI. SONUÇLAR

Bu çalışmada, birçok farklı çeşide sahip araç üreten bir otomotiv firmasında müşteriye özel araçların tasarım ve mühendislik faaliyetlerinin sipariş işleme süreç verimliliğinin artırılması yönelik yeni bir yöntem önerilmiştir. Bu yöntem sayesinde sipariş işleme sürecinde ortaya çıkan hataların azaltılması, süreç

verimliliğinin artırılması ve hata kaynaklı maliyetlerin azaltılması hedeflenmiştir. Önerilen Bütünleşik Tereddütlü Bulanık Entropi Tabanlı Geliştirilmiş Taksonomi Yöntemi projelerin risk düzeyini azaltacağından firmaya büyük ölçüde fayda sağlayacaktır. Önerilen yöntem bir gerçek hayat problemine uygulanmış ve sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde önerilen yaklaşımla elde edilen alternatif önceliklerinin mevcut yöntemlerle elde edilenlerden daha güvenilir olduğunu ve önerilen yöntemin süreç verimliliği için yararlı ve etkili bir araç sağlayabileceğini göstermektedir. Ayrıca önerilen yöntem, firmalarda herhangi bir süreçte hataların veya problemlerin daha önemli bir role sahip olduğuna dair sıralamalar ve bilgiler vermektedir. Bu çalışmanın ilgili literatüre iki önemli katkısı bulunmaktadır. Birincisi, süreç verimliliğinin artırılmasına yönelik bir yeni yöntem geliştirilmesidir. İkincisi, düzensiz bilgiyi ortadan kaldıran yani belirsizlik içeren bir yapıda bulunan veride bu durumu ortadan kaldırmasıdır. Ayrıca ortalama ve yayılım ölçülerini de kullanarak analitik yaklaşımlarla birlikte bilgi teorisi kavramıyla ağırlıkların belirlenmesi aşamaları da önerilen yöntemi güçlendiren katkılardandır. Önerilen yöntem yeni bir sıralama yaklaşımı ortaya koymaktadır.

Gelecek çalışmalarda bulanık mantığın farklı uzantularıyla birleştirilmiş farklı çok kriterli karar verme yöntemleri uygulanarak bölümler için sıralamalar oluşturulabilir. Farklı departmanlardaki farklı bölümler farklı kriterlere göre incelenebilir. Bu çalışma kapsamında yapılan hata analizi literatürde bulunan ve sıklıkla kullanılan Hata Türü ve Etkileri Analizi ile çözümlenebilir. Buradan elde edilen sonuçlarla önerilen yöntem sonuçlarının karşılaştırması yapılabilir. Hata Türü ve Etkileri analizi kısımdaki olasılıklar stokastik modelleme yapılarak kurgulanabilir. Ayrıca, sipariş işleme sürecinde karşılaşılan hataların alt boyutlarına inilerek kök-neden analizleri yapılarak ayrıntılı incelemeler gerçekleştirilebilir. Böylelikle sorunları başlangıç aşamasında fark edebilme ve çözümleyebilme olanağı yakalanabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Zhang, H., Gu, C., Gu, L. ve Zhang, Y. (2011). The Evaluation of Tourism Destination Competitiveness by TOPSIS & Information Entropy a case in the Yangtze River Delta of China. *Tourism Management*, 32, 443-451.
- [2] Alinezhad, A. ve Khalili, J. (2019). New Methods and Applications in Multiple Attribute Decision Making (MADM). *International Series in Operations Research & Management Science*, 277, 73-79.
- [3] Uthayakumar, R. ve Rameswari, M. (2012). An integrated inventory model for a single vendor and single buyer with order-processing cost reduction and process mean. *Int. J. Prod. Res.*, 50 (11), 2910-2924.
- [4] Acero, R., Torralba, M., Pérez-Moya, R. ve Pozo, J.A. (2019). Value Stream Analysis in Military Logistics: The Improvement in Order Processing Procedure. *Applied Sciences*, 10 (1), 106.
- [5] Toklu, M.C., Erdem, M.B. ve Taşkın, H. (2016). A fuzzy sequential model for realization of strategic planning in manufacturing firms. *Comput. Ind. Eng.*, 102, 512-519.
- [6] Yadav, G., Seth, D. ve Desai, T.N. (2018). Application of hybrid framework to facilitate lean six sigma implementation: a manufacturing company case experience. *Production Planning & Control*, 29 (3), 185-201.
- [7] Tian, Z.P., Wang, J.Q. ve Zhang, H.Y. (2018). An integrated approach for failure mode and effects analysis based on fuzzy best-worst, relative entropy, and VICOR methods. *Appl. Soft Comput.*, 72, 636-646.
- [8] Gupta, A., Sharma, P., Jain, A., Xue, H., Malik, S.C. ve Jha, P.C. (2019). An integrated DEMATEL Six Sigma hybrid framework for manufacturing process improvement. *Annals of Operations Research*, 1-41.
- [9] Akbar, M. A., Alsanad, A., Mahmood, S. ve Alothaim, A. (2021). A multicriteria decision making taxonomy of IoT security challenging factors. *IEEE Access*, 9, 128841-128861.
- [10] Rafi, S., Akbar, M. A., AlSanad, A. A., AlSuwaidan, L., Abdulaziz AL-ALShaikh, H., ve AlSagri, H. S. (2022). Decision-making taxonomy of devops success factors using preference ranking organization method of enrichment evaluation, *Mathematical Problems in Engineering*, 2022, 1-15.
- [11] Khan, A. A., Shameem, M., Nadeem, M., ve Akbar, M. A. (2021). Agile trends in Chinese global software development industry: Fuzzy AHP based conceptual mapping, *Applied Soft Computing*, 102, 107090.
- [12] Jing, D., Imeni, M., Edalatpanah, S. A., Alburaikan, A., ve Khalifa, H. A. E. W. (2023). Optimal selection of stock portfolios using multi-criteria decision-making methods, *Mathematics*, 11(2), 415.
- [13] Yang, G., Ren, M., ve Hao, X. (2023). Multi-criteria decision-making problem based on the novel probabilistic hesitant fuzzy entropy and TODIM method, *Alexandria Engineering Journal*, 68, 437-451.
- [14] Deveci, M., Öner, S. C., Ciftci, M. E., Özcan, E., ve Pamucar, D. (2022). Interval type-2 hesitant fuzzy Entropy-based WASPAS approach for aircraft type selection, *Applied Soft Computing*, 114, 108076.

- [15] Wan, S. P., Zou, W. C., Zhong, L. G., & Dong, J. Y. (2020). Some new information measures for hesitant fuzzy PROMETHEE method and application to green supplier selection, *Soft Computing*, 24, 9179-9203.
- [16] Başar, A. (2017). Klasik ve sezgisel bulanık ikili karşılaştırma ile yazılım geliştirme projelerinin maliyet tahmini: uygulama örneği. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 10 (2), 129–129.
- [17] Adar, T. ve Kılıç, E. (2018). Banka sektöründe insan hata analizi için yeni bir bütünleşik yöntem: İFASS&ÇK-KBDTK. *Ergonomi*, 1 (2), 108–122.
- [18] Rodriguez, R.M., Martinez, L., Torra, V., Xu, Z.S. ve Herrera, F. (2014). Hesitant fuzzy sets: State of the art and future directions. *Int. J. Intell. Syst.*, 29 (2), 495–524.
- [19] Xia, M. ve Xu, Z. (2011). Hesitant fuzzy information aggregation in decision making, *Int. J. Approximate Reasoning*, 52, 395–407.
- [20] Xu, Z. ve Xia, M. (2012). Hesitant Fuzzy Entropy and Cross-Entropy And Their Use in Multiattribute Decision-Making. *Int. J. Intell. Syst.*, 27, 799–822.
- [21] Ömürbek, N. ve Aksoy, E. (2016). Bir Petrol Şirketinin Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri ile Performans Değerlendirmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 21 (3), 723-756.
- [22] Adanson, M. (1763). *Familles des plantes par M. Adanson.* (Vol. 1). chez Vincent.
- [23] Hellwing, Z. (1968). Application of the taxonomic method in typological division of countries based on the level of their development and resources as well as skilled employees structure, *Przegld Statystyczny*, 4, 307-326.
- *

* Cansu Sakarya tarafından yapılan 2022 yılında Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü yüksek lisans tezinin bir parçasıdır.

Recycled EPS and Epoxy Based Composite Materials: The Combination of Sustainability and Performance

Aysu ÇAVUŞOĞLU¹ , İdris KARAGÖZ² 

¹Yalova University, Institute of Graduate Studies, Polymer Material Engineering ABD, 77200 Yalova, Türkiye.

²Yalova University, Polymer Material Engineering, 77200 Yalova, Türkiye.

Abstract

Epoxy composites are high-strength and lightweight materials created by combining epoxy matrix with reinforcing materials. Such composites have a wide range of applications in aviation, automotive, energy, and many other industrial sectors. In this study, the effects of surface-coated expanded polystyrene (rEPS) bubbles added to epoxy matrix at different ratios (%1, %3, %7, %11, and %14) on material properties were investigated. Material properties such as density, hardness, surface gloss at a 60° angle, and Charpy impact strength were measured according to varying rEPS ratios. The results showed that rEPS bubbles reduced density, thereby reducing the weight of the material, affected surface gloss, and decreased impact strength. There was no significant difference in hardness values, but impact strength decreased with increasing rEPS content. The effects of homogeneous distribution of rEPS bubbles on material properties were examined, and it was emphasized that the use of rEPS should be optimized with appropriate production processes. This study has been an important step in understanding the performance of rEPS in epoxy composite materials and has provided a foundation for future research.

Keywords: Epoxy, Polymer Composites, Expanded Polystyrene, Sustainability, Recycled, Performance

Öz

Epoksi kompozitler, epoksi matris ve takviye edici malzemelerin bir araya getirilmesiyle oluşturulan yüksek mukavemetli ve hafif malzemelerdir. Bu tür kompozitler, havacılık, otomotiv, enerji ve birçok endüstriyel uygulamada geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bu çalışmada, epoksi matrise farklı oranlarda (%1, %3, %7, %11 ve %14) eklenen yüzeyi PA ile kaplanmış genişletilmiş polistiren (rEPS) baloncukların malzeme özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Yoğunluk, sertlik, yüzey parlaklığı ve Charpy darbe mukavemeti gibi malzeme özellikleri, farklı rEPS oranına göre ölçülmüştür. Sonuçlar, rEPS baloncuklarının yoğunluğu azaltarak malzemenin ağırlığını düşürdüğünü, yüzey parlaklığını etkilediğini ve darbe mukavemetini azalttığını göstermiştir. Sertlik değerlerinde belirgin bir farklılık bulunmamıştır. rEPS içeriği arttıkça darbe mukavemeti azalmıştır. rEPS baloncuklarının homojen dağılımının malzeme özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiş ve uygun üretim süreçleri ile rEPS kullanımının optimize edilmesi gerektiği vurgulanmıştır. Bu çalışma, rEPS kullanımının epoksi kompozit malzemelerdeki performansını anlamak için önemli bir adım olmuş ve gelecekteki araştırmalar için bir temel sağlamıştır.

Anahtar Kelimeler: Epoksi, Polimer Kompozit, Genleştirilmiş Polistiren, Sürdürülebilirlik, Geri dönüşüm, Performans

I. INTRODUCTION

Expanded polystyrene (EPS) is a lightweight, cellular foam material that is produced by expanding polystyrene resin through a specialized manufacturing process, and it is widely used in various applications. EPS is produced by adding a gas (typically pentane) to polystyrene resin, which separates the polymer chains in the resin and creates a foam structure, increasing the volume of the material. This expansion process not only results in EPS having low density, but also makes the material lightweight and highly voluminous [1-3]. Due to its lightweight nature, high thermal insulation properties, excellent mechanical strength, high performance, and sustainable characteristics, EPS has become a preferred material for many industries.

EPS has a wide range of applications. In the construction sector, it is commonly used for thermal insulation, subfloor insulation, wall panels, roof coverings, and insulation boards. It is also used as an insulating material in the electronics sector, as components for automotive interiors and exteriors, in sports and recreational equipment, and in many other industrial and consumer products. In addition to these applications, EPS is also used as a lightweight and shock-absorbing packaging material in the packaging sector, due to its flexible structure, impact resistance, and mechanical durability, to protect products during storage, transportation, and installation. However, after its intended use, EPS becomes plastic waste. Although EPS is 100% recyclable, the challenges of recycling and processing processes have led researchers to explore alternative ways of valorizing EPS, which is becoming an increasing source of post-consumer waste. There are different methods for recycling EPS in its waste form. EPS can be recycled through mechanical and chemical recycling methods. In mechanical recycling, EPS materials can be granulated and used as raw material for the production

Corresponding Author: Aysu ÇAVUŞOĞLU, Tel: 0212 815 61 81, e-posta: aysucvsoglu@gmail.com

Submitted: 18.04.2023, **Revised:** 08.06.2023, **Accepted:** 18.07.2023

of new products. In chemical recycling, EPS can be chemically processed and used for the production of new materials.

Recycled Expanded Polystyrene (rEPS) can increase the use of EPS in construction materials and reduce the environmental impact of waste EPS. By reducing the density of concrete, rEPS helps make building materials lighter and more sustainable [2, 4, 5]. Additionally, the high thermal insulation properties of EPS can improve energy efficiency in buildings and reduce energy consumption. The use of rEPS as a material also contributes to the conservation of natural resources and minimizes environmental impacts by reducing waste. rEPS is also used in the shaping of thermoplastic and thermoset materials through polymer processing methods. Castro et al. [6] prepared mixtures by blending rEPS into pure EPS through injection molding process at various ratios (10%, 15%, and 20%). They reported that the material compressive strength, impact resistance, glass transition temperatures, and thermal diffusion changed very little, while tensile strength, flexural strength, and thermal conductivity decreased. The researchers concluded that rEPS could be used in products such as cases and packaging. Serin and Yildizhan [7] produced low-density and high-modulus composites using glass fiber, EPS, and epoxy, and indicated that these new composites could be used in non-load-bearing applications. Smorygo et al. [8] produced ultra-low-density epoxy/polystyrene foam composites with high specific strength and pseudo-plastic behavior, and found that the composite components exhibited a synergistic response. Aydogmus et al. [9] produced epoxy biocomposites reinforced with waste EPS and reported a 9% reduction in production cost in biocomposite production with the use of waste EPS.

Composite materials made by combining recycled expanded polystyrene (rEPS) and epoxy resins represent an important class of materials that offer a combination of sustainability and performance [4]. These composite materials are considered as a solution for using environmentally friendly materials, leveraging the lightweight, high thermal insulation, and excellent mechanical strength properties of EPS, as well as the durability, chemical resistance, and low viscosity of epoxy resins. The production of composite materials by combining rEPS with epoxy resins helps reduce waste generation and offers a sustainable solution in terms of recycling. In addition, the lightweight, high thermal insulation properties, and excellent mechanical strength of rEPS contribute to the improved sustainability and performance of the composite materials. The fields of application for composite materials made by combining recycled EPS and epoxy resins are extensive. They can be used in the construction sector for applications such as thermal insulation panels, subfloor insulation, roof coatings, and structural elements. Moreover, they have potential uses in the automotive industry for interior

and exterior components, packaging sector, sports and recreation equipment, and many other industrial and consumer products. The use of composite materials made by combining recycled EPS and epoxy resins promotes an environmentally friendly approach by reducing waste and encouraging sustainable material usage. The use of such materials may contribute to the conservation of natural resources, energy savings, and reduction of carbon footprint.

Samsudin et al. [10] coated EPS beads with epoxy resin and then hardened them at high temperature, resulting in a shrunk hollow structure. Reemas and Maheswaran investigated the effect of EPS volume fraction on the buoyancy properties of EPS/epoxy sandwich composites and observed that buoyancy properties improved with increasing EPS ratio [11]. Inoue et al. [12] developed an absorber capable of absorbing millimeter wavelength by adding PS bubbles to an epoxy matrix. The researchers found that the absorber could be transformed into various shapes, such as chips and pyramids, and could be used to protect telescopes from scattered light. Li et al. [13] added PS additives at specific ratios to improve the mechanical properties of carbon fiber reinforced epoxy composites. The optimum PS additive ratio was found to be 2.5%, and at this dosage, the tensile strength, tensile modulus, flexural strength, flexural modulus, and impact strength of the adhesive increased, while the PS particles deformed significantly and absorbed energy when the matrix fractured. Vaitkus et al. [14] examined the effect of average bead size on the density of EPS samples. It was observed that the pressure on the EPS sample affected the structure and the durability and stability were related to stress. Wang et al. [15] created controlled void defects on EPS modified epoxy resin samples and examined their mechanical behavior using digital image correlation and image-based finite element method. Experimental results showed that void defects had an effect on the tensile, compressive, and deformation properties of the samples, and influenced the mechanical behavior of epoxy resin.

Surface gloss is an important factor that affects the appearance, quality, and usability of epoxy composites [16]. A smooth and glossy surface enhances the aesthetic value of the composite and provides a more appealing appearance [17]. Surface gloss depends on various factors such as the quality of the epoxy resin and curing agents used, type and ratio of reinforcement materials, production method, processing conditions (temperature, humidity, etc.), surface preparation, and final finishing steps [18]. High surface gloss in epoxy composites is desired in decorative and aesthetic applications (coatings, flooring, furniture, decorative items, etc.) as it enhances the attractiveness and professional appearance of the product [19, 20]. In fields such as automotive and aerospace, high surface gloss can improve aerodynamic performance and reduce air

friction [21]. Moreover, high surface gloss allows for easy cleaning, maintenance, and visual inspection of composite parts [22-25].

The importance of sustainability and environmentally friendly approaches is increasing in today's world. Therefore, it is expected that the use of composite materials combining recycled EPS and epoxy resins will increase. Research and technological advancements are encouraging the widespread use of rEPS and epoxy resins in composite materials, leading to potential applications in various industries such as automotive, aerospace, construction, packaging, marine, electronics, and others. This could be a significant step towards a sustainable future. Due to the superior properties of both epoxy resins and EPS, it is expected that the use of rEPS and epoxy resins in composite materials will increase [26, 27].

In this study, changes in the properties of density, surface gloss, hardness, and impact resistance of the material will be investigated by adding rEPS to epoxy matrix at different ratios. Additionally, the aim is to create economic value by recycling non-recycled rEPS, designing and producing new composite products with epoxy as sustainable and environmentally friendly alternatives, reducing waste quantity, preventing environmental pollution, and promoting sustainable use of natural resources.

II. MATERIALS AND METHODS

2.1. Materials and Preparation Techniques

The commercial code ERA 4000 (Teknomarin) two-component solvent-free epoxy system was used as the matrix material in the study. The technical specifications of ERA 4000 epoxy system are given in Table 1.

Table 1. Technical specifications of ERA 4000 epoxy system

Technical Specifications	Unit	Value
Volume Solids	%	100
Density	g/cm ³	1.1
Color	-	Clear
Gloss	-	Glossy
Dry Film Thickness	μ	200 μ
Theoretical Coverage	°C	5 (200 μ) - 2 (500 μ)
Application Range	m ² /lt	+15 ~ +35
Initial Cure (20°C)	hour	1
Full Cure (20°C)	hour	6
Ready for Service	hour	24
Mixing Ratio (by weight)	wt. %	2A/1B
Mixing Ratio (by volume)	vol.%	2A/1B
Pot Life (20°C)	minute	35

It has been obtained from packaging waste used for protective purposes, specifically EPS beads, added to epoxy to reduce weight. The surface area was calculated by separating EPS particles/bubbles. The mass, surface area, and volume of the EPS bead were modeled in SolidWorks software. One EPS bubble has an average diameter of 2.4 mm, a surface area of 15.67 mm², and a volume of 5.29 mm³. The drawing of the EPS bubble modeled in SolidWorks software is given in Figure 1.

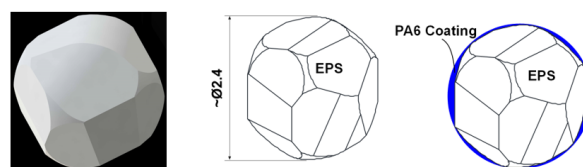


Figure 1. The modeling of the EPS bubble in SolidWorks software

To improve the interfacial properties between epoxy and EPS, and to prevent voids and crack formation due to the geometry of EPS particles/bubbles, liquidized PA6 obtained from injection runner waste and dissolved in formic acid solution was used to coat the surface of EPS particles/bubbles. The density of PA6 is 1.14 g/cm³, the melting temperature is 221 °C, and the relative viscosity (in 1% H₂SO₄ (96%) solution at 20 °C) is 2.7. Prior to the dissolution process, PA6 was pulverized and converted into powder form using a Lavion HC500 Y brand grain mill, as shown in Figure 2, to shorten the processing time.



Figure 2. Lavion HC500 Y brand grain mill was used to pulverize and convert PA6 into powder for

2.2. Dissolution of PA6 and Coating of EPS Surface

For the dissolution process, a formic acid concentration of 90% was prepared. The pulverized and converted PA6, as shown in Figure 2, was added to the prepared mixture. The mixture was then stirred at 80°C and 200 rpm for 6 hours using a Heidolph heated magnetic stirrer to dissolve PA6 and convert it into liquid form. An image of the dissolution process is given in Figure 3.

Coating of EPS surfaces with PA6 in granular form was carried out using a custom-made mixer device with a rotating drum and air blowing at 40 °C, as shown in Figure 4. The drum of the mixer was rotated, and the dissolved PA6 solution was sprayed onto the EPS bubbles inside the drum every two minutes (5 times) in a mist form, ensuring a homogeneous coating of EPS bubble surfaces with PA6 for a duration of ten minutes. Care was taken to ensure that the PA6 solution was sprayed evenly onto the

styrofoam bubbles throughout the process. After these steps, the hot air blower of the mixer was turned on, and the EPS+PA6 solution was stirred for an additional 10 minutes at 40 °C to dry. To prevent moisture-related molding defects during the preparation of composites, to protect the coated surfaces, and to prevent PA6 from absorbing moisture, the coated EPS particles were allowed to dry in an oven at 40 °C for 24 hours after the application.

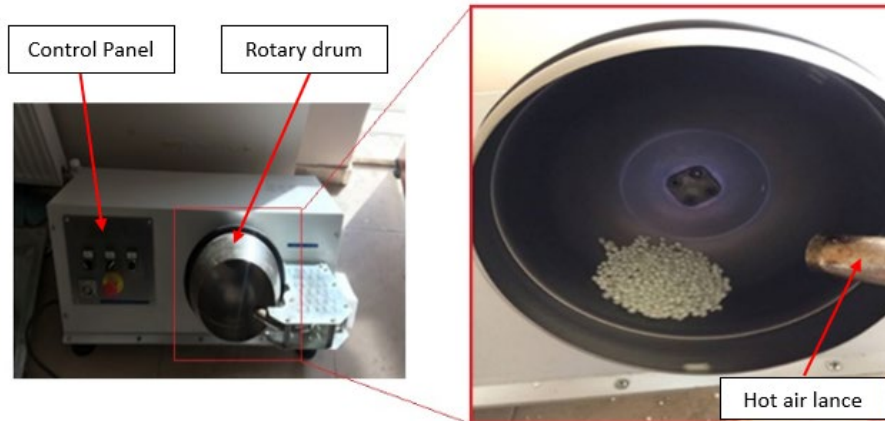


Figure 4. Hot air blown and rotary drum mixer

2.3. Preparation of Epoxy/PS(+PA6) Composites

Epoxy resin (A) and hardener (B) components were weighed in a 2:1 ratio using a precise balance. The mixture was thoroughly mixed for about five minutes until a homogeneous consistency was achieved. The mixing process was done quickly to prevent the formation of air bubbles. Petri dishes with a diameter of 80 mm and a thickness of 3 mm were used as casting molds for the samples. Mold release agent was applied to the surfaces of the petri dish to facilitate easy removal of the cured epoxy from the mold. The mixed epoxy and hardener mixture was poured into the mold. Air bubbles formed in the resin were removed using a spatula, and EPS bubbles coated with PA6 were placed in the epoxy resin according to the volume calculation using forceps. After the process, the epoxy was left to cure for 24 hours. After curing, the cast parts were removed from the mold. Epoxy/PS(+PA6) composites were prepared by adding PA6-coated EPS bubbles to the epoxy in volume ratios of 3%, 7%, 11%, and 14%. The products were coded with the first letter of the epoxy word, EPS, and the volumetric EPS ratio. For example, the E/EPS03 code indicates that the epoxy contains 3% volumetric EPS bubbles. The images of the prepared products are shown in Figure 5.

