



KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ

Mühendislik ve
Fen Bilimleri
Dergisi

KIRKLARELİ UNIVERSITY

Journal of
Engineering
and Science

KLUTES

ISSN: 2458-7494 / E-ISSN: 2458-7613

An International Peer Reviewed, Indexed and Open Acces Journal



ISSN : 2458-7494

E-ISSN: 2458-7613

KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK ve FEN BİLİMLERİ DERGİSİ

KIRKLARELİ UNIVERSITY
JOURNAL of ENGINEERING and SCIENCE

Cilt / Volume: 9

Sayı / Number: 1

Haziran / June 2023

Kırklareli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/klujes>

e-mail: fbedergi@klu.edu.tr

editor@klu.edu.tr



KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ / KIRKLARELİ UNIVERSITY
MÜHENDİSLİK ve FEN BİLİMLERİ DERGİSİ / JOURNAL of ENGINEERING and SCIENCE

Sahibi / Owner

Kırklareli Üniversitesi Rektörlüğü Adına / Owner on Behalf of Kırklareli Rectorship
Prof. Dr. Bülent ŞENGÖRÜR (Rektör)

Editörler / Editors

Prof. Dr. Erol TÜRKEŞ
Doç. Dr. H. Hale KARAYER
Doç. Dr. Burak ÖZŞAHİN
Doç. Dr. M. Mehmet KOÇ
Doç. Dr. Soner YELER
Dr. Öğr. Üyesi Erdiñ KESKİN
Dr. Öğr. Üyesi Merve ERMİŞ
Dr. Öğr. Üyesi Ufuk PAKSU

Yayın Kurulu / Editorial Board

Prof. Dr. Bülent ŞENGÖRÜR
Prof. Dr. Meryem ÇAMUR
Prof. Dr. Serpil AKÖZCAN
Doç. Dr. H. Hale KARAYEL
Doç. Dr. Burak ÖZŞAHİN
Doç. Dr. Soner YELER
Doç. Dr. Sencer Süreyya KARABEYOĞLU
Dr. Öğr. Üyesi Erdiñ KESKİN
Dr. Öğr. Üyesi Merve ERMİŞ
Dr. Öğr. Üyesi Ufuk PAKSU

Sorumlu Yazı İşleri Müdürü / Editing Manager

Erhan AYZAZ

İnternet Adresi / Web Address

<http://fbedergi.klu.edu.tr>

Yazışma Adresi / Correspondence Address

Kırklareli Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü
Rektörlük Kültür Merkezi B Blok Merkez/ Kırklareli
e-mail: fbdergi@klu.edu.tr
Tel: 0 (288) 246 15 16
Fax: 0 (288) 246 16 02

Baskı / Publisher

Kırklareli Üniversitesi Matbaası / Kırklareli University Publishing Centre

Yayın Türü / Publication Type

Yaygın Süreli Yayın / International Periodical

Yılda iki kez yayınlanır: Haziran, Aralık / Twice a year: June, December

Bu sayı 100 adet basılmıştır / This issue published as 100 copies

Basım Tarihi / Publication Date: 30.06.2023



KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ / KIRKLARELİ UNIVERSITY
MÜHENDİSLİK ve FEN BİLİMLERİ DERGİSİ / JOURNAL of ENGINEERING and SCIENCE

Danışma Kurulu / Advisory Board

Abdurrahman GÜNER, İstanbul Esenyurt Üniversitesi, İstanbul
A. Fevzi BABA, Marmara Üniversitesi, İstanbul
Aleksandar GEORGIEV, Sofya Teknik Üniversitesi, Bulgaristan
Aylin AKYILDIZ, Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ
Bilal BALKAN, Kırklareli Üniversitesi, Kırklareli
Bülent AKBAŞ, Gebze Teknik Üniversitesi, Kocaeli
Bülent ŞENGÖRÜR, Kırklareli Üniversitesi, Kırklareli
Deris STIAWAN, Sriwijaya University, Endonezya
Emrah DOĞAN, Sakarya Üniversitesi, Sakarya
Erhan BUDAK, Sabancı Üniversitesi, İstanbul
Erol TÜRKEŞ, Kırklareli Üniversitesi, Kırklareli
Fahri VATANSEVER, Uludağ Üniversitesi, Bursa
F.Onur HOCAOĞLU, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar
Gökhan GÖKMEN, Marmara Üniversitesi, İstanbul
Hasan DEMİR, Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ
Hatice ŞANLIDERE ALOĞLU, Kırklareli Üniversitesi, Kırklareli
İsmail KIYAK, Marmara Üniversitesi, İstanbul
Kadir GÜLER, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul
Kanat Burak BOZDOĞAN, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale
Kamil KAHVECİ, Trakya Üniversitesi, Edirne
Lambros EKONOMOU, Hellenic American University, Yunanistan
M. Hakan HOCAOĞLU, Gebze Teknik Üniversitesi, Kocaeli
Meryem ÇAMUR, Kırklareli Üniversitesi, Kırklareli
M.S. Bhaskar RANJANA, Marathwada Institute of Technology, Hindistan
Murat BOSTANCIOĞLU, Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas
Murat KARAHAN, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya
Mustafa BİRİNCİ, İnönü Üniversitesi, Malatya
Mustafa UTKU YILMAZ, Kırklareli Üniversitesi, Kırklareli
Nadide SEÇKİN, Kırklareli Üniversitesi, Kırklareli
Oğuzhan ERBAŞ, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya
Osman KILIÇ, Marmara Üniversitesi, İstanbul
Osman Nuri UÇAN, İstanbul Kemerburgaz Üniversitesi, İstanbul
Özlem AYTEKİN, Kırklareli Üniversitesi, Kırklareli
Ramazan ÇAĞLAR, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul
Sarp ERTÜRK, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli
Serpil AKÖZCAN, Kırklareli Üniversitesi, Kırklareli
Sezai TAŞKIN, Celal Bayar Üniversitesi, Manisa
Veselina Nedeva, Trakia Üniversitesi, Bulgaristan
Yılmaz ÇAN, Trakya Üniversitesi, Edirne
Youcef Soufi, University of Tébessa, Cezayir
Yunus BİÇEN, Düzce Üniversitesi, Düzce
Yüksel OĞUZ, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar
Zafer AĞDELEN, Girne Amerikan Üniversitesi, KKTC
Witold Charatonik, University of Wroclaw, Polonya



KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ / KIRKLARELİ UNIVERSITY
MÜHENDİSLİK ve FEN BİLİMLERİ DERGİSİ / JOURNAL of ENGINEERING and SCIENCE

İçindekiler / Contents

Yasemin KEŞKEK KARABULUT, Yelda YALÇIN GÜRKAN; INVESTIGATION OF TOXICOLOGICAL PROPERTIES OF SOME AZO DYES BY OECD QSAR METHOD (<i>Araştırma</i>).....	1-22
Bahadır BEKAR; THE ENERGY STATES IN $Ga_{1-x}Al_xAs/GaAs$ s QUANTUM WELL WIRE LATTICE UNDER THE EFFECT OF EXTERNAL ELECTRIC FIELD (<i>Araştırma</i>).....	23-35
Zöhre GÖRÜNMEZ GÜNGÖR, Burhan ÇOŞKUN, Mustafa İLHAN, Mümin Mehmet KOÇ; PHOTOVOLTAIC INVESTIGATION OF Al/p-Si/CuPc/Al PHOTODIODES (<i>Araştırma</i>).....	36-47
Erkan ÖZKAN, Farshid KHOSRAVİ; EXPERIMENTAL AND NUMERICAL INVESTIGATION OF THE MECHANICAL BEHAVIOR OF THE MODIFIED METAL AUXETIC STRUCTURE (<i>Araştırma</i>)...	48-62
Zeynep BARUT, Volkan ALTUNTAŞ; COMPARISON OF PERFORMANCE OF DIFFERENT N VALUES WITH N-FOLD CROSS-VALIDATION IN A GRAPH-BASED LEARNING MODEL FOR lncRNA-DISEASE PREDICTION (<i>Araştırma</i>).....	63-82
Tuğba KİPER, Taner BAŞARAN; MAHALLE KURGUSU ÇERÇEVESİNDE PEYZAJ TASARIM KARARLARININ GELİŞTİRİLMESİ: TEKİRDAĞ/ÇORLU/TÜRKGÜCÜ MAHALLESİ ÖRNEĞİ (<i>Araştırma</i>).....	83-111
Ramazan KÖSE, Ümit ERTURHAN; DOĞAL GAZ DAĞITIM ŞEBEKESİNDE ORİFİSMETRE ÖLÇÜM EKİPMANI TASARIMLANMASI VE ÖLÇÜM SONUÇLARININ ULTRASONİKMETRE SAYAÇ İLE DENEYSEL OLARAK KARŞILAŞTIRILMASI (<i>Araştırma</i>).....	112-129
Özgür Turay KAYMAKÇI, Furkan KARBAYIR; ASANSÖRLER İÇİN HATADA GÜVENLİ BİR ELEKTRONİK KART TASARIMI (<i>Araştırma</i>).....	130-154
Onur YAVAN, İlknur BOZBEY; SÜRDÜRÜLEBİLİR İNŞAAT SEKTÖRÜ İÇİN GERİ DÖNÜŞÜM BETON AGREGASI (<i>Araştırma</i>).....	155-165
Ramazan KÖSE, Ümit ERTURHAN; DOĞAL GAZIN GÜVENLİ KULLANIMINDA PERİYODİK KONTROLLERİN ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI (<i>Araştırma</i>).....	166-178
Hossein ZORİYEH ALİGHOLİ, İlknur BOZBEY; DERİN ZEMİN KARIŞTIRMA YÖNTEMİYLE İYİLEŞTİRİLEN ORGANİK ZEMİNLERİN DAYINIMI (<i>Araştırma</i>).....	179-197
Selda LEYLAK ÇAŞKURLU; HARDALIYE ÜRETİM SÜRECİ VE SÜRECİ ETKİLEYEN FAKTÖRLERİN KALİTE ÜZERİNE ETKİLERİ (<i>Teknik Not</i>).....	198-212
Erdal KARAKUŞ, Mümin Mehmet KOÇ; TEMEL İNCE FİLM ÜRETİM TEKNİKLERİNE BİR BAKIŞ (<i>Teknik Not</i>).....	213-236

INVESTIGATION OF TOXICOLOGICAL PROPERTIES OF SOME AZO DYES BY OECD QSAR METHOD

Yasemin KEŞKEK KARABULUT^{1*}, Yelda YALÇIN GÜRKAN²

¹Project Development and Coordination Office, Kırklareli University, Kırklareli, Türkiye

²Department of Chemistry, Faculty of Arts and Sciences, Namık Kemal University, Tekirdağ, Türkiye

Abstract

In this study, the toxicological properties of some of the aromatic amine raw materials commonly used in textile dyes and the dyestuffs produced from these raw materials were examined with the OECD QSAR method and their toxicological effects on human health were investigated. In the literature review conducted with the relevant structures, it was seen that no study set was found in terms of toxicology, considering the comparison of raw materials and products.

Studies have found that some aromatic amine raw materials and azo dyes produced from these raw materials are generally moderately irritating. When the results were examined, it was seen that the raw materials studied had eye irritant properties. When looking at the products, no irritating properties were observed. It can be said that 12 aromatic amine raw materials and 13 azo dyes have skin sensitizing properties. Raw materials, that are 2,6-dibromo-4-nitro aniline, 6-methoxybenzothiazole-2-ylamine, 2-Bromo-4,6-dinitroaniline and azo dyes, that are Disperse Brown 27-1, Disperse Brown 19 and Disperse Blue 291 were found to be mutagenic.

Keywords: Toxicity, Aromatic Amines, Azo Dyes, OECD QSAR

BAZI AZO BOYALARIN TOKSİKOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN OECD QSAR YÖNTEMİYLE ARAŞTIRILMASI

Öz

Bu çalışmada tekstil boyalarında yaygın olarak kullanılan bazı aromatik amin hammaddelerin ve bu hammaddelerden üretilen boyarmaddelerin toksikolojik özellikleri OECD QSAR yöntemi ile incelenmiş ve insan sağlığı üzerindeki toksikolojik etkileri araştırılmıştır. İlgili yapılarla yapılan literatür taramasında, hammadde ve ürün karşılaştırmasına bakıldığında toksikolojik açıdan herhangi bir çalışma setine rastlanmadığı görülmüştür.

Sorumlu Yazar: Yasemin KEŞKEK KARABULUT, ykeskekcarabulut@klu.edu.tr

Yapılan araştırmalar bazı aromatik amin ham maddelerinin ve bu ham maddelerden üretilen azo boyaların genel olarak orta derecede tahriş edici olduğunu bulmuştur. Sonuçlar incelendiğinde çalışılan hammaddelerin gözü tahriş edici özelliklere sahip olduğu görülmüştür. Ürünlere bakıldığında herhangi bir tahriş edici özelliği gözlenmemiştir. 12 aromatik amin hammaddesi ve 13 azo boyanın cildi hassaslaştırıcı özelliği olduğu söylenebilir. 2,6-dibromo-4-nitro anilin, 6-methoxybenzothiazole-2-ylamine, 2-Bromo-4,6-dinitroanilin hammaddeleri ve Dispers Brown 27-1, Dispers Brown 19 ve Dispers Blue 291 azo boyaları mutajeniktir.

Anahtar Kelimeler: Toksikite, Aromatik Aminler, Azo Boyaları, OECD QSAR

1. INTRODUCTION

Azo dyes obtained from aromatic amines constitute the majority of all dyestuffs used in textile production. Studies on the effects of this type of dyestuff on human health are increasing day by day. Dermal and bacterial biotransformation of azo dyes can cause the release of aromatic amines and are largely absorbed dermally upon contact with the skin. Aromatic amines are the most commonly used intermediates in the synthesis of azo dyes. According to many studies, it has been shown that aromatic amines transported to consumer products, especially aromatic amines, pose a risk to human health due to their toxicological, mutagenic and/or carcinogenic properties. The toxicity of aromatic amines results from metabolic activation of the amino group, which can produce reactive intermediate hydroxylamine [1].

According to the studies, it has been determined that there are more than 3000 types of dyes in the market and half of them are in the azo dye class. These dyes are also frequently used in the dyeing of leather and plastics obtained from petroleum, especially in the textile industry [2].

While azo dyes meet the need for coloring in industry, they cause toxicological damage to hydraulic resources, soil, and atmosphere. The amount of dyes in wastewater causes toxicity in the body and adversely affects public health [3]. Aromatic amines are chemical compounds that carry one or more amino groups in their molecular structure and have one or more aromatic rings. According to recent studies, the possibility of decomposition into aromatic amines used as raw materials during the use of the produced azo dyes in the dyeing process poses a great danger to health [4].

Azo dyes are toxic because they produce aromatic amines after degradation and degradation of the azo bond in their chemical structure, usually with the help of intestinal anaerobic bacteria. Aromatic



amines are highly reactive electrophiles that covalently bind to DNA. Various studies have shown that the release of azo dyes into the environment and organisms exposed to azo dyes form biotransformation products that can cause different types of damage. These products, on the other hand, have shown to be of concern due to their toxic, mutagenic, and carcinogenic properties [5]. The reduction of azo bonds is sufficient for some of the azo dyes to exhibit mutagenic activity. The aromatic amines formed by this reduction may be more carcinogenic and/or mutagenic than the azo dye, of which they are the raw material, depending on their chemical structure. Furthermore, these amines have been shown to be carcinogenic in some studies [6]. One of the most important criteria defined for classifying a dye as harmful to humans is its ability to decompose and therefore to produce aromatic amines when in contact with sweat, saliva, or gastric juices [7]. These aromatic amines are carcinogenic and are very likely to accumulate in food chains [8].

Quantitative structure-activity relationship (QSAR) analysis is based on a relationship between the structure of the molecule and its biological activity and is widely used to predict the toxicity of aromatic amines. It also meets the need for reliable estimation methods by comparing the amine structures of various raw materials involved in the production of chemicals in dye chemistry with empirical data [9].

In the chemical industry market, the dye industry is one of the sectors where a wide variety of products and intermediate products are processed. For this reason, textile and dyestuff manufacturers associations such as EURATEX and ETAD have been established and EU strategies have been given importance to control the release of used chemicals into the environment. In particular, the need for registration of products and raw materials used and marketed in the EU market in quantities exceeding a certain tonnage has arisen [10], [11]. The use of the QSAR method has improved existing knowledge of the mechanisms of dye toxicity and has allowed the development of low-toxicity azo dyes. Thus, it helped to largely eliminate in Europe azo dyes, which can decompose into carcinogenic aromatic amines [3].