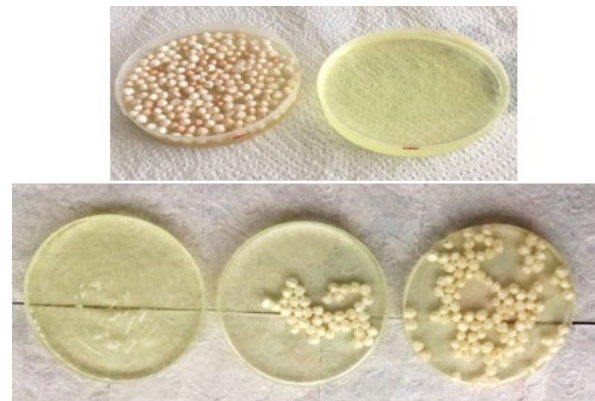


Figure 5. Appearance of epoxy composite samples

2.4. Density Measurement

Density measurements of prepared Epoxy/PS(+PA6) composites were conducted by first weighing the samples on a precision balance. Then, the composite samples prepared at different ratios were immersed in a precise water container filled with alcohol, ensuring complete submersion. The level of the water container was recorded. After removing the sample from the alcohol, the level to which the alcohol dropped was also recorded. The densities were calculated using the equation provided in Eq.1, where the mass change represents the change in weight of the water container when the sample is immersed, and the changing volume represents the difference between the levels to which the alcohol rises and drops.

$$\text{Density} = \frac{\text{Mass change}}{\text{Change in volume of liquid}} \quad (1)$$

2.5. Hardness Measurement

According to ASTM D2240 standard, hardness measurements are commonly used in many industrial applications such as evaluating the mechanical properties of materials, ensuring quality control processes, and predicting product performance. Shore D scale and Loyka Brand hardness measurement device were used to measure the hardness of the samples in accordance with ASTM D2240 standard.

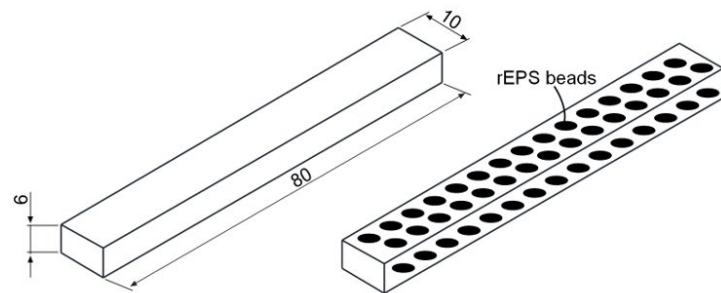


Figure 6. Production of Charpy impact test specimens

2.7. Surface Gloss Measurement

Surface gloss measurements were performed using an Elcometer brand micro-gloss meter at a projection angle of 60° to evaluate the surface's ability to reflect light. A 60° projection angle is commonly used for gloss measurements of paints, coatings, plastics, and other surface coatings.

III. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Density Measurement Results

The density measurement results of the prepared Epoxy/PS(+PA) composites are given in Table 2 and their graphical comparison is shown in Figure 7. Comparing the densities given in the table, the sample coded as E/EPS00 has the highest density (1.10 g/cm³), while the sample coded as E/EPS14 has the lowest density (0.87 g/cm³). The other samples can be ranked in terms of density between these two samples. Therefore, the sample coded as E/EPS00 can be considered as the most dense, and the sample coded as E/EPS14 can be considered as the least dense. It can be observed that the addition of EPS(+PA) bubbles into epoxy reduces the density of epoxy and consequently reduces the weight of the material. When 3% EPS(+PA6) is added into epoxy, the density of the sample decreases by approximately 11% compared to pure epoxy. When 7% EPS(+PA6) is added, the density of the sample decreases by approximately 14.5% compared to pure epoxy. When 11% EPS(+PA6) is added, the density of the sample decreases by approximately 19% compared to pure epoxy, and when 14% EPS(+PA6) is added, the

2.6. Charpy Impact Test

A V-notch Charpy impact test was conducted on samples using a 5.0 J pendulum hammer according to ISO179-1 standard on an Instron-120D model machine. V-notches with a radius of 0.1 were created on the samples in accordance with ISO 294-1. Pictures of the specimens used for the impact test casting are provided in Figure 6.

density of the sample decreases by approximately 21% compared to pure epoxy.

Reducing the density of a material can provide some advantages in specific applications or designs. Especially in areas where weight is critical, such as automotive, aerospace, space, and defense industries where composites made of epoxy are used and lightweight is important, adding EPS bubbles into epoxy can achieve the desired effect [14,15]. Factors such as the requirements of the application, performance expectations, cost factors, and production processes should be taken into consideration in such applications. Each material has its unique properties, and it should be remembered that density is just one factor that affects the field of use and performance of a material.

When the results are examined in terms of weight, it is observed that when 3% EPS(+PA6) is added to epoxy, the weight of the specimen decreases by approximately 13% compared to pure epoxy. Similarly, when 7% EPS(+PA6) is added, the weight of the specimen decreases by approximately 17% compared to pure epoxy. When 11% EPS(+PA6) is added, the weight of the specimen decreases by approximately 21% compared to pure epoxy, and when 14% EPS(+PA6) is added, the weight of the specimen decreases by approximately 23% compared to pure epoxy. There are many important advantages of weight reduction with additives in epoxy composites [28-30]. These include performance improvement, energy efficiency, cost reduction,

environmental sustainability, and ease of use. For these reasons, the use of lightweight epoxy composite materials is preferred in many industries, especially in aviation, automotive, aerospace, marine, and wind energy sectors [31, 32]. The use of lightweight materials can contribute to increased performance,

reduced energy consumption, lower costs, support for environmental sustainability, and ease of use.

Table 2. Density measurement results

CODE	EPS(+PA) (wt.%)	Total Weight (g)	Density (g/cm ³)
E/EPS00	-	115.20	1.10
E/EPS03	3	100.16	0.98
E/EPS07	7	96.04	0.94
E/EPS11	11	91.02	0.89
E/EPS14	14	89.11	0.87

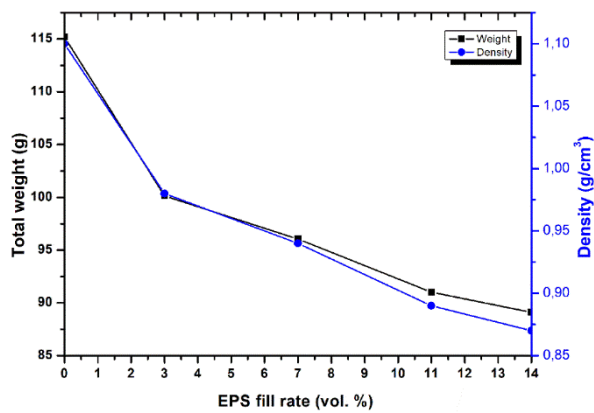


Figure 7. Variation of density and weight according to EPS filling ratio

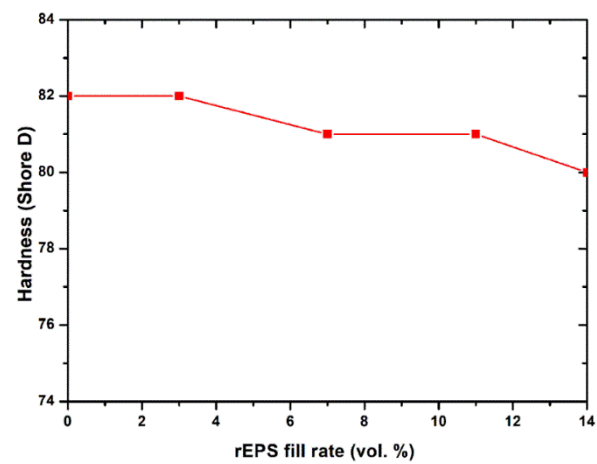


Figure 8. Variation of hardness according to EPS filling ratio

3.2. Hardness Measurement Results

The hardness measurement results of the prepared Epoxy/PS(+PA) composites are given in Table 3 and compared graphically in Figure 8. When the results in the table are examined, it can be seen that there is no significant difference in hardness among the epoxy composite samples. These results indicate that the hardness values of the samples are similar and within a close range. The hardness values of the samples coded as E/EPS00 and E/EPS03 are the same, measured as 82 Shore D. The hardness values of the other samples range between 80-81 Shore D. As the additive ratio increases, the differences in hardness measurement values also increase. In areas where EPS(+PA6) bubbles are present within the matrix, the epoxy thickness is relatively lower compared to other regions. As a result, measurements taken on the surfaces with EPS (+PA6) bubbles indicate lower hardness values. Although there are no significant differences in hardness within the sample, it is thought that there is a difference in hardness, and the EPS(+PA6) bubbles are considered to be effective in this difference [33, 34].

3.3. Surface Gloss Measurement Results

The measurement results of surface glossiness obtained at a 60° projection angle using an Elcometer brand micro-gloss meter are given in Table 3 and compared graphically in Figure 9. According to the results, surface glossiness values in Gloss Units (GU) are specified for samples coded as E/EPS00, E/EPS03, E/EPS07, E/EPS11, and E/EPS14. The surface glossiness values were measured as 95.8 GU, 87.4 GU, 81 GU, 77.6 GU, and 64.0 GU, respectively. According to the results, the E/EPS00 sample falls into the very high glossiness class, E/EPS03 sample falls into the high glossiness class, E/EPS07 sample falls into the medium glossiness class, E/EPS11 sample falls into the low glossiness class, and E/EPS14 sample falls into the very low glossiness class. These values indicate that the surface glossiness of the samples is different and decreases in a specific order. The sample coded as E/EPS00 has the highest glossiness value of 95.8 GU and has a shinier surface compared to other samples. The samples coded as

E/EPS03, E/EPS07, E/EPS11, and E/EPS14 have surface glossiness values of 87.4 GU, 81 GU, 77.6 GU, and 64.0 GU, respectively, which are lower than the E/EPS00 sample. The results show that the surface glossiness of the samples may vary depending on factors such as material composition, processing, or surface treatment, and there is a specific pattern among the samples. Surface glossiness is an important characteristic depending on the appearance, aesthetic value, and intended use of materials, and it stands out as a parameter that needs to be controlled in production processes [35].

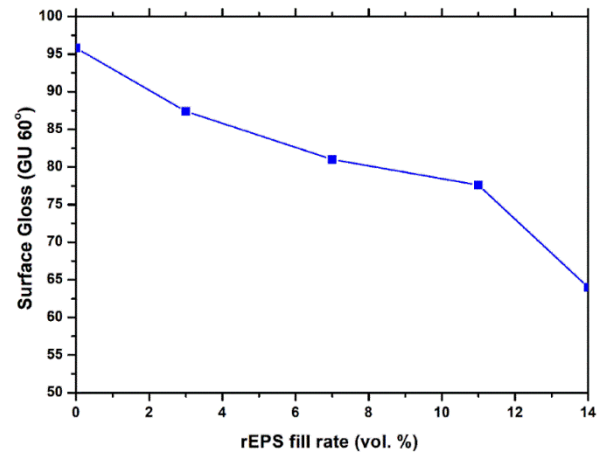


Figure 9. Variation of surface gloss according to EPS filling ratio

Table 3. Hardness and surface gloss measurement results

CODE	EPS(+PA) (wt.%)	Hardness (Shore D)	Surface Gloss (GU 60°)
E/EPS00	-	82±1 (0.7)*	95.8
E/EPS03	3	82±1 (0.5)*	87.4
E/EPS07	7	81±2 (0.3)*	81.0
E/EPS11	11	81±2 (0.4)*	77.6
E/EPS14	14	80±2 (0.3)*	64.0

* The values within parentheses represent the standard deviation

3.4 Charpy Impact Test Results

The impact strength of pure epoxy (E/EPS00) was determined to be 5.3 kJ/m². For the samples labeled as E/EPS03, the impact strength was found to be 4.8 kJ/m², while for E/EPS07, E/EPS11, and E/EPS14 samples, the impact strength values were 4.2 kJ/m², 2.9 kJ/m², and 1.1 kJ/m², respectively.

Upon examining the impact strength values of epoxy samples, it is observed that the impact strength decreases with an increase in rEPS content. E/EPS00 and E/EPS03 samples exhibit higher impact strength, whereas E/EPS07, E/EPS11, and E/EPS14 samples show lower impact strength, in accordance with literature [36]. The decrease in impact strength with an increase in rEPS content is believed to be attributed to the relatively larger size of rEPS particles [37,38]. Smaller particle sizes generally improve impact strength by increasing contact points, enhancing resistance to external forces, and improving load transfer and stress distribution. Larger particles, however, can create stress concentration points, weaken the material, and hinder proper interlocking and bonding, reducing its ability to absorb and dissipate energy during impact [39-41].

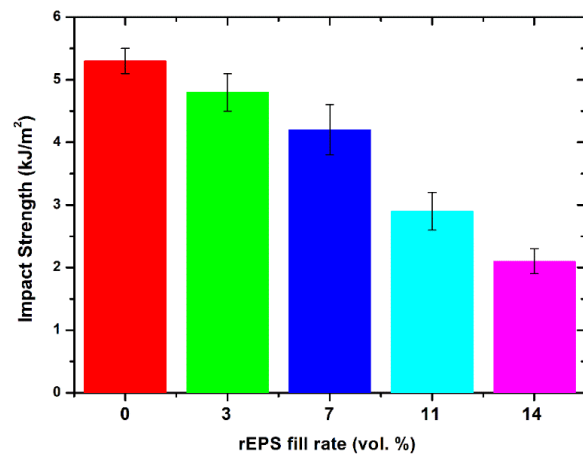


Figure 10. Variation of Charpy impact strength according to EPS filling ratio

IV. CONCLUSION

In this study, density, hardness, and surface gloss of epoxy composites prepared using epoxy matrix and varying amounts of rEPS were measured, and impact testing was performed on the samples. The results showed that the use of rEPS in epoxy composite materials has specific effects on material properties. Material properties such as density, hardness, and surface gloss vary depending on the rEPS content. The general findings obtained from this study are as follows:

1. It was observed that rEPS bubbles reduce the density and weight of epoxy composite materials, which can provide advantages in areas where lightweight materials are used, such as aviation, automotive, and energy.
2. Surface gloss of the samples varies depending on the rEPS bubble content.
3. There were no significant differences in hardness values among the samples. However, partial changes in hardness are thought to occur especially in regions where rEPS bubbles are present. Therefore, it is recommended to carefully select the material and rEPS bubble content considering application requirements and usage conditions.
4. According to the impact strength test results of epoxy samples, it was observed that impact strength decreases with increasing rEPS content. Samples coded as E/EPS00 and E/EPS03 have higher impact strength, while samples coded as E/EPS07, E/EPS11, and E/EPS14 have lower impact strength. These results are in accordance with the literature, indicating that the increase in the amount of large-sized rEPS in epoxy can negatively affect impact strength. The reasons for this decrease should be investigated in more detail. Understanding the effect of rEPS content on impact strength can help to properly evaluate the use of composite materials in structural applications.
5. Production processes should be carefully adjusted for ensuring homogeneous distribution of rEPS additives in composite materials. Achieving homogeneous distribution can contribute to achieving desired material properties.
6. It was concluded that the use of rEPS has an effective impact on the material properties of epoxy composite materials, but positive results can be obtained through proper selection, production processes, and performance testing. This study encourages further research on the use of rEPS in epoxy composite materials.

RERERENCES

- [1] Aciu, C., Manea, D. L., Molnar, L. M., & Jumate, E. (2015). Recycling of Polystyrene Waste in the Composition of Ecological Mortars. *Procedia Technology*, 19, 498-505. <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2015.02.071>
- [2] Sun, Y., Li, C., You, J., Bu, C., Yu, L., Yan, Z., Liu, X., Zhang, Y., & Chen, X. (2022). An Investigation of the properties of expanded polystyrene concrete with fibers based on an orthogonal experimental design. *Materials*, 15(3), 1228. <https://doi.org/10.3390/ma15031228>
- [3] Godet, R., Hoytema, N. V., Russel J., Rivas S. R., & Bersuder P. (2022). Review of Expanded Polystyrene (EPS) and Extruded Polystyrene (XPS) as a raw material; general characteristics, implementations, and suppliers, Report WP5 Knowledge Hub Deliverable 5.1, Atlantic Area Programme.
- [4] Gu, L., & Ozbakkaloglu, T. (2016). Use of recycled plastics in concrete: A critical review. *Waste Management*, 51,19-42. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.03.005>
- [5] Chaukura, N., Gwenzi, W., Bunhu, T., Deborah, T., Ruziwa, T., & Pumure, I. (2016). Potential uses and value-added products derived from waste polystyrene in developing countries: A review. *Resources, Conservation and Recycling*, 107,157-165. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.10.031>
- [6] Catro, C. G., Carmona, L. O., & Florez, J. O. (2017). Production and characterization of the mechanical and thermal properties of expanded polystyrene with recycled material. *Ing. Univ.*, 21(2),177-194.
- [7] Serin, H., & Yıldızhan, Ş. (2021). Tensile properties and cost-property efficiency analyses of expanded polystyrene/chopped glass fiber/epoxy novel composite. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 35,145-151. <https://doi.org/10.1007/s12206-020-1213-1>
- [8] Smorygo, O., Gokhale, A. A., Vazhnova, A., & Stefan, A. (2019). Ultra-low density epoxy/polystyrene foam composite with high specific strength and pseudo-plastic behavior. *Composites Communications*, 15,64-67. <https://doi.org/10.1016/j.coco.2019.06.008>
- [9] Aydoğmuş, E., Dağ, M., Yalçın, Z. G., & Arslanoğlu, H. (2022). Synthesis and characterization of EPS reinforced modified castor oil-based epoxy biocomposite. *Journal of Building Engineering*, 47,103897. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103897>
- [10] Samsudin, S. S., Ariff, Z. M., Zakaria, Z., & Bakar, A. A. (2011). Development and characterization of epoxy syntactic foam filled with epoxy hollow spheres. *Express Polymer Letters*, 5(7),653-660. DOI: 10.3144/expresspolymlett.2011.63
- [11] Reemas, S. A., & Maheswaran, R. (2017). Effect of EPS volume fraction in buoyancy characteristics of expanded polystyrene/epoxy sandwich composites. *Int. J. Materials Engineering Innvation*, 8(2), 146-157. <https://doi.org/10.1504/IJMATEI.2017.088092>
- [12] Inoue, Y., Hasegawa, M., Hazumi, M., Takada, S., & Tomaru, T. (2023). Development of epoxy-based millimeter absorber with expanded polystyrenes and carbon black. *Applied Optics*, 62(5),1419-1427. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2210.16202>

- [13] Li, C., Liu, Y., & Chen, Z. (2023). Study of mechanical properties of micron polystyrene-toughened epoxy resin. *Appl. Sci.*, 16(6),3981. <https://doi.org/10.3390/app13063981>
- [14] Vaitkus, S., Laukaitis, A., Gnipas, I., Kersulis, V., & Vejelis, S. (2006). Experimental analysis of structure and deformation mechanisms of expanded polystyrene (EPS) Slabs. *Materials Science*, 12(4), 323-327.
- [15] Wang, P., Lei, H., Zhu, X., Chen, H., & Fang, D. (2018). Investigation on the mechanical properties of epoxy resin with void defects using digital image correlation and image-based finite element method. *Polymer Testing*, 72,223-231. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2018.10.025>
- [16] Rosu, D., Rosu, L., Mustata, F., & Varganici, C. D. (2012). Effect of UV radiation on some semi-interpenetrating polymer networks based on polyurethane and epoxy resin. *Polymer Degradation and Stability*, 97(8),1261-1269. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2012.05.035>
- [17] Ramakrishnan, T., Karthikeyan, K. R., Tamilsevan, V., Sivakumar, S., Durgaprasad, G., Radha, H. R., Singh, A. N., & Waji, Y. A. (2022). Study of Various Epoxy-Based Surface Coating Techniques for Anticorrosion Properties. *Advances in Materials Science and Engineering*, Article ID 5285919. <https://doi.org/10.1155/2022/5285919>
- [18] Kotnarowska, D. (2013). Destruction of Epoxy Coatings under the Influence of Climatic Factors. *Solid State Phenomena*, 199,581–586. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/ssp.199.581>
- [19] Kahraman, M. V., Bayramoğlu, G., Boztoprak, Y., Güngör, A., & Apohan, N. K. (2009). Synthesis of fluorinated/methacrylated epoxy based oligomers and investigation of its performance in the UV curable hybrid coatings. *Progress in Organic Coatings*, 66(1),52-58. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2009.06.002>
- [20] Khan, M. A., Rahman, M. M., Gosh, M. K., & Chowdhury, T. A. (2003). Mechanical properties study of photocured paperboard surface treated with aliphatic epoxy diacrylate. *Journal of Applied Polymer Science*, 87,1774-1780. <https://doi.org/10.1002/app.11562>
- [21] Yong, Q., Chang, J., Liu, Q., Jiang, F., Wei, D., & Li, H. (2020). Matt Polyurethane Coating: Correlation of Surface Roughness on Measurement Length and Gloss. *Polymers*, 12(2),326. <https://doi.org/10.3390/polym12020326>
- [22] Ali, K. M. I., Khan, M. A., Rahman, M., & Ghani, M. (1998). Ultraviolet curing of epoxy coating on wood surface. *Journal of Applied Polymer Science*, 66,1997-2004. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-4628\(19971205\)66:10<1997::AID-APP16>3.0.CO;2-S](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-4628(19971205)66:10<1997::AID-APP16>3.0.CO;2-S)
- [23] Noodeh, M. B., Moradian, S., Ranjbar, & Z. (2017). Improvement of the edge protection of an automotive electrocoating in presence of a prepared epoxy-amine microgel. *Progress in Organic Coatings*, 103,111-125. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2016.10.026>
- [24] Ataei, S., Khorasani, S. N., Torkaman, R., Neisiany, R. E., & Koochaki, M. S. (2018). Self-healing performance of an epoxy coating containing microencapsulated alkyd resin based on coconut oil. *Progress in Organic Coatings*, 120,160-166. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2018.03.02>
- [25] Assanvo, E. F., Gogoi, P., Dolui, S. K., & Baruah, S. D. (2015). Synthesis, characterization, and performance characteristics of alkyd resins based on Ricinodendron heudelotii oil and their blending with epoxy resins. *Industrial Crops and Products*, 65, 293-302. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.11.049>
- [26] Wang, Z., Huang, Z., & Yang, T. (2020). Silica coated expanded polystyrene/cement composites with improved fire resistance, smoke suppression and mechanical strength. *Materials Chemistry and Physics*, 240, 122190. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2019.122190>
- [27] Wu, X., Gao, Y., Wang, Y., Jiang, T., Yu, J., Yang, K., Zhao, Y., & Li, W. (2020). Preparation and mechanical properties of carbon fiber reinforced multiphase Epoxy syntactic foam (CF-R-Epoxy/HGMS/CFR-HEMS foam). *Acs Omega*, 5(23),14133-14146. <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c01744>
- [28] Faruk, O., Bledzki, A. K., Fink, H. P., & Sain, M. (2014). Progress report on natural fiber reinforced composites. *Macromolecular Materials and Engineering*, 299(1), 9-26. <https://doi.org/10.1002/mame.201300008>
- [29] Balla, V. K., Kate, K. H., Satyavolu, J., Singh, P., & Tadimeti, J. G. D. (2019). Additive manufacturing of natural fiber reinforced polymer composites: Processing and prospects. *Composites Part B: Engineering*, 174, 106956. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.106956>
- [30] Nawafleh, N., & Celik, E. (2020). Additive manufacturing of short fiber reinforced thermoset composites with unprecedented mechanical performance. *Additive Manufacturing*, 33, 101109. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2020.101109>
- [31] John, A., & Alex, S. (2014). A review on the composite materials used for automotive bumper in passenger vehicles. *International Journal of Engineering and Management Research (IJEMR)*, 4(4), 98-101.

- [32] McIlhagger, A., Archer, E., & McIlhagger, R. (2020). Manufacturing processes for composite materials and components for aerospace applications. In *Polymer composites in the aerospace industry* (pp. 59-81). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102679-3.00003-4>
- [33] Zhang, W., Camino, G., & Yang, R. (2017). Polymer/polyhedral oligomeric silsesquioxane (POSS) nanocomposites: An overview of fire retardance. *Progress in Polymer Science*, 67, 77-125. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2016.09.011>
- [34] Thio, B. J.R. (2009). Characterization of bioparticulate adhesion to synthetic carpet polymers with atomic force microscopy. PhD Thesis, Georgia Institute of Technology, United States.
- [35] Fleming, R. W. (2014). Visual perception of materials and their properties. *Vision research*, 94, 62-75. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2013.11.004>
- [36] Yapıcı, İ., & Yapıcı, A. (2012). E-camı/epoksi tabakalı kompozitlerde düşük hızlı darbe davranışının sonlu elemanlar yöntemiyle incelenmesi. *Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 1(2),48-60. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.239393>
- [37] Chung, S. Y., Elrahman, M. A., & Stephan, D. (2018). Effects of expanded polystyrene (EPS) sizes and arrangements on the properties of lightweight concrete. *Materials and Structure*, 51,57. <https://doi.org/10.1617/s11527-018-1182-3>
- [38] Hakim, A. A., El-Basheer, T. M., El-Aziz, A. M. A., & Afifi, M. (2021). Acoustic, ultrasonic, mechanical properties and biodegradability of sawdust/ recycled expanded polystyrene eco-friendly composites. *Polymer Testing* 99, 107215. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2021.107215>
- [39] Kandemir, M., Karagöz, İ., & Sepetçioğlu, H. (2023). Experimental investigation of effects of the nucleating agent on mechanical and crystallization behavior of injection-molded isotactic polypropylene. *El-cezeri*, 10(1), 109-120. <https://doi.org/10.31202/ecjse.1165527>
- [40] Cengiz, Ö., Karagöz, İ., & Demirer, H. (2021). Fındık kabuğu ve talk dolgulu polipropilen kompozitlerin mekanik ve ısı özelliklerinin incelenmesi. 8. Uluslararası Lif ve Polimer Araştırmaları Sempozyumu, 18-19 Haziran, Eskişehir, Türkiye.
- [41] Adibelli, Ü., Mutlu, D., Çakır Yiğit, N., & Karagöz, İ. (2022). Ceviz kabuğu dolgulu epoksi hibrit kompozit malzemelerin hazırlanması ve karakterizasyonu. 10. Uluslararası Lif ve Polimer Araştırmaları Sempozyumu, 13-14 Mayıs, İstanbul, Türkiye.

İş Güvenliği Uzmanlarında Rol Belirsizliği ve Rol Çatışmasının Mesleki Tükenmişlikle İlişkisi

The Relationship of Role Uncertainty and Role Conflict with Occupational Burnout in Occupational Safety Specialists

Tufan ÖZTÜRK¹ 

¹İstanbul Esenyurt, Üniversitesi Meslek Yüksekokulu, İş Sağlığı ve Güvenliği Programı, 34510, İstanbul, Türkiye

Öz

Bu araştırma iş güvenliği uzmanlarının rol belirsizliği, rol çatışması ve tükenmişlik durumlarını çeşitli değişkenler açısından incelemeyi amaçlamıştır. Araştırmada kullanılan veriler anket sistemiyle toplanmıştır. Bu amaçla rol çatışması ve rol belirsizliği ölçeği ile Maslach Tükenmişlik ölçeği kullanılmıştır. Araştırmaya 308 iş güvenliği uzmanı katılım sağlamıştır. Araştırmada t testi, ANOVA, MANOVA, pearson korelasyon analizi ve doğrusal regresyon analizi gibi parametrik istatistiksel yöntemler kullanılmıştır. Bu analiz sonuçlarına göre iş güvenliği uzmanlarının rol çatışması puanının, rol belirsizliği puanına göre daha yüksek olduğu; orta düzeyde duygusal tükenme, yüksek düzeyde duyarsızlaşma ve düşük düzeyde kişisel başarı hissi yaşadıkları; bunların da iş güvenliği uzmanının sınıfına, yaşına, cinsiyetine medeni durumuna, çalışılan sektörün tehlike durumuna göre değiştiği; ayrıca rol belirsizliği ve rol çatışmasının tükenmişliği yordadığı bulgularına ulaşılmıştır. Çalışma sonunda bulgular yorumlanmış ve çeşitli önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: İş Sağlığı ve Güvenliği, İş Güvenliği Uzmanı, Rol Belirsizliği, Rol Çatışması, Tükenmişlik

Abstract

This study aimed to examine the role ambiguity, role conflict, and burnout levels of occupational health and safety specialists in relation to various variables. The data for the study were collected through a questionnaire system. For this purpose, the Role Conflict and Role Ambiguity Scale and the Maslach Burnout Inventory were used. A total of 308 occupational health and safety specialists participated in the study. Parametric statistical methods such as t-test, ANOVA, MANOVA, Pearson correlation analysis, and linear regression analysis were employed. According to the results of the analysis, it was found that occupational health and safety specialists had higher scores in role conflict compared to role ambiguity. Moreover, they experienced moderate levels of emotional exhaustion, high levels of depersonalization, and low levels of personal accomplishment. These findings were found to vary based on the specialist's professional class, age, gender, marital status, and the hazard level of the industry they worked in. Furthermore, it was determined that role ambiguity and role conflict predicted burnout. The findings of the study were interpreted, and various recommendations were provided.

Keywords: Occupational Health and Safety, Occupational Safety Specialist, Role Ambiguity, Role Conflict, Burnout

I. GİRİŞ

Türkiye’de her yıl yaklaşık 400 bin iş kazası meydana gelmekte ve bu kazalara bağlı olarak ortalama 1500-2000 kişi yaşamını kaybetmektedir [1, 2]. Bu iş kazalarının önlenmesi; başta insani bir gereklilik ve devlet sosyal politika sistemi bakımından ciddi bir sorumluluktur [3-5]. Devletin bu sorumluluğunu yerine getirebilmesi için öncelikli görevlerinden birisi mevzuat hazırlamaktır. Bu kapsamda 2012 yılında 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu yasalaşmıştır. Bu kanunun en önemli amacı iş yerlerindeki sağlık ve güvenlik şartlarının sağlanması veya iyileştirilmesidir [6]. Bu kanuna göre işveren işyerinde sağlık ve güvenlik şartlarının sağlanabilmesi için kendisine rehberlik ve danışmanlık yapmak üzere iş güvenliği uzmanı görevlendirebilir veya ortak sağlık ve güvenlik birimlerinden hizmet alabilir. İş güvenliği uzmanı ise mevzuat ve teknik gelişmeler ışığında işyerindeki iş sağlığı ve güvenliği alanındaki eksikleri, aksaklıkları ve bunlara dönük tedbir ve önerileri belirleyerek işverene yazılı olarak bildirmek zorundadır. Bildirilmiş bu eksik ve aksaklıkların işveren tarafından giderilmemesi durumunda ortaya ciddi sonuçları olabilecek zararların çıkma olasılığı varsa da iş güvenliği uzmanı bu konuyu bakanlığa bildirmekle sorumludur. Böyle bir durumda bildirimde bulunmayan uzmanın belgesi iptal edilebilmektedir. Bu bildirim nedeniyle iş güvenliği uzmanının iş sözleşmesine son verilemeyeceği ve hak kaybına uğratılmayacağı kanunda yer almaktadır [6].

Ancak böyle bir bildirim iş güvenliği uzmanıyla işvereni karşı karşıya getirmektedir. Özellikle iş güvenliği uzmanlarının çalışma şekline göre doğrudan veya dolaylı olarak maaşını işverenden alması böyle bir bildirim nedeniyle iş güvenliği uzmanını işverene karşı güçsüzleştirmektedir. Bu ve benzeri nedenlerle iş güvenliği uzmanlarının bu bildirim sorumluluklarını tam olarak yerine getiremedikleri söylenebilir. [3, 7]. Diğer taraftan toplumda henüz oluşmamış iş güvenliği kültürü nedeniyle çalışanların da iş güvenliği uzmanlarının işyerindeki tespit ve önerilerine kayıtsız kaldığı araştırmacılar tarafından ifade edilmektedir [8, 9]. Bu nedenle iş güvenliği uzmanlarının; mevzuattan kaynaklı yasal yükümlülükleri, kendi işvereniyle olan patron işçi ilişkisi ve çalışanların iş sağlığı ve güvenliği kurallarına karşı kayıtsızlıkları arasında kaldıklarını söylemek yanlış olmayacaktır. Dolayısıyla iş güvenliği uzmanlarının; mevzuat ve işveren beklentilerini tam ve eş zamanlı olarak yerine getirmekte zorlanacağı aşikârdır. Bu bakımdan iş güvenliği uzmanı mevzuatın beklentisini tam olarak karşıladığında iş güvencesizliğiyle karşı karşıya kalırken patronun beklentisini tam olarak karşıladığında ise idari veya cezai yaptırımlarla karşılaşabilmektedir. İş güvenliği uzmanlarının içinde bulunduğu bu durum ise modern anlamda rol belirsizliği ve rol çatışması olarak tanımlanabilir. Ayrıca iş güvenliği uzmanları bu ve benzeri etkiler nedeniyle tükenmişlik gibi önemli bir psikososyal risk etmenine maruz kalmaktadır.

İş güvenliği uzmanlarının maruz kaldığı psikososyal risklerin araştırıldığı son yıllara ait önemli çalışmalar mevcuttur. Bu kapsamda: Karakaya (2018) bu meslek grubunun iş stresi ve iş güvencesizliği durumunu incelemiştir [10]. Bu çalışmada ortak sağlık ve güvenlik birimlerinde görev yapan veya yetki kullanma problemi olan iş güvenliği uzmanlarının yüksek derecede iş stresi yaşadıkları bulgusuna ulaşılmıştır. Ayrıca iş güvenliği uzmanlarının iş güvencesinin sağlanması gerekliliğine vurgu yapmıştır. Aytaç, Engin ve İmanlı (2020) ise iş güvenliği uzmanlarının işe ilişkin duygusal iyi oluş halini, mutluluk ve yaşam tatmini ilişkisini incelemiştir. Bu çalışmalarında iş güvenliği uzmanlarının işle ilgili iyilik algılarının, mutluluk düzeylerinin ve yaşam tatminlerinin uzmanlık sınıfına göre farklılaştığı bulgusuna ulaşılmıştır. Ayrıca iş güvenliği uzmanlarının işle ilgili duygularının da mutluluk ve yaşam tatminlerini etkilediği sonucuna varmışlardır [11]. Aytaç, Akalp ve Gökçe (2016) ise iş güvenliği uzmanlarının A-B-C sınıflarına göre işe bağlı stres ve tükenmişlik düzeylerini incelemiştir. Bu çalışmalarında iş güvenliği uzmanlarının iş stresi ve tükenmişlik seviyelerinin uzmanlık sınıfına, sektörün tehlike sınıfına ve iş güvenliği uzmanının cinsiyetine göre farklılık gösterdiği bulgusuna ulaşılmıştır [12]. Alanda yapılan benzer çalışmalarda; iş güvenliği uzmanlarının stres, tükenmişlik, işten ayrılma niyeti, iş doyumu, iş

güvencesizliği, kaygı, örgütsel bağlılık, iş yükü ve iş tatmini düzeylerinin araştırıldığı ve bu düzeylerin demografik özelliklere göre karşılaştırıldığı görülmüştür. Ancak Türkiye’de iş güvenliği uzmanlarının rol belirsizliği, rol çatışması ve tükenmişlik düzeylerini eş zamanlı olarak ele alan bir çalışmaya rastlanmamıştır. Oysa yukarıda da ifade edildiği gibi iş güvenliği uzmanlarının rol belirsizliği, rol çatışması ve bunların ortaya çıkarabileceği tükenmişlik durumlarının incelenmesi oldukça önemli görünmektedir.

II. ROL BELİRSİZLİĞİ

Rol belirsizliği; kişilerin kendisinden beklenenleri rahatlıkla anlayamadığı veya anlasa bile bu beklentilerin kendi inandığı düşüncelerle çelişmesi durumunda meydana gelmektedir. Başka bir ifadeyle kişiler; göreviyle ilgili yapması gerekenleri tam olarak bilemediği, gerekli bilgilerin kendisine eksik verildiği veya görev tanımının yeteri kadar net olmadığı durumlarda rol belirsizliği yaşamaktadırlar [13–18]. Rol belirsizliğinin; çalışanlarda gerginlik, kaygı, stres, iş tatminsizliği ve endişe gibi durumları artırdığı birçok çalışmada ortaya konmuştur [18–20]. Sabuncuoğlu (2008) çalışmasında rol belirsizliği ve rol çatışmasının tükenmişliğin duygusal yorgunluk ve duyarsızlaşma boyutlarını artırdığı bulgusuna ulaşmıştır [21]. Tunç (2008) sağlık çalışanlarıyla ilgili araştırmasında rol belirsizliği ve rol çatışmasının tükenmişlikle istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki içinde olduğunu belirlemiştir [22].

III. ROL ÇATIŞMASI

Rol çatışması kişilerin birden fazla ve birbirleriyle çelişen rollere sahip olduğunda; bu rollerin kişiden yerine getirilmesi istendiğinde; yerine getirmesi gereken role ait beklentilerin kişi tarafından anlaşılmadığında; anlaşılmasa bile bu beklentilerin kişinin kendi inandığı düşüncelerle çeliştiğinde veya bir role diğerlerine göre daha fazla uyması gerektiğinde meydana gelmektedir [18, 23–25]. Rol çatışmasının iş gerilimi ve endişenin artmasında etkili olduğu birçok çalışmayla belirlenmiştir [20]. Ayrıca rol çatışmasının tükenmişlikle de ilişki içinde olduğu birçok araştırmacı tarafından ortaya konmuştur [18, 21, 26–31]. Bazı araştırmacılar ise rol çatışmasıyla, tükenmişliğin bir alt boyutu olan sadece duygusal tükenmişlik arasında bir ilişkinin varlığını ifade etmişlerdir [32, 33]. Diğer taraftan Jackson, Turner ve Brief (1987) yaptıkları çalışmalarında rol çatışmasıyla duygusal tükenme ve duyarsızlaşma arasında anlamlı bir ilişkinin varlığını belirlemişlerdir [34].

IV. TÜKENMİŞLİK

Tükenmişlik ilk olarak Freudenberger (1974) tarafından “Başarısız olma, yıpranma, enerji ve güç kaybı veya karşılanamayan istekler sonucu bireyin iç kaynaklarında tükenme durumu” olarak tanımlanmıştır [35]. Kendi ismiyle anılan tükenmişlik

ölçeğinin geliştiricisi de olan Christina Maslach ise tükenmişliği üç boyut altında ele alarak “iş gereği insanlarla yoğun bir ilişki içerisinde olanlarda görülen duygusal tükenme, duyarsızlaşma ve kişisel başarı hissinde azalma biçiminde tanımlamıştır [36, 37]. Bunlardan duygusal tükenme bireyin duygusal ve fiziksel kaynaklarındaki azalma şeklinde tarif edilmektedir [38]. Ayrıca duygusal tükenmenin daha çok insanlarla yüz yüze olunan gerek psikolojik gerekse duygusal taleplere maruz kalınan mesleklerde sıklıkla görüldüğü ve kişinin içinde bulunduğu duygu durumunu gösterdiği ifade edilmektedir [35, 38–40]. Duyarsızlaşma ise çalışanın işi nedeniyle karşılaştığı insanlara katı, soğuk, ilgisiz ve insancıl olmayan olumsuz davranışlar göstermesi durumu şeklinde ifade edilmektedir [35, 37, 38, 40]. Son boyut olan kişisel başarı hissinde azalma duygusu ise çalışanın kendisini başarısız ve olumsuz şekilde değerlendirmeye eğilimli olduğu durum biçiminde tarif edilmektedir [35, 38–40].

V. ARAŞTIRMANIN AMACI VE ÖNEMİ

Bu çalışmada iş güvenliği uzmanlarının rol belirsizliği ve çatışması ile tükenmişlik durumlarının belirlenmesi; bu düzeylerin demografik ve mesleki değişkenlere göre farklılaşp farklılaşmadığının sorgulanması; bu düzeyleri etkileyen değişkenlerin ortaya konması; rol belirsizliği, rol çatışması ve tükenmişliğin alt boyutları arasındaki ilişkinin araştırılması; rol belirsizliği ve rol çatışmasının tükenmişlik durumunu etkileyip etkilemediğinin belirlenmesi ve son olarak rol belirsizliği, rol çatışması ve tükenmişlik düzeylerinin azaltılmasına yönelik önerilerde bulunulması amaçlanmıştır. Çalışanlara sağlıklı ve güvenli bir ortamın sağlanmasında birinci derecede sorumlu görülen iş güvenliği uzmanlarının bu görevini layıkıyla yerine getirebilmesi için öncelikle kendisinin sağlıklı ve güvenli bir ortamda bulunması gerekmektedir. Bu bakımdan iş güvenliği uzmanlarının rol belirsizliği, rol çatışması ve tükenmişlik yaşayıp yaşamamaları tüm çalışanların sağlık ve güvenlik durumunu da etkileyecektir. Bu nedenle çalışmanın sonuçlarının hem iş güvenliği uzmanlarının hem de diğer çalışanların sağlıklı ve güvenli bir ortamda çalışmalarına fayda sağlayacağı değerlendirilmektedir.

VI. YÖNTEM

Bu çalışmaya ait çalışma planı öncelikle İstanbul Esenyurt Üniversitesi Etik Kurulu'nun 17.06.2022 tarihli ve 2022/06-4 numaralı onayından geçmiştir. Etik onayı sonrasında Türkiye'nin farklı bölgelerinden İSG uzmanlarına kolayca örnekleme yöntemiyle anket çalışması uygulanmıştır. Araştırmanın örneklemini A, B ve C sınıfı iş güvenliği uzmanları oluşturmaktadır. Anket 01 Temmuz 2022-10 Ekim 2022 tarihleri arasında Google form ortamında uygulanmıştır. Ankete 308 iş güvenliği uzmanı cevap vermiştir. Ancak 29 katılımcının bazı soruları okumadan

işaretlediği anlaşılmış ve bu katılımcılara ait cevaplar çalışmadan çıkartılmıştır. Bu nedenle tüm analizler 279 katılımcıya ait cevaplar üzerinden yürütülmüştür. Bu çalışmada Rizzo ve diğerleri (1970) tarafından geliştirilmiş rol çatışması ve rol belirsizliği ölçeği ile Christina Maslach ve Jackson (1981) tarafından geliştirilmiş Maslach Tükenmişlik ölçeği kullanılmıştır [13, 41]. Kullanılan rol çatışması ile rol belirsizliği ölçeği Yıldırım (1996) tarafından Türkçeye uyarlanmış ve güvenilirlik testleri yapılmıştır. Bu uyarlamada iç tutarlılık katsayıları rol çatışması için 0,82, rol belirsizliği için 0,63 olarak hesaplanmıştır [42]. Kullanılan Maslach Tükenmişlik ölçeği ise Ergin (1992) tarafından Türkçeye uyarlanmış ve güvenilirlik testleri yapılmıştır. Bu uyarlamada tükenmişlik ölçeğinin alt boyutlarından duygusal tükenme için iç tutarlılık katsayısı 0,83, duyarsızlaşma için iç tutarlılık katsayısı 0,65 ve kişisel başarı hissinde azalma için ise iç tutarlılık katsayısı 0,72 olarak hesaplanmıştır [37]. Her iki ölçekte de 5'li Likert Sistemi kullanılmış ve cevaplar 1 ile 5 arasında kodlanmıştır. Bu kodlamada; düşük puanlar rol çatışması, rol belirsizliği ve tükenmişlik durumunun azlığını, yüksek puanlar ise çokluğunu göstermektedir. Diğer bir ifadeyle katılımcıların cevap ortalamalarının yüksek olması çalışanların yukarıdaki olumsuzluklardan daha fazla etkilendiğini göstermektedir.

Çalışmada öncelikle ölçek ve alt boyutların betimsel özellikleri belirlenmiştir. Sonrasında bu özellikler içinde yer alan çarpıklık katsayıları incelenerek parametrik analiz yöntemlerinin en önemli varsayımı olan verilerin normal dağılım durumu değerlendirilmiştir. Arkasından ölçeklere ait iç tutarlılık analizleri yapılmıştır. Daha sonra iş güvenliği uzmanlarının birçok demografik özelliklerine göre rol belirsizliği, rol çatışması, duygusal tükenme, duyarsızlaşma ve kişisel başarı hislerindeki azalma düzeyleri belirlenmiş ve gruplar arasındaki farklılıklar ortaya konmuştur. Bu aşamada ölçek puanları literatürde kabul görmüş ölçek puanlarıyla karşılaştırılmış ve gruplar arasında istatistiksel bakımdan fark olup olmadığı ise t testi, ANOVA ve MANOVA ile sorgulanmıştır. Bu işlemler sonrasında rol belirsizliği, rol çatışması, duygusal tükenme, duyarsızlaşma ve kişisel başarı hislerindeki azalma düzeyleri arasındaki ilişki korelasyon analiziyle test edilmiştir. Arkasından rol belirsizliği ve rol çatışmasının tükenmişlik ölçeğinin üç alt boyutunu ne şekilde yordayıp yordamadığının ortaya konması için doğrusal regresyon modelleri oluşturulmuştur. Son olarak da iş güvenliği uzmanlarının rol belirsizliği, rol çatışması ve tükenmişlik düzeylerini etkilediği düşünülen faktörler göz önünde bulundurularak; işverenlere, yetkili kurumlara ve yeni araştırmacılara iyileştirici tavsiyelerde bulunulmuştur.

VII. ÇALIŞMANIN KISITLARI

Bu çalışmada kullanılan bağımsız t testi, ANOVA ve İki Yönlü MANOVA çıktı tabloları gerek sayı bakımından gerekse boyut bakımından oldukça fazladır. Bu yüzden, önemli bulguların etkili bir şekilde verilebilmesi için analiz çıktılarının istatistiksel olarak sadece anlamlı sonuçları ve MANOVA çıktı grafikleri çalışmada sunulmuştur. Analizlere ait tüm tablo çıktıların araştırma sunulamaması bu çalışmanın bir kısıtıdır. Ayrıca Türkiye’de iş güvenliği uzmanlarının rol belirsizliği, rol çatışması ve tükenmişlik düzeylerini eş zamanlı

olarak ele alan bir çalışmaya rastlanamamıştır. Bu nedenle bulgularımızın literatürde sınırlı düzeydeki çalışmalarla kıyaslanabilmiş olması da araştırmamızın bir başka kısıtı olarak değerlendirilmektedir.

VIII. BULGULAR

8.1 Ölçeklerin Betimsel Özellikleri

Çalışmada kullanılan ölçeklerin betimsel özellikleri hesaplanarak Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Ölçek betimsel özellikleri

Ölçekler	Katılımcı Sayısı	Ölçek Puanları			Standart Sapma	Çarpıklık Katsayısı
		En Düşük	En Yüksek	Ortalama		
Rol Belirsizliği	279	1,00	4,60	2,44	0,77	0,45
Rol Çatışması		1,00	4,71	3,23	0,72	-0,50
Duygusal Tükenme		1,22	4,22	2,66	0,62	0,07
Duyarsızlaşma		1,00	4,80	2,84	0,77	0,05
Kişisel Başarı Hissinde Azalma		1,00	4,63	2,54	0,63	-0,12

Tablo 1 incelendiğinde; 279 katılımcıya ait ölçek puanlarının en düşük, en yüksek, ortalama, standart sapma ve çarpıklık değerleri görülmektedir. Ölçeklerden rol çatışması ortalamasının diğer ölçeklere göre daha yüksek olduğu dikkat çekmektedir. Ayrıca çarpıklık katsayılarının -1 ve +1

aralığında bulunması nedeniyle tüm ölçeklerin normal dağıldığı kabul edilmiştir [43, 44].

8.2 İç Tutarlılık Analizleri

Çalışmada kullanılan rol belirsizliği ve rol çatışması ölçeğine ait Cronbach's Alpha iç tutarlılık analizleri yapılarak sonuçları Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Rol belirsizliği ve rol çatışması ölçeğine ait iç tutarlılık analiz sonuçları

Ölçek	Cronbach's Alpha	Soru Sayısı	Açıklama
Rol Belirsizliği	0,619	5	25’nci soru analizden çıkartılmıştır
Rol Çatışması	0,664	7	35’nci soru analizlerden çıkartılmıştır

Tablo 2 incelendiğinde; rol belirsizliği ve rol çatışması ölçeklerine ait Cronbach's Alpha değerleri, analizde kullanılan soru sayısı ve analizden çıkartılan soru açıklaması görülmektedir. Rol belirsizliği ölçeğinde ilk yapılan iç tutarlılık analizinde Cronbach's Alpha değeri 0,355 hesaplanmıştır. Bu değer kabul edilebilir sınırın altında olmasında 25’nci sorunun etkisi anlaşılmış ve analizlerden çıkartılmıştır. Yapılan analizde Cronbach's Alpha değeri 0,619 hesaplanmıştır. Benzer şekilde rol çatışması ölçeğinde de ilk yapılan iç tutarlılık analizinde Cronbach's Alpha

değeri 0,564 hesaplanmıştır. Bu değer kabul edilebilir sınırın altında çıkmasında 35’nci sorunun etkili olduğu anlaşılmış ve analizlerden çıkartılmıştır. Yapılan son analizde Cronbach's Alpha değeri 0,664 olarak hesaplanmıştır. Son durumdaki Cronbach's Alpha değerleri kabul düzeyde olup, ölçeklerin iç tutarlılığı iyi seviyededir. Çalışmada kullanılan tükenmişlik ölçeğinin alt boyutları; duygusal tükenme, duyarsızlaşma ve kişisel başarı hissinde azalmaya ait Cronbach's Alpha iç tutarlılık analizleri yapılmış ve sonuçları Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3. Tükenmişlik ölçeğine ait iç tutarlılık analiz sonuçları

Ölçek	Alt Boyutları	Cronbach's Alpha	Soru Sayısı	Açıklama
Tükenmişlik	Duygusal tükenme	0,720	9	-
	Duyarsızlaşma	0,615	5	-
	Kişisel başarı hissinde azalma	0,651	8	-

Tablo 3 incelendiğinde; Cronbach's Alpha değerlerinin duygusal tükenme alt boyut için 0,720, duyarsızlaşma alt boyutu için 0,615 ve kişisel başarı hissinde azalma alt boyutu için 0,651 olduğu görülmektedir. Her üç boyutun da Cronbach's Alpha

değeri kabul edilebilir düzeyde olup iç tutarlılığı iyi seviyededir.