The legislation known by the acronym "REACH" (Registration, Evaluation and Authorization of Chemicals) defines the management of risks related to chemicals in the European Union (EU). The proposed legislation is used to regulate new and existing products and their raw materials used in the relevant industry. A European Chemicals Agency (ECHA) has been established to manage the

technical, scientific and administrative aspects of the REACH regulatory system. REACH consists of four main elements; Record; Evaluation; Authority; and Restriction. During the registration phase, manufacturers and importers are asked to collect information on the properties of chemicals and submit the information in the form of a registration file to a central database managed by ECHA [11]. First of all, all available information on the natural properties of the substance, regardless of production and use, should be collected by the manufacturer/importer, who is responsible for registering it, either internally, using different sources or through various means of sharing. It includes physicochemical properties, epidemiological information, in vitro and in vivo test data, data obtained through models such as QSAR, and other data on the risky properties of the substance. The extent of the data gaps identified should be defined and how they could be achieved should be discussed. Missing information about registration is available and acceptable through in vivo and in vitro testing, modeling tests such as QSAR, or data collection [12].

The OECD QSAR Toolbox is software designed to perform hazard assessment of chemicals and evaluate other chemical-related information in a cost-effective and efficient manner. The OECD QSAR Toolbox, available free of charge, encourages the use of alternative modeling methods to animal testing and minimizes animal testing. It is software designed for use by the chemical industry and other stakeholder industries. In addition, such modeling methods reduce the cost of testing and increase the number of chemicals evaluated. Predicting the toxicity of substances before they are produced facilitates sustainable product development and green chemistry. OECD QSAR Toolbox uses Microsoft's .NET framework and its database engine is PostgreSQL14 from Firebird [13].

2. MATERIALS AND METHOD

The toxicological properties of raw materials commonly used in textile dyes were investigated using OECD QSAR Toolbox. In addition, the toxicological properties of the dyestuffs produced from these raw materials were studied by the OECD QSAR Toolbox.

Skin irritation/corrosion, eye irritation, skin sensitization, and mutagenicity tests were performed using OECD QSAR Toolbox software to examine the toxicological properties of 25 substances consisting of raw materials and products.



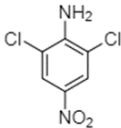
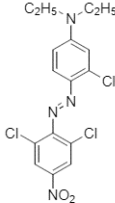
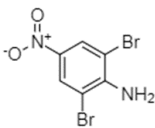
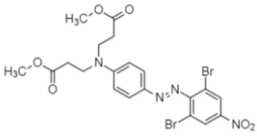
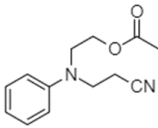
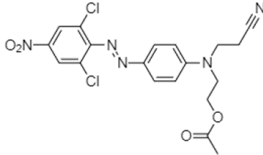
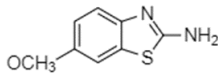
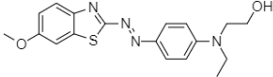
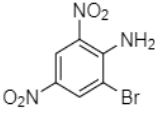
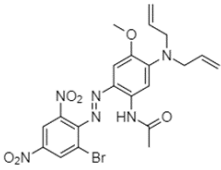
OECD QSAR Toolbox is free software designed for researchers interested in chemical hazard assessment, as well as for the private sector. It can be used to screen available experimental data for its target chemical structure, to evaluate other chemicals of similar nature, and to fill in the data gap by read-across. The software consists of six basic modules that can be used to make forecasts and report forecasts.

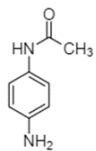
In the method, for the aromatic amine raw materials to be studied and the azo dyes produced from these raw materials, first of all, basic information about their chemical structures (structural, toxicological and ecotoxicological) was collected by using the "Profile" module. This information obtained from the database was evaluated and used to search for similar chemicals that share the same functions (in the "Category Definition" module) in the selected databases (in the "Data" module). Potential azo dyes and raw materials identified by experimental data were used in "Data gap filling" to predict the relevant property for the target construct. Azo dyes analyzed in the "Report" module and raw materials of these dyes were evaluated together with similar structures, and a report was created for estimations. In addition, the OECD QSAR Toolbox and the existing connection to the IUCLID database¹⁵ [14] allow data transfer between both systems. The OECD QSAR Toolbox is constantly updated and expanded with new data while maintaining the workflow core structure.

In this study, skin irritation/corrosion, eye irritation, skin sensitivity, and mutagenicity tests, which are among the toxicological properties, were theoretically performed on selected azo dyes and raw materials of these azo dyes (total 25 aromatic amines) using OECD QSAR Toolbox.

Attempts have been made in many countries to reduce skin sensitization issues through the implementation of chemical legislation. All these regulations are currently limited to a simple dual hazard identification (i.e. whether the chemical is a skin sensitizer), but efforts are underway to make improvements to allow differentiation of skin sensitizers of different strengths [15]. The Skin irritation/corrosion test calculation results of azo dyes and their raw materials are shown in Table 1.

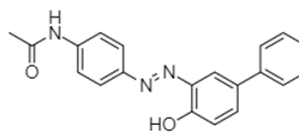
Table 1. Skin irritation/corrosion calculation results of azo dyes and their raw materials

Raw Material	Skin irritation/corrosion	Azo Dye	Skin irritation/corrosion
 <p>2,6-dichloro-4-nitroaniline</p>	Moderate Irritant	 <p>Disperse Brown 27-1</p>	Moderate Irritant
 <p>2,6-dibromo-4-nitro aniline</p>	Moderate Irritant	 <p>Disperse Brown 19</p>	Moderate Irritant
 <p>N-Cyanoethylacetoxylethylamine</p>	Moderate Irritant	 <p>Disperse Orange 30</p>	Moderate Irritant
 <p>6-Methoxy Benzothiazole-2-ylamine</p>	Moderate Irritant	 <p>Red BS P/C</p>	Moderate Irritant
 <p>2-bromo-4,6-dinitroaniline</p>	Moderate Irritant	 <p>Disperse Blue 291</p>	Moderate Irritant



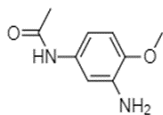
4'-Aminoacetanilide

Moderate Irritant



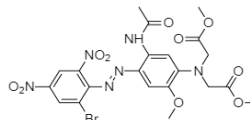
Disperse Yellow 27

Irritating



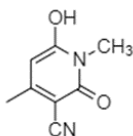
p-Acetanilide, 3'-amino -

Moderate Irritant



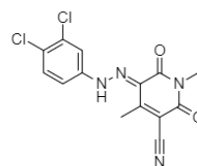
Disperse Blue 823

Corrosive



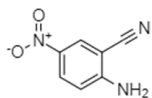
3-Pyridinecarbonitrile,1,2-dihydro-6-hydroxy-1,4-dimethyl-2-oxo

Moderate Irritant



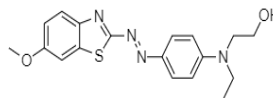
Disperse Yellow 241

Not irritating or corrosive to the skin



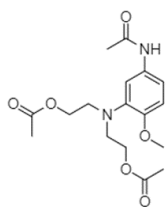
2-cyano-4-nitroaniline

Moderate Irritant



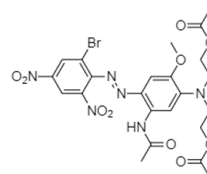
Red BS P/C

Moderate Irritant



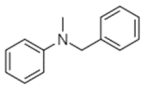
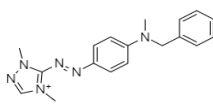
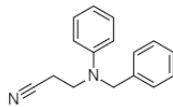
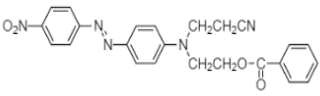
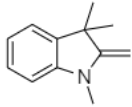
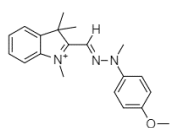
N, N-Dihydroxyethyl-3-amino-4-anisidine

Non-Irritating



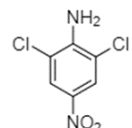
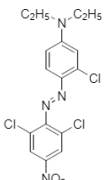
Disperse Blue 79

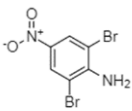
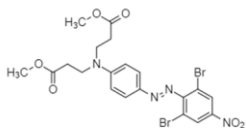
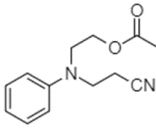
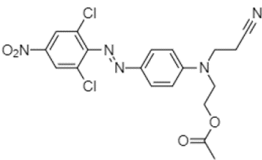
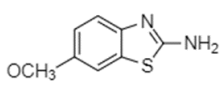
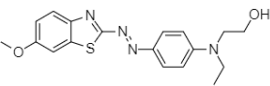
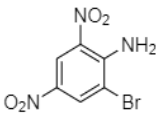
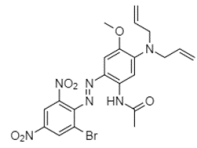
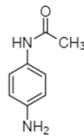
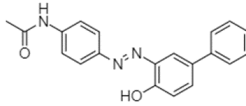
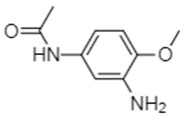
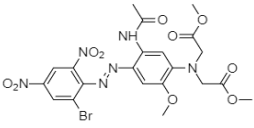
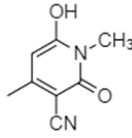
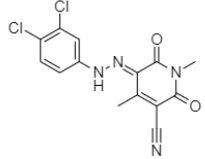
Irritating

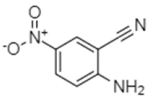
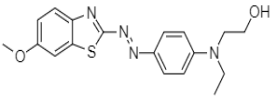
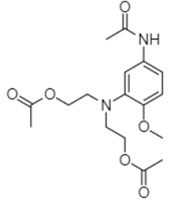
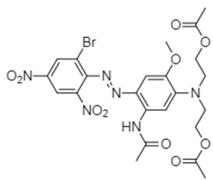
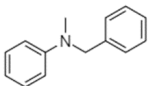
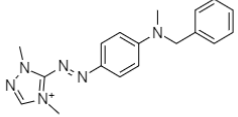
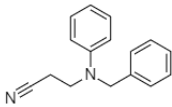
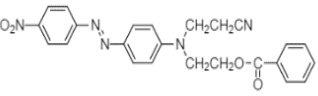
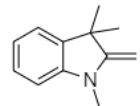
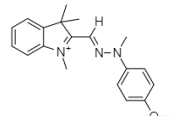
	Irritating		Corrosive
N-Benzyl, N-Methylaniline		Basic Red 46	
	Moderate Irritant		Moderate Irritant
N-Cyano Ethyl N-Benzyl Aniline		Orange 73-1	
	Moderate Irritant		Irritant to skin
1,3,3-Trimethyl-2-Methyleneindoline		Basic Yellow 28	

Some approaches to eye irritation assessments have been adopted by international organizations to reduce the need for animal testing. Quantitative structure activity relationship (QSAR) analysis is one such approach and allows to estimate the magnitude of a particular feature, such as an eye irritation score, by correlating one or more physicochemical and/or structural parameters of a molecule [16]. The Eye irritation test calculation results of azo dyes and their raw materials are shown in Table 2.

Table 2. Eye irritation calculation results of azo dyes and their raw materials

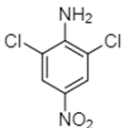
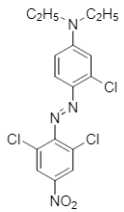
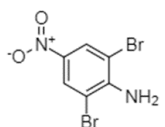
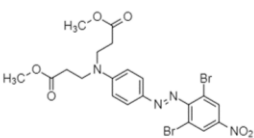
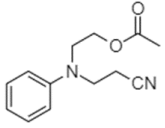
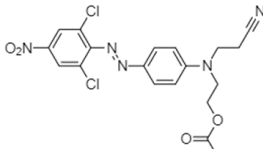
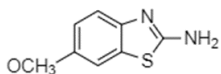
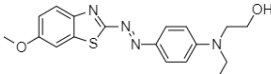
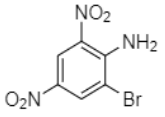
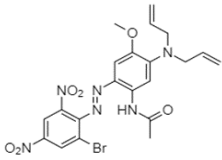
Raw Material	Eye Irritation	Azo Dye	Eye Irritation
	Irritant or Corrosive to Eyes		Non-Irritating or Corrosive to Eyes
2,6-dichloro-4-nitroaniline		Disperse Brown 27-1	

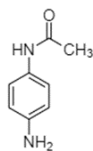
 <p>2,6-dibromo-4-nitro aniline</p>	<p>Unknown</p>	 <p>Disperse Brown 19</p>	<p>Non-Irritating or Corrosive to Eyes</p>
 <p>N-Cyanoethylacetoxylethylaniline</p>	<p>Irritant or Corrosive to Eyes</p>	 <p>Disperse Orange 30</p>	<p>Not Corrosive to Eyes</p>
 <p>6-Methoxy Benzothiazole-2-ylamine</p>	<p>Non-Irritating or Corrosive to Eyes</p>	 <p>Red BS P/C</p>	<p>Non-Irritating or Corrosive to Eyes</p>
 <p>2-bromo-4,6-dinitroaniline</p>	<p>Unknown</p>	 <p>Disperse Blue 291</p>	<p>Non-Irritating or Corrosive to Eyes</p>
 <p>4'-Aminoacetanilide</p>	<p>Irritant or Corrosive to Eyes</p>	 <p>Disperse Yellow 27</p>	<p>Unknown</p>
 <p>p-Acetanisidide, 3'-amino -</p>	<p>Irritant or Corrosive to Eyes</p>	 <p>Disperse Blue 823</p>	<p>Not Corrosive to Eyes</p>
 <p>3-Pyridinecarbonitrile,1,2-dihydro-6-hydroxy-1,4-dimethyl-2-oxo</p>	<p>Irritant or Corrosive to Eyes</p>	 <p>Disperse Yellow 241</p>	<p>Unknown</p>

	Irritant or Corrosive to Eyes		Non-Irritating or Corrosive to Eyes
2-Cyano-4-nitroaniline		Red BS P/C	
	Unknown		Non-Irritating or Corrosive to Eyes
N, N-Dihydroxyethyl-3-amino-4-anisidine		Disperse Blue 79	
	Unknown		Non-Irritating or Corrosive to Eyes
N-Benzyl, N-Methylaniline		Basic Red 46	
	Unknown		Non-Irritating or Corrosive to Eyes
N-Cyano Ethyl N-Benzyl Aniline		Orange 73-1	
	Unknown		Unknown
1,3,3-Trimethyl-2-Methyleneindoline		Basic Yellow 28	

Many chemicals cause adverse effects in contact with the skin; The hazard-related phenomenon includes skin sensitization, skin penetration, and skin irritation. Each of these phenomena has mostly been studied independently, although there are links between them. In these conditions, theoretical calculation methods emerge as a practical solution for the evaluation of items without experimental data [16]. The Skin sensitization test calculation results of azo dyes and their raw materials are shown in Table 3.

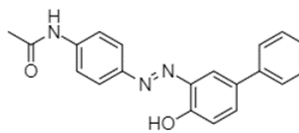
Table 3. Skin sensitization calculation results of azo dyes and their raw materials

Raw Material	Skin Sensitization	Azo Dye	Skin Sensitization
 <p>2,6-dichloro-4-nitroaniline</p>	Positive	 <p>Disperse Brown 27-1</p>	Positive
 <p>2,6-dibromo-4-nitro aniline</p>	Positive	 <p>Disperse Brown 19</p>	Positive
 <p>N-Cyanoethylacetoxyethylaniline</p>	Positive	 <p>Disperse Orange 30</p>	Positive
 <p>6-Methoxy Benzothiazole-2-ylamine</p>	Negative	 <p>Red BS P/C</p>	Positive
 <p>2-bromo-4,6-dinitroaniline</p>	Positive	 <p>Disperse Blue 291</p>	Positive



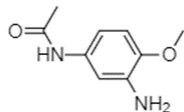
Positive

4'-Aminoacetanilide



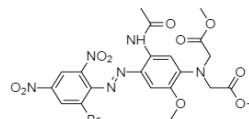
Positive

Disperse Yellow 27



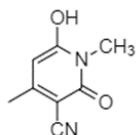
Positive

p-Acetanilide, 3'-amino -



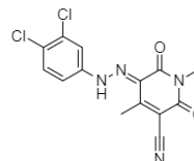
Positive

Disperse Blue 823



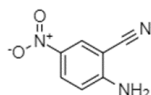
Positive

3-Pyridinecarbonitrile,1,2-dihydro-6-hydroxy-1,4-dimethyl-2-oxo



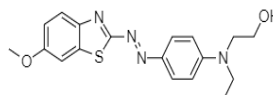
Positive

Disperse Yellow 241



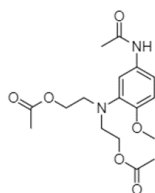
Negative

2-cyano-4-nitroaniline



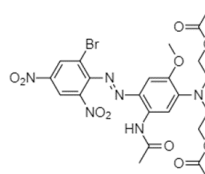
Positive

Red BS P/C



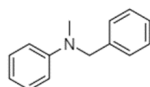
Positive

N, N-Dihydroxyethyl-3-amino-4-anisidine



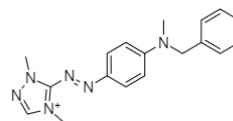
Positive

Disperse Blue 79



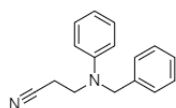
Positive

N-Benzyl, N-Methylaniline

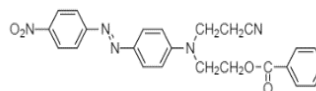


Positive

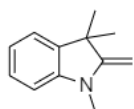
Basic Red 46



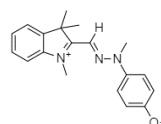
Negative

N-Cyano Ethyl N-Benzyl Aniline

Positive

Orange 73-1

Positive

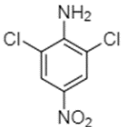
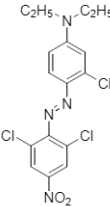
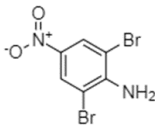
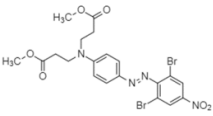
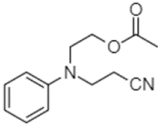
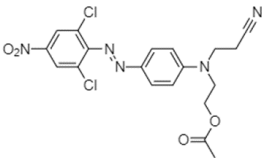
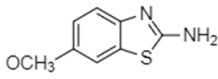
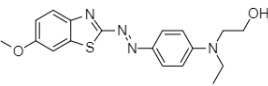
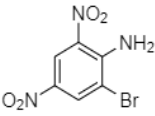
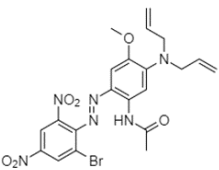
1,3,3-Trimethyl-2-Methyleneindoline

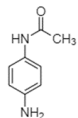
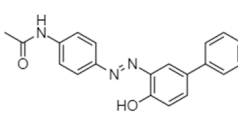
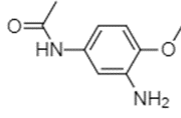
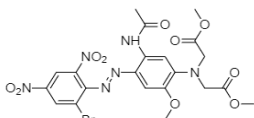
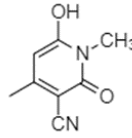
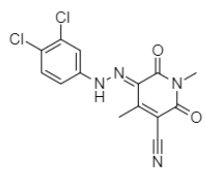
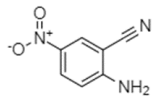
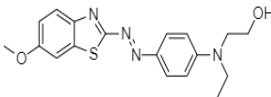
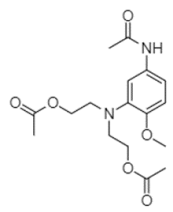
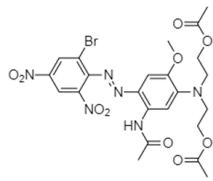
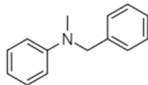
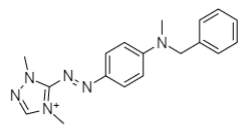
Positive

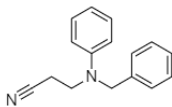
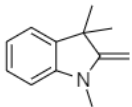
Basic Yellow 28

Most of the chemical substances have genotoxic and carcinogenic effects that cause changes in the hereditary structure of living things. These chemicals, which have a direct or indirect carcinogenic effect, can also be considered mutagenic. It is thought that 90% of carcinogens are mutagens. Chemical substances known to be mutagenic are known to cause birth defects, heart diseases, and aging, but it is thought that they induce the formation of cancer and cause reproductive disorders by damaging some cell lines [17]. To detect premutagenic/precancerous substances that require metabolic activation with this test, liver microsomes are prepared and metabolic activations of chemicals are determined. Microsomal enzyme extract (S9 Fraction) is used to investigate whether the metabolic products of the test substance are mutagenic [18]. According to a study conducted in 2019, it was seen that phenolic compounds have important antimutagenic properties. The most important feature of many phenolic compounds is that they are known to have antioxidant effects; In the related study, it was thought that the antimutagenic activity observed was due to the antioxidant properties of the studied substances [19]. Furthermore, according to studies conducted in recent years, it has been found to affect mutagenicity at high concentrations [20-21]. The Mutagenicity calculation results in the presence and absence of the S9 fraction of azo dyes and their raw materials are shown in Table 4.

Table 4. Mutagenicity calculation results in the presence and absence of the S9 fraction of azo dyes and their raw materials

Raw Material	With S9	Without S9	Azo Dye	With S9	Without S9
 <p>2,6-dichloro-4-nitroaniline</p>	Negative	Negative	 <p>Disperse Brown 27-1</p>	Positive	Negative
 <p>2,6-dibromo-4-nitro aniline</p>	Positive	Positive	 <p>Disperse Brown 19</p>	Positive	Positive
 <p>N-Cyanoethylacetoxylethylamine</p>	Negative	Unknown	 <p>Disperse Orange 30</p>	Negative	Negative
 <p>6-Methoxy Benzothiazole-2-ylamine</p>	Positive	Negative	 <p>Red BS P/C</p>	Negative	Negative
 <p>2-bromo-4,6-dinitroaniline</p>	Positive	Positive	 <p>Disperse Blue 291</p>	Positive	Negative

 <p>4'-Aminoacetanilide</p>	Negative	Negative	 <p>Disperse Yellow 27</p>	Negative	Negative
 <p>p-Acetanilide, 3'-amino -</p>	Positive	Negative	 <p>Disperse Blue 823</p>	Negative	Negative
 <p>3-Pyridinecarbonitrile,1,2-dihydro-6-hydroxy-1,4-dimethyl-2-oxo</p>	Negative	Negative	 <p>Disperse Yellow 241</p>	Negative	Positive
 <p>2-cyano-4-nitroaniline</p>	Negative	Positive	 <p>Red BS P/C</p>	Negative	Negative
 <p>N, N-Dihydroxyethyl-3-amino-4-anisidine</p>	Negative	Negative	 <p>Disperse Blue 79</p>	Negative	Negative
 <p>N-Benzyl, N-Methylaniline</p>	Negative	Negative	 <p>Basic Red 46</p>	Negative	Negative

	Negative	Negative	Negative	Negative
N-Cyano Ethyl N-Benzyl Aniline			Orange 73-1	
	Negative	Negative	Negative	Positive
1,3,3-Trimethyl-2-Methyleneindoline			Basic Yellow 28	

3. RESULT AND DISCUSSION

In this study, skin irritation/corrosion, eye irritation, skin sensitization, and mutagenicity tests were performed with OECD QSAR management to examine the toxicological properties. When azo dyes and their materials were examined in the skin irritation/corrosion test, they were generally found to be moderate irritants.

Among the 13 raw materials examined, N, N-Dihydroxyethyl-3-amino-4-anisidine was found to be non-irritating. Contrary to this raw material, N-Benzyl, N-Methylaniline was found to be irritating (Fig. 1).



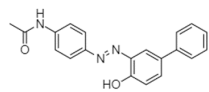
N-Benzyl, N-Methylaniline

N, N-Dihydroxyethyl-3-amino-4-anisidine

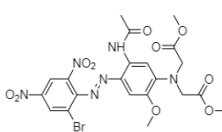
Figure 1. Molecular structures of N-Benzyl N-Methylaniline and N, N-Dihydroxyethyl-3-amino-4-anisidine

When azo dyes were examined, Disperse Blue 79 and Disperse Yellow 27 azo dyes showed irritating properties. Disperse Blue 823 and Basic Red 46 azo dyes were found to be corrosive. Another remarkable result of the skin irritation/corrosion study is that while the Disperse Yellow

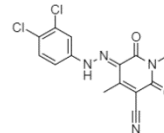
241 azo dye does not show any irritating properties, its raw material, 3-pyridinecarbonitrile, 1,2-dihydro-6-hydroxy-1,4-dimethyl-2-oxo aromatic amine is highly irritating (Fig. 2.)



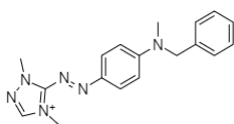
Disperse Yellow 27



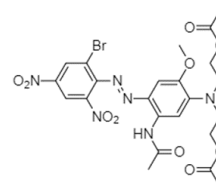
Disperse Blue 823



Disperse Yellow 241



Basic Red 46



Disperse Blue 79

Figure 2. Molecular structures of Disperse Yellow 27, Disperse Blue 823, Disperse Yellow 241, Disperse Blue 79, and Basic Red 46

It was found that the raw materials studied generally exhibited eye irritant properties, however the products did not exhibit irritating features, when the findings of eye irritation, another toxicological examination, were evaluated.

When 13 raw materials and 12 azo dyes are examined with the OECD QSAR method in terms of skin sensitization, it can be mentioned that aromatic amines have skin sensitizing properties. Studies have shown that 6-methoxybenzothiazole-2-ylamin, 2-cyano-4-nitroaniline, and N-cyano ethyl N-benzyl aniline aromatic amine raw materials do not have skin sensitizing properties, but when they are converted into Red BS P/C and Orange 73-1 products, exhibit sensitizing properties (Fig.3.)

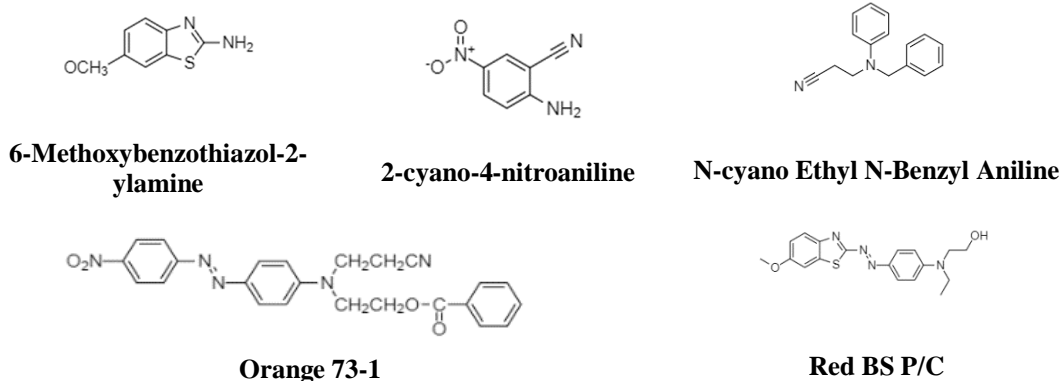


Figure 3. Molecular structures of 6-Methoxybenzothiazol-2-ylamine, 2-cyano-4-nitroaniline, N-cyano Ethyl N-Benzyl Aniline, Red BS P/C and Orange 73-1

In the last study to investigate the toxicological effects of azo dyes and their raw materials, the mutagenicity test was calculated in the presence and absence of the S9 fraction. Fraction S9 defines the microsomal enzyme extract. Mutagen can be defined as a physical or chemical factor that changes the molecular structure of cellular information and management chains such as DNA or RNA of biological living organisms, causing the organism in question to naturally mutate at a much higher level than expected [18]. Once raw materials' mutagenic potential was investigated, it was found that they generally exhibited no mutagenic characteristics. Calculations revealed that 2,6-dibromo-4-nitro aniline, 6-methoxybenzothiazol-2-ylamine and 2-Bromo-4,6-dinitroaniline compounds from 13 aromatic amines, which are raw materials, are mutagenic (Fig. 4.)

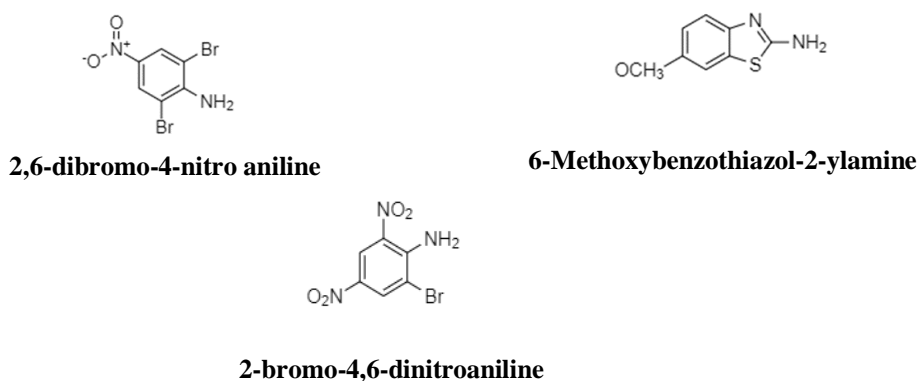


Figure 4. Molecular structures of 2,6-dibromo-4-nitro aniline, 6-Methoxybenzothiazol-2-ylamine and 2-Bromo-4,6-dinitroaniline

It has been observed that the dyes Disperse Brown 27-1, Disperse Brown 19, and Disperse Blue 291 have mutagenic effects (Fig. 5.)

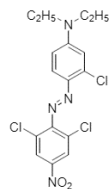
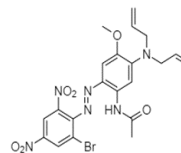
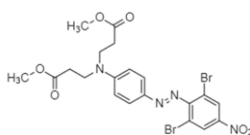
**Disperse Brown 27-1****Disperse Blue 291****Disperse Brown 19**

Figure 5. Molecular structures of Disperse Brown 27-1, Disperse Brown 19 and Disperse Blue 291

4. CONCLUSION

In this study, skin irritation/corrosion, eye irritation, skin sensitization, and mutagenicity tests were performed with OECD QSAR management to examine the toxicological properties. Among the 13 raw materials examined, N, N-Dihydroxyethyl-3-amino-4-anisidine was found to be non-irritating. Contrary to this raw material, N-Benzyl, N-Methylaniline was found to be irritating. It can be said that the ratio of the benzene ring in the compound affects the skin irritation feature. When skin irritating results are taken into account, it can be said that the presence of the ester group increases the irritating feature, as well as the importance of the benzene ring in skin irritating properties. Another remarkable result of the skin irritation/corrosion study is that the presence aromatic amine increased irritating properties. Attention can be drawn to the effect of the presence of the amine double bond, which is characteristic of azo dyes, between the benzene rings. It can be mentioned that the absence of the double bond between the amines affects reducing the irritant feature. When the results of eye irritation, it can be said that contrary to the skin irritant feature, the increase in the benzene ratio and the double bonds in the amines between the benzenes reduce the eye irritant

feature. In terms of skin sensitization, it can be concluded that the presence of hydroxyl groups in azo dyes and the rise in the proportion of amine-linked methyl groups in the benzene ring increase the skin sensitivity feature.

When the mutagenic effect of raw materials was examined, it can be said that the nitro and amine groups attached to the benzene ring, as well as the bromine molecule attached to the benzene ring, increase the mutagenic effect. Furthermore, it was observed that the presence of nitro and amine groups, as well as the presence of electronegative groups such as chlorine and bromine, increased the mutagenic effect.

5. ACKNOWLEDGEMENT

This study was supported by SETAS Kimya San. A.Ş. R&D Center Ministry Projects with the project number BY18-0005.

REFERENCES

- [1] Keşkek Karabulut, Y. and Yalçın Gürkan, Y., Investigation of Ecotoxicological Properties of Some Azo Dyes by OECD QSAR Method. *Journal Of Materials and Electronic Devices*, 3(1), 27, 2022.
- [2] Majcen-Le Marechal, A., Slokar, Y.M., and Taufer, T., Decoloration of Chlorotriazine Reactive Azo Dyes with H₂O₂/UV. *Dyes and Pigments*, 33(4), 281, 1997.
- [3] Puvaneswari, N., Muthukrishnan, J., Gunasekaran, P., Toxicity Assessment And Microbial Degradation Of Azo Dyes. *Indian J Exp Biol*, 44(8), 618, 2006.
- [4] Weisburger, J.H., A perspective on the history and significance of carcinogenic and Mutagenic N-substituted aryl compounds in human health. *Mutation Research*, 376, 261, 1997.
- [5] Lin, Y.H., Leu, J.Y., Kinetics of reactive azo-dye decolorization by *Pseudomonas luteola* in a biological activated carbon process. *Biochemical Engineering Journal*, 39(3), 457, 2008.
- [6] Lin, J.K., Wu, Y.H., Studies on the mechanism of methemoglobin formation induced by amino azo compounds. *Biochemistry Pharmacology*, 22(15), 1883, 1973.
- [7] Pielesz, A., Baranowska, I., Rybak, A., Włochowicz, A., Detection and Determination of Aromatic Amines as Products of Reductive Splitting from Selected Azo Dyes. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 53(1), 42, 2002.
- [8] Choudhary, G., Human health perspectives on environmental exposure to benzidine: a

review. *Chemosphere*, 32(2), 267, 1996.