8.3 Tükenmişlik Ölçeği Derecelendirme

Tükenmişlik ölçeğine ait genel katılımcı puan referans değerleri Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4. Tükenmişlik ölçeği derecelendirme tablosu [22]

	Duygusal Tükenme	Duyarsızlaşma	Kişisel Başarı Hissinde Azalma
Yüksek	3 ve üzeri	2,6 üzeri	4,8 üstü
Orta	1,8-2,9	1,4-2,5	3,9-4,7
Düşük	0-1,7	0-1,3	0-3,8

Tablo 4'e göre; duygusal tükenme durumunun 0-1,7 arasında düşük, 1,8-2,9 arasında orta, 3 ve üzerinde ise yüksek seviyede olduğu görülmektedir. Duyarsızlaşma durumu ise 0-1,3 arasında düşük, 1,4-2,5 arasında orta, 2,6 üzerinde ise yüksektir. Kişisel başarı hissinde azalma durumu ise 0-3,8 arasında düşük, 3,9-

4,7 arasında orta, 4,8 üzerinde ise yüksek durumdadır. İş güvenliği uzmanları A, B ve C sınıflarına göre ayrılmış ve her bir sınıftaki uzmanların ölçek puan ortalamaları, standart sapma değerleri yaş gruplarına göre belirlenerek Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. İş güvenliği uzmanlarının yaş gruplarına göre ölçek puanları

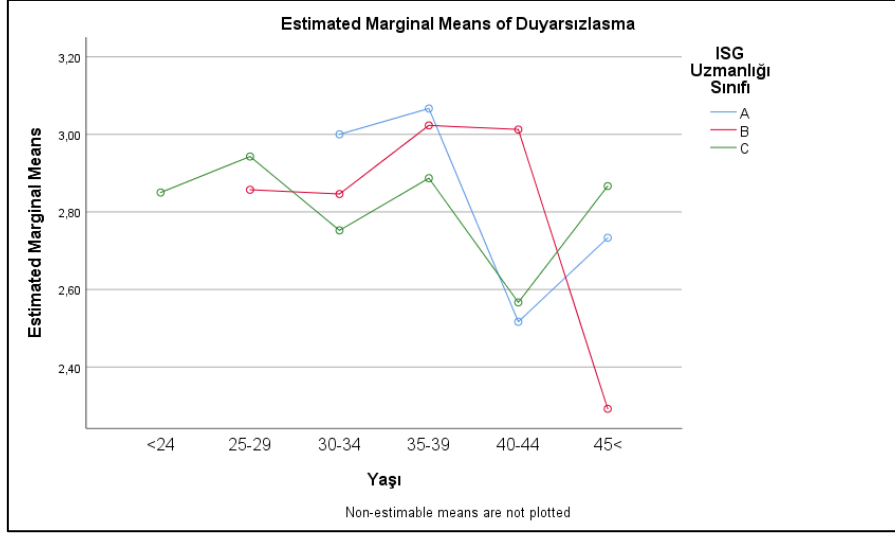
ISG Uzmanlığı Sınıfı	Ölçek	Yaş Grubu	N	Ortalama	Standart Sapma
A	Rol Belirsizliği	30-34	7	2,31	1,02
		35-39	9	2,64	0,70
		40-44	12	2,17	0,56
		45<	21	2,46	0,83
		Toplam	49	2,40	0,77
	Rol Çatışması	30-34	7	3,35	0,58
		35-39	9	3,46	0,73
		40-44	12	3,07	0,63
		45<	21	3,32	0,72
		Toplam	49	3,29	0,68
	Duygusal Tükenme	30-34	7	2,76	0,87
		35-39	9	2,85	0,42
		40-44	12	2,35	0,62
		45<	21	2,69	0,75
		Toplam	49	2,65	0,69
	Duyarsızlaşma	30-34	7	3,00	0,88
		35-39	9	3,07	0,57
		40-44	12	2,52	0,54
		45<	21	2,73	0,81
		Toplam	49	2,78	0,73
Kişisel Başarı Hissinde Azalma	30-34	7	2,66	0,52	
	35-39	9	2,74	0,47	
	40-44	12	2,19	0,62	
	45<	21	2,59	0,69	
	Toplam	49	2,53	0,63	
B	Rol Belirsizliği	25-29	21	2,56	0,75
		30-34	39	2,29	0,71
		35-39	26	2,41	0,80
		40-44	16	2,30	0,89
		45<	13	2,24	0,91
	Toplam	115	2,36	0,78	
Rol Çatışması	25-29	21	3,04	0,77	

	30-34	39	3,10	0,68
	35-39	26	3,32	0,71
	40-44	16	3,20	0,54
	45<	13	2,76	0,76
	Toplam	115	3,11	0,70
	25-29	21	2,79	0,56
Duygusal Tükenme	30-34	39	2,62	0,58
	35-39	26	2,71	0,65
	40-44	16	2,83	0,57
	45<	13	2,25	0,54
	Toplam	115	2,66	0,60
	25-29	21	2,86	0,70
	30-34	39	2,85	0,68
Duyarsızlaşma	35-39	26	3,02	0,72
	40-44	16	3,01	0,92
	45<	13	2,29	0,58
	Toplam	115	2,85	0,74
	25-29	21	2,45	0,72
	30-34	39	2,51	0,63
Kişisel Başarı Hissinde Azalma	35-39	26	2,63	0,58
	40-44	16	2,47	0,53
	45<	13	2,13	0,89
	Toplam	115	2,48	0,66
	<24	24	2,39	0,79
	25-29	35	2,59	0,81
	30-34	21	2,54	0,69
Rol Belirsizliği	35-39	23	2,60	0,59
	40-44	6	2,33	0,84
	45<	6	2,63	0,94
	Toplam	115	2,53	0,74
	<24	24	3,48	0,76
	25-29	35	3,33	0,83
	30-34	21	3,35	0,50
Rol Çatışması	35-39	23	3,33	0,68
	40-44	6	2,83	1,17
	45<	6	2,81	0,72
	Toplam	115	3,31	0,76
	<24	24	2,58	0,68
	25-29	35	2,79	0,61
	30-34	21	2,51	0,49
Duygusal Tükenme	35-39	23	2,81	0,63
	40-44	6	2,43	0,76
	45<	6	2,50	0,34
	Toplam	115	2,66	0,61
	<24	24	2,85	0,91
	25-29	35	2,94	0,90
	30-34	21	2,75	0,61
Duyarsızlaşma	35-39	23	2,89	0,80
	40-44	6	2,57	0,72
	45<	6	2,87	1,07
	Toplam	115	2,85	0,83
	<24	24	2,50	0,59
	25-29	35	2,65	0,68
	30-34	21	2,54	0,53
Kişisel Başarı Hissinde Azalma	35-39	23	2,61	0,63
	40-44	6	2,60	0,76
	45<	6	2,85	0,47
	Toplam	115	2,60	0,61

C

Tablo 5'teki verilerle ANOVA ve Pos-hoc analizi uygulanmıştır. Bu sonuçlara göre B sınıfı iş güvenliği uzmanlarında yaş grupları arasından duyarsızlaşma puanı bakımından anlamlı biçimde bir fark olduğu bulgusuna ulaşılmıştır $F(4,114)=2,52$, $P=0,045$. Bu farkın ayrıntılarının anlaşılabilmesi için Pos-hoc kıyaslamaları yapılmıştır. Bu kıyaslamalar sonucunda

B sınıfı uzmanlarda; 45 yaş grubunun duyarsızlaşma puan ortalamasının ($M=2,29$, $SD=0,58$) 35-39 yaş grubunun puan ortalamasına ($M=3,02$, $SD=0,72$) göre istatistiksel bakımdan anlamlı şekilde yüksek olduğu anlaşılmıştır ($p<0,028$). İstatistiksel olarak bu anlamlı sonuçların grafiksel gösterimi MANOVA ile elde edilmiş ve Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. İş güvenliği uzmanlarının A, B ve C sınıflarına göre duyarsızlaşma ölçek puanının yaş gruplarına göre gösterimi

Şekil 1 incelendiğinde; genel olarak 40-44 yaş aralığından sonra duyarsızlaşma durumunun A ve C sınıfı uzmanlarda artarken B sınıfı uzmanlarda azaldığı dikkati çekmektedir. İş güvenliği uzmanları

A, B ve C sınıflarına göre ayrılmış ve her bir sınıftaki uzmanların ölçek puan ortalamaları, standart sapma değerleri cinsiyet durumuna göre belirlenmiş ve Tablo 6'da verilmiştir.

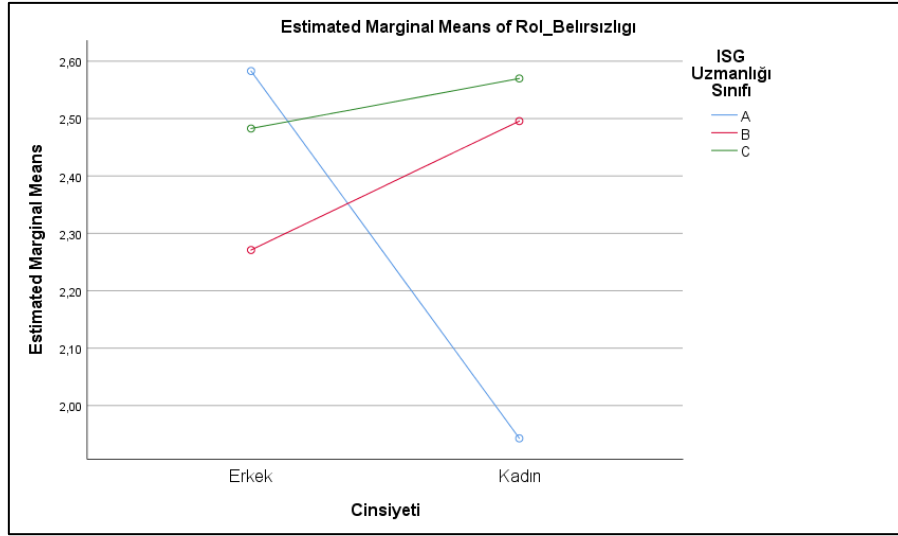
Tablo 6. İş güvenliği uzmanlarının cinsiyete göre ölçek puanları

ISG Uzmanlığı Sınıfı	Ölçek	Cinsiyet	N	Ortalama	Standart Sapma
A	Rol Belirsizliği	Erkek	35	2,58	0,74
		Kadın	14	1,94	0,66
	Rol Çatışması	Erkek	35	3,32	0,61
		Kadın	14	3,22	0,84
	Duygusal Tükenme	Erkek	35	2,69	0,69
		Kadın	14	2,54	0,72
	Duyarsızlaşma	Erkek	35	2,81	0,66
		Kadın	14	2,70	0,90
	Kişisel Başarı Hissinde Azalma	Erkek	35	2,65	0,64
		Kadın	14	2,22	0,51
B	Rol Belirsizliği	Erkek	69	2,27	0,75
		Kadın	46	2,50	0,81
	Rol Çatışması	Erkek	69	3,13	0,70
		Kadın	46	3,08	0,72
	Duygusal Tükenme	Erkek	69	2,67	0,63
		Kadın	46	2,63	0,56
	Duyarsızlaşma	Erkek	69	2,79	0,79
		Kadın	46	2,93	0,66
	Kişisel Başarı Hissinde Azalma	Erkek	69	2,48	0,65
		Kadın	46	2,48	0,69
C	Rol Belirsizliği	Erkek	52	2,48	0,77
		Kadın	63	2,57	0,73
	Rol Çatışması	Erkek	52	3,29	0,80

Duygusal Tükenme	Kadın	63	3,33	0,73
	Erkek	52	2,52	0,59
Duyarsızlaşma	Kadın	63	2,78	0,61
	Erkek	52	2,79	0,83
Kişisel Başarı Hissinde Azalma	Erkek	52	2,48	0,64
	Kadın	63	2,69	0,57

Tablo 6'daki verilerle bağımsız t testi analizi uygulanmıştır. Bu bağımsız t testi analizi sonucuna göre; A sınıfı iş güvenliği uzmanlarda erkek grupların rol belirsizliği puan ortalamasının (M= 2,58, SD= 0,74) kadın gruplarının puan ortalamalarına (M=1,94,

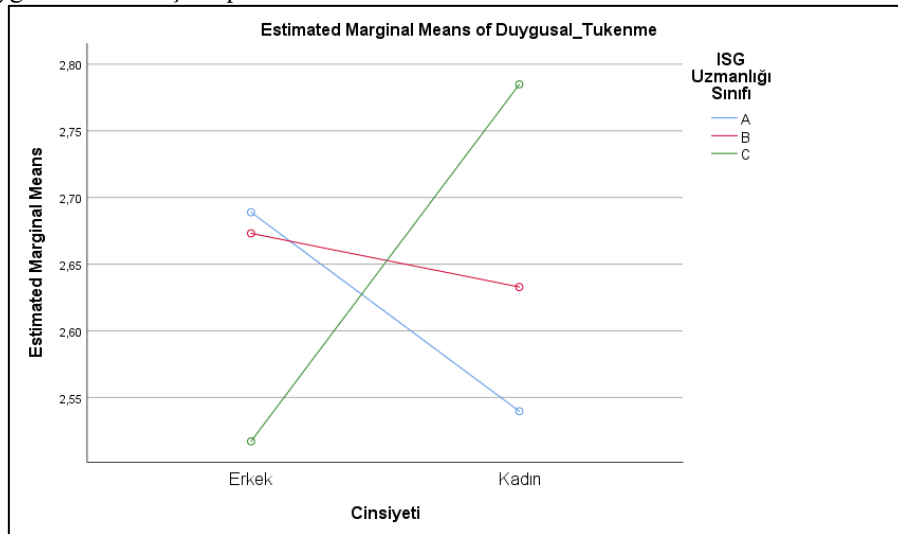
SD=0,66) göre istatistiksel bakımdan anlamlı şekilde yüksek olduğu anlaşılmıştır $t(47)=2,80$, $p=0,007$. İstatistiksel olarak bu anlamlı sonuçların grafiksel gösterimi MANOVA ile elde edilmiş ve Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. İş güvenliği uzmanlarının A, B ve C sınıflarına göre rol belirsizliği ölçek puanının cinsiyet gruplarına göre gösterimi

Şekil 2 incelediğinde; genel olarak A sınıfı erkek İSG uzmanlarının rol belirsizliği durumlarının kadınlara göre daha yüksek olduğu, B ve C sınıfı İSG uzmanlarında ise tam tersine kadınlarda daha yüksek olduğu dikkati çekmektedir. Bağımsız t testi analizi sonucuna göre; C sınıfı iş güvenliği uzmanlarda erkek grupların duygusal tükenmişlik puan ortalamasının

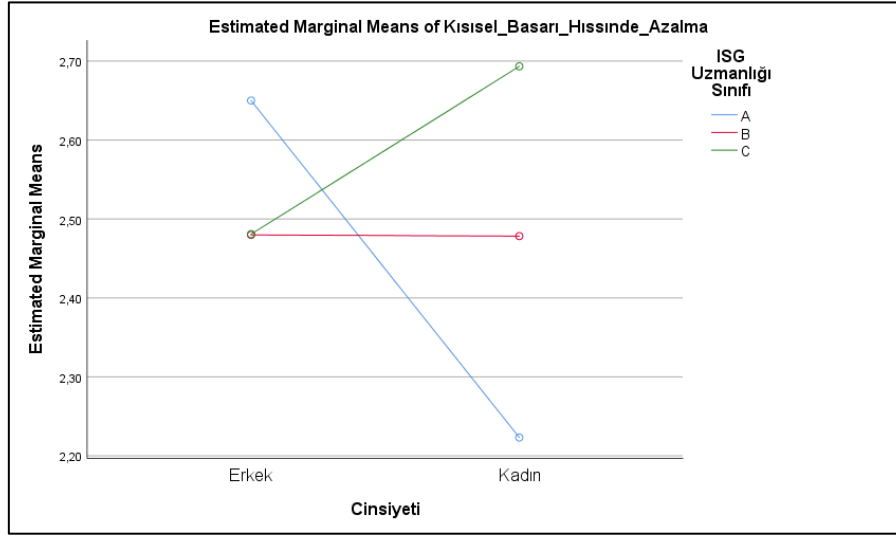
(M= 2,52, SD= 0,59) kadın gruplarının puan ortalamalarına (M=2,78, SD=0,61) göre istatistiksel bakımdan anlamlı şekilde düşük olduğu anlaşılmıştır $t(113)=-2,32$, $p=0,019$. İstatistiksel olarak bu anlamlı sonuçların grafiksel gösterimi MANOVA ile elde edilmiş ve Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. İş güvenliği uzmanlarının A, B ve C sınıflarına göre duygusal tükenmişlik ölçek puanının cinsiyet gruplarına göre gösterimi

Şekil 3 incelendiğinde; genel olarak A ve B sınıfı erkek İSG uzmanlarının duygusal tükenmişlik durumlarının kadınlara göre daha yüksek olduğu, C sınıfı İSG uzmanlarında ise tam tersine kadınlarda daha yüksek olduğu dikkati çekmektedir. Bağımsız t testi analizi sonucuna göre; A sınıfı iş güvenliği uzmanlarda erkek grupların kişisel başarı hissinde

azalma puan ortalamasının (M= 2,65, SD= 0,64) kadın gruplarının puan ortalamalarına (M=2,22, SD=0,51) göre istatistiksel bakımdan anlamlı şekilde yüksek olduğu anlaşılmıştır $t(47)=2,23$, $p=0,031$. İstatistiksel olarak bu anlamlı sonuçların grafiksel gösterimi MANOVA ile elde edilmiş ve Şekil 4’de verilmiştir.



Şekil 4. İş güvenliği uzmanlarının A, B ve C sınıflarına göre kişisel başarı hissinde azalma ölçek puanının cinsiyet gruplarına göre gösterimi

Şekil 4 incelediğinde; genel olarak A sınıfı erkek İSG uzmanlarının kişisel başarı hissinde azalma durumlarının kadınlara göre daha yüksek olduğu, C sınıfı İSG uzmanlarında ise tam tersine kadınlarda daha yüksek olduğu, B sınıfı İSG uzmanlarda erkek ve

kadın grupların benzer olduğu dikkati çekmektedir. İş güvenliği uzmanları A, B ve C sınıflarına göre ayrılmış ve her bir sınıftaki uzmanların ölçek puan ortalamaları, standart sapma değerleri medeni durumlarına göre hesaplanarak Tablo 7’de verilmiştir.

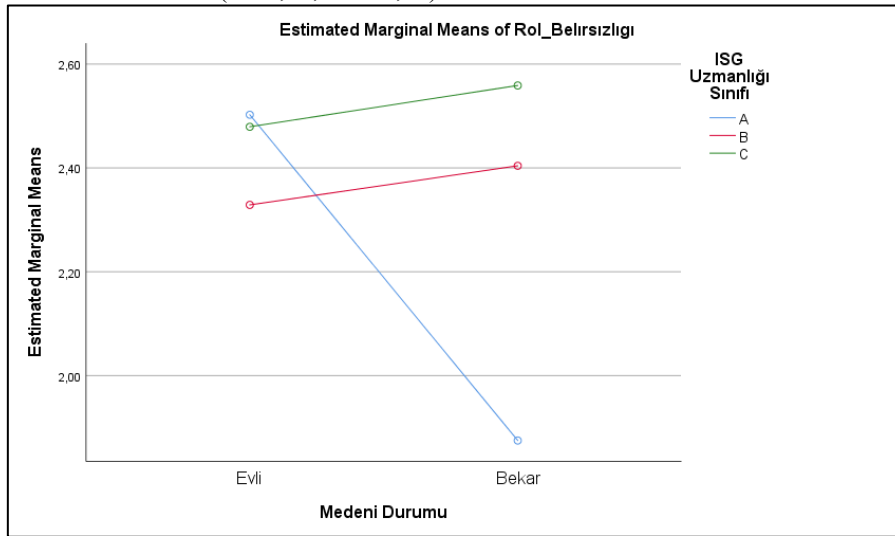
Tablo 7. İş güvenliği uzmanlarının cinsiyete göre ölçek puanları

ISG Uzmanlığı Sınıfı	Ölçek	Medeni Durum	N	Ortalama	Standart Sapma
A	Rol Belirsizliği	Evli	41	2,50	0,76
		Bekâr	8	1,88	0,67
	Rol Çatışması	Evli	41	3,29	0,68
		Bekâr	8	3,31	0,71
	Duygusal Tükenme	Evli	41	2,67	0,66
		Bekâr	8	2,50	0,87
	Duyarsızlaşma	Evli	41	2,77	0,68
		Bekâr	8	2,85	1,01
Kişisel Başarı Hissinde Azalma	Evli	41	2,54	0,61	
	Bekâr	8	2,45	0,78	
B	Rol Belirsizliği	Evli	66	2,33	0,76
		Bekâr	49	2,40	0,82
	Rol Çatışması	Evli	66	3,20	0,67
		Bekâr	49	2,99	0,73
	Duygusal Tükenme	Evli	66	2,59	0,62
		Bekâr	49	2,75	0,56
	Duyarsızlaşma	Evli	66	2,82	0,75
		Bekâr	49	2,89	0,73
Kişisel Başarı Hissinde Azalma	Evli	66	2,45	0,70	
	Bekâr	49	2,52	0,60	
C	Rol Belirsizliği	Evli	41	2,48	0,65
		Bekâr	74	2,56	0,80

Rol Çatışması	Evli	41	3,34	0,60
	Bekâr	74	3,30	0,84
Duygusal Tükenme	Evli	41	2,59	0,62
	Bekâr	74	2,71	0,61
Duyarsızlaşma	Evli	41	2,70	0,74
	Bekâr	74	2,94	0,86
Kişisel Başarı Hissinde Azalma	Evli	41	2,52	0,58
	Bekâr	74	2,64	0,63

Tablo 7'deki verilerle bağımsız t testi analizi uygulanmıştır. Bu analiz sonucuna göre; A sınıfı iş güvenliği uzmanlarda evli grupların rol belirsizliği puan ortalamasının (M= 2,50 SD= 0,76) bekâr gruplarının puan ortalamalarına (M=1,88, SD=0,67)

göre istatistiksel bakımdan anlamlı şekilde yüksek olduğu anlaşılmıştır $t(47)=2,18, p=0,03$. İstatistiksel olarak bu anlamlı sonuçların grafiksel gösterimi MANOVA ile elde edilmiş ve Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. İş güvenliği uzmanlarının A, B ve C sınıflarına göre kişisel başarı hissinde azalma ölçek puanının medeni duruma göre gösterimi

Şekil 5 incelediğinde; genel olarak A sınıfı evli İSG uzmanlarının rol belirsizliği durumlarının bekârlara göre daha yüksek olduğu, B ve C sınıfı İSG uzmanlarında ise tam tersine bekârlar daha yüksek

olduğu dikkati çekmektedir. İş güvenliği uzmanlarının ölçek puan ortalamaları, standart sapma değerleri uzmanlık kaynağına göre belirlenmiş ve Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 8. İş güvenliği uzmanlarının uzmanlık kaynağına göre ölçek puanları

Ölçek	ISG Uzmanı Kaynağı	N	Ortalama	Standart Sapma
Rol Belirsizliği	Diğer	23	2,46	0,77
	Fen Bölümleri	28	2,52	0,77
	Lisans (İSG)	27	2,41	0,86
	Mühendislik	107	2,34	0,72
	Ön Lisans (İSG)	94	2,53	0,78
	Toplam	279	2,44	0,77
Rol Çatışması	Diğer	23	3,19	0,85
	Fen Bölümleri	28	3,31	0,67
	Lisans (İSG)	27	3,01	0,78
	Mühendislik	107	3,23	0,63
	Ön Lisans (İSG)	94	3,27	0,79
	Toplam	279	3,23	0,72
Duygusal Tükenme	Diğer	23	2,73	0,52
	Fen Bölümleri	28	2,73	0,56
	Lisans (İSG)	27	2,38	0,50

	Mühendislik	107	2,63	0,66
	Ön Lisans (İSG)	94	2,74	0,63
	Toplam	279	2,66	0,62
Duyarsızlaşma	Diğer	23	2,90	0,82
	Fen Bölümleri	28	2,89	0,56
	Lisans (İSG)	27	2,56	0,74
	Mühendislik	107	2,83	0,78
	Ön Lisans (İSG)	94	2,90	0,82
	Toplam	279	2,84	0,77
Kişisel Başarı Hissinde Azalma	Diğer	23	2,61	0,73
	Fen Bölümleri	28	2,51	0,49
	Lisans (İSG)	27	2,38	0,60
	Mühendislik	107	2,49	0,66
	Ön Lisans (İSG)	94	2,62	0,63
	Toplam	279	2,54	0,63

Tablo 8'deki verilerle ANOVA, MANOVA ve Pos-hoc analizi uygulanmıştır. Ancak tüm ölçek puanları bakımından İSG uzmanlık kaynaklarına göre istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık

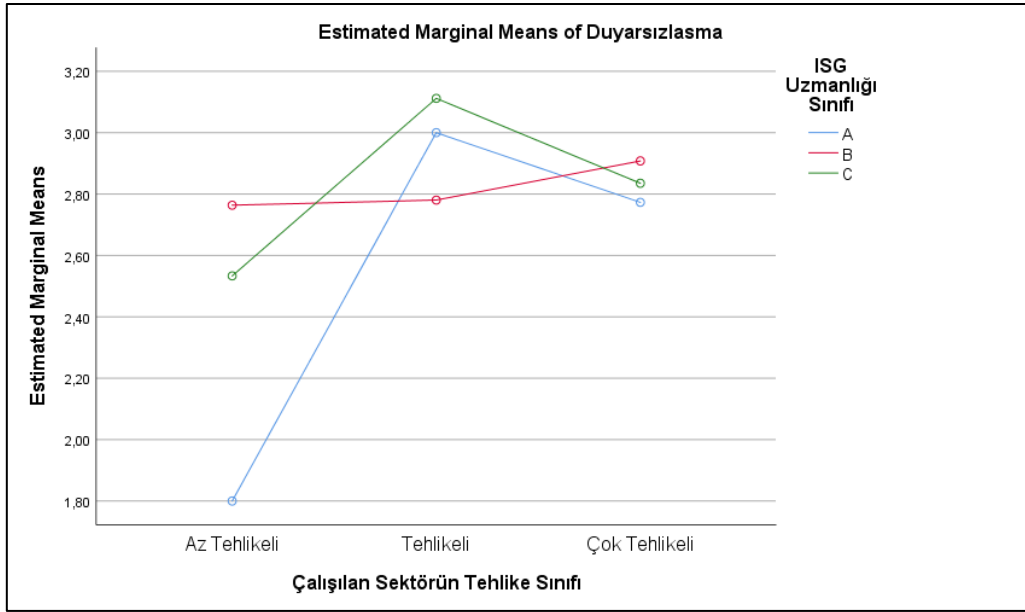
bulunamamıştır. İş güvenliği uzmanlarının ölçek puan ortalamaları, standart sapma değerleri çalışılan sektörün tehlike sınıfına göre belirlenmiş ve Tablo 9'da verilmiştir.