- [9] Benigni, R., Passerini, L., Carcinogenicity of the aromatic amines: from structure-activity relationships to mechanisms of action and risk assessment. *Mutation Research*, 511 (3), 191, 2002.
- [10] Pinheiro, H.M., Touraud, E., Thomas, O., Aromatic amines from azo dye reduction: a status review with emphasis on direct UV spectrophotometric detection in textile industry wastewaters. *Dyes and Pigments*, 61(2), 121, 2004.
- [11] Petry, T., Knowles, R., Meads, R., An analysis of the proposed REACH regulation. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 44 (1), 24, 2006.
- [12] European Parliament (EC) No. Regulation 1907/2006 on the Registration, Evaluation, Authorization, and Restriction of Chemicals (REACH).
- [13] Dimitrov, S.D., Diderich, R., Sobanski, T., Pavlov, T.S., Chankov, G.V., Chapkanov, A.S., Karakolev, Y.H., Temelkov, S.G., Vasilev, R.A., Gerova, K.D., Kuseva, C.D., Todorova, N.D., Mehmed, A.M., Rasenberg, M., Mekenyan, O.G., QSAR Toolbox – workflow and major functionalities. *Environmental Research*, 27 (3), 203, 2016.
- [14] Saouter, E., Biganzoli, F., Pant, R., Sala, S., Versteeg, D., Using REACH for the EU environmental footprint: building a usable ecotoxicity database, part I. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 15(5), 783, 2019.
- [15] Basketter, D.A.; Andersen, K.E.; Liden, C.; Van Loveren, H.; Boman, A.; Kimber, I.; Alanko, K.; Berggren, E., Evaluation of the skin sensitizing potency of chemicals by using the existing methods and considerations of relevance for elicitation. *Contact Dermatitis*, 52 (1), 39, 2005.
- [16] Alves, V.M.; Muratov, E.; Fourches, D.; Strickland, J.; Kleinstreuer, N.; Andrade, C.H.; Tropsha, A., Predicting chemically-induced skin reactions. Part I: QSAR models of skin sensitization and their application to identify potentially hazardous compounds. *Toxicol. Appl. Pharmacol.*, 284 (2), 262, 2015.
- [17] Sarı, S., Bazı yeni 2-Sübstitüe benzotiyazol türevlerinin ames test sistemi ile mutajenik etkilerinin belirlenmesi. Master's Thesis, Yüksek Lisans Tezi, Institute of science, Hacettepe University, Ankara, Türkiye, 2014.
- [18] Oğuz, S., Omurtag, G.Z., Arıcıoğlu, F., Şardaş, S. Mutajenik Karsinojen Etkinin Ames Testi ile Araştırılması. *Müşbed*, 3 (2), 75, 2013.
- [19] Nartop, D., Demirel, B., Güleç, M., Hasanoğlu Özkan, E., Kurnaz Yetim, N., Sarı, N., Çeker, S., Ögütçü, H., Açar, G. Novel polymeric microspheres: Synthesis, enzyme immobilization, antimutagenic activity, and antimicrobial evaluation against pathogenic microorganisms. *Journal of Biochemical and Molecular Toxicology*, 34(2), 2019.



- [20] Nartop, D., Hasanoğlu Özkan, E., Gündem, M., Çeker, S., Ağar, G., Öğütçü, H., Sarı, N. Synthesis, antimicrobial and antimutagenic effects of novel polymeric-Schiff bases including indol. Journal of Molecular Structure, 1195, 877,2019.
- [21] Nartop, D., Tokmak, E., Hasanoğlu Özkan, E., Kızıl, H. E., Öğütçü, H., Ağar, G., Allı, S. Synthesis of novel polymers containing Schiff base as potential antimutagenic and antimicrobial agents. Journal of Medicinal and Chemical Sciences, 3(4), 363, 2020.



THE ENERGY STATES IN $Ga_{1-x}Al_xAs/GaAs$ QUANTUM WELL WIRE LATTICE UNDER THE EFFECT OF EXTERNAL ELECTRIC FIELD

Bahadır BEKAR*¹ 

¹**Keşan Vocational School, Trakya University, Keşan, Edirne, TÜRKİYE*

Abstract

In the lattice consisting of three quantum wires, the effect of the external electric field applied on the energy states of the electron is the focus of this study. The energy states and wave functions of the electron were calculated using the finite difference method with the effective mass approach. It was found that the energy states exhibit different behavior when the diameters of the quantum wires are considered as the same and different. When an electric field was applied to both quantum wire lattices, the electron's energy states showed interesting changes.

Keywords: Quantum Wire, Electric Field, Energy Crossing

HARİCİ ELEKTRİK ALANI ETKİSİ ALTINDA $Ga_{1-x}Al_xAs/GaAs$ KUANTUM KUYU TEL ÖRGÜSÜNDEKİ ENERJİ DURUMLARI

Öz

Üç kuantum telinden oluşan örgüde, uygulanan dış elektrik alanının elektronun enerji durumları üzerindeki etkisi bu çalışmanın odak noktasıdır. Etkin kütle yaklaşımı ile sonlu farklar yöntemi kullanılarak elektronun enerji durumları ve dalga fonksiyonları hesaplanmıştır. Kuantum tellerinin çaplarının aynı ve farklı olduğu düşünüldüğünde enerji durumlarının farklı davranışlar sergiledikleri bulunmuştur. Her iki kuantum tel kafesine bir elektrik alanı uygulandığında, elektronun enerji durumları ilginç değişiklikler gösterdi.

Anahtar Kelimeler: Kuantum Teli, Elektrik Alanı, Enerji Geçişi

Sorumlu Yazar: Bahadır BEKAR, bahadirekar@trakya.edu.tr

1. INTRODUCTION

After the discovery of semiconductor, properties of low-dimensional semiconductor structures have been attracted attention. Many electronic devices have been designed by combining different semiconductor materials. These devices have become manufactured at nano-structure scales with the developments in production technology. Thus, a transition was made to quantum wells, quantum wires and quantum dots. As a result, it has caused many macro-sized electronic elements to be produced in nano-sizes. The electronic properties of these structures under electric field have also investigated [1-4]. Magnetic field [5-6], hydrostatic pressure [7-9], temperature [10,11], and laser [12-15], its behavior under external influences has also been added to intensive work on low-dimensional structures.

Another research area was the investigations made by adding foreign atoms to original semiconductors [3,5,6]. In addition, it was observed that the results differ for each structure when these external fields are effected on geometrically different quantum structures [16-19]. The effect of dielectric constants of materials on quantum structures was investigated [20].

In this study, we have investigated the energy levels of the electron by applying an electric field to the states of the same and different diameters of the GaAs material in the triple quantum wire. The calculation method of the structure under the electric field is given in section 2.; in the section 3, the results of the calculated energy states and probabilities of finding wave functions are given.

2. MATERIALS AND METHOD

Figure 1 shows the xy-plane cross section of the $Ga_{1-x}Al_xAs/GaAs$ quantum wire lattice. In the effective mass approximation, the time-independent Schrödinger equation for an electron in Quantum well wires (QWW), in the presence of the electric field is given by:

$$H = -\frac{\hbar^2}{2m^*} \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right) + |e|Fx + V_0(x, y) \quad (1)$$

Where, e is the electron charge, m^* is electron effective mass and F is the electric field strength in units of kV/cm applied in the $+x$ -axis direction. Eq.1, Rydberg energy unit $R^* = \frac{m^* e^4}{2\hbar^2 \epsilon^2}$ and effective Bohr Radius $a^* = \frac{\hbar^2 \epsilon}{m^* e^2}$ occurs when re-expressed in the unit system.

$$H = -\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}\right) + \eta x + V(x, y) \quad (2)$$

Then, $\eta = |e|a^*F/R^*$ is defined as. By applying the finite difference method to the Schrödinger equation, energy levels E_n and wave functions Ψ_n are calculated by [5]:

$$H\psi_n(x, y) = E_n\psi_n(x, y) \quad (3)$$

In the finite different method, we have working on two dimensional axes. There are wave function for x - axes and y –axes and we have produced $\psi(x, y)$ from these wave functions. $\psi(x, y) = \psi(x) \cdot \psi(y)$ it is defined as. In addition, there are energy states for both axes E_x and E_y . Total energy of the system E is sum of these energy states.

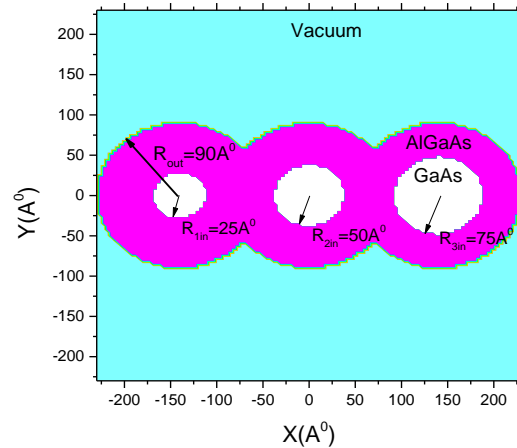


Figure 1. Planar cross-sectional view of quantum wire lattice.

By dividing both axes of the system by the number of n equal steps, we created a table of differences for wave functions

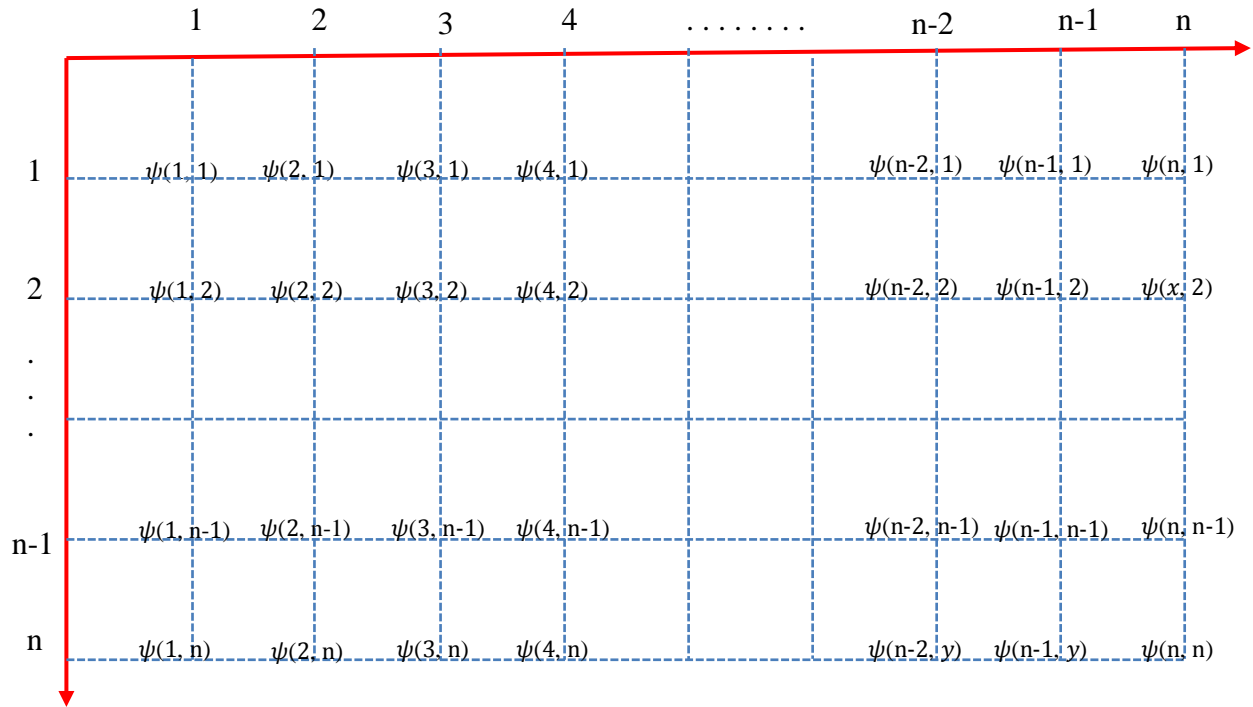


Figure 2. Table of differences for wave functions

The numerical derivative for the point $\psi(1,1)$ becomes as.

$$\frac{1}{dx^2} (\psi(1,0) - 2\psi(1,1) + \psi(1,2)) - \frac{1}{dy^2} (\psi(0,1) - 2\psi(1,1) + \psi(2,1)) + V(1,1)\psi(1,1) = (E_x + E_y)\psi(1,1) \tag{4}$$

If $\psi(1,2), \psi(1,3), \dots, \psi(n,n)$ is calculated again for the other points, we get a matrix of size $n \times n$. This matrix is solved with a computer software. Wave functions and energy states are calculated from matrix

$$\begin{bmatrix} \frac{4}{dx^2} + V(1,1) & -\frac{1}{dx^2} & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{1}{dy^2} & 0 & \dots \\ -\frac{1}{dx^2} & \frac{4}{dx^2} + V(1,2) & -\frac{1}{dy^2} & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{1}{dy^2} & 0 \\ 0 & -\frac{1}{dx^2} & \frac{4}{dx^2} + V(1,3) & -\frac{1}{dx^2} & 0 & 0 & 0 & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \dots & 0 & 0 & -\frac{1}{dy^2} & 0 & 0 & 0 & -\frac{1}{dx^2} & \frac{4}{dx^2} + V(n,n) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \psi(1,1) \\ \psi(1,2) \\ \psi(1,3) \\ \vdots \\ \psi(n,n) \end{bmatrix} = E \begin{bmatrix} \psi(1,1) \\ \psi(1,2) \\ \psi(1,3) \\ \vdots \\ \psi(n,n) \end{bmatrix}$$

Figure 3. 2D matrix form for finite different method

3. RESULT AND DISCUSSION

Potential profile calculations have numerically been calculated $m^* = 0,0665m_0$ for effective mass and dielectric constant $\epsilon = 13,18$ [21]. $Ga_{1-x}Al_xAs$ of barrier height for $x = 0,3$ Al concentration is $V_0 = 228meV$.The effective Bohr radius and Rydberg energy are $a^* = 104,88054 \text{ \AA}$ ve $R_y^* = 5,20848 \text{ meV}$, respectively. Two different quantum wire lattices have been studied. In the first quantum wire lattice, the radius in the GaAs region are equal. Calculations were made for the sizes given in Figure 1 for the second quantum wire lattice.

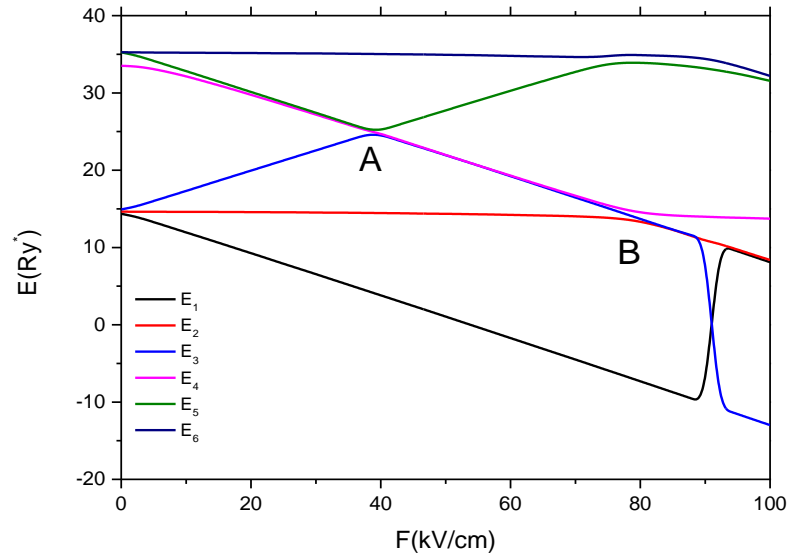


Figure 4. Energy levels of the GaAs region in a quantum wire lattice depending on the electric field for equal radius.

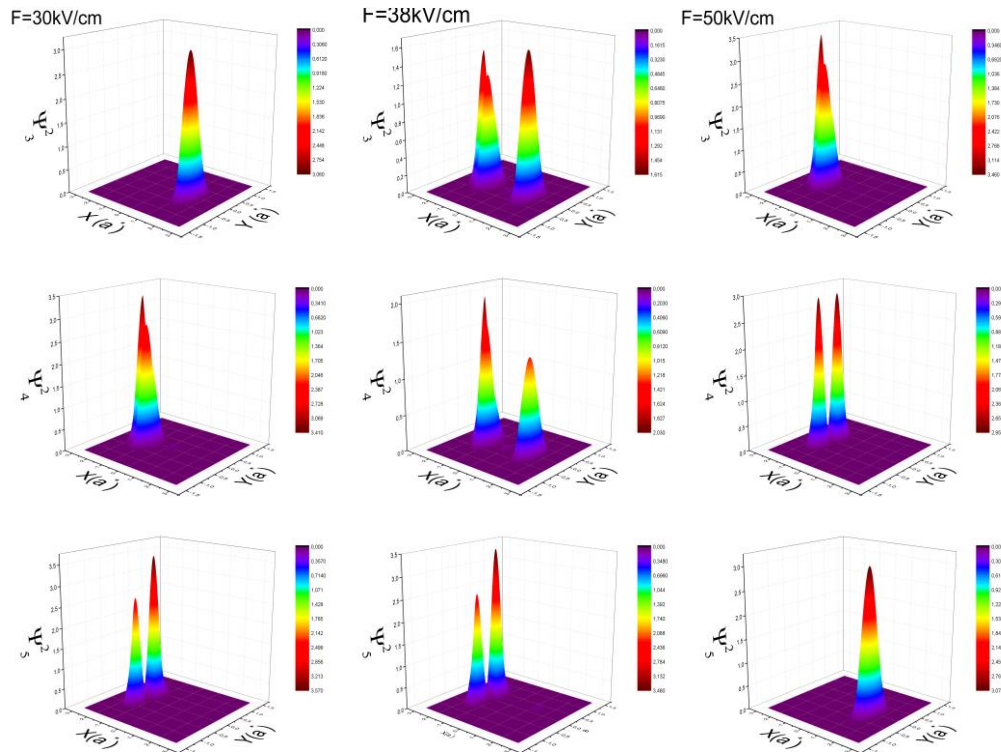


Figure 5. Probability of wave functions around point A

The variation of the energy levels with the electric field for equal radius and 50 Å values of the GaAs region in the quantum wire lattice is shown by Figure 4. When the figure is investigated, it is seen that the first three energy levels are approximately at the same level for no electric field, and the levels exhibit different behaviors when electric field is applied. It has been observed that the energies approach each other at values where the electric field is 38 kV/cm (A point) and 78 kV/cm (B point). Electron probability distributions around these values are shown in Figure 5 and Figure 6 for point A and point B, respectively. If the energies tend to decrease with the electric field strength from these shapes, the electron will be in the left quantum wire of the probability distributions, while the energies tend to increase, the electron will be localized in the right quantum wire.

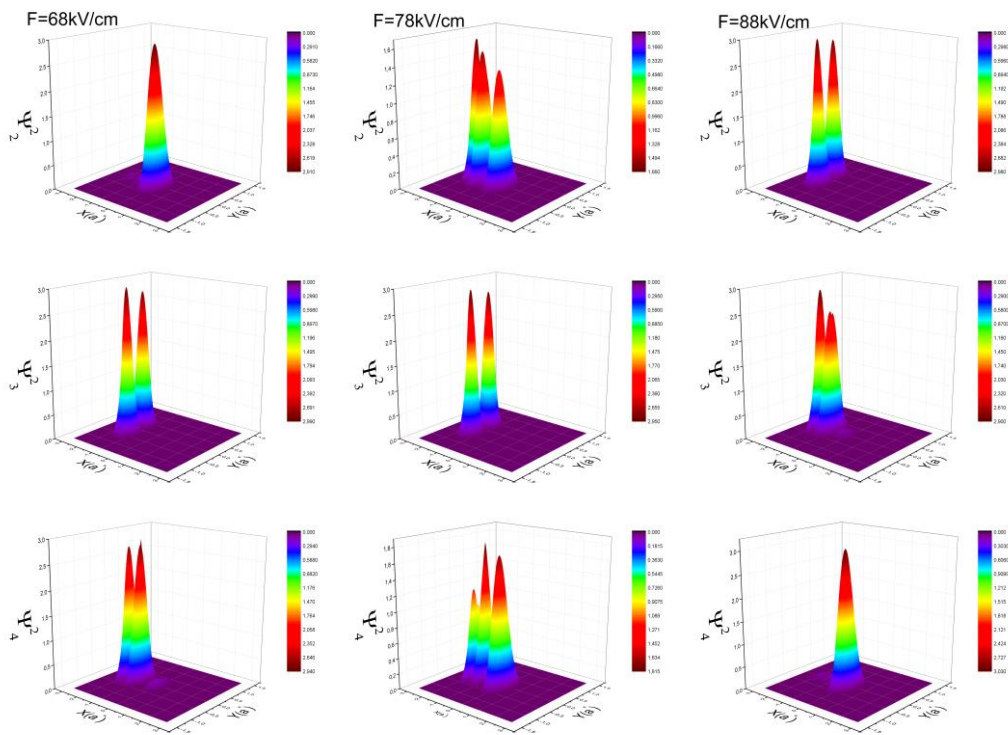


Figure 6. Probability of wave functions around point B

First six energy levels calculated from the ground state for the second quantum wire lattice, depending on the electric field strength showed by Figure 7. It has been observed that the energy levels converge to each other at certain values of the electric field. In the figure, the region A where the first two energy levels approach without crossing each other with an energy value of $F=25$ kV/cm, the same situation for the third, fourth and fifth energy levels, and the region B where the energy value for $F=27$ kV/cm, the second and fifth energy levels. For the third levels, the approach around $F \cong 50$ kV/cm is shown with the C state. As observed, when the behaviors of the energy levels under the electric field are compared with each other, the behaviors of the energy levels in Figure 4 do not exhibit similar characteristics.

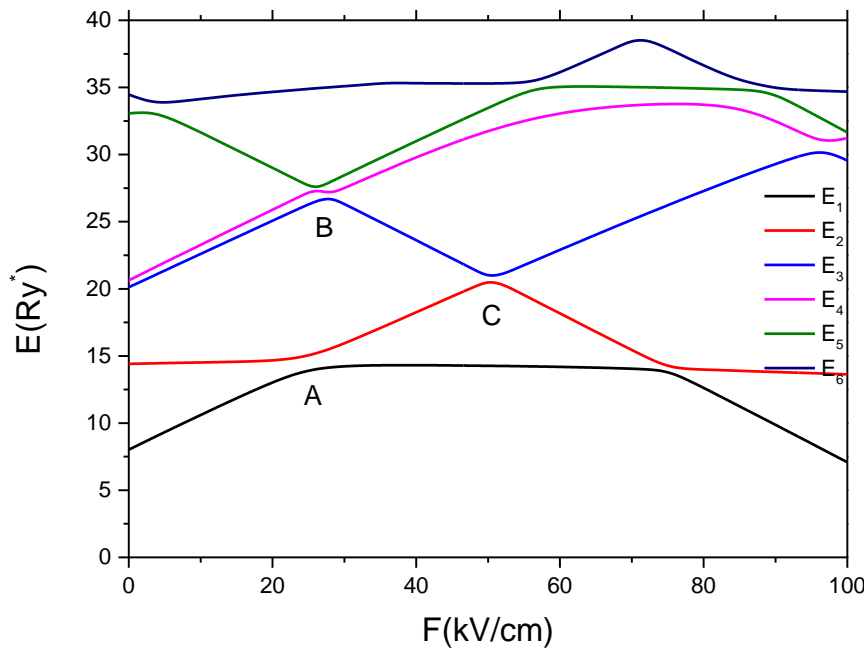


Figure 7. Variation of energy levels of the GaAs region in the quantum wire lattice depending on the electric field for different radius.

In Figure 8, the probability distributions in the first two energy levels for $F=15$ kV/cm before the energy approach, $F=25$ kV/cm at the approach point and $F=40$ kV/cm after the energy approach at point A marked in Figure 7 are shown as the C state. While the ψ_1^2 ground state probability densities are localized to the right wire, which is the largest area of the GaAs region, for electron 15 kV/cm,

it is observed that it is localized towards the middle wire with the increase in electric field strength. In the second energy, it has been observed that the electron probability density is localized from the inner wire to the right outer wire, with the increase of a certain electric field strength, both between these levels and when these levels are compared with the first levels, without disturbing the orthogonality condition. When these probability densities are considered, it has been observed that the electron probability densities are in the same regions at both energy levels at $F=25\text{kV/cm}$. At the value of $F=35\text{kV/cm}$, it is seen that the wavefunction densities of both energy states are in the opposite state of the densities of the $F=15\text{kV/cm}$ wavefunctions.

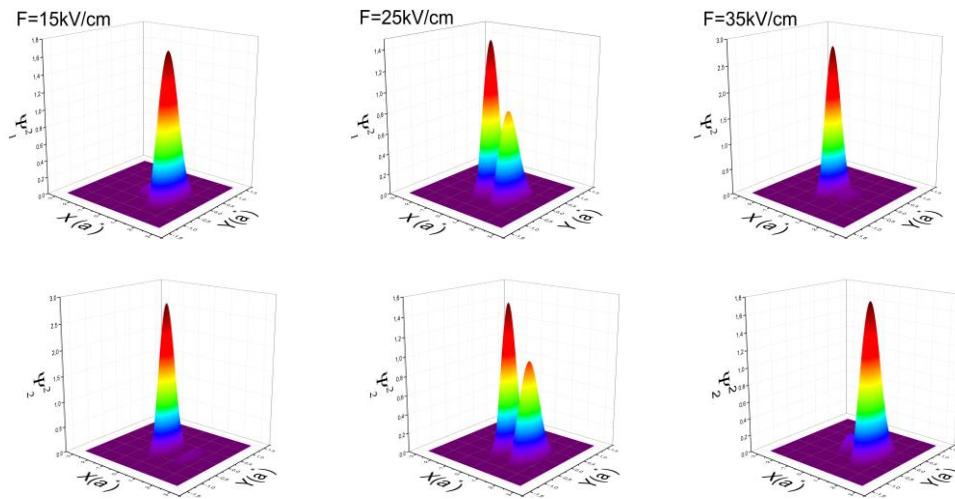


Figure 8. Probability of wave functions around point A

In Figure 9, electron probability densities of the third, fourth and fifth energy levels are given for the electric field values in and around the point B in Figure 7. When the ψ_3^2 and ψ_4^2 electron probability densities at $F=15\text{ kV/cm}$ are investigated, they are localized in the same wire, while ψ_5^2 electron probability densities are localized on the left wire. In this electric field strength value, E_3 and E_4 energies increase while E_5 energy decreases. At the value of $F=27\text{ kV/cm}$, the E_3 and E_5 energies are close to each other and the electron probability densities are higher in the right wire. Since it shows a decrease according to the E_4 energy value, the probability density is on the left string. At $F=39\text{ kV/cm}$, E_4 and E_5 energies increased and probability densities were located

on the right wire. The E3 energy is decreased and the electron probability density is located in the left wire.

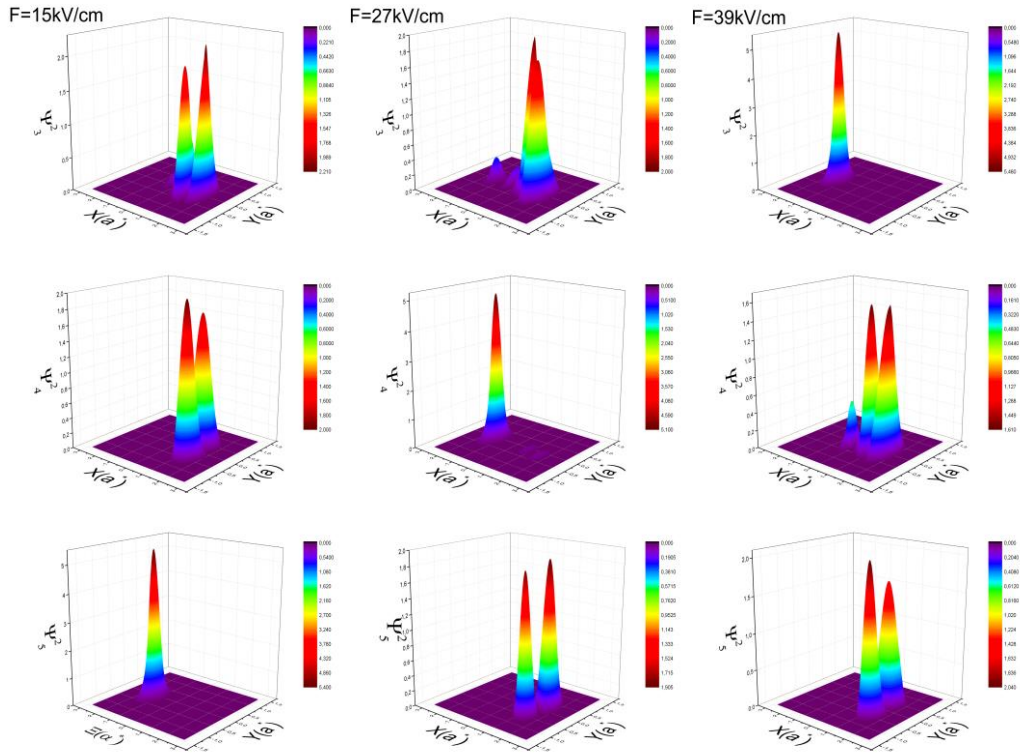


Figure 9. Probability of wave functions around point B

In Figure 10, the probability densities of the second and third energy levels are given for the electric field values at and around point C in Figure 5. At $F= 40\text{kV/cm}$, E2 energy tends to increase, E3 energy tends to decrease, and when ψ_2^2 and ψ_3^2 electron probability densities are examined, it is seen that they are localized in different wires. When the electric field is increased, the behavior of the energies is reversed, and the electron probability density of ψ_2^2 at $F=60\text{ kV/cm}$ is localized on the left-hand wire, while the ψ_3^2 electron probability density is localized on the right-hand wire.

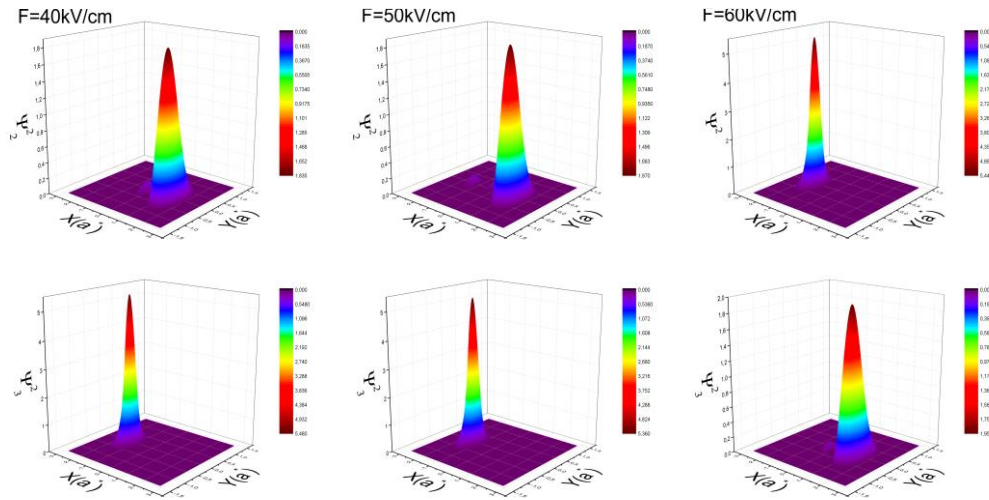


Figure 10. Probability of finding wave functions around point C.

4. CONCLUSION

In this study, three $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}/\text{GaAs}$ cylindrical quantum wires are brought together to form a $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}/\text{GaAs}$ quantum wire lattice. In this structure, two different quantum wire lattices have been studied by taking the radius of the GaAs material as equal and different. Both wire lattices showed interesting changes in their energy states with the change of the electric field. To explain the interestingness in these energy changes, probability distributions of states at certain electric field values are plotted. When we look at other studies in the literature, it is seen that the geometry of the structure is as important as the external field applied to semiconductor materials [17,18,21]. Energy transitions are only possible with the correct geometry selection. These approach points in energy levels can be considered as transition points and these points can be designed as switching elements in electronic devices. The results are expected to be guiding in designing new structures in terms of diversifying the electronic properties of semiconductor low-dimensional structures.

Note: This article has presented as oral presentation at NEM 2022 Kırklareli

REFERENCES

- [1] Montes, A., Duque, C. A., & PorrásMontenegro, N. (1997). The binding energies of shallow donor impurities in GaAs quantum-well wires under applied electric fields. *Journal of Applied Physics*, 81(12), 7890-7894.
- [2] Duque, C. A., Montes, A., & Morales, A. L. (2001). Binding energy and polarizability in GaAs-(Ga,Al)As quantum-well wires. *Physica B*, 302, 84-87.
- [3] Aktas S., Okan S. E., & Akbas, H. (2001). Electric field effect on the binding energy of a hydrogenic impurity in coaxial GaAs/Al_xGa_{1-x}As quantum well-wires. *Superlattices and Microstructures*, 30(3), 129-134.
- [4] Aktas, Ş., Boz F.K., Bilekkaya A., S.E. Okan, The electronic properties of a coaxial square GaAs/Al_xGa_{1-x}As quantum well wire in an electric field, *Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures*, Volume 41, Issue 8, 2009, Pages 1572-1576
- [5] Bilekkaya, A., Aktas, S., Okan, S. E., & Boz, F. K. (2008). Electric and magnetic field effects on the binding energy of a hydrogenic impurity in quantum well wires with different shapes. *Superlattices and Microstructures*, 44(1), 96-105.
- [6] Mughnetsyan, V. N., Barseghyan, M. G., & Kirakosyan, A. A. (2008). Binding energy and photoionization cross section of hydrogen-like donor impurity in quantum well-wire in electric and magnetic fields. *Superlattices and Microstructures*, 44(1), 86-95.
- [7] Kasapoglu, E., Yesilgul, U., Sari, H., & Sokmen, I. (2005). The effect of hydrostatic pressure on the photoionization cross-section and binding energy of impurities in quantum-well wire under the electric field. *Physica B-Condensed Matter*, 368(1-4), 76-81.
- [8] Baser, P., Elagoz, S., & Baraz, N. (2011). Hydrogenic impurity states in zinc-blende In_xGa_{1-x}N/GaN in cylindrical quantum well wires under hydrostatic pressure. *Physica E-Low-Dimensional Systems & Nanostructures*, 44(2), 356-360.
- [9] Çiçek E., Mese A. I., Ozkapi B., & Erdoğan I.(2021). Combined effects of the hydrostatic pressure and temperature on the self-polarization in a finite quantum well under laser field. *Superlattices and Microstructures*, Volume 155, July 2021, 106904
- [10] Khordad, R. (2009). Effect of temperature on the binding energy of excited states in a ridge quantum wire. *Physica E-Low-Dimensional Systems & Nanostructures*, 41(4), 543-547.
- [11] Kasapoglu, E., Urgan, F., Sari, H., & Sokmen, I. (2010). The hydrostatic pressure and temperature effects on donor impurities in cylindrical quantum wire under the magnetic field. *Physica E-Low-Dimensional Systems & Nanostructures*, 42(5), 1623-1626.
- [12] Niculescu, E. C., Burileanu, L. M., & Radu, A. (2008). Density of impurity states of shallow donors in a quantum well under intense laser field. *Superlattices and Microstructures*, 44(2), 173-182.