Tablo 9. İş güvenliği uzmanlarının çalıştığı iş kolunun tehlike sınıfına göre ölçek puanları

Ölçek	Tehlike Sınıfı	N	Ortalama	Standart Sapma
Rol Belirsizliği	Az Tehlikeli	37	2,58	0,76
	Tehlikeli	85	2,48	0,73
	Çok Tehlikeli	157	2,38	0,79
	Toplam	279	2,44	0,77
Rol Çatışması	Az Tehlikeli	37	3,07	0,78
	Tehlikeli	85	3,32	0,71
	Çok Tehlikeli	157	3,21	0,72
	Toplam	279	3,23	0,72
Duygusal Tükenme	Az Tehlikeli	37	2,59	0,70
	Tehlikeli	85	2,78	0,59
	Çok Tehlikeli	157	2,61	0,61
	Toplam	279	2,66	0,62
Duyarsızlaşma	Az Tehlikeli	37	2,56	0,80
	Tehlikeli	85	2,94	0,71
	Çok Tehlikeli	157	2,85	0,79
	Toplam	279	2,84	0,77
Kişisel Başarı Hissinde Azalma	Az Tehlikeli	37	2,50	0,73
	Tehlikeli	85	2,66	0,57
	Çok Tehlikeli	157	2,48	0,64
	Toplam	279	2,54	0,63

Tablo 9'daki verilerle ANOVA ve Pos-hoc analizi uygulanmıştır. Yapılan ANOVA ile duyarsızlaşma puanı bakımından iş güvenliği uzmanlarında, çalışılan sektörün tehlike sınıflarına göre anlamlı bir fark olduğu bulgusuna ulaşılmıştır $F(2,276)=3,15$, $P=0,045$. Bu farkın ayrıntılarının anlaşılabilmesi için Pos-hoc kıyaslamaları yapılmıştır. Bu kıyaslamalar sonucunda; tehlikeli sınıfta görev yapan İSG

uzmanlarının duyarsızlaşma puan ortalamasının ($M=2,94$, $SD=0,71$) az tehlikeli sınıfta görev yapan İSG uzmanlarının duyarsızlaşma puan ortalamasına ($M=2,56$, $SD=0,80$) göre istatistiksel bakımdan anlamlı şekilde yüksek olduğu anlaşılmıştır. ($p<0,035$). İstatistiksel olarak bu anlamlı sonuçların grafiksel gösterimi MANOVA ile elde edilmiş ve Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. İş güvenliği uzmanlarının A, B ve C sınıflarına göre duyarsızlaşma ölçek puanının çalışılan sektörün tehlike sınıflarına göre gösterimi

Şekil 6 incelediğinde; genel olarak az tehlikeli sektörde çalışan; A sınıfı İSG uzmanlarında duyarsızlaşmanın çok düşük olduğu, tehlikeli sektörde çalışan iş güvenliği uzmanlarının özellikle A ve C sınıfı uzmanlarda çok yüksek, çok tehlikeli sektörde çalışan A, B ve C sınıfı İSG uzmanlarında duyarsızlaşmanın birbirine daha yakın olduğu dikkati çekmektedir.

8.4 Ölçekler Arasındaki Korelasyon Bulguları

İş güvenliği uzmanlarında; rol belirsizliği, rol çatışması, duygusal tükenme, duyarsızlaşma ve kişisel başarı hissinde azalma puanları arasında istatistiksel bakımdan anlamlı bir ilişki olup olmadığının sorgulanması amacıyla pearson korelasyon analizi yapılmış ve sonuçları Tablo 10'da verilmiştir.

Tablo 10. Ölçek puanları arasındaki korelasyon analizi çıktısı

Ölçekler	Rol Belirsizliği	Rol Çatışması	Duygusal Tükenme	Duyarsızlaşma	Kişisel Başarı Hissinde Azalma
Rol Belirsizliği	1,00	0,14	0,30	0,19	0,47
Rol Çatışması		1,00	0,35	0,37	0,22
Duygusal Tükenme			1,00	0,55	0,66
Duyarsızlaşma				1,00	0,57
Kişisel Başarı Hissinde Azalma					1,00

Tablo 10 incelendiğinde; rol belirsizliği ve rol çatışması arasında pozitif yönlü ve zayıf düzeyde bir ilişki $r=0,14$, $n=279$, $p<0,05$ olduğu görülmüştür. Rol belirsizliği ve duygusal tükenme arasında pozitif yönlü ve orta düzeyde bir ilişki $r=0,30$, $n=279$, $p<0,05$ olduğu görülmüştür. Rol belirsizliği ve duyarsızlaşma arasında pozitif yönlü ve zayıf düzeyde bir ilişki $r=0,19$, $n=279$, $p<0,05$ olduğu görülmüştür. Rol belirsizliği ve kişisel başarı hissinde azalma arasında pozitif yönlü ve orta düzeyde bir ilişki $r=0,47$, $n=279$, $p<0,05$ olduğu görülmüştür. Rol çatışması ve duygusal tükenme arasında pozitif yönlü ve orta düzeyde bir ilişki $r=0,35$, $n=279$, $p<0,05$ olduğu görülmüştür. Rol çatışması ve duyarsızlaşma arasında pozitif yönlü ve orta düzeyde bir ilişki $r=0,37$, $n=279$, $p<0,05$ olduğu görülmüştür. Rol çatışması ve kişisel

başarı hissinde azalma arasında pozitif yönlü ve zayıf düzeyde bir ilişki $r=0,22$, $n=279$, $p<0,05$ olduğu görülmüştür. Duygusal tükenme ve duyarsızlaşma arasında pozitif yönlü ve güçlü düzeyde bir ilişki $r=0,55$, $n=279$, $p<0,05$ olduğu görülmüştür. Duygusal tükenme ile kişisel başarı hissinde azalma boyutları arasında pozitif yönlü ve güçlü düzeyde bir ilişki $r=0,66$, $n=279$, $p<0,05$ olduğu görülmüştür. Duyarsızlaşma ve kişisel başarı hissinde azalma arasında pozitif yönlü ve güçlü düzeyde bir ilişki $r=0,57$, $n=279$, $p<0,05$ olduğu görülmüştür.

8.5 Rol Belirsizliğinin ve Rol Çatışmasının Tükenmişlik Üzerindeki Etkisi

İş güvenliği uzmanlarında; rol belirsizliği ve rol çatışmasının tükenmişlik ölçeğinin alt boyutlarını

yordayıp yordamadığını belirlemek amacıyla doğrusal regresyon analizleri yapılmıştır. Bu kapsamda; rol belirsizliği ve rol çatışması bağımsız değişken,

duygusal tükenme bağımlı değişken olacak şekilde birinci regresyon modeli oluşturulmuş ve model çıktısı Tablo 11’de verilmiştir.

Tablo 11. Duygusal tükenme regresyon model çıktısı

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
(Constant)	0,879	0,194		4,523	0,000
Rol Belirsizliği	0,284	0,043	0,350	6,602	0,000
Rol Çatışması	0,337	0,045	0,394	7,427	0,000

a. Bağımlı Değişken: Duygusal Tükenme

$R^2=0,239$, sig<0,05

Tablo 11 incelendiğinde; rol belirsizliği ve rol çatışmasının her ikisinin birlikte duygusal tükenmedeki varyansın yaklaşık %24’ünü istatistiksel bakımdan anlamlı şekilde açıkladığı görülmüştür. Rol

belirsizliği ve rol çatışması bağımsız değişken duyarsızlaşma bağımlı değişken olacak şekilde ikinci regresyon modeli oluşturulmuş ve model çıktısı Tablo 12’de verilmiştir.

Tablo 12. Duyarsızlaşma regresyon model çıktısı

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
(Constant)	0,824	0,248		3,320	0,001
Rol Belirsizliği	0,253	0,055	0,251	4,615	0,000
Rol Çatışması	0,433	0,058	0,406	7,472	0,000

a. Bağımlı Değişken: Duyarsızlaşma

$R^2=0,200$, sig<0,05

Tablo 12 incelendiğinde; rol belirsizliği ve rol çatışmasının her ikisinin birlikte duyarsızlaşmadaki varyansın %20’sini istatistiksel bakımdan anlamlı şekilde açıkladığı görülmüştür. Rol belirsizliği ve rol

çatışması bağımsız değişken, kişisel başarı hissinde azalma bağımlı değişken olacak şekilde üçüncü regresyon modeli oluşturulmuş ve model çıktısı Tablo 13’te verilmiştir.

Tablo 13. Kişisel başarı hissinde azalma regresyon model çıktısı

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
(Constant)	0,690	0,190		3,628	0,000
Rol Belirsizliği	0,424	0,042	0,511	10,074	0,000
Rol Çatışması	0,252	0,044	0,288	5,675	0,000

a. Bağımlı Değişken: Kişisel Başarı Hissinde Azalma

$R^2=0,303$, sig<0,05

Tablo 13 incelendiğinde; rol belirsizliği ve rol çatışmasının her ikisinin birlikte kişisel başarı hissindeki azalmanın varyansının yaklaşık %30’unu

istatistiksel bakımdan anlamlı şekilde açıkladığı görülmüştür.

IX. TARTIŞMA

Çalışmamızın ilk amacı; iş güvenliği uzmanlarının rol belirsizliği ve rol çatışması düzeylerinin belirlenmesidir. Bu bakımdan örneklemimizdeki iş güvenliği uzmanlarının rol belirsizliği ile rol çatışması puanları değerlendirildiğinde; rol çatışması puanının, rol belirsizliği puanına göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu sonuç; ölçeğin yaratıcı olan Rizzo ve diğerleri (1970)'nin karmaşık organizasyonlardaki araştırma sonuçlarıyla [13], Bedeian ve Armenakis (1981)'in sağlık çalışanları üzerinde yaptığı araştırma sonuçlarıyla [14], Sabuncuoğlu (2008)'nin araştırma görevlileri üzerinde yaptığı araştırma sonuçlarıyla [21], Tunç (2008)'un doktorlar ve hemşireler üzerinde yaptığı çalışmadaki her iki grup içinde elde ettiği sonuçlarla [22], Tunc ve Kutanis (2009)'in bir üniversite hastanesinde görev yapan doktor ve hemşireler üzerinde yaptıkları çalışmanın sonuçlarıyla [30], Ghorpade ve diğerleri (2011)'nin akademisyenler üzerinde yaptıkları araştırma sonuçlarıyla [31], Doğan ve diğerleri (2016)'nin devlet ve vakıf üniversitelerindeki akademik personel üzerinde yaptığı araştırma sonuçlarıyla uyum içindedir [18]. Ancak Esatoğlu ve diğerleri (2004)'nin başhemşireler üzerinde yaptığı çalışmada rol belirsizliği puanı, rol çatışması puanından daha yüksektir [20].

Çalışmamızın ikinci amacı; A, B ve C sınıflarına göre ayrılmış iş güvenliği uzmanlarının rol belirsizliği, rol çatışması düzeylerinin bazı demografik ve mesleki değişkenlere göre farklılaşıp farklılaşmadığını belirlemektir. Bu bakımdan İSG uzmanlarının cinsiyetlerine ve medeni durumlarına bağlı olarak bu düzeyler incelendiğinde A sınıfı iş güvenliği uzmanlarda; erkeklerin kadınlara göre evlilerin de bekârlara göre istatistiksel bakımdan anlamlı şekilde daha fazla rol belirsizliği yaşadıkları görülmektedir. Bu durum, A sınıfı erkek veya evli uzmanların kadın veya bekârlara göre çok tehlikeli sektörde daha fazla yer almalarından kaynaklanabilir. Ayrıca istatistiksel olarak anlamlı olmasa da; B ve C sınıfı kadın uzmanların erkeklere göre daha fazla rol belirsizliği yaşadıkları görülmektedir. Bunun dışında istatistiksel olarak anlamlı olmasa da; B ve C sınıfı bekâr uzmanların evlilere göre daha fazla rol belirsizliği yaşadıkları görülmektedir. Diğer taraftan istatistiksel olarak anlamlı olmasa da; C sınıfı bekâr uzmanların diğer tüm uzmanlardan daha fazla rol belirsizliği yaşadıkları görülmektedir. Benzer şekilde istatistiksel olarak anlamlı olmasa da; C sınıfı kadın uzmanların da diğer tüm uzmanlardan daha fazla rol belirsizliği yaşadıkları görülmektedir. Bu durum ölçekteki rol belirsizliği soruları üzerinden değerlendirildiğinde rol belirsizliği daha fazla olan grupların; göreviyle ilgili daha az bilgiye sahip olduğu, işleriyle ilgili hedef ve amaçlarının daha az belirgin olduğu, zamanını daha az planlayabildiği, görevini yaparken daha fazla yardıma ihtiyaç duyduğu ve sorumluluklarının daha az farkında olduğu sonucuna varılabilir. Çalışmamızın ikinci

amacı içeriğinde ayrıca iş güvenliği uzmanlarının tükenmişlik ile alt boyutlarının düzeyleri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu tükenmişlik düzeyleri, Tunç (2008) tarafından oluşturulan referans değerlerle karşılaştırılmış ve iş güvenliği uzmanlarının genelinde orta seviye duygusal tükenme, yüksek seviye duyarsızlaşma ve düşük seviye kişisel başarı hissinde azalma durumu görülmektedir [22]. İşyerlerinde çalışanların tam bir iyilik halinde bulunmaları için görev yapan iş güvenliği uzmanlarının genelinde duygusal tükenmenin varlığı ve ayrıca duyarsızlaşmanın yüksek seviyede olması üzücüdür. Diğer taraftan aynı grubun kişisel başarı hislerinde bir azalma hissetmemeleri de gelecek için umut vericidir. Aynı zamanda çalışmamızın ikinci amacı kapsamında; A, B ve C sınıflarına göre ayrılmış iş güvenliği uzmanlarının tükenmişlik düzeylerinin bazı demografik ve mesleki değişkenlere göre farklılaşıp farklılaşmadığı incelenmiştir. Bu bakımdan, çalıştıkları sektörün tehlike sınıfına göre İSG uzmanlarının bu düzeyleri incelendiğinde; tehlikeli sınıfta görev yapan İSG uzmanlarının az tehlikeli sınıfta görev yapanlara göre istatistiksel bakımdan anlamlı şekilde daha fazla duyarsızlaşma yaşadıkları görülmektedir. İSG uzmanlarının yaşlarına bağlı olarak bu düzeyler incelendiğinde; B sınıfı iş güvenliği uzmanlarda 45 ve daha büyük yaşta olanların 35-39 yaş grubuna göre istatistiksel bakımdan anlamlı şekilde daha düşük duyarsızlaşma yaşadıkları görülmektedir. Genel olarak duyarsızlaşma 35-39 yaş aralığından sonra A, B ve C sınıfı uzmanlarda azalmaya başlarken A ve C sınıfı uzmanlarda 40-44 yaş aralığından sonra tekrar artışa geçmektedir. Bunun nedeni; B sınıfı uzmanların yaşla artan tecrübeye ek olarak A sınıfı kadar çok tehlikeli sektörde yer almamaları ve C sınıfı uzmanlardan daha fazla mesleki tecrübeye sahip olmaları düşünülebilir. B sınıfı uzmanların duyarsızlaşma durumları Ayaç ve diğerleri (2016)'nin sonuçlarıyla kısmen uyum içerisindedir [12]. Bu durum ölçekteki duyarsızlaşma soruları üzerinden değerlendirildiğinde duyarsızlaşmanın daha fazla olduğu grupların, yaptığı işle insanların yaşamına katkıda bulunduğuna inanmadığı, çalışmaya başladığından beri insanlara karşı sertleştiği, yaptığı işin kendisini giderek katılaştırmasından korktuğu, iş yapacak gücü olmadığı, işinin kendisini kısıtladığı, normalden daha fazla çalışmak zorunda kaldığı düşüncesine kapıldıkları sonucuna varılabilir. C sınıfı iş güvenliği uzmanlarda kadınların erkeklere göre istatistiksel bakımdan anlamlı şekilde daha fazla duygusal tükenme yaşadıkları belirlenmiştir. Ayrıca istatistiksel olarak anlamlı olmasa da; A ve B sınıfı erkek uzmanların kadınlara göre duygusal tükenmeyle daha fazla karşı karşıya kaldığı görülmektedir. Bu durum ölçekteki duygusal tükenme soruları üzerinden değerlendirildiğinde duygusal tükenmeyi daha fazla yaşayan grupların; işlerinden daha fazla soğuduğu, iş bitiminde kendisini zihnen tükenmiş hissettiği, uyandığında işini bir gün daha yapamayacağı, işi

gereği karşılaştığı insanların ne hissettiğini anlamakta zorlandığı, işi gereği karşılaştığı kişilere insan değillermiş gibi davrandığı, bütün gün insanlarla uğraşmanın çok yıpratıcı olduğu, işi gereği insanların sorunlarına çözüm bulamadığı, yaptığı işten yıldıdığı, yaptığı işle insanlara fayda sağlamadığı düşüncelerinin hâkim olduğu sonucuna varılabilir. A sınıfı iş güvenliği uzmanlarda erkeklerin kadınlara göre istatistiksel bakımdan anlamlı şekilde daha fazla kişisel başarı hissinde azalma yaşadıkları görülmektedir. Ayrıca istatistiksel olarak anlamlı olmasa da; C sınıfı kadın uzmanların cinsiyet farkı olmaksızın diğer tüm uzmanlardan daha fazla kişisel başarı hissinde azalma yaşadıkları görülmüştür. Bu durum ölçekteki kişisel başarı hissinde azalma soruları üzerinden değerlendirildiğinde kişisel başarı hissinde azalma yaşayan grupların; işi gereği karşılaştığı insanlara ne olduğunu umursamadığı, doğrudan doğruya insanlarla çalışmanın bu kişilerde ciddi stres yarattığı, iş nedeniyle ilişki kurduğu insanlarla uygun bir ortam oluşturamadığı, insanlarla yakın bir çalışma sonrası kendisini enerjik hissetmediği, işinde kayda değer önemli başarılar elde edemedikleri, işinde yolun sonuna geldiğini hissettiği, işindeki duygusal sorunlara serinkanlılıkla yaklaşmadığı, işi gereği karşılaştığı insanların kendisini suçlayıcı davrandıkları fikrinde oldukları düşünülebilir. İSG uzmanlarının mezuniyet kaynaklarına göre bu düzeyler incelendiğinde; gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunamamıştır.

Çalışmamızın üçüncü amacı ise iş güvenliği uzmanlarında; rol belirsizliği, rol çatışması, duygusal tükenme ve duyarsızlaşma ile kişisel başarı hissinde azalma arasındaki ilişkilerin ortaya konmasıdır. Bu kapsamda iş güvenliği uzmanlarında; rol belirsizliği ile rol çatışması arasında pozitif yönde ve zayıf seviyede bir ilişkinin varlığı görülmektedir. Bu sonuç Doğan ve diğerleri (2016)'nin, Sabuncuoğlu (2008)'nin ve Bedeian ve Armenakis (1981)'in sonuçlarıyla uyum içindedir. [14, 18, 21]. Rol belirsizliğinin; duygusal tükenmeyle ve kişisel başarı hissinde azalmayla pozitif yönlü ve orta düzeyde bir ilişki içinde olduğu; duyarsızlaşmayla ise pozitif yönlü fakat zayıf düzeyde bir ilişki içinde olduğu görülmektedir. Bu sonuç Doğan ve diğerleri (2016)'nin ve Sabuncuoğlu (2008)'nin sonuçlarıyla uyum içindedir [18, 21]. Rol çatışmasının; duygusal tükenmeyle ve duyarsızlaşmayla pozitif yönlü ve orta düzeyde bir ilişki içinde olduğu görülmektedir. Bu sonuç Doğan ve diğerleri (2016)'nin ve Sabuncuoğlu (2008)'nin sonuçlarıyla uyum içindedir [18, 21]. Rol çatışması ve kişisel başarı hissinde azalma arasında pozitif yönde zayıf seviyede bir ilişki olduğu görülmektedir. Bu sonuç Doğan ve diğerleri (2016)'nin sonuçlarıyla uyum içinde iken Sabuncuoğlu (2008)'nin sonuçlarıyla uyumlu değildir [18, 21]. Bu durum genel olarak incelendiğinde iş güvenliği uzmanlarının tükenmişliklerinin azaltılması için rol belirsizliği ve rol çatışmalarını önleyici

çözümlerin gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Duygusal tükenme, duyarsızlaşma ve kişisel başarı hissinde azalma boyutlarının birbirleriyle pozitif yönde ve güçlü seviyede bir ilişki içinde olduğu görülmektedir. Bu sonuç Sabuncuoğlu (2008)'nin sonuçlarıyla uyum içindedir [21].

Çalışmamızın dördüncü amacı ise iş güvenliği uzmanlarında; rol belirsizliği ve rol çatışmasının tükenmişlik ölçeğinin alt boyutlarını yordayıp yordamadığını belirlemektir. Bu kapsamda iş güvenliği uzmanlarında; rol belirsizliği ve rol çatışmasının her ikisinin birlikte duygusal tükenme, duyarsızlaşma ve kişisel başarı hissinde azalma durumunu yordadığı görülmüştür. Bu sonuç rol belirsizliği ve rol çatışmasındaki artışın tükenmişliğin tüm boyutlarını arttırdığını göstermektedir. Bu nedenle iş güvenliği uzmanlarının tükenmişlik problemlerinin önemli bir kısmını çözebilmek için rol belirsizliği ve rol çatışmasına neden olan faktörlerin kontrol altına alınmasının faydalı olacağı değerlendirilmektedir.