- [13] Niculescu, E. C., Burileanu, L. M., Radu, A., & Lupascu, A. (2011). Anisotropic optical absorption in quantum well wires induced by high-frequency laser fields. *Journal of Luminescence*, 131(6), 1113-1120.
- [14] Boz F. K., Aktas S., Bekar B., & Okan, S. E. (2012). Laser field-driven potential profiles of double quantum wells. *Physics Letters A*, 376(4), 590-594.
- [15] Kasapoglu, E., Sari, H., Yesilgul, U., & Sokmen, I. (2006). The effect of intense laser field on the photoionization cross-section and binding energy of shallow donor impurities in graded quantum-well wire under an electric field. *Journal of Physics-Condensed Matter*, 18(27), 6263-6271.
- [16] Narayani, V., & Sukumar, B. (1994). Polarizability of a Shallow Donor in a Quantum-Well Wire- Geometric Effects. *Solid State Communications*, 90(9), 575-579.
- [17] Ulas, M., Akbas, H., & Tomak, M. (1997). Shallow donors in a quantum well wire: Electric field and geometrical effects. *Physica Status Solidi B-Basic Solid State Physics*, 200(1), 67-73.
- [18] Ulas, M., Erdogan, I., Cicek, E., & Dalgic, S. S. (2005). Self polarization in GaAs-(Ga, Al)As quantum well wires: electric field and geometrical effects. *Physica E-Low-Dimensional Systems & Nanostructures*, 25(4), 515-520.
- [19] Akankan, O., Erdogan, I., Mese, A.I. et al. (2021) The effects of geometrical shape and impurity position on the self-polarization of a donor impurity in an infinite GaAs/AlAs tetragonal quantum dot. *Indian Journal of Physics* 95, 1341–1344.
- [20] Mese A, I., Cicek E., Erdogan I., Akankan O., and H Akbas, (2017). The effect of dielectric constant on binding energy and impurity self-polarization in a GaAs–Ga_{1-x}Al_xAs spherical quantum dot, *Indian Journal of Physics* 91(3):263–268
- [21] Bekar B., Boz F.K., Aktas B., & Okan S. E. (2019). The Effect on the Optical Absorption Coefficients due to the Positions in the Plane of Square GaAs /Al(GaAs) Quantum Well Wire under the Laser Field. *Acta Physica Polonica A* 136(6), 882-88.

PHOTOVOLTAIC INVESTIGATION OF Al/p-Si/CuPc/Al PHOTODIODES

Zöhre GÖRÜNMEZ GÜNGÖR^{1*}, Burhan COŞKUN², Mustafa İLHAN³, Mümin Mehmet KOÇ^{1,2}

¹Kırklareli University, Department of Health Services and Techniques, School of Health Services, Kırklareli, Turkey.

²Kırklareli University, Department of Physics, Faculty of Science and Literature, Kırklareli, Turkey.

³Fırat University, Department of Physics, Faculty of Science and Literature, Elazığ, Turkey

Abstract

Phthalocyanine is used in many scientific and industrial fields such as nonlinear optical devices, electrophotographic applications, photodynamic therapy applications, infrared applications, sensor applications and catalyst applications. The applications of the phthalocyanine molecule in hetero-compound structures have been studied before. The obtained results revealed that phthalocyanine can be used in photodetector and photodiode applications. Organic detectors can be applied to flexible surfaces and their production costs are lower than metal-based photodetectors. Considering these features of organic detectors, phthalocyanine-based organic photodiodes were produced by using copper-phthalocyanine salts in our project. The optoelectronic properties of the produced Al/p-Si/CuPc/Al photodiodes were investigated, and their I-V, I-t, and photoresponsivity behaviours were evaluated. Since I-V measurements show that the current changes with the increase of illumination intensities, our study shows that Al/p-Si/CuPc/Al structures have photodiode properties.

Keywords: Organic Semiconductors, Organic Photodiodes, Organic Photodetectors, Copper(II) phthalocyanine (CuPc), Thermal Evaporation

Al/p-Si/CuPc/Al FOTODİYOTLARIN FOTOVOLTAİK İNCELENMESİ

Öz

Ftalosiyanın, nonlineer optik cihazlar, elektrofotografik uygulamalar, fotodinamik terapi uygulamaları, infrared uygulamaları, sensör uygulamaları ve katalizör uygulamaları gibi birçok bilimsel ve endüstriyel alanlarda kullanılmaktadır. Ftalosiyanın molekülünün heterobileşimli yapılarda uygulamaları daha önceden çalışılmış bulunmaktadır. Elde edilen sonuçlar, ftalosiyanın fotodedektör ve fotodiyot uygulamalarında kullanılabilceğini ortaya çıkarmıştır. Organik dedektörler esnek yüzeylere uygulanabilirler ve üretim maliyetleri metal esaslı fotodedektörlere göre daha düşüktür. Organik dedektörlerin bu özellikleri göz önüne alınarak projemizde bakır-ftalosiyanın tuzları kullanılarak ftalosiyanın temelli organik fotodiyotlar

Sorumlu Yazar: Zöhre GÖRÜNMEZ GÜNGÖR, gorunmezungorzohre@klu.edu.tr

üretimiştir. Üretilen Al/p-Si/CuPc/Al fotodiyotların optoelektronik özellikleri araştırılmış, I-V, I-t ve fototepki davranışları değerlendirilmiştir. I-V ölçümleri aydınlatma yoğunluğunun artmasıyla birlikte akımın değiştiğini gösterdiği için, çalışmamız Al/p-Si/CuPc/Al yapılarının fotodiyot özelliklerine sahip olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Organik yarıiletkenler, Organik fotodiyotlar (OLED), Organik fotodetektör, Bakır-ftalosiyenin (CuPc), Termal buharlaştırma tekniği

1. INTRODUCTION

Phthalocyanine is a molecule with advanced optoelectronic properties [1-3] and is used in many applications from textiles to optoelectronic devices, detectors, optical devices, semiconductor technology applications, and infrared absorption applications [4, 5]. Organic diodes obtained from various materials have been reported in the previous studies [6, 7]. However, even though the electrical properties and light sensing properties of phthalocyanine have been demonstrated in previous studies [8, 9], the studies examining the properties of photodetectors produced from phthalocyanine in details have not been available yet.

With the use of organic molecules in electronic technology, the basis of organic electronics technology is formed and developed from organic diodes, organic-based light-emitting diodes (OLEDs) and organic transistors [10]. Before organic electronics technology advanced this far, systems made of semiconductor materials and metallic thin films were used instead. Since these systems are in a solid state, they do not allow to be used on flexible surfaces [11]. Since the metallic thin film technology is not flexible, it is not resistant to external impacts and stresses. The deformations presented on metallic thin films can change the electrical properties of the material as well as cause performance losses due to stress. In addition, since metallic thin film-based technologies require special equipment, the production costs are quite high [12]. The combination of organic and inorganic materials is also used in many studies posing as photodiodes [13-15]. Even though the photodiodes with hybrid heterojunctions promise better alternatives to their metal-based counterparts, they cannot be easily applied to flexible surfaces as their organic-based counterparts. Developments in organic diode technology have eliminated such problems. Organic

diodes have the advantage that they can be applied to flexible surfaces. The energy ranges of organic diodes can be easily changed by doping [16]. The production costs of organic diodes and transistors are lower compared to metal-based diodes [17, 18]. Therefore, organic diodes have the technology to enable the production of disposable electronic devices. Organic diodes and transistors are more environmentally friendly than metal and semiconductor-based diodes. They do not contain heavy metals and are easier to recycle than metal and semiconductor based electronic devices. Organic-based diodes can be produced by writing and sputtering technologies. Since these materials are great interest to technology companies, great resources are devoted to the development of such materials and their adaptation to technological applications.

There are many materials used in organic electronics technology. In recent years, graphene technology has been developing and organic electronics studies have focused on this material [19]. However, since materials such as graphene are difficult and expensive to synthesize, they pose many of disadvantages compared to organic electronics materials. Thus, phthalocyanine can find an important place in organic electronics applications. In many studies, fluorescence behaviour and photocatalytic properties of the phthalocyanine molecule have been observed [20]. Many organic chemists produce derivatives of phthalocyanine molecules and use them in photodynamic therapy applications [1].

Photodiodes find use in many technologies, especially in medicine, imaging and military defence technologies. Organic diodes and organic photodiodes can be made from different materials. Today, graphene and modified graphene are the most popular organic materials [21]. However, since graphene is very expensive, it is important to produce low-cost organic diodes and photodiodes with electrical properties as good as graphene. Various studies have been conducted on the optoelectronic properties of phthalocyanine and it is predicted to be a good candidate for organic electronics applications [8, 22]. In addition, phthalocyanine has been the subject of many studies in terms of its chemical properties [19]. It is estimated that phthalocyanine-based photodetectors can show high performance due to their optoelectronic properties and good absorption of light in the IR wave spectrum [4]. However, when the studies published in the literature are examined, there are limited number of studies that examines the electrical and photodetector properties of photodiodes obtained from phthalocyanine in details. To the best of our

knowledge, observations on its photodiode characteristics are not investigated even though the studies on the electrical or optical properties of phthalocyanine-based detectors are present [4, 8, 19, 22]. Therefore, within the scope of our study, a photodiode formed from copper-phthalocyanine was produced and optoelectronic behaviours such as I–V, I–t, and photoresponse were investigated.

2. MATERIALS AND METHOD

2.1. The Characterization of Al/p-Si/CuPc/Al Photodiode

Before the production of thin films, cleaning, etching-based purification, and decontamination processes were applied to the p-type Si substrates [21]. In order to clean, Si-based substrates were cleaned by keeping them first in pure water, then in acetone, then in ethyl alcohol and again in pure water for 5 minutes [23]. In the etching process of the substrates, a 1:10 ml concentration of HF:H₂O solution was used. After etching, the substrates were washed, and Al coated on one side using a Nano Vak thermal evaporator at about 100 nm. After this process, Al/p-Si structures were obtained. In order to increase the durability of the Al contacts, they were annealed at 450 °C for 5 minutes and then cooled to room temperature. Then, CuPc was laid on the Al/p-Si structures by thermal evaporation method [24] in vacuum. Al/p-Si/CuPc structures were formed and then the upper contact of the diode was again covered with Al by masking method. Thus, Al/p-Si/CuPc/Al diode was obtained, and its electrical or optical properties were investigated.

3. RESULT AND DISCUSSION

Figure 1 shows the Current (I) – Voltage (V) measurements obtained in the voltage range of -10V to +10V of the Al/p-Si/CuPc/Al photodiode exposed to various light intensities. In order to investigate the optoelectrical and photoresponsivity properties of Al/p-Si/CuPc/Al structures, the illumination intensity was changed between 10 mW/cm² and 100 mW/cm² in the measurements.

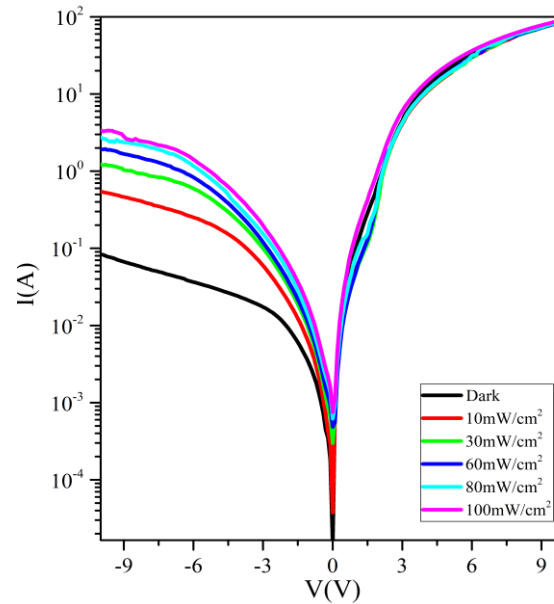


Figure 1. Current (I) – Voltage (V) measurements for Al/p-Si/CuPc/Al photodiode characterized under various illumination.

Apparent current difference could be seen in the I-V graph, between forward bias and reverse bias zone. Such cases indicate that Al/p-Si/CuPc/Al structures illustrate diode like behaviours. I-V plots exhibit illumination intensity related characteristics where illumination alters measured current. It was concluded that Al/p-Si/CuPc/Al structures have photodiode characteristics.

Using the results presented in Figure 1, the basic photodiode parameters such as barrier height (ϕ_b), reverse voltage saturation current (I_o), ideality factor (n) and photosensitivity (R) are calculated using Thermionic Emission Theory [25] to determine the optoelectronic characteristics of the diode. Barrier height and ideality factor are calculated by using the characteristic current formula, Equation 1. The photosensitivity (R) of the Al/p-Si/CuPc/Al structure is calculated by using Equation 3.

$$I = I_o \left[\exp \left(\frac{q(V - IR_s)}{nkT} \right) - 1 \right] \quad (1)$$

In this equation, I_o is reverse voltage saturation current, q is electron charge, n is ideality factor; R_s is the series resistance, k is the Boltzmann constant, V is the externally applied voltage to the diode, and T is the absolute temperature. The I_o in the formula is calculated using the formula below.

$$I_o = AA^*T^2 \exp\left(-\frac{q\phi_b}{kT}\right) \quad (2)$$

In this formula, A^* is Richardson's constant ($32 \text{ A/cm}^2\text{K}^2$ for p-type Si), while A denotes the area of the photodiode.

$$R = \frac{(I_p - I_d)}{PA} \quad (3)$$

In this equation, P is the power, I_d is the current obtained in the dark, I_p is the photocurrent, and A is the contact area of the photodiode.

$$I_{ph} = KP^m \quad (4)$$

Here P is the intensity of the illumination, and m and K are constants.

The calculated ideality factor (n), barrier height (ϕ_b), saturation current (I_o) and photosensitivity (R) of the Al/p-Si/CuPc/Al photodiode are presented in Table 1. Calculations were performed for 100 mW/cm^2 illumination intensity.

Table 1. Ideality factor, barrier height, saturation current and photosensitivity values calculated for Al/p-Si/CuPc/Al photodiode for 100 mW/cm^2 illumination intensity.

n	$\phi_b(\text{eV})$	$I_o(\text{A})$	$R(\text{A/W})$
8.18	0.350	0.02815	5.56

Although the expected ideality factor value for a perfect diode is 1, the calculated ideality factor value for the Al/p-Si/CuPc/Al photodiode is 8.18. These high values indicate the defective working mechanism of diodes, which is a very common situation in recent studies [21, 26-28]. Organic and organometallic structure-based diodes tend to have high ideality factors. For example, Aslan et al. produced Ti doped amorphous carbon photodiodes and found the ideality factor of the photodiode between 1.84 and 3.17 [26]; Demiroglu et al., synthesized the chalcone substituted metallo-phthalocyanine photodiodes and ideality factor factor of the diodes was found to be 5.2 [29]; Yakuphanoglu et al. reported the ideality factor of boric acid:nickel (II) phthalocyanine

photodiodes between 5.93 and 7.07 [30]; Soylu et al. found the ideality factor of zinc phthalocyanine photodiodes between 1 and 9 [31]; Koc assessed the ideality factor of the CuO doped amorphous carbon photodiode between 2.87 and 4.95 [32]. Tataroglu et al. find the ideality factor of graphene–cobalt phthalocyanine structures between 3.5 and 5.2 [33]. This can be caused by anomalies in the diode due to external factors such as defective working mechanism, series resistance, interface conditions, and barrier height inhomogeneity [26, 34, 35]. Barrier height of the diodes were determined as 0.35 eV. Barrier height was found to be coherent with the previous studies. For example, Aslan et al. found the barrier height of Ti doped amorphous carbon photodiodes between 0.46 eV and 0.50 eV [26]. Koc found the barrier height of CuO doped amorphous carbon photodiodes between 0.47 eV and 0.5 eV [32]. Tataroglu et al. reported barrier height for graphene-cobalt phthalocyanine between 0.77 eV and 0.82 eV [33]. Soylu et al. found the barrier height of zinc-phthalocyanine structures 0.1 eV and 1.2 eV [31].

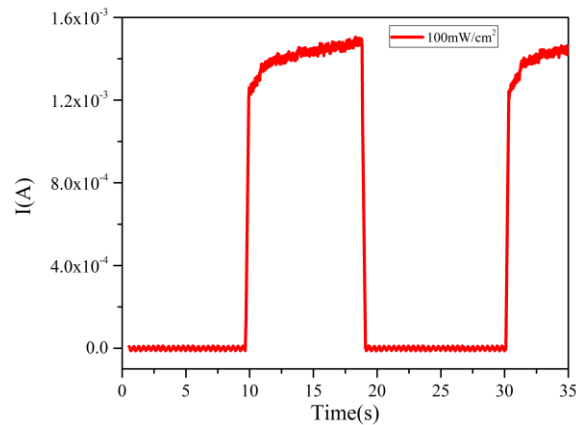


Figure 2. Current(I)-Time (t) measurement for Al/p-Si/CuPc/Al photodiode at 100 mW/cm²

Current-Time (I-t) measurements of Al/p-Si/CuPc/Al photodiode under 100 mW/cm² light intensity were performed and the results are shown in Figure 2. The current was measured by turning on the light at 10 second intervals. When the light was applied to the surface of the Al/p-Si/CuPc/Al photodiode, it was seen that diodes are responsive to lights as measured current dramatically increases. Measured current stays almost stable as long as external light was on. A rapid decrease in the measured current was observed when the light was turned off. This confirmed that the Al/p-Si/CuPc/Al photodiode is light sensitive.

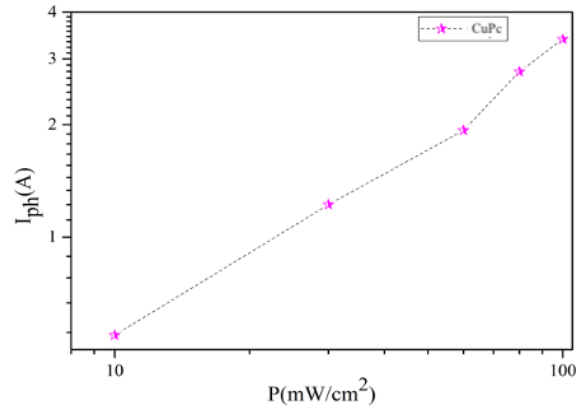


Figure 3. Photocurrent (I_{ph} (A))-Illumination Intensity (P (mW/cm²)) plot for Al/p-Si/CuPc/Al photodiode.

The photocurrent-light intensity (I_{ph} - P) properties of Al/p-Si/CuPc/Al structures are calculated using Equation 4 [36] and the result is shown in Figure 3. The photocurrents are measured in the range of 10 mW/cm² and 100 mW/cm² light intensities at -10V voltage, and the highest photocurrent is measured for 100 mW/cm² is ~3.7A. Figure 3 also illustrates that photocurrent was highly dependent on the external light illumination. This behaviour shows that Al/p-Si/CuPc/Al photodiodes have potential for solar tracking device applications.

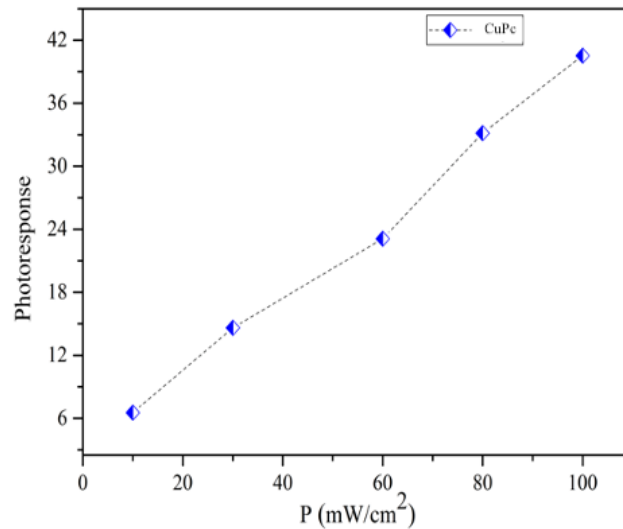


Figure 4. Photoresponse- Illumination Intensity (P (mW/cm²)) for Al/p-Si/CuPc/Al photodiode.

To evaluate the photosensitivity of the Al/p-Si/CuPc/Al photodiode, the photoresponse-light intensity (Photoresponse-P(mW/cm²)) measurements are obtained for various light intensities and the results are shown in Figure 4. As the light intensity increases, the photoresponse increases as well. A photoresponse of ~39.5 is measured at 100 mW/cm² of light intensity. Photoresponsivity characteristics also illustrates light intensity related behaviours. Such behaviour also supports the case that Al/p-Si/CuPc/Al photodiodes have potential to be used in solar tracking applications.

4. CONCLUSION

In this study, CuPc organic semiconductor solutions are obtained, and then thin films are prepared by coating on p-Si type substrates by Vacuum Thermal Evaporation method. The diodes are produced from these films with Al contacts by metal evaporation method. The electrical properties of these produced photodiodes are investigated under illumination with various light intensities. Based on these results, various properties such as ideality factor, barrier height, saturation current and photosensitivity were analysed. Our assessments revealed that Al/p-Si/CuPc/Al structures exhibit photodiode characteristics. Photoresponsive and photocurrent of Al/p-Si/CuPc/Al structures increases with enhancing illumination. These results show that Al/p-Si/CuPc/Al photodiodes can be used in photodetector applications as solar tracking or harvesting devices.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work was supported by the Scientific Research Coordination Office (KUSRCO) of Kirkklareli University. Authors, Zöhre GÖRÜNMEZ GÜNGÖR and Mümin Mehmet KOÇ, acknowledge support from KUSRCO for grant KLÜBAP 209.

REFERENCES

- [1] Çamur, M., Durmuş, M., Bulut, M., Highly singlet oxygen generative water-soluble coumarin substituted zinc (II) phthalocyanine photosensitizers for photodynamic therapy. *Polyhedron*. 41, 92–103, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.poly.2012.04.034>.
- [2] Biler, M., Zhivkov, I., Rakušan, J., Karásková, M., Pochekailov, S., Wang, G., and Nešpurek, S., Soluble Phthalocyanines–New Materials For Optoelectronics, *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*, 7:1365-1370, 2005.



- [3] Kadish, K., Guillard, R., and Smith, K.M., *The Porphyrin Handbook: Phthalocyanines: Spectroscopic and Electrochemical Characterization*, Academic Press. ISBN 0-12-393220-3, 2012.
- [4] Çerlek, H., Thesis (M.Sc.) Farklı Süstitüentler İçeren Kurşun Ftalosiyanimler. İstanbul Technical University, Institute of Science and Technology, 2005. <http://hdl.handle.net/11527/7427>.
- [5] Melville, O.A., Lessard, B.H., and Bender, T. P., Phthalocyanine-Based Organic Thin-Film Transistors: A Review of Recent Advances. *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 7, 24, 13105–13118, 2015.
- [6] Geffroy, B., Roy, P. le, and Prat, C., Organic light-emitting diode (OLED) technology: materials, devices and display Technologies. *Polym Int*, 55:572–582, 2006. <https://doi.org/10.1002/pi.1974>.
- [7] Kim, J., Park, J., Intrinsically stretchable organic light-emitting diodes, *Sci. Adv.* 2021; 7: eabd9715, DOI: 10.1126/sciadv.abd9715.
- [8] Yakuphanoglu, F., Electronic and photovoltaic properties of Al/p-Si/copper phthalocyanine photodiode junction barrier. *Sol. Energy Mater. Sol. Cells.* 91, 1182–1186, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2007.03.027>
- [9] Çamur, M., Ahsen, V., and Durmuş, M., The first comparison of photophysical and photochemical properties of non-ionic, ionic and zwitterionic gallium (III) and indium (III) phthalocyanines. *J. Photochem. Photobiol. A Chem.* 219, 217–227, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2011.02.014>.
- [10] Webster, J.G. and Deen, M.J., *Organic Semiconductor Devices*. In: *Wiley Encyclopaedia of Electrical and Electronics Engineering*. pp. 1–16. John Wiley & Sons, Inc., 2014.
- [11] Hendi, A.A. and Yakuphanoglu, F., Graphene doped TiO₂/p-silicon heterojunction photodiode. *J. Alloys Compd.* 665, 418–427, 2016. <https://doi.org/10.1016/J.JALLCOM.2016.01.045>.
- [12] Frey, H., *Applications and Developments of Thin Film Technology*. In: *Handbook of Thin-Film Technology*. pp. 1–3. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2015. ISBN: 978-3-642-05429-7.
- [13] Aktas, S., Unal, F., Kurt, M. S., Koç, and Kabaer, M., Fabrication and morphological, optical, and electrical characterisation of Cu-doped ZnO nanorod/coronene nanowire hybrid heterojunctions, *Phys. Scr.* 97, 125818, 2022, <https://doi.org/10.1088/1402-4896/ac9e7c>.
- [14] Aktas, S., and Unal, F., Investigation of Structural and Electrical Properties of Metal Oxide and Organic Based Multi Heterojunction, *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi* 12(1), 508-520, 2022, DOI: 10.31466/kfbd.1103586.
- [15] Ünal, F., Zurnacı M., DEMİR, S., Gür, M., Şener, N., and Şener, İ., Synthesis and Investigation of Structural, Surface Morphological and Optical Properties of InSe/PMItz Hybrid

Heterojunction, Kırklareli University Journal of Engineering and Science 8-2, 273-288, 2022, DOI: 10.34186/klujes.1178165.

[16] Ko, S. H. (Ed.), Organic Light Emitting Diode-Materials, Process, and Devices. London, United Kingdom, IntechOpen. ISBN 978-953-307-273-9, 2011.

[17] Forrest, S.R. and Thompson, M.E., Introduction: Organic electronics and optoelectronics, Chem. Rev. 107, 4, 923–925, 2007. <https://doi.org/10.1021/cr0501590>.

[18] Chang, J.S., Facchetti, A.F. and Reuss, R., A Circuits and Systems Perspective of Organic/Printed Electronics: Review, Challenges, and Contemporary and Emerging Design Approaches. IEEE J. Emerg. Sel. Top. Circuits Syst. 7, 7–26, 2017. <https://doi.org/10.1109/JETCAS.2017.2673863>.

[19] Mekki, A., Dere, A., Mensah-Darkwa, K., Al-Ghamdi, A., Gupta, R.K.K., Harrabi, K., Farooq, W.A.A., El-Tantawy, F., and Yakuphanoglu, F., Graphene controlled organic photodetectors, Synth. Met., 217, 43–56, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.synthmet.2016.03.015>.

[20] Yilmaz, Y. (Ed.), Phthalocyanines and Some Current Applications, London: IntechOpen. ISBN 978-953-51-3256-1, 2017.

[21] Aslan, N., Başman, N., and Uzun, O., Investigation of Optical, Morphological and Mechanical Properties of Diamond-Like Carbon Films Synthesized by Electrodeposition Technique Using Formic Acid. Int. J. Pure Appl. Sci. 2, 57–63, 2016.

[22] Aktas, S., Unal, F., Kurt, M. S., Koç, M. M., Arslan, T., Gür M., Coşkun B., and Görünmez Güngör Z., Photovoltaic and electrical investigation of In/WOx/CuPc/In heterojunctions with light intensity-dependent NDR behaviours, Optical Materials, 138, 113709, 2023, <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2023.113709>.

[23] Özden, S., and Koç, M. M., Wet-chemical etching of GaAs(211)B wafers for controlling the surface properties, International Journal of Surface Science and Engineering, 13: 2-3, 2019. <https://doi.org/10.1504/IJSURFSE.2019.102359>.

[24] Mattox, D. M., The Foundations of Vacuum Coating Technology, Management Plus Inc. ISBN: 0-8155-1495-6, 2003.

[25] Potje-Kamloth, K., Chapter 11-Conducting Polymer-Based Schottky Barrier and Heterojunction Diodes And Their Sensor Application. Editor(s): Hari Singh Nalwa, Handbook of Surfaces And Interfaces of Materials. pp. 445-494, 2001. Academic Press. ISBN: 9780125139106.



[26] Aslan, N., Koç, M. M., Dere, A., Arif, B., Erkovan, M., Al-Sehemi, A. G., Al-Ghamdi, A.A., and Yakuphanoglu, F., Ti doped amorphous carbon (Al/Ti-a:C/p-Si/Al) photodiodes for optoelectronic applications. J. Mol. Struct. 1155, 813-818, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2017.11.050>.

[27] Karataş, Ş., and Yakuphanoglu, F., Effects of illumination on electrical parameters of Ag/n-CdO/p-Si diode. Materials Chemistry and Physics, 138, 72-77, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2012.10.038>.

- [28] Koc, M. M., Dere, A., Özdere, A., Al-Sehemi, A. G., Coşkun, B., Al-Ghamdi, A. A., Erkovan, M., Yakuphanoğlu, F., Optoelectronic investigation of Cu₂FeSnS₄ quaternary functional photodiodes with IR detection capabilities, *Journal of Molecular Structure* 1246, 131265, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2021.131265>.
- [29] Demiroglu, M., Sirka, L., Çalışkan, E., Biryant, F., Koran, K., Görgülü, A.O., and Yakuphanoğlu, F., Synthesis and photodiode properties of chalcone substituted metallo-phthalocyanine. *J. Mol. Struct.*, 1219, 128571, 2020. doi: 10.1016/J.MOLSTRUC.2020.128571.
- [30] Yakuphanoğlu, F., Kandaz, M., and Senkal, B.F., Inorganic–organic photodiodes based on polyaniline doped boric acid and polyaniline doped boric acid:nickel(II) phthalocyanine composite. *Sensors and Actuators A: Physical*, 153, 2, 191-196, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.sna.2009.05.008>.
- [31] Soylu, M., Al-Ghamdi, A.A., Yakuphanoglu, F., Thermally activated conductivity of Si hybrid structure based on ZnPc thin film. *Appl. Phys. A*, 122:921, 2016. <https://doi.org/10.1007/s00339-016-0450-8>.
- [32] Koc, M. M., (2020). Photoelectrical properties of solar sensitive CuO doped carbon Photodiodes, *Journal of Molecular Structure* 1208, 127872, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2020.127872>.
- [33] Tataroglu, A., Tuncer, H., Al-Ghamdi, A.A., Dere, A., Arif, B., Yol, S., Ozdemir, N., El-Tantawy, F., and Yakuphanoglu, F., Graphene–cobalt phthalocyanine based on optoelectronic device for solar panel tracking systems. *Synthetic Metals* 206, 15–23, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.synthmet.2015.04.007>.
- [34] Ejderha, K., Karabulut, A., Turkan, N., and Turut, A., The Characteristic Parameters of Ni/n-6H-SiC Devices Over a Wide Measurement Temperature Range. *Silicon* 9, 395–401, 2017. <https://doi.org/10.1007/s12633-016-9426-8>.
- [35] Karabulut, A., Dere, A., Al-Sehemi, A.G., Al-Ghamdi, A.A., and Yakuphanoglu, F., Cadmium Oxide: Titanium Dioxide Composite Based Photosensitive Diode. *J. Electron. Mater.* 47, 7159–7169, 2018. <https://doi.org/10.1007/s11664-018-6647-1>.
- [36] El-Kemary, M., Gaber, M., El-Sayed, Y.S., and Gheat, Y., Photoinduced interaction of CdSe quantum dot with coumarins. *Journal of Luminescence*, 159, 26-31, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.jlumin.2014.10.063>.



EXPERIMENTAL AND NUMERICAL INVESTIGATION OF THE MECHANICAL BEHAVIOR OF THE MODIFIED METAL AUXETIC STRUCTURE

Erkan ÖZKAN¹ , Farshid KHOSRAVİ^{2*} 

¹School of Graduate Studies, Bartın University, Bartın, Türkiye

²Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Architecture and Design, Bartın University, Bartın, Türkiye

Abstract

Humans have always sought the optimal use of materials around them and, in this field, inspired by nature, have succeeded in inventing various structures. As one example, lattice structures, which are lightweight, strong, and stiff, are used widely in various applications, including energy absorbers. Lattice structures with a negative Poisson's ratio have been developed as a new type of lattice structure. As a result of this feature, auxetic structures have unique properties like shear strength, penetration resistance, fracture toughness, crack resistance, and high energy absorbability. In this paper, the mechanical behavior of the auxetic panels made using the 3D metal printer method is investigated by experimental tests and finite element methods. Experiments are used to verify the accuracy of the numerical model. Using the DMLS method, samples were prepared from metal based AlSi10Mg Aluminum composition. The 3D printing method was used to fabricate samples. Afterwards, experimental tests were made, and the mechanical properties of these materials were determined by tensile test and used in finite element simulations. Following the confirmation of the model's accuracy, the finite element simulation results are used to perform a parametric study and determine the appropriate geometry. The numerical analysis is conducted using ABAQUS software, which uses the nonlinear finite element method.

Key Words: Auxetic Structures, Tensile Test, 3D Printer.