X. ÖNERİLER

İş güvenliği uzmanlarının tükenmişlik seviyelerini düşürmeye yönelik olarak; çalışmada kullanılan ölçek soruları ve iş güvenliği uzmanlarının mevcut çalışma koşulları da göz önünde bulundurularak işverenlere, yetkili kurumlara ve yeni araştırmacılara çeşitli önerilerde bulunulmuştur. Bu kapsamda; iş güvenliği uzmanlarının yaşadıkları tükenmişlik seviyesinin azaltılması için öncelikli olarak tükenmişlik durumunu ifade eden sorunların çözülmesinin faydalı olacağı düşünülmektedir. Ayrıca rol belirsizliği ve rol çatışmasındaki artışların tükenmişlik seviyesinin yaklaşık %25'ini yordaması nedeniyle rol çatışması ve rol belirsizliği sorunlarının çözülmesiyle de tükenmişlik seviyesinin azaltılabileceği düşünülmektedir. Bu nedenle öncelikle doğrudan tükenmişlik seviyesini azaltacak öneriler; bunun arkasından da rol çatışması ve rol belirsizliği seviyesini azaltacak diğer öneriler sunulmuştur. Duyarsızlaşmanın azaltılması için işverene; iş güvenliği uzmanlarıyla diğer tüm çalışanlar arasında iletişim ve işbirliğini teşvik etmeleri, kendisi ve üst düzey yöneticilerin tüm çalışanlara rol model olmaları, işyerinde performans ölçüm sistemini geliştirmeleri yoksa oluşturmaları, işyerinde empati, çeşitlilik, ayrımcılık, iş yükü ve stresle baş etme gibi konularda eğitim ve seminerler düzenletmeleri, işyerinde olumlu bir iş güvenliği kültürü oluşturmaları tavsiye edilmektedir. Duygusal tükenmenin azaltılması yönünde işverene; iş güvenliği uzmanlarına destekleyici bir çalışma ortamı sağlamaları, kişilerin öz saygısını ve işyerine aidiyet duygusunu arttırmaya yönelik mesai dışı sosyal faaliyetler planlamaları önerilmektedir. Düşük kişisel başarı hissini yükseltmek için ise işverene; kurum içi veya kurum dışından yetkin iş güvenliği uzmanları aracılığıyla, C sınıfı iş güvenliği uzmanlarının ölçülebilir ve gerçekçi

hedefler belirlemelerine yardımcı olmaları, başarılı olan İSG uzmanlarını ödüllendirmeleri, meslek içi eğitimlerle uzmanları desteklemeleri tavsiye edilmektedir. Tükenmişlik seviyesini dolaylı olarak etkileyen rol çatışması ve rol belirsizliğini düşürmek için de işverene; işyerindeki genel yönetim politikalarını gözden geçirmeleri, iş güvenliği uzmanlarının ve diğer çalışanların yetki ve sorumluluklarını açık ve dengeli biçimde belirlemeleri, çalışanlara iletişim becerileri, iş yükü planlama ve stresle mücadele gibi konularda eğitim verdirmeleri önerilmektedir. Ayrıca iş güvenliği uzmanlarının çalışma koşulları göz önüne alındığında; rol belirsizliği ve rol çatışması seviyesinin azaltılması için öncelikli tam bir mesleki bağımsızlık ilkesi içinde çalışmaları gerekmektedir. Bunun sağlanması için de iş güvenliği uzmanlarının ilgili bakanlığa bağlı bir çalışan olarak görevlendirilmeleri tavsiye edilmektedir. Bu durumun uygulanabilmesi için de yetkili kurumların gerekli yasal alt yapıyı oluşturmaları önerilmektedir. Bunlara ek olarak iş güvenliği uzmanı yetiştiren eğitim kurumlarının, etkili iletişim becerileri, zaman yönetimi, stres yönetimi, iş planlama gibi çeşitli kişisel gelişim derslerini de müfredatlarına eklemeleri önerilmektedir. Son olarak; benzer konularda çalışma yapan araştırmacılara, iş güvenliği uzmanlarıyla mülakatlar yaparak bu çalışmayı derinleştirmeleri tavsiye edilmektedir.

KAYNAKÇA

- [1] Gözüak, M. H., & Ceylan, H. (2021). Türkiye’de inşaat sektöründe meydana gelen iş kazalarının iş sağlığı ve güvenliği bağlamında analizi: Güncel eğilimlere genel bir bakış. Sağlık Akademisyenleri Dergisi, 8(2), 133-143.
- [2] Öztürk, T. (2022). Türkiye’de 2017-2020 yılları arasında yaşanan iş kazaları ve yaralanma olaylarının illere göre değerlendirilmesi. International Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences, 34(3), 460-469.
- [3] Orhan, S. (2014). İş güvenliği uzmanlarının iş güvencesi sorunu. Hak İş Uluslararası Emek ve Toplum Dergisi, 3(6), 70-89.
- [4] Çetin, M. (2015). Türkiye’deki iş kazaları ve işçi ölümlerinin ekonomik boyutu ve politika önerisi. Istanbul Journal of Sociological Studies, 51, Article 51. <https://doi.org/10.18368/IU/sk.60129>
- [5] Arslan, M., & Ünsal, M. (2015). Yapı işlerinde sağlık ve güvenlik planının kaza riskini azaltmaya pozitif etkisi. TMOBB İnşaat Mühendisleri Odası 5. İş Sağlığı ve Güvenliği Sempozyumu, 5-6.
- [6] İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu, 6331 (2012). <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=6331&MevzuatTur=1&MevzuatTertip=5>
- [7] Kayan, Y. V., Doğruyol, M., Gültekin, M. Ş., Celal, M., Gültekin, E. A., & Kuncan, O. (2017). İş güvenliği uzmanlarının yaşadıkları sorunlar üzerine bir araştırma. Bilim ve Gençlik Dergisi, 5(2), 44-50.
- [8] Takaoğlu, Z. B., Kaya, E. Ç., & İri, N. Ö. (2018). İş güvenliği uzmanlarının yaşadığı sorunlar. Gümüşhane Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi, 7(2), 1-9.
- [9] Sarı, Ş. N., Atalay, D., Çelik, Ö., Engin, F., Mirici, E., Gür, R., & Aktaş, C. E. (2021). İş sağlığı ve güvenliği uzmanları ile çalışanlar arasındaki iletişim sorunları ve çözüm önerileri. II. Ulusal, 48.
- [10] Karakaya, T. (2018). İş güvenliği uzmanlarının çalışma yaşamı özellikleri, iş stresi ve iş güvencesizliğinin değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [11] Aytaç, S., Engin, T., & İmanlı, E. (2020). İş güvenliği uzmanlarının işe ilişkin duygusal iyi oluş hali, mutluluk ve yaşam tatmini ilişkisi. Yaşar Üniversitesi E-Dergisi, 15(60), 746-758.
- [12] Aytaç, S., Akalp, G., & Gökçe, A. (2016). İş sağlığı ve güvenliği uzmanlarının işe bağlı stres ve tükenmişlik düzeylerinin incelenmesi. Atatürk University Journal of Economics & Administrative Sciences, 30(5), 1207-1225.
- [13] Rizzo, J. R., House, R. J., & Lirtzman, S. I. (1970). Role conflict and ambiguity in complex organizations. Administrative science quarterly, 150-163.
- [14] Bedeian, A. G., & Armenakis, A. A. (1981). A path-analytic study of the consequences of role conflict and ambiguity. Academy of management journal, 24(2), 417-424.
- [15] Daft, R. L. (2010). New era of management 9th Edition. Terjemahan. Tita Maria Kanita, Era Baru Manajemen. Jakarta: Salemba.
- [16] Schermerhorn Jr, J. R., Osborn, R. N., Uhl-Bien, M., & Hunt, J. G. (2011). Organizational behavior. John Wiley & sons.
- [17] DeCenzo, D. A., Robbins, S. P., & Verhulst, S. L. (2016). Fundamentals of human resource management. John Wiley & Sons.
- [18] Doğan, A., Demir, R., & Türkmen, E. (2016). Rol belirsizliğinin, rol çatışmasının ve sosyal desteğin tükenmişliğe etkisi: Devlet ve vakıf üniversitelerinde çalışan akademik personelin tükenmişlik düzeylerinin karşılaştırılması. Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 30(1), 37-66.
- [19] Valenzi, E., & Dessler, G. (1978). Relationships of leader behavior, subordinate role ambiguity and subordinate job satisfaction. Academy of Management journal, 21(4), 671-678.
- [20] Esatoğlu, A. E., Ağırbaş, İ., Akbulut, Y., & Çelik, Y. (2004). Sağlık Bakanlığı hastanelerinde hemşirelerin rol çatışması ve rol belirsizliği düzeylerinin belirlenmesi. Amme İdaresi Dergisi, 37(4), 133-146.
- [21] Sabuncuoğlu, E. T. (2008). Rol çatışmasının ve rol belirsizliğinin tükenmişlik ve iş doyumunu

- üzerindeki etkilerinin incelenmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 23(1), 35-49.
- [22] Tunç, T. (2008). Doktor ve hemşirelerde tükenmişlik ile rol çatışması ve rol belirsizliği arasındaki ilişki: Bir üniversite hastanesi örneği, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- [23] Perrewé, P. L., Zellars, K. L., Ferris, G. R., Rossi, A. M., Kacmar, C. J., & Ralston, D. A. (2004). Neutralizing job stressors: Political skill as an antidote to the dysfunctional consequences of role conflict. *Academy of Management Journal*, 47(1), 141-152.
- [24] Şimşek, M. Ş., Çelik, A., & Akgemci, T. (2015). Davranış bilimlerine giriş ve örgütlerde davranış. Eğitim Yayınevi.
- [25] Arslan, S., & Üngüren, E. (2017). Rol çatışması ve rol belirsizliğinin örgütsel yabancılaşmaya etkisi: Alanya Belediyesi'nde bir araştırma. *Çağdaş Yerel Yönetimler Dergisi*, 26(4), 43-84.
- [26] Schwab, R. L., & Iwanicki, E. F. (1982). Perceived role conflict, role ambiguity, and teacher burnout. *Educational administration quarterly*, 18(1), 60-74.
- [27] Brookings, J. B., Bolton, B., Brown, C. E., & McEvoy, A. (1985). Self-reported job burnout among female human service professionals. *Journal of Organizational Behavior*, 6(2), 143-150.
- [28] Fimian, M. J., & Blanton, L. P. (1987). Stress, burnout, and role problems among teacher trainees and first-year teachers. *Journal of Occupational Behaviour*, 8(2), 157-165.
- [29] Von Emster, G. R., & Harrison, A. A. (1998). Role ambiguity, spheres of control, burnout, and work-related attitudes of teleservice professionals. *Journal of Social Behavior and Personality*, 13(2), 375.
- [30] Tunc, T., & Kutanis, R. O. (2009). Role conflict, role ambiguity, and burnout in nurses and physicians at a university hospital in Turkey. *Nursing & health sciences*, 11(4), 410-416.
- [31] Ghorpade, J., Lackritz, J., & Singh, G. (2011). Personality as a moderator of the relationship between role conflict, role ambiguity, and burnout. *Journal of Applied Social Psychology*, 41(6), 1275-1298.
- [32] Jackson, S. E., Schwab, R. L., & Schuler, R. S. (1986). Toward an understanding of the burnout phenomenon. *Journal of applied psychology*, 71(4), 630.
- [33] Leiter, M. P., & Maslach, C. (1988). The impact of interpersonal environment on burnout and organizational commitment. *Journal of organizational behavior*, 9(4), 297-308.
- [34] Jackson, S. E., Turner, J. A., & Brief, A. P. (1987). Correlates of burnout among public service lawyers. *Journal of Organizational Behavior*, 8(4), 339-349.
- [35] Sılığ, A. (2003). Banka çalışanlarının tükenmişlik düzeylerinin çeşitli değişkenler açısından incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi.
<https://earsiv.anadolu.edu.tr/xmlui/handle/11421/3289>
- [36] Maslach, C., & Zimbardo, P. G. (1982). *Burnout—The Cost of Caring*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.
- [37] Ergin, C. (1992). Doktor ve hemşirelerde tükenmişlik ve Maslach tükenmişlik ölçeğinin uyarlanması. VII. Ulusal psikoloji kongresi bilimsel çalışmaları, 22(25),143-154.
- [38] Budak, G., & Sürgevil, O. (2005). Tükenmişlik ve tükenmişliği etkileyen örgütsel faktörlerin analizine ilişkin akademik personel üzerinde bir uygulama. Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 20(2), 95-108.
- [39] Wright, T. A., & Bonett, D. G. (1997). The contribution of burnout to work performance. *Journal of Organizational Behavior: The International Journal of Industrial, Occupational and Organizational Psychology and Behavior*, 18(5), 491-499.
- [40] Maslach, C., Schaufeli, W. B., & Leiter, M. P. (2001). Job burnout. *Annual review of psychology*, 52(1), 397-422.
- [41] Maslach, C., & Jackson, S. E. (1981). The measurement of experienced burnout. *Journal of organizational behavior*, 2(2), 99-113.
- [42] Yıldırım, F. (1996). Banka çalışanlarında iş doyumunu ve algılanan rol çatışması ile tükenmişlik arasındaki ilişki. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- [43] Büyüköztürk, Ş. (2011). Sosyal bilimlerde veri analizi el kitabı. Pegem Yayınevi, Ankara.
- [44] Pallant, J. (2017). SPSS kullanma kılavuzu: SPSS ile adım adım veri analizi. Anı Yayıncılık.

Web Tarayıcıları için Etkili Tohum URL Seçimi ve Kapsam Genişletme Algoritması

Effective Seed URL Selection and Scope Extension Algorithm for Web Crawler

Zülfü ALNAOĞLU¹ , M.Ali AKCAYOL² 

¹ Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Antakya MYO, Bilişim Teknolojileri Bölümü, Hatay, Türkiye

² Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği, Ankara, Türkiye

Öz

Web, hızla büyüyen ve her türden verilerin bulunduğu devasa bir veri kaynağıdır. Kullanıcılar bu veri kaynağından istedikleri verileri almak için arama motorlarını kullanırlar. Arama motorları bu verileri web tarayıcıları ile elde ederler. Web tarayıcıları web sayfalarındaki tek düzen kaynak bulucuları (URL-Uniform Resource Locator) izleyerek ulaştıkları tüm sayfalardaki verileri alır, ayrıştırır ve indekslerler. Web tarama sürecindeki en önemli konular hangi URL'lerden başlanacağı ve taramanın kapsamıdır. Bu yazıda kapsamı tüm web olan genel bir tarayıcının tohum URL seçim ve kapsam genişletme yöntemleri sunulmuştur. Tohum URL seçiminde 102 farklı ülkede ziyaretçinin günlük harcadığı saat, ziyaretçi başına günlük sayfa görüntüleme sayısı, aramadan gelen trafiğin yüzdesi ve toplam bağlı site sayısı temel alınarak oluşturulmuş üç farklı tohum URL seti oluşturulup detaylı bir şekilde performansları analiz edilmiştir. Ayrıca kapsamı hızlı bir şekilde genişletmek için link skoruna dayalı yeni bir tarama algoritması önerilmiş, tohum URL setleri kullanılarak taramalar yapılmış, karşılaştırılmış ve detaylı analizleri yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Web Tarayıcıları, Tohum URL Seçimi, Kapsam Genişletme, Link Skoru Hesaplama

Abstract

The web is a huge data source which is rapidly growing and which keeps all kinds of data. Users use search engines to get the data they want from this data source. Search engines obtain these data through web crawlers. Web crawlers retrieve, parse, and index data on all pages they reach by tracking uniform resource locators (URL) on web pages. The most important issues in the web crawling process are which URLs to start from, and the scope of the crawl. In this study, seed URL selection and scope expansion methods of a general web crawler were presented. In the selection of seed URLs, three different seed URL sets were created based on the daily hours spent by the visitors in 102 different countries, the number of daily page views per visitor, the percentage of traffic from the search, and the total number of affiliate sites, and their performance was analyzed thoroughly. Furthermore, a new search algorithm based on link score was proposed to expand the scope quickly, searches were made, compared, and detailed analyzes were performed using seed URL sets.

Keywords: Web Crawler, Seed URL Selection, Scope extension, Link score calculation

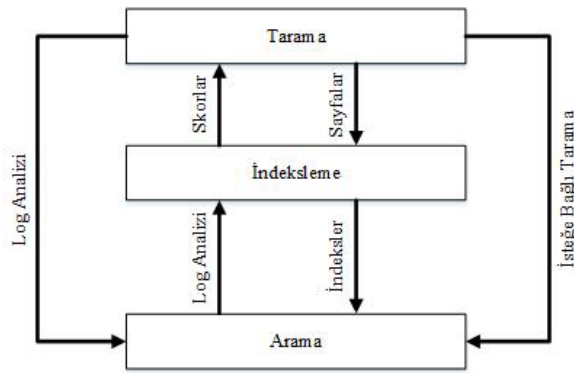
I. GİRİŞ

Günümüzde interneti kullanarak Web üzerindeki verilere erişmek hayatımızın önemli bir parçası haline gelmiştir. Şuanda mevcut dünya nüfusu 7.9 milyar olup 5.2 milyar (%66.2) internet kullanıcısı mevcuttur [1]. Bu sayı 2012'de 2.4 milyar [2] iken 2022'de 5.2 milyara yükselmiş, yani yaklaşık %116 artmıştır.

İnternet kullanıcı sayısının artması Web' deki veri miktarının artması anlamına gelmektedir. Web her geçen gün hızla büyüyen ve her türden verilerin bulunduğu devasa bir veri deposudur. Bu veri deposu içinde istenilen verilere doğru bir şekilde ve zamanında ulaşmak, günümüz koşullarında hayati öneme sahip olup her geçen gün zorlaşmaktadır [3]. Bu zorlukları aşabilmek, Web' deki verileri aramak ve istenilen veriye ulaşmak için arama motorları kullanılmaktadır. Arama motorlarını kullanmadan web üzerindeki bilgileri elde etmek için, milyarlarca web sayfasını tek tek ziyaret etmek gerekir. Bu durumda veriye ulaşmak neredeyse imkânsız hale gelmektedir.

Birçok tarayıcı türü olmasına rağmen temelde genel ve odaklı olmak üzere iki ana tarayıcı türü vardır. Odaklı tarayıcılar belirli bir konu ya da alan ile ilgili sayfaları tarama eğilimindedirler. Önceden belirlenmiş bazı verileri kullanarak erişim sayısını sınırlarlar [4]. Genel tarayıcılarda ise böyle bir sınırlama yoktur. Arasu ve arkadaşları [5], yaptıkları çalışmada, odaklı taramanın değişen ön bilgilere göre kullanıcılar arasında değişiklik gösterdiğini vurgulanmış ve gerçek hayatta genel tarayıcıların kullanımının daha önemli olduğunu özellikle belirtmişlerdir.

Arama motorları temel olarak 3 bölümden oluşurlar. Bu bölümler sırası ile web sayfalarını tarama, verileri indeksleme ve bu veriler içerisinde aramadır[6]. Web sayfalarını tarama işlemini web tarayıcıları (örümcek, tarama botları vb.) gerçekleştirir. Web tarayıcıları tarama işlemine tohum (başlangıç) URL'ler ile başlar. Ziyaret edilen web sayfası içindeki veriler alınıp indekslenir ve sayfa içindeki diğer URL'ler çıkarılarak öncelikli kuyruğa eklenir. Sırası gelen URL taranır ve veriler indekslenir. Taranan URL'ler belirli politikalara göre tekrar taranarak güncellik sağlanır. Şekil 1' de döngüsel yapı kullanarak veri tabanını güncel tutan bir tarayıcı mimarisi gösterilmiştir [6].



Şekil 1. Tarayıcı Mimarisi

Web' in tamamının taranması devasa hacmi nedeniyle uzun bir süreçtir ve neredeyse imkânsızdır. Mevcut arama motorları (Google, Baidu, Yahoo vd.) tüm Web' in sadece yaklaşık olarak %5 ini tarayabilmektedir [7]. Bu nedenle arama motorlarının en büyük yetersizliklerinin başında kapsam genişliği gelmektedir. Kapsamı genişletmek için özellikle ticari arama motorları birçok algoritma ve özellik (çoğu gizli) kullanmaktadır. Kapsamı genişletmenin ilk adımı tohum URL seçimi ve ikinci adımı da iyi bir tarama algoritmasıdır.

II. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Literatürde yapılan çalışmaları tohum URL seçimi ile ilgili çalışmalar ve kapsam genişletme metodları ile ilgili çalışmalar olmak üzere iki gruba ayırıyoruz.

1.1 Tohum URL Seçimi

Bir web tarayıcısının en önemli sorunlarından biri en uygun sayfaları elde etmek için hangi URL'lerden başlaması gerektiğidir [8]. Bu başlangıç URL seti, tarayıcıların arama işlemlerini başlattığı giriş noktasıdır. Tohum URL'lerin kalitesi tarayıcının performansını ve kapsamını etkileyen en temel özelliklerden biridir. Web' in dinamik yapısı gereğince en iyi tohum URL'lerin de zaman ile değişim göstermeleri kaçınılmazdır.

Daneshpajouh ve arkadaşları [9], farklı topluluklardan tohum URL'leri tanımlayan ve çıkaran ilk tohum çıkarma algoritmasını önermişlerdir. Algoritma, tohum URL'lerin farklı topluluklardan düğümler içermesini

garanti etmek için seçilen tohum URL'ler arasındaki mesafeyi ölçmektedir. Kleinberg [10], web sayfalarını merkez ve otorite adını verdiği iki ana grupta toplayan HITS algoritmasını önermiştir. HIST algoritması yalnızca web sayfaları arasından köprüleri dikkate almaktadır. Bundan dolayı en iyi merkez web sayfalarının en iyi tohum URL olduğu söylenebilir. Zheng ve arkadaşları [11], tohum URL seçimi için rastgele, en yüksek PageRank değeri ve en çok alan dışı bağlantıya sahip k sayfaya dayalı tohum seçim stratejilerini kullanan grafik tabanlı bir yaklaşım önermişlerdir. Önerilen yaklaşımın performansını değerlendirmek için her biri en az 100 sayfa içeren ve en az bir harici bağlantıya sahip olan 2000 web sitesinden rastgele örnekler seçerek tohum URL setini oluşturmuşlardır.

Nwala ve arkadaşları [12], web arşivi koleksiyonları için sosyal medya gönderilerinden tohum URL elde etmişlerdir. Bu URL'lere 10 ana boyutta (popülerlik, coğrafik, konu uzmanı, güvenilirlik, itibar vs.) bir kalite puanı atamışlardır. Toplamda referans koleksiyonlarından 1552 ve Twitter Mikro koleksiyonlarından 4.209 tweet' den 2.027 tohum URL elde etmişlerdir.

Tohum URL seçiminde, uzman tarafından manuel seçim, yarı otomatik seçim ve otomatik seçim olmak üzere üç temel seçim metodu vardır. Tarayıcılar için tohum URL çıkarma genellikle manuel yapılıdır. Manuel seçimde [13-15] bir veya birkaç konu hakkında yapılan taramalarda konunun uzmanları tarafından tohum URL'ler seçilmekte, önceliklendirilmekte ve tarama kuyruğuna eklenmektedir. Yarı otomatik seçimde DMOZ ve curlie.org gibi açık kaynak dizinlerden, belirli özelliklere göre tohum URL'ler seçilmektedir. Chan ve Yamana [16], DMOZ üzerinde bulunan URL'leri belirli alan adları (.com, .net, cn, .tw, .jp, .kr) ve dillere göre (Çince, Japonca ve Korece) ayıkladıktan sonra tohum URL olarak almışlardır. Mencer ve Monge [17], InfoSpider adını verdikleri bir tarayıcı geliştirmişlerdir. InfoSpider, kullanıcı sorgularını genel bir arama motoruna göndermekte ve sonuç olarak dönen URL'leri tohum URL olarak kullanmaktadır. Son olarak otomatik seçimde Twitter gibi sosyal medyadaki kullanıcıların paylaştıkları URL'ler tohum URL olarak alınmaktadır. Priyatam ve arkadaşları [18], Twitter' da paylaşılan URL'lerin her biri köşe noktası olan bir grafik oluşturmuş ve benzer köşeleri birbirine bağlamışlardır. Önerilen tarayıcı taramaya köşe noktalarını oluşturan ve benzersiz olan URL'ler ile başlamıştır. Sanagavarapu ve arkadaşları [19], Wikipedia ve Twitter' ı kullanarak tohum URL'lerin otomatik olarak çıkarılması için puanlama (SeedRel) metriği ve URL'lerin alaka düzeyini belirlemek için çeşitlilik indeksi kullanan bir yaklaşım önermişlerdir. Buna ek olarak Sanagavarapu ve ark. [20], tohum ve alt URL'lerin tanımlanması ve puanlanması için yapay arı kolonisi (Artificial Bee Colony - ABC) algoritmasını önermişlerdir. Önerilen algoritmayı güvenlik alanına

uygulamış ve Wikipedia üzerinden 34.007 tohum URL' i çıkarmışlardır.

1.2 Kapsam Genişletme

Bir arama motorunun performans ölçütlerinden biri de taradığı ve indekslediği web sayfalarının miktarıdır. Arama motorunun, web tarayıcısı ve tarayıcının kullandığı tarama tekniklerine bağlı olarak kapsamı ve etkinliği artar [21]. Web' in grafik yapısı karmaşıktır ve içerik ile köprülere erişmek için verimli bir algoritma gerekir. Kapsam, öncelikle seçilen tohum URL' lere ve ardından taramanın genişleyebilmesi için URL' lerin öncelik durumuna göre sıralanmasına bağlıdır. Web tarayıcıları için web sayfalarının önemleri farklıdır ve hangi sayfaların önce taranması gerektiği ile ilgili çeşitli algoritmalar geliştirilmiştir [22].

Page ve arkadaşları [23], Google arama motorunun temel algoritmalarından biri olan PageRank algoritmasını önermişlerdir. Hangi web sayfalarının öncelikli taranması gerektiğini belirlemek için farklı metrikler mışlardır. Bu metrikler genişlik öncelikli, geri bağlantı sayısı ve PageRank olup tarayıcıyı önemli sayfalara yönlendirme açısından bu üç metrik karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak PageRank' in diğerlerine göre önemli sayfaları daha erken taradığı görülmüştür. Prakash ve Kumar [24], çalışmalarında PageRank ve köpekbalığı aramasının (Shark-Search) geliştirilmiş bir versiyonu olan PageRank algoritmasını kullanan köpekbalığı algoritmasını önermişlerdir. Yapılan ön deneylerde orijinal sayfa sıralaması algoritmasına göre önemli gelişmelerin gösterildiği belirtilmiştir. Cao ve arkadaşları [25], çalışmalarında aynı ağda rastgele yürüyüşe izin veren RankCompede adını verdikleri yeni bir model önermişlerdir. Rastgele yürüyüş ile rekabet kavramlarını birleştirerek kümeleme ve sıralama işlemlerini aynı anda yerine getiren bir yöntem geliştirmişlerdir. Geleneksel grafik kümeleme yaklaşımları ile karşılaştırılmış ve yöntemin ağ düğümlerini gruplamada daha hızlı ve sezgisel olduğu belirtilmiştir. Najork ve Wiener [26] önerdikleri yöntemde 328 milyon benzersiz sayfa içeren bir tarama sırasında, taranan sayfaların zaman içerisindeki ortalama sayfa kalitesini incelemişlerdir. Taramaya başlandığında yüksek kalitedeki web sayfalarını seçme eğiliminde olan genişlikte ilk arama yöntemini seçmişlerdir. Sayfaların kalitesini ölçmek ve sıralamak için PageRank algoritmasını kullanmışlardır.

Nisreen ve Elsheh çalışmalarında [22], web sayfalarında benzerliği ve dinamikliği kullanarak web sayfalarına öncelik veren bir yöntem önermişlerdir. Çalışmada dinamik ve statik URL' ler için ayrı iki öncelikli kuyruk kullanılmıştır. Dinamik sayfalar yüksek önceliğe sahip olduğundan dolayı öncelikli taranmaktadır. Elde edilen bulgulara göre web sayfalarının dinamikliğini kullanmanın, URL' lerin taranma sırasının belirlenmesinde etkili bir yol olduğu

belirtilmiştir.

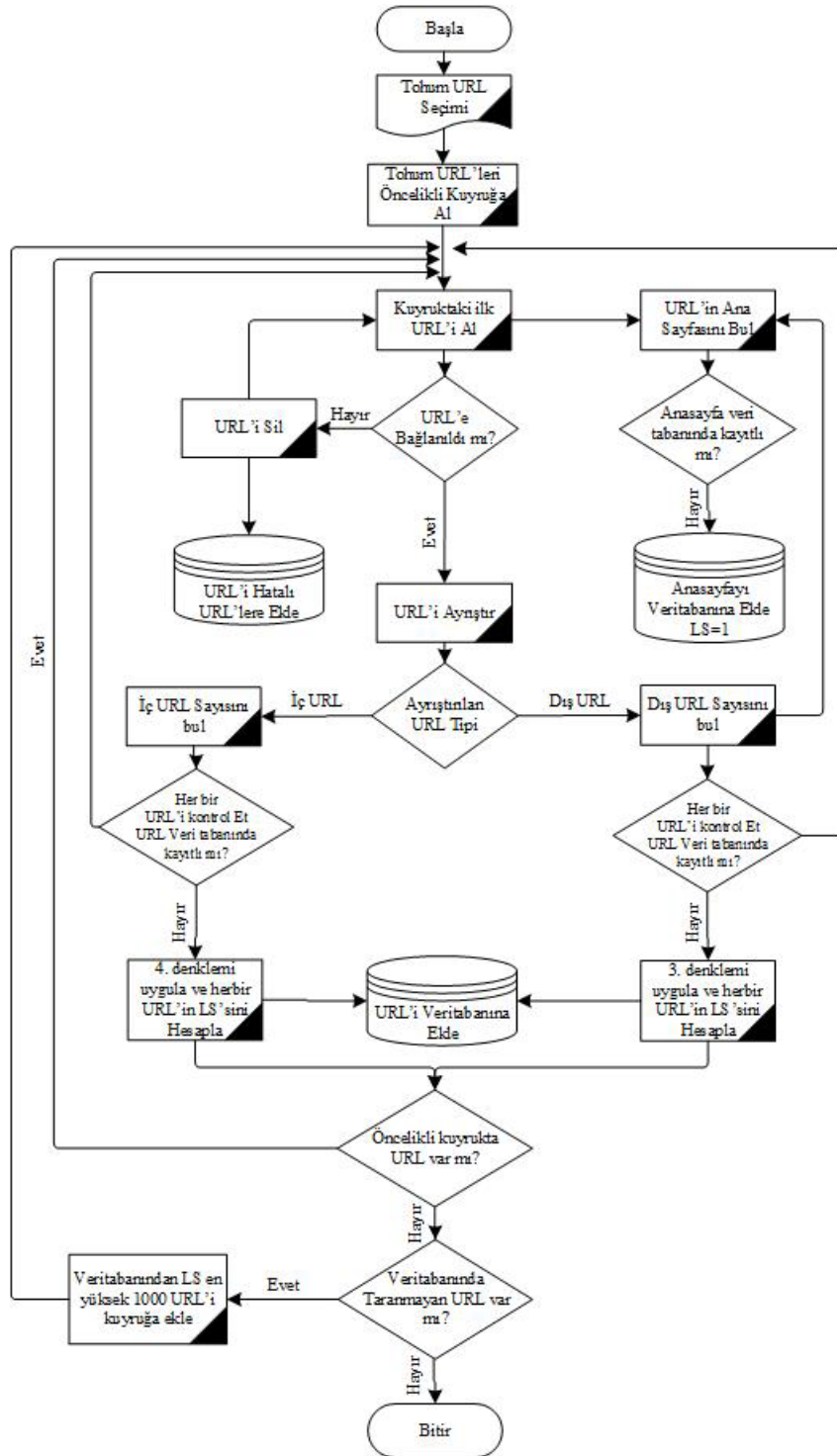
Gupta ve Singh [27] yaptıkları çalışmada kullanıcı tercihi tabanlı sayfa sıralaması adını verdikleri yeni bir sayfa sıralama algoritması önermişlerdir. Önerilen algoritmanın sayfa içerik alaka düzeyini belirlemek için araçlar kullandığı ve sıralamada kullanıcı davranışlarının da dikkate alındığı vurgulanmıştır. Yine kullanıcı davranışı ile ilgili olarak Alhaidari ve arkadaşları [28], kullanıcı davranışı ve tercihinin odaklanan sayfa sıralama algoritmaları, PageRank, Ağırlıklı PageRank ve köprü kaynaklı konu arama algoritmalarını tartışmışlardır. Bunlara ek olarak algoritmaların birleşiminden oluşan kullanıcı tercihi tabanlı ağırlıklı sayfa sıralama algoritmasını (User Preference Based Weighted Page Ranking Algorithm - UPWPR) önermişlerdir. UPWPR algoritması, web içerik madenciliği ve web kullanım madenciliğini kullanarak kullanıcı tercihlerine göre arama sonuçlarını sıralamaktadır.

Baker ve Akcayol [29], URL' leri alan içi ve alan dışı olarak sınıflandıran ve bir öncelik sırası kullanan tarayıcı algoritmasını sunmuşlardır. Önerilen algoritma alan dışı bağlantılar için 2/3 ve alan içi bağlantılar için 1/3 değerini vererek alan dışı bağlantılara öncelik vermektedir. Bunun sebebi kapsamı genişletmek ve aynı etki alanı içindeki bağlantı döngülerinden kaçınmaktır. Öncelikli kuyruğa eklenen URL' ler için bir zamanlama mekanizması kullanılmış ve belirli bir süre boyunca taranmayan URL' ler kuyruktan çıkartılmıştır.

III. ÖNERİLEN WEB TARAYICISI

Bu çalışmada önerdiğimiz web tarayıcısı genel bir tarayıcı olduğu için kapsamı tüm webdir. Genel tarayıcı sırası gelen URL' leri ayrıştırarak web üzerindeki tüm URL' lere ulaşmaya çalışır. Belirli dil ve bölgelere bağlı kalmamak için tüm dünya ülkelerinden en popüler ve en çok ziyaret edilen web sayfalarından tohum URL seti oluşturulmuştur. Önerilen algoritmaya göre tohum URL seti öncelikli kuyruğa alınarak her bir URL sırasıyla taranmıştır. Taranan URL' e herhangi bir sebepten dolayı ulaşılamadığında hata kodu, hata mesajı ve hatalı URL veri tabanında ilgili tabloya kaydedilerek URL' lere silinmiştir. URL' e bağlantı sağlandığında iki işlem gerçekleştirilir. (1) URL' in ana sayfası bulunarak ilgili tabloya kaydedilir ve link skoruna (LS) en yüksek değer olan 1 değeri verilir. (2) Sayfa içerisinde ayrıştırılan URL' ler alan içi (IntraDomain) ve alan dışı (InterDomain) olmak üzere iki gruba ayrılır ve sayıları bulunur. Daha sonra veri tabanından kontrol edilerek daha önce kaydedilmeyen URL' lerin denklem (3) ve (4) ' e göre link skoru hesaplanır. Bu işlemin sonunda URL' ler, link skorları ve tarama zaman damgası veri tabanına kaydedilir. Bu işlemler kuyruқта URL olduğu sürece tekrarlanır. Kuyruқтаki son URL tarandıktan sonra veri tabanındaki en yüksek link skoruna sahip bin URL öncelikli

kuyruğa alınarak keşfedilen tüm URL'ler bitene kadar akış şeması Şekil 2' de verilmiştir. bu işlemler tekrarlanır. Geliştirilen web tarayıcısının



Şekil 2. Geliştirilen Web Tarayıcı Algoritmasının Akış Şeması

3.1. Tohum URL Seçim Metodu

Geliştirilen tarayıcıda tohum URL'ler Alexa [30] üzerinden alınmıştır. Alexa bir Amazon şirkettir ve içerik araştırması, rekabet analizi, anahtar kelime araştırması için başvuru kaynağı olarak kullanılmaktadır. Alexa web sitelerini; ziyaretçinin günlük harcadığı saat, ziyaretçi başına günlük sayfa

görüntüleme sayısı, aramadan gelen trafiğin yüzdesi ve toplam bağlı site sayısı temel olarak sıralamıştır. Bu çalışmada 102 farklı ülkenin her birinde sıralamaya giren 50 web sayfası alınmıştır. Sayfa üzerinden veri çekme işlemi için Python programlama dili kütüphanesi olan BeautifulSoup kullanılmıştır. Alexa'dan toplam 5079 web sitesi alınmış ve kayıt edilmiştir.

Google, Youtube, Facebook vb. gibi web siteleri neredeyse tüm ülkelerde ilk sıralarda yer almakta ve veri tabanında tekrar etmektedir. Bu web sayfalarından benzersiz olan 2502 web sayfası tespit edilmiştir. Sadece 1 ülkede listeye giren 1920 web sayfası tohum URL olarak kullanılmıştır.

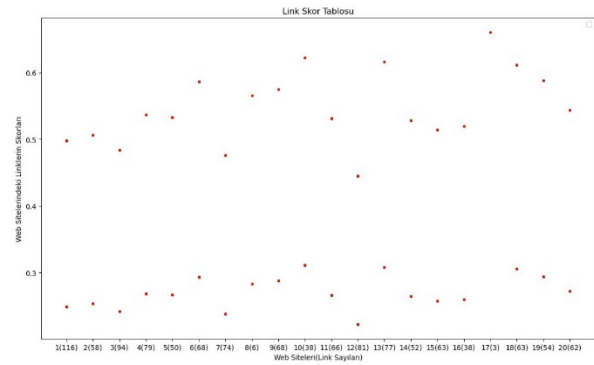
3.2. Geliştirilen Kapsam Genişletme Modülü

Tüm webin taranması olası olmadığından, temel amacımız hem lokasyon olarak hem de taranamamış web sayfalarına öncelik vererek kapsamı genişletmektir. Kapsamı genişletmek için tohum URL seçimi ile birlikte tarama yöntemi hayati derecede önemlidir. Bir web sitesinin ana omurgasının ve zengin URL içeriğinin bulunduğu sayfa ana sayfa (domain adresleri) olduğu görülmüştür. Web sayfası içerisindeki URL ağaç yapısının en üstünde ana sayfa bulunmaktadır. Bunun için ana sayfaların öncelikli olarak taranması gerekmektedir. Bir URL kuyruktan alındığında ve URL' e bağlantı sağlandığında sayfadaki her bir InterDomain için ayrıştırma işlemi gerçekleştirilerek URL' in ana sayfasının veri tabanında olup olmadığı sorgulanır. Eğer ana sayfa veri tabanında kayıtlı değil ise öncelikli taranması için link skoruna (LS) en büyük değer olan 1 değeri verilir. Diğer URL' ler için link skoru hesaplanacaktır. Baker ve Akcayol' un [29] geliştirdikleri öncelikli kuyruk yapısında InterDomain linkin skoru (LS_{max}) ve IntraDomain linkin skorunun (LS_{min}) hesaplanması sırasıyla denklem (1) ve (2)' deki gibidir.

$$LS_{max} = \frac{\sum(\alpha_{inter} + \alpha_{intra}) - \beta_{intra}}{\sum(\alpha_{inter} + \alpha_{intra}) * 0.66} \quad (1)$$

$$LS_{min} = \frac{\sum(\alpha_{inter} + \alpha_{intra}) - \beta_{intra}}{\sum(\alpha_{inter} + \alpha_{intra}) * 0.33} \quad (2)$$

Denklemlerde kullanılan α_{inter} InterDomain linklerin toplamını, α_{intra} IntraDomain linklerin toplamını ve β_{intra} InterDomain ve IntraDomain arasındaki minimum değeri gösteren değerdir. Bu hesaplama ile bir web sayfasındaki tüm IntraDomainler ile InterDomainler kendi içerisinde aynı değerleri alır. Bunun sonucunda öncelikli taramada artarda tarandıkları için iki temel sorun ile karşılaşmaktadır. İlk sorun nezaket politikasına aykırı olarak bant genişliği sık kullanmış olmasıdır. İkinci sorun ise LS aynı olduğundan kapsamın hızlı bir şekilde genişlememesidir. Tohum URL' ler arasından InterDomain ve IntraDomain sayıları 20 ile 80 arasında olan rastgele seçilmiş 20 web sitesinin denklem (1) ve (2)' ye göre dağılımı Şekil 3' de gösterilmiştir.



Şekil 3. Baker ve Akcayol'a göre LS dağılımı

Bu sorunları çözmek için hesaplanan değeri sabit bir sayı ile çarpmak yerine her bir URL için rastgele bir sayı ile çarpmanın kapsamı ve dallanmayı arttırdığını söyleyebiliriz. Bunun için geliştirilen denklemlerimiz sırasıyla denklem (3) ve (4)' deki gibidir

$$LS_{min} = \frac{\sum(\alpha_{inter} + \alpha_{intra}) - \beta_{intra}}{\sum(\alpha_{inter} + \alpha_{intra}) * rand(x_{min}, x_{max})} \quad (3)$$

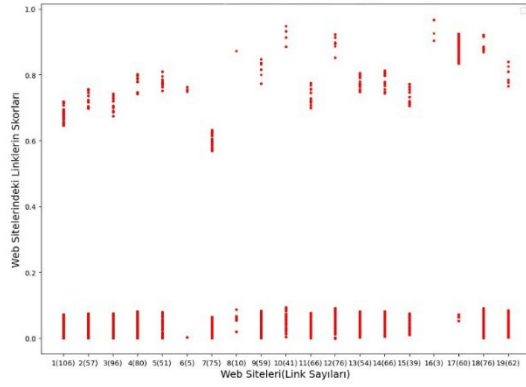
$$LS_{max} = \frac{\sum(\alpha_{inter} + \alpha_{intra}) - \beta_{intra}}{\sum(\alpha_{inter} + \alpha_{intra}) * rand(y_{min}, y_{max})} \quad (4)$$

Denklem (3) ve (4)' de görüldüğü üzere her bir URL için LS hesaplanırken, denklem sabit bir sayı yerine LS_{min} x_{min} , x_{max} aralığındaki rastgele bir sayı ile LS_{max} ' da y_{min} ve y_{max} aralığındaki rastgele bir sayı ile çarpılmıştır. En uygun x_{min} , x_{max} ve y_{min} , y_{max} değerlerini tespit etmek için Tablo 1' deki 5 farklı değer kullanılarak link skorları ayrı ayrı hesaplanmıştır.

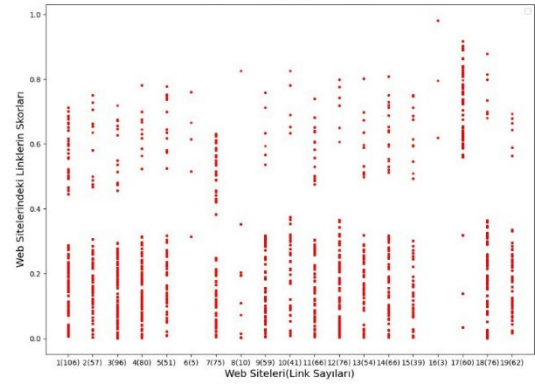
Tablo 1. Kullanılan x_{min} , x_{max} ve y_{min} , y_{max} değerleri

Aralık Setleri	x_{min}	x_{max}	y_{min}	y_{max}
1	0	0.1	0.9	1
2	0	0.2	0.8	1
3	0	0.3	0.7	1
4	0	0.4	0.6	1
5	0	0.5	0.5	1

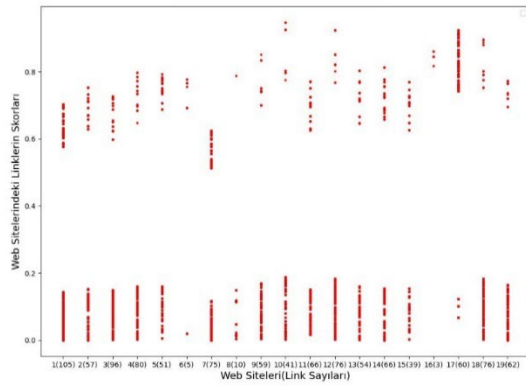
Şekil 3' de kullanılan 20 web sitesi üzerinde Tablo 1' deki 5 farklı değer aralık seti kullanılarak LS_{min} ve LS_{max} dağılımı test edilmiştir. Hesaplanan LS dağılımları Şekil 4,5,6,7 ve 8' de gösterilmiştir.



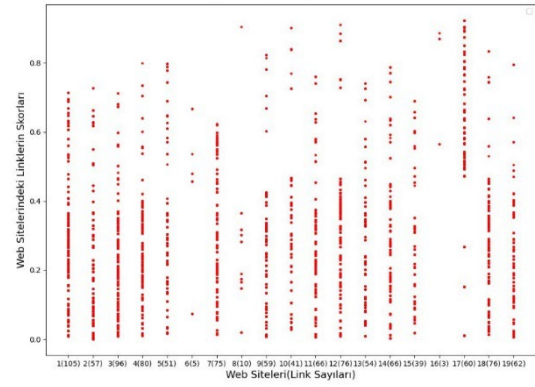
Şekil 4. 1 Numaralı Aralık Seti için LS Dağılımı



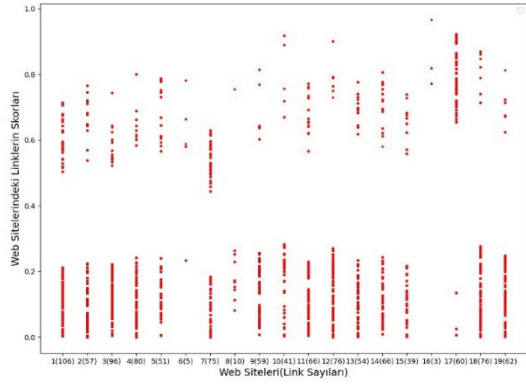
Şekil 7. 4 Numaralı Aralık Seti için LS Dağılımı



Şekil 5. 2 Numaralı Aralık Seti için LS Dağılımı

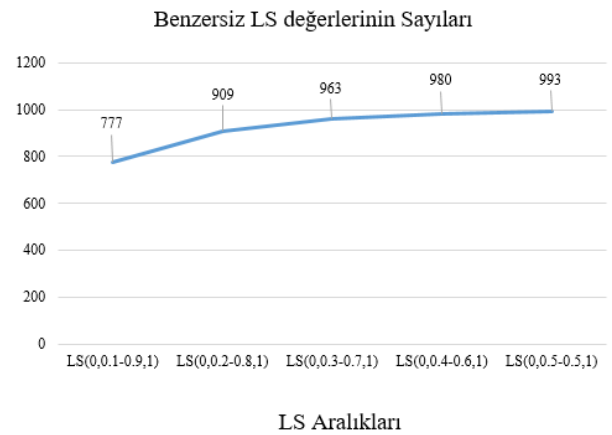


Şekil 8. 5 Numaralı Aralık Seti için LS Dağılımı



Şekil 6. 3 Numaralı Aralık Seti için LS Dağılımı

Şekil 4, 5, 6, 7 ve 8' de görüldüğü gibi LS değeri IntraDomainler ile InterDomainler hesaplandığında sadece 2 farklı değer değil, 0 ile 1 arasında dağılmış değerlerden oluşacaktır. Sistemin test edildiği 5 farklı aralık incelendiğinde aralık değeri arttırıldıkça link skorları da buna paralel olarak artmaktadır. 20 web sayfasından alınan 1082 farklı URL' in ayrı ayrı link skorları hesaplanmıştır. Alınan 5 farklı aralıkta URL' lerin link skorlarının benzersiz olanlarının sayısı Şekil 9' da gösterilmiştir.



Şekil 9. LS aralıklarına göre URL' lerin benzersiz LS dağılımları.

Grafikte görüldüğü üzere LS hesaplanırken aralık değeri arttırıldığında URL'lerin LS değerlerinin dağılımı homojen olmaktadır. LS_{min} hesaplanırken aralık 0 ile 0.5, LS_{max} hesaplanırken de aralığın 0.5 ile 1 arasında alınması en uygun sonucu vermektedir. LS'ye göre öncelikli kuyruk oluşturulduğunda aynı domainde tarama olasılığı azalırken farklı domain tarama olasılığı artmaktadır. Bunun sonucunda hem farklı sayfalarda işlem yapıp bant genişliğini ihlal etmeyecek hem de hızlı bir şekilde keşfedilmemiş yeni web sayfalarını keşfedecektir.

IV. DENEYSEL SONUÇLAR

Deneysel çalışmada 3 farklı tohum URL seti kullanılmıştır. Bunlar ; (1) farklı ülkeler ile kesişimi olmayan tüm URL'ler, (2) her bir ülkede toplam bağlı site sayısı en fazla olan URL'ler ve (3) her bir ülkede InterDomain sayısı en fazla olan 5 URL. Burada (1) numaralı tohum URL seti oluşturulurken neredeyse bütün ülkelerde popüler olan web sitelerine (Google, Twitter, Instagram vs.) diğer çoğu URL'lerden köprü bulunduğu için, bu siteler tohum setine eklenmemiştir. Benzersiz olan 2502 URL'den tüm ülkelerde popüler olan sayfalar çıkartıldığında 1920 tohum URL (1) numaralı tohum URL setine eklenmiştir. (2) numaralı tohum seti oluşturulurken hem sayı fazla tutulmamış hem de her bir ülkede HITS [10] algoritmasına göre

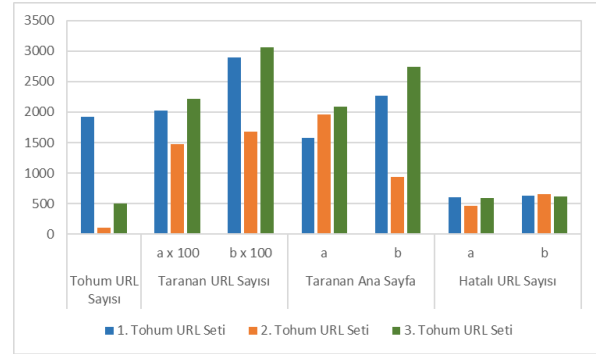
merkez sayılan web siteleri alınmıştır. Bu özelliklere sahip 102 farklı ülkeden 102 farklı URL alınarak (2) numaralı tohum URL seti oluşturulmuştur. Son olarak, (3) numaralı tohum URL setinde ise diğer web sayfalarına bağlantı URL' i sayısına göre sıralama yapılmış ve her bir ülkede eşit sayı olacak şekilde en çok bağlantıya sahip olan 5 URL alınmıştır. Diğer web sitelerine bağlantı URL sayıları fazla olan URL'leri almadaki temel amaç kapsam genişliğini arttırmak ve mümkün olduğu kadar az tohum URL kullanarak elde edilebilecek en iyi kapsama ulaşmaktır. Bu nedenle 101 farklı ülkeden bu özelliklere sahip 5 URL alınarak 505 URL'e sahip (3) numaralı tohum URL seti oluşturulmuştur.

Tablo 2' de 3 farklı tohum URL setinde 3 saatlik zaman periyoduna göre yapılan taramalarda elde edilen sonuçlar listelenmiştir. Burada (a) [29]' da ki çalışmada Baker ve Akcayol' un önerdiği yöntem ile yapılan tarama sonuçlarını, (b) ise çalışmamızda önerdiğimiz yöntem ile yapılan tarama sonuçlarını göstermektedir. Deneyler Intel Xeon CPU E5-2650 2.00 GHz işlemci, 8 GB RAM ve Windows Server 2019 işletim sistemine sahip bilgisayar üzerinde yapılmıştır. Geliştirilen tarayıcı Python programlama dili ve kütüphaneleri kullanılarak MySQL veri tabanı üzerinde uygulanmıştır.

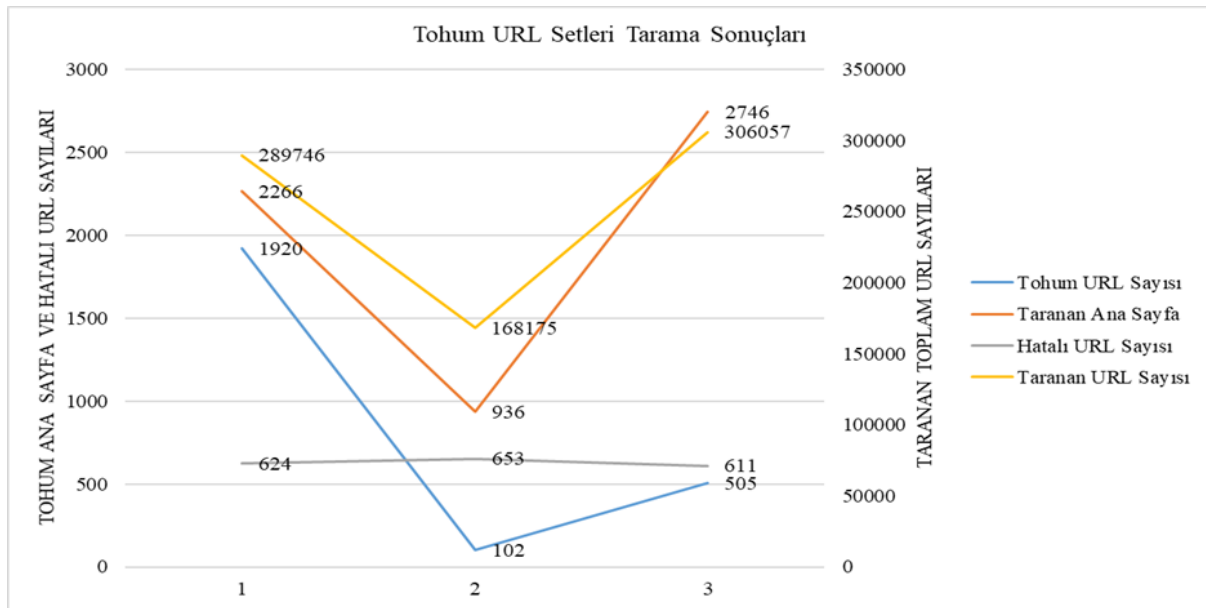
Tablo 2. 3 farklı tohum URL setinde 3 saatlik zaman periyoduna göre yapılan tarama sonuçları

Tohum URL Seti	Tohum URL Sayısı	Taranan URL Sayısı		Taranan Ana Sayfa		Hatalı URL Sayısı		Hatalı URL Oranı (%)	
		a	b	a	b	a	b	a	b
1	1920	202588	289746	1579	2266	601	624	0,30	0,22
2	102	147380	168175	1956	936	452	653	0,31	0,39
3	505	221071	306057	2089	2746	589	611	0,27	0,20

Tablo 2' de görüldüğü gibi önerilen yöntemde, taranan URL sayıları ve taranan ana sayfa sayıları daha başarılı sonuç vermektedir. Hatalı URL oranı, hatalı URL sayısının taranan toplam URL sayısına oranını göstermektedir. Hatalı URL oranları incelendiğinde, çalışmamızda önerilen yöntem 1 ve 3 numaralı tohum URL setlerinde daha başarılı sonuç verirken 2 numaralı tohum URL setinde daha kötü sonuç vermiştir. Tablo 2' nin verilerinin görselleştirilmiş hali Şekil 10' da gösterilmiştir. Önerilen yöntem ile yapılan taramalar sonucunda elde edilen sayısal verilerden tohum URL sayıları, taranan ana sayfa sayıları ile hatalı URL sayıları sol eksen ve taranan URL sayıları sağ eksende olmak üzere Şekil 11' de gösterilmiştir.



Şekil 10. 3 farklı tohum URL setinde 3 saatlik zaman periyoduna göre yapılan tarama sonuçları



Şekil 11. 3 farklı tohum URL setinde 3 saatlik zaman periyoduna göre yapılan tarama sonuçları

Tarama sonucundan da görüldüğü gibi tohum URL sayısının taranan URL, ana sayfa ve hatalı URL sayısı üzerinde etkisi yoktur. Performansı etkileyen en önemli gösterge kullanılan tohum URL setinin kalitesidir. Tarama sonuçlarına göre en çok tohum URL kullanan (1) ve en az tohum URL kullanan (2) numaralı tohum URL setlerine göre (3) numaralı tohum URL setinin tüm sonuçlarda daha iyi performans gösterdiği görülmüştür. Özellikle (3) numaralı tohum URL seti ile tarama başlatıldığında diğer setlere göre hem hatalı sayfa sayısı ve oranı daha düşük, hem de taranan ana sayfa ve toplam URL sayıları daha fazla çıkmıştır.

Şekil 11' de görüldüğü gibi en kötü performansı (2) numaralı tohum URL setinin gösterdiği görülmektedir. Bunun nedenlerinden biri tohum URL setinin az sayıda URL den oluşmasıdır. Bir diğer nedeni ise toplam bağlı site sayısının fazla olması, o sitenin [10]' da tanımlanan otorite web sayfaları kategorisinde olup bilgilendirici bir içeriğe sahip olduğunu ve

InterDomain sayısının az olmasından dolayı kapsamın hızlı bir şekilde genişlememesine sebep olduğunu göstermektedir. Birbirine yakın performans gösteren (1) ve (3) numaralı tohum URL setlerinin incelendiğinde (1) numaralı setin tohum URL sayısının (3) numaralı setten yaklaşık 4 kat daha fazla görülmektedir. Buna rağmen (1) numaralı setin (3) numaralı setten daha kötü performans gösterdiği görülmektedir. Bunun temel sebebinin (1) numaralı setin içerisindeki URL'lerin hem merkez hem otorite sayfalarından oluşmasından, (3) numaralı setin ise ağırlıklı olarak merkez sayfalardan oluşmasından kaynaklandığı söylenebilir.

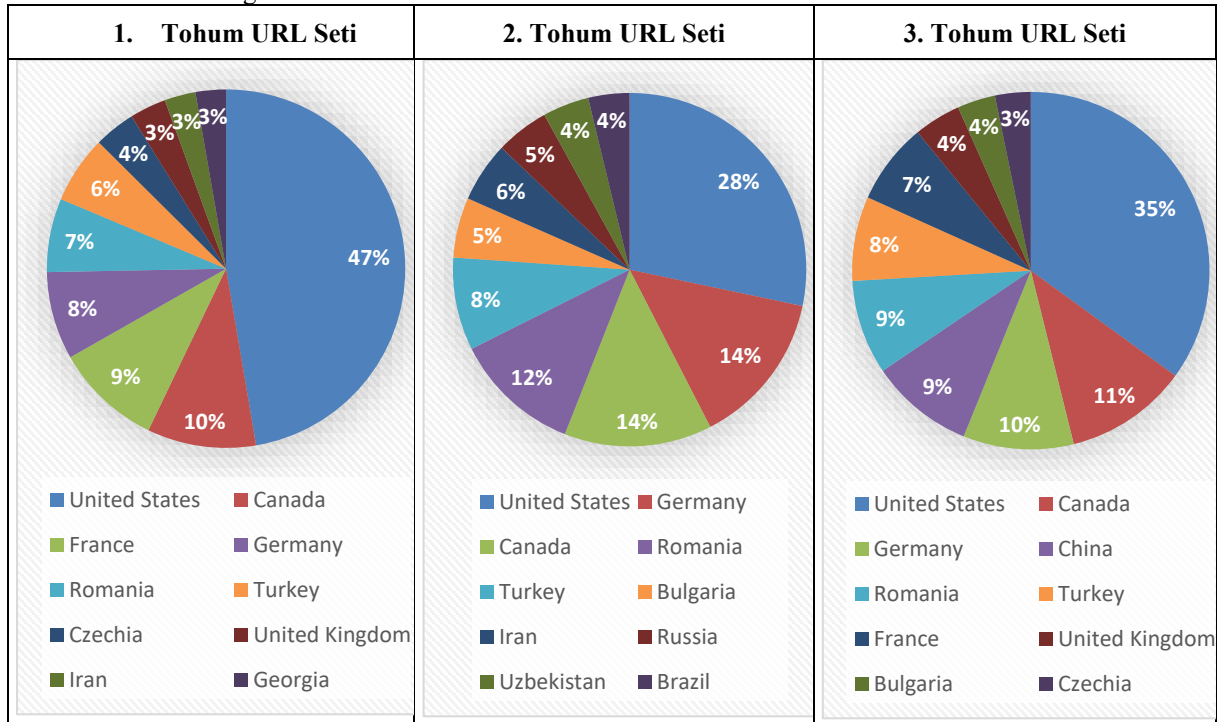
Kapsam genişliği bakımından bir diğer performans ölçütü taranan URL'lerin buldukları ülkeye göre dağılımlarıdır. Tablo 3' de 3 farklı tohum URL seti ile yapılan taramada elde edilen ana sayfaların sayısının ülkelere göre dağılımları gösterilmektedir.

Tablo 3. 3 farklı tohum URL seti ile yapılan taramada elde edilen ana sayfaların sayısının ülkelere göre dağılımları

1. Tohum URL Seti		2. Tohum URL Seti		3. Tohum URL Seti	
Web Sayfası Sayısı	Ülke	Web Sayfası Sayısı	Ülke	Web Sayfası Sayısı	Ülke
776	United States	180	United States	651	United States
161	Canada	90	Germany	207	Canada
158	France	86	Canada	186	Germany
130	Germany	74	Romania	175	China
109	Romania	54	Turkey	159	Romania
100	Turkey	35	Bulgaria	142	Turkey
61	Czechia	35	Iran	137	France
54	U. Kingdom	31	Russia	79	U. Kingdom
46	Iran	27	Uzbekistan	64	Bulgaria
45	Georgia	24	Brazil	60	Czechia
626	Diğer	300	Diğer	886	Diğer

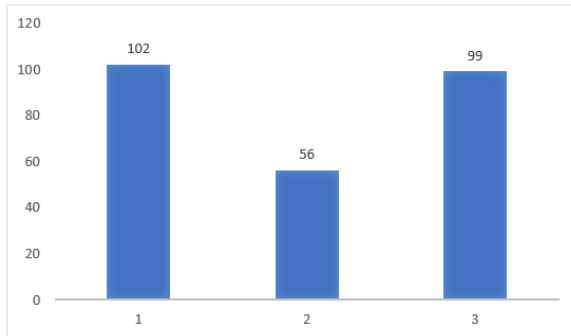
Taranan ana sayfaların ülkelere göre dağılımları incelendiğinde 2 ve 3 numaralı tohum URL setlerinin 1 numaralı tohum URL setine göre daha homojen dağıldığı görülmüştür. Toplam taranan URL sayısı göz önünde bulundurulduğunda 3 numaralı tohum URL

setinin 2 numaralı tohum URL setine göre yüzdesel olarak daha başarılı sonuç verdiği tespit edilmiştir. Şekil 12’ de bu dağılımların yüzdesel olarak grafiği gösterilmiştir.



Şekil 12. Taranan Ana Sayfaların Sayısının İlk 10 Ülkeye Göre Dağılımları

Şekil 13’ de 3 tohum URL seti ile yapılan taramalar sonucunda ulaşılan ülke sayıları gösterilmiştir.



Şekil 11. 3 Tohum URL Seti ile Yapılan Taramalar Sonucunda Ulaşılan Ülke Sayıları

Şekil 13’de özellikle 2 numaralı tohum URL setinin tarama sonucunda daha az ülkeye ulaşma sebebi her ülkeden en çok ziyaret edilen sadece bir URL alınması ve alınan bu URL ‘in de başka bir ülkeye ait anabilgisayarlarda barındırıldığından kaynaklandığı görülmüştür. 1 ve 3 numaralı tohum URL setleri ile yapılan taramada ise yaklaşık olarak ülkelerin tamamı taranmaktadır. Bölgesel olarak taramanın dağılımı, kapsamı ve performansı olumlu etkilediği söylenebilir.

Tablo 2’de görüldüğü gibi her ülkede IntraDomain sayısı en fazla olan 5 web sitesi (toplan 505) tohum URL olarak alındığında hem keşfedilen URL sayısı ve ana sayfa sayısı en fazla hem de oransal olarak hatalı sayfa sayısı daha azdır. 3 tohum URL setinin taranması sonucunda taranan hatalı sayfa sayıları birbirine çok yakındır. Tablo 4’ de bu hatalar ve hataların tespit edildiği URL sayıları gösterilmiştir.

Tablo 4. 3 tohum URL seti ile yapılan taramada elde edilen hatalar ve sayıları

Hata Kodu	Hata	Hatalı URL Sayısı		
		1	2	3
403	İstemci Hatası: Yasaklanmış URL	177	211	188
11001	Bilinmeyen isim ya da servis	84	74	44
10060	Bağlantı zaman aşımı	73	77	101
	SSL: Başarısız Sertifika Doğrulama	53	66	47
	30 Saniyelik zaman aşımı	41	34	26

406	İstemci Hatası: Kabul Edilmeyen URL	34	27	26
	Maksimum yeniden deneme	33	6	19
10054	Bağlantı sıfırlama hatası	24	16	26
404	İstemci Hatası: URL bulunamadı	19	22	11
503	Sunucu Hatası: URL için sunucu bulunamadı	17	34	28
500	Sunucu Hatası: URL için Dahili Sunucu Hatası	10	18	24
405	İstemci Hatası: İzin verilmeyen URL	4	12	21
	Diğerleri	42	56	63

Tablo 4 incelendiğinde, 403 hata kodlu yasaklanmış bağlantı sorununun en çok karşılaşılan hata olduğu görülmektedir. Bunun temel nedeninin Tablo 5' de görüldüğü gibi sunucu bilgisayarın kullandığı internet bağlantısının üniversite içinde kurumsal bir bağlantı olması söylenebilir. İkinci en yüksek sayıda

karşılaşılan hatanın sebebi de web sitelerinin otomatik tarama yapan tarayıcıları engellemesi ve bu engelin tarayıcı tarafından aşılmasından kaynaklanmaktadır. Diğer hataların oranlarının ise taranan toplam URL sayısına göre oransal olarak makul seviyede olduğu görülmüştür.

Tablo 5. 3 numaralı tohum URL seti ile üniversite içi ve dışında yapılan taramada elde edilen hatalar ve sayıları

Hata Kodu	Hata	Hatalı URL Sayısı	
		Üniversite Dışı	Üniversite İçi
403	İstemci Hatası: Yasaklanmış URL	151	188
11001	Bilinmeyen isim ya da servis	28	44
10060	Bağlantı zaman aşımı	29	101
	SSL: Başarısız Sertifika Doğrulama	33	47
	30 Saniyelik zaman aşımı	23	26
406	İstemci Hatası: Kabul Edilmeyen URL	7	26
	Maksimum yeniden deneme	7	19
10054	Bağlantı sıfırlama hatası	8	26
404	İstemci Hatası: URL bulunamadı	4	11
503	Sunucu Hatası: URL için sunucu bulunamadı	10	28
500	Sunucu Hatası: URL için dâhili Sunucu Hatası	5	24
405	İstemci Hatası: İzin verilmeyen URL	4	21
	Diğerleri	40	63

Tarama işleminin yapıldığı sunucu bilgisayar üniversite içerisinde barındırılmakta ve bazı web sitelerine (illegal, bahis vb.) giriş izni bulunmamaktadır. Bundan dolayı en başarılı sonucu veren (3) numaralı tohum URL seti üniversite dışında özel bir hat ile bağlantı sağlanarak tarama gerçekleştirilmiştir. Bağlantı özellikleri ve hızının farklılığından dolayı farklı sürelerde aynı sayıda URL elde edilene kadar tarama gerçekleştirilmiştir. Tablo 5' de de görüldüğü gibi tüm hataların üniversite dışında daha az olduğu görülmüştür.

VI. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışmada web sayfalarını taramak için tohum URL seçim metodu ve tarama algoritması tanıtılmıştır. Tohum URL' ler, 102 farklı ülkede ziyaretçinin günlük harcadığı saat, ziyaretçi başına günlük sayfa görüntüleme sayısı, aramadan gelen trafiğin yüzdesi ve toplam bağlı site sayısı temel olarak sıralanmış toplam 5079 web site URL'lerinden seçilmiştir. Bu URL' ler içerisinde bazı özelliklere göre seçilmiş ve sırası ile 1920, 102, 505 URL' den oluşan 3 tohum URL seti kullanılarak sistem performansı test edilmiştir.

Önerilen algoritma kapsamı hızlı bir şekilde genişletmek için alan içi, alanlar arası ve ilk rastlanan ana sayfalara link skoru belirleyerek önceliklendirmektedir. Ana sayfaların önem derecesi en yüksek olduğu için link skorlarına 1 değeri atanmaktadır. Bunun dışında link skoru hesaplanmasında farklı değer aralıkları ile testler yapılmıştır. En uygun değer aralığının alan içi URL' lerde (LSmin) 0 - 0.5 ve alanlar arası URL' lerde (LSmax) 0.5 - 1 aralığında olduğu görülmüştür. Algoritmanın 3 farklı tohum URL seti kullanılarak 3 saatlik taramalar sonucunda elde ettiği taranan URL sayısı, taranan ana sayfa sayısı ve hatalı URL sayıları incelenmiştir. Önerilen algoritma, daha önce Baker ve Akcayol tarafından yapılan çalışmada kullanılan algoritma ile karşılaştırılmıştır. Önerilen algoritma hem yeni sayfaları ve bu sayfalardaki URL' leri elde edip link skorları atayarak öncelikli kuyruğa eklemekte, hem de alan içi döngülerden etkili bir şekilde kaçınmaktadır. Yapılan deneysel çalışmalara göre önerilen algoritma kapsamı genişletme, yinelenen URL' ler ve alan içi döngülerden kaçınma konusunda daha iyi bir performans göstermektedir.

Ayrıca kapsamın dünya genelindeki bölgesel dağılımları incelenmiş ve taramalar sonucunda elde edilen ana sayfaların ülkelere göre dağılımları karşılaştırılmıştır. Elde edilen URL'lerin ülkelere göre dağılımları incelendiğinde, genellikle gelişmiş ülkelerde yoğunlaştığı görülmüştür. Bunlara ek olarak 3 tohum URL seti için, taramalar sırasında meydana gelen hatalar, hata sayıları ve hata içerikleri incelenmiş ve analiz edilmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, TÜBİTAK tarafından BİDEB-2244 Sanayi Doktora Programı kapsamında 118C127 numara ile desteklenen "İnternette Heterojen Veri Kaynaklarından Veri Toplanması, Doğrulması ve Sorgulanması" başlıklı projenin bir parçasıdır. Sağladığı destek için TÜBİTAK'a teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- [1] "Internet Users Distribution in the World." <https://www.internetworldstats.com/stats.htm> (accessed 30/03/2022).
- [2] M. Abu Kausar, V. Dhaka, and S. Singh, "Web Crawler: A Review," *International Journal of Computer Applications*, vol. 63, pp. 31-36, 02/01 2013, doi: 10.5120/10440-5125.
- [3] S. M. Pavalam, S. V. K. Raja, F. K. Akorli, and M. Jawahar, "A survey of web crawler algorithms," *International Journal of Computer Science Issues (IJCSI)*, vol. 8, no. 6, p. 309, 2011.
- [4] F. Menczer, G. Pant, P. Srinivasan, and M. E. Ruiz, "Evaluating topic-driven Web crawlers," in *Proceedings of the 24th annual international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval*, 2001, pp. 241-249.
- [5] A. Arasu, J. Cho, H. Garcia-Molina, A. Paepcke, and S. Raghavan, "Searching the web," *ACM Transactions on Internet Technology (TOIT)*, vol. 1, no. 1, pp. 2-43, 2001.
- [6] C. Castillo, "Effective web crawling," *SIGIR Forum*, vol. 39, no. 1, pp. 55-56, 2005, doi: 10.1145/1067268.1067287.
- [7] X. Zhang and K. P. Chow, "A Framework for Dark Web Threat Intelligence Analysis," *International Journal of Digital Crime and Forensics (IJDCF)*, vol. 10, no. 4, pp. 108-117, 2018, doi: 10.4018/IJDCF.2018100108.
- [8] M. R. Henzinger, "Algorithmic challenges in web search engines," *Internet Mathematics*, vol. 1, no. 1, pp. 115-123, 2004.
- [9] S. Daneshpajouh, M. M. Nasiri, and M. Ghodsi, "A Fast Community Based Algorithm for Generating Web Crawler Seeds Set," in *WEBIST (2)*, 2008, pp. 98-105.
- [10] J. M. Kleinberg, "Authoritative sources in a hyperlinked environment," 1998, vol. 98: Citeseer, pp. 668-677.
- [11] S. Zheng, P. Dmitriev, and C. L. Giles, "Graph-based seed selection for web-scale crawlers," presented at the Proceedings of the 18th ACM conference on Information and knowledge management, Hong Kong, China, 2009. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1145/1645953.1646277>.
- [12] A. C. Nwala, M. C. Weigle, and M. L. Nelson, "Garbage, Glitter, or Gold: Assigning Multi-dimensional Quality Scores to Social Media Seeds for Web Archive Collections," ed. Ithaca: Cornell University Library, arXiv.org, 2021.
- [13] B. Ganguly and R. Sheikh, "A review of focused web crawling strategies," *International Journal of Advanced Computer Research*, vol. 2, no. 4, p. 261, 2012.
- [14] F. J. M. Shamrat, Z. Tasnim, A. S. Rahman, N. I. Nobel, and S. A. Hossain, "An effective implementation of web crawling technology to retrieve data from the world wide web (www)," *International Journal of Scientific & Technology Research*, vol. 9, no. 01, pp. 1252-1256, 2020.
- [15] L. Jiang and H. Zhang, "Multi-agent based individual web spider system," in *2010 World Automation Congress*, 2010: IEEE, pp. 177-181.
- [16] S.-B. Chan and H. Yamana, "The method of improving the specific language focused crawler," in *CIPS-SIGHAN Joint Conference on Chinese Language Processing*, 2010.
- [17] F. Menczer and A. E. Monge, "Scalable web search by adaptive online agents: An infospiders case study," in *Intelligent Information Agents*: Springer, 1999, pp. 323-347.
- [18] P. N. Priyatam, A. Dubey, K. Perumal, S. Praneeth, D. Kakadia, and V. Varma, "Seed selection for domain-specific search," presented at the Proceedings of the 23rd International Conference on World Wide Web, Seoul, Korea, 2014. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1145/2567948.2579216>.
- [19] L. Sanagavarapu, S. Sarangi, R. Reddy, and V. Varma, *Fine Grained Approach for Domain Specific Seed URL Extraction*. 2018.
- [20] L. M. Sanagavarapu, S. Sarangi, and Y. R. Reddy, "ABC Algorithm for URL Extraction," in *ICWE Workshops*, 2017.
- [21] S. Pavalam, S. K. Raja, F. K. Akorli, and M. Jawahar, "A survey of web crawler algorithms," *International Journal of Computer Science Issues (IJCSI)*, vol. 8, no. 6, p. 309, 2011.
- [22] N. Alderratia and M. Elsheh, "Using Web Pages Dynamicity to Prioritise Web Crawling," in *Proceedings of the 2019 2nd International Conference on Machine Learning and Machine Intelligence*, 2019, pp. 40-44.
- [23] J. Cho, H. Garcia-Molina, and L. Page, "Efficient crawling through URL ordering," *Computer networks and ISDN systems*, vol. 30, no. 1-7, pp. 161-172, 1998.

- [24] J. Prakash and R. Kumar, "Web Crawling through Shark-Search using PageRank," *Procedia Computer Science*, vol. 48, pp. 210-216, 2015/01/01/ 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.04.172>.
- [25] L. Cao *et al.*, "Rankcompete: Simultaneous ranking and clustering of information networks," *Neurocomputing*, vol. 95, pp. 98-104, 2012.
- [26] M. Najork and J. L. Wiener, "Breadth-first crawling yields high-quality pages," presented at the Proceedings of the 10th international conference on World Wide Web, Hong Kong, Hong Kong, 2001. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1145/371920.371965>.
- [27] D. Gupta and D. Singh, "User preference based page ranking algorithm," in *2016 International Conference on Computing, Communication and Automation (ICCCA)*, 29-30 April 2016 2016, pp. 166-171, doi: 10.1109/CCAA.2016.7813711.
- [28] F. Alhaidari, S. Alwarthan, and A. Alamoudi, "User Preference Based Weighted Page Ranking Algorithm," in *2020 3rd International Conference on Computer Applications & Information Security (ICCAIS)*, 19-21 March 2020 2020, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICCAIS48893.2020.9096823.
- [29] M. Baker and M. Akcayol, "Priority Queue Based Estimation of Importance of Web Pages for Web Crawlers," *International Journal of Computer Electrical Engineering*, vol. 9, pp. 330-342, 07/27 2017, doi: 10.17706/ijcee.2017.9.1.330-342.
- [30] Alexa. "The top 500 sites on the web." Amazon. <https://www.alexa.com/topsites/countries> (accessed 9:12:2021, 2021).