Sorumlu Yazar: Farshid KHOSRAVİ, fmaleki@bartin.edu.tr; farshid.khosravi09@gmail.com

MODİFİYE EDİLMİŞ METAL AUXETIC YAPININ MEKANİK DAVRANIŞININ DENEYSEL VE SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

Öz

İnsanlar geçmişten günümüze etraflarındaki malzemeleri en iyi şekilde kullanmak için yollar aramışlar ve bu alanda doğadan esinlenerek çeşitli yapılar ortaya çıkarmışlardır. Bunlardan birisi, ağırlıkları düşük, basınç dayanımı yüksek ve sert olmaları nedeniyle enerji emiciler dâhil olmak üzere çeşitli uygulamalarda yaygın olarak kullanılan kafes yapılarıdır. Yeni bir kafes yapı tipi olan auxetic yapılar, geometrik yapılarından dolayı negatif Poisson oranına sahiptirler ve bu özelliği nedeniyle, kayma mukavemeti, penetrasyon direnci, artan kırılma tokluğu ve çatlama ve yüksek enerjiye karşı direnç gibi özelliklere sahiptir. Bu makalede, 3B metal yazıcı yöntemi kullanılarak yapılan auxetic panellerin mekanik davranışı, sonlu elemanlar yöntemi ile ve deneysel olarak incelenmiştir. Nümerik modelin sonuçlarının doğruluğu, deneysel testlerin sonuçları kullanılarak kontrol edilmiştir. Bu amaçla DMLS yöntemi ile metal esaslı AIS10Mg Alüminyum bileşiminden numuneler yapılmıştır. Numuneleri üretmek için 3B baskı yöntemi kullanılmıştır. Daha sonra deneysel testler yapılarak bu malzemelerin mekanik özellikleri çekme testi ile belirlenmiş ve sonlu eleman simülasyonlarında kullanılmıştır. Modelin uygunluğu belirlendikten sonra, parametrik bir çalışma ile uygun geometriyi belirlemek için sonlu elemanlar simülasyon sonuçları kullanılmıştır. Sayısal çalışma için, ABAQUS yazılımı kullanılmış olup modellemede doğrusal olmayan sonlu elemanlar yöntemi kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Auxetic Yapılar, Çekme Testi, 3B Yazıcı

1. INTRODUCTION

Auxetic is derived from the Greek word auxetikos. Auxetic cellular structure has a negative Poisson's ratio. So, it elongates when exposed to tension and shortens in compression. Auxetic materials take interests due to their potential applications in various fields such as prostheses [1], piezoelectric sensors [2], energy absorption, indentation, and fatigue resistance [3-5], magnetic auxetic system [6], molecular sieves [7], seat cushions [8], superior vibration dampers [9] and acoustic insulators [10].

In the 1900s, Voigt et al. [11] discovered the properties of auxetic or negative Poisson's ratio in some materials. In 1987, Lakes [12] first introduced a foam structure with auxetic properties that

could be easily fabricated using the triaxial compression and heating process. His study showed that human-made auxetic materials are available, so after that, more scientists began to study auxetic materials. With the development of auxetic materials, these materials have gone beyond the range of isotropic materials and macro scales. They have spread to both isotropic and anisotropic materials and from macro to nanoscales. The growth and development of auxetic materials have been very rapid in recent years and many auxetic materials have been suggested. The unique properties of auxetic materials make them suitable for use in various fields, including personal protection, military applications, medicine, and applications in the textile and aerospace industries. Although many applications for these materials have been recommended, the actual applications of auxetic materials are still in the early stages of development, so efforts should be made to improve and develop functional auxetic materials. Auxetic materials have unique properties compared to conventional materials, such as decreasing.

Young's modulus, increasing shear modulus, increasing impact resistance, increasing fracture toughness and crack resistance, and increasing energy absorption. Zhang et al. [13], in a review study, examined studies of large deformations and energy absorption of auxetic materials. Meena and Singamneni [14] proposed a new auxetic structure to reduce the effects of stress concentration. Considering the production constraints, they proposed structures with S-shaped geometry and studied the performance of the proposed structure using the finite element method and experimental tests. Ren et al. [15] studied the behavior of cylindrical auxetic structures under tensile loading. Their study shows that if the structure's geometric parameters are appropriately selected, the mechanical properties can be significantly improved. Hassanin et al. [16] investigated the penetration resistance of auxetic structures made of shape memory materials. Guo et al. [17] numerically studied the mechanical behavior of auxetic cylindrical structures under axial loading. Their study shows that the energy absorption capacity of these structures is mainly dependent on the deformation modes and relative density, and the performance of auxetic cylinders against axial loading has been significantly improved compared to conventional cylinders. Nedoushan [18] studied the effect of size and cross-section of metal-shaped cylindrical structures with negative Poisson's ratio on their energy absorption characteristics experimentally and numerically. His study showed that the use of structures with negative Poisson's ratio with

small cell size has more axial stability. Peixinho et al. [19] studied the compressive and energy absorption properties of metal-polymer hybrid cellular structures. Their study shows that the mechanical behavior of metal cell structures is highly dependent on the characteristics of the base material, the size and shape of the cells, and their structure. Lee et al. [20] investigated the effects of the auxetic structure on the crash performances in terms of the axial crash force, specific energy absorption, and deceleration. The re-entrant units were manufactured with SUS316L metal powder.

A review of research shows that although many models have been proposed for structures with a negative Poisson coefficient, studies are still ongoing to provide optimal and new geometries. Also, no study has been done to investigate the mechanical behavior of auxetic metal structures made using the 3D printer method. In this study, the mechanical properties of auxetic metal geometry, which was made using a 3D printer, were investigated. For this purpose, a tensile test was performed on standard samples. In the following, the finite element model was presented to investigate the mechanical behavior of these structures and after verifying it with experimental results, the effect of different geometric parameters was investigated.

2. MATERIAL AND METHOD

2.1. Experimental Test

To experimentally investigate the tension behavior, a new geometry has been presented for the cells of the auxetic structure, whose geometrical characteristics are given in Figure 1. Because the mechanical characteristics of the materials are needed to carry out finite element simulation, it is necessary to determine the stress-strain curve by performing tensile tests. For this purpose, AlSi10Mg coupons are made using DMLS method according to ASTM E8 standard. Also, in order to verify the results of the finite element model and perform tensile tests, the auxetic samples produced from AlSi10Mg material were made using the DMLS method, which is shown in Figure 2. According to Figure 3, in order to check the tensile behavior of these samples, SHUMADZU universal tensile machine with a capacity of 100 kN was used. The application of force was in the form of displacement control and the loading speed was chosen to be 0.2 mm/min. The force-displacement curve was derived and used to evaluate the accuracy of the

numerical results. The chemical composition of the powder is given in table 1 according to the DIN EN 1706 standard.

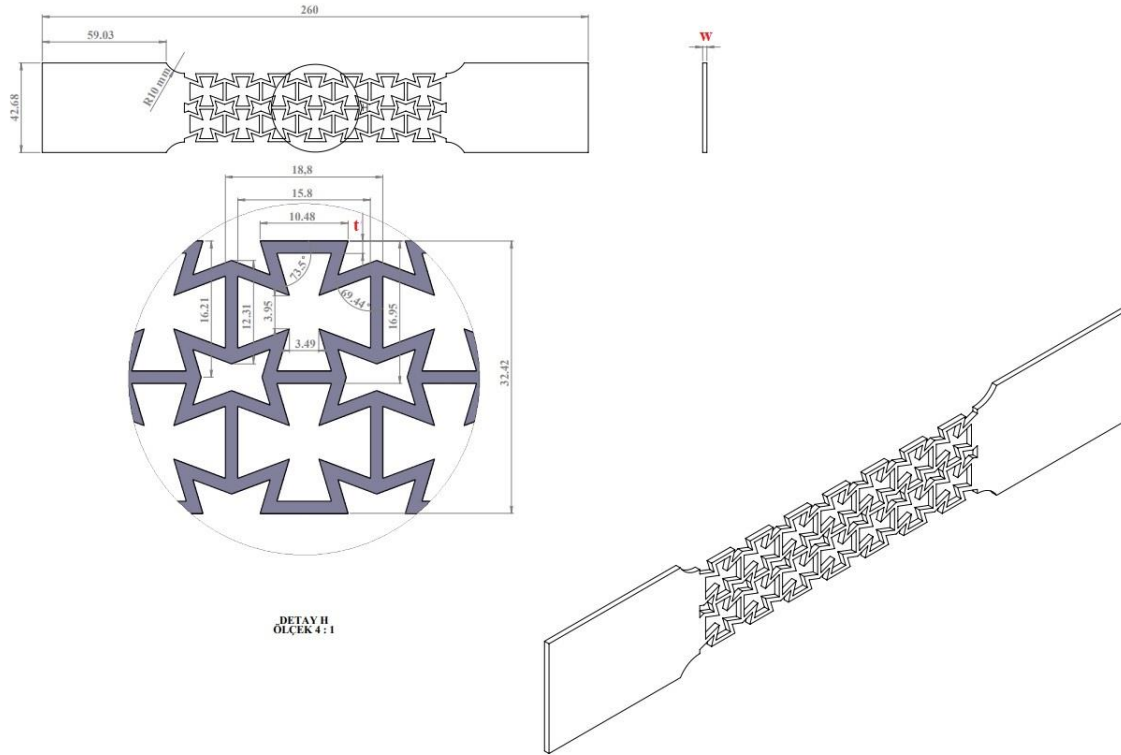


Figure 1. Auxetic structure for the tensile test (Dimensions are in mm).



Figure 2. Tensile auxetic sample produced from AlSi10Mg by DMLS method



Figure 3. Tensile test setup

2.2 Finite Element Modeling

The results of the finite element model were compared by the results of the experimental test of tensile test carried out on auxetic structures. Therefore, the simulations of the finite element were performed based on the geometric dimensions of the experimental tests. The geometric characteristics of tensile samples were shown in Figure 4. At this stage, the models of structures were created in Abaqus software. The next step was to apply loading and boundary conditions. Each component has then meshed separately in Abaqus.

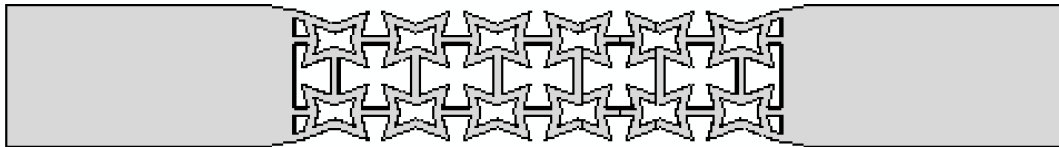


Figure 4. Geometry of auxetic structure to investigate the tensile behavior of samples made by DMLS method

In the finite element analysis, the created samples were loaded according to the laboratory conditions. In the tensile test samples, one side of the sample was fully constrained, and

displacement was applied to the other side at a rate of 0.2 mm/min [21-23]. Ten-node tetrahedral pyramidal elements with second-order shape functions (C3D10M) were used to divide the geometry into finite elements. This element had three degrees of freedom in each node including displacement in the direction of coordinate axes. The elements in the important areas were considered smaller and denser to increase the accuracy of the stress distribution. In general, for a complex model with the same number of elements, second-order elements achieve better results than first-order elements. Because they cover curved boundaries better and create a better mathematical approximation. In all analyses, the meshing of the model in sensitive areas was controlled so that the interfaces meshed with smaller sizes. In order to check the independence of the solution from the mesh density, different element density was used, and after checking the independence of the mesh size, the appropriate size of the elements was selected for each geometry.

2.3 Mechanical Properties of Materials

The models prepared were made of AlSi10Mg alloy. These components had their mechanical characteristics, which were entered into the ABAQUS software by conducting experimental tests on standard samples and at different temperatures and were applied separately to the geometry of each part.

To model the AlSi10Mg alloy, the classical plasticity model of metals in Abaqus was used. This model uses a von Mises yield surface with the associated plastic flow that enables isotropic yielding. By using this model, it is possible to define complete plastic behavior or isotropic or kinematic hardening behavior, which is a combination of isotropic and kinematic properties.

The stress-strain curves obtained from the tensile test of standard samples was shown in Figure 5. According to the stress-strain results, the mechanical characteristics of AlSi10Mg alloy including yield stress, fracture strength, fracture strain, and Young's modulus at three temperatures were summarized in Table 1. Constants of the ductile fracture criterion of AlSi10Mg alloy were given in Table 2.

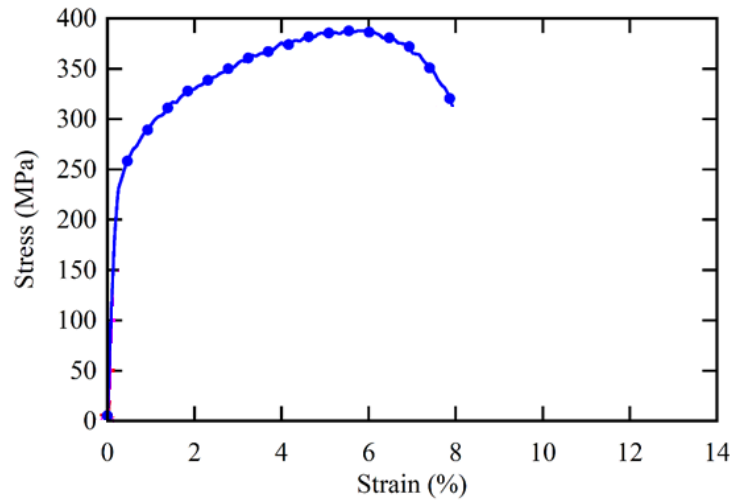


Figure 5. Stress-strain curves of AlSi10Mg alloy obtained from the tensile test

Table 1. Mechanical characteristics of AlSi10Mg alloy

Elastic modulus, (GPa)	Yield stress, (MPa)	Ultimate tensile stress, MPa	Elongation at fracture, (%)
76.7±8	187±12	387±25	5.7

Table 2. Constants of the ductile fracture criterion of AlSi10Mg alloy

ϵ_0^{pl}	stress triaxiality	strain rate
5.87	1/3	0

3. RESULTS and DISCUSSION

In this part, finite element results were analyzed. For this purpose, first, the independence of the results from the mesh was checked. The validation of the results for the tensile test was given, and then after choosing the appropriate model, a parametric study was done on the model, and the geometrical specifications were determined to achieve the maximum yield strength and energy absorption.

Figure 6 showed the convergence analysis process for the tensile sample. As can be seen, by increasing the number of elements from about 0.8 million elements, the results of the maximum

force converged to 5.6 kN, and accordingly, this number of elements was used in the analysis of the current research.

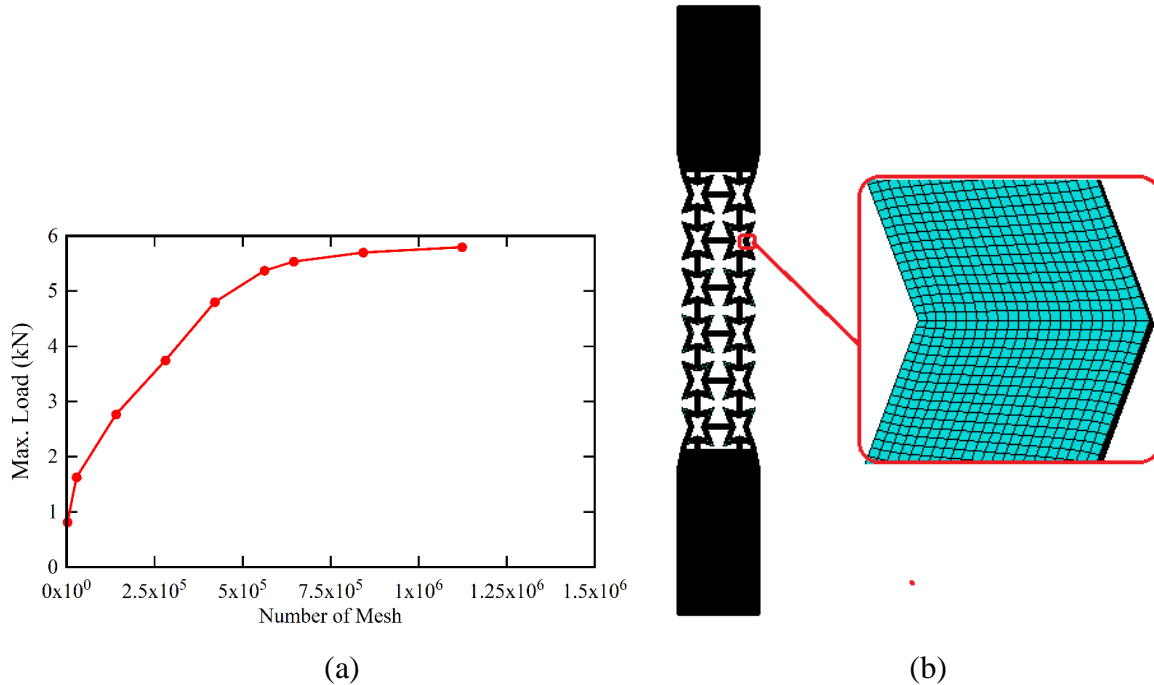


Figure 6. (a) Mesh convergence analysis process for standard tensile test, (b) optimal mesh of the structure

Figure 7 showed the force-displacement curves for four auxetic samples obtained from the finite element method and the experimental results. As can be seen, for these samples, the finite element model predicted the tensile failure behavior with good accuracy. To compare the failure mechanism, figure 8 showed the predicted failure mode with numerical results obtained from experimental results. The results showed the optimal accuracy of the used damage criterion.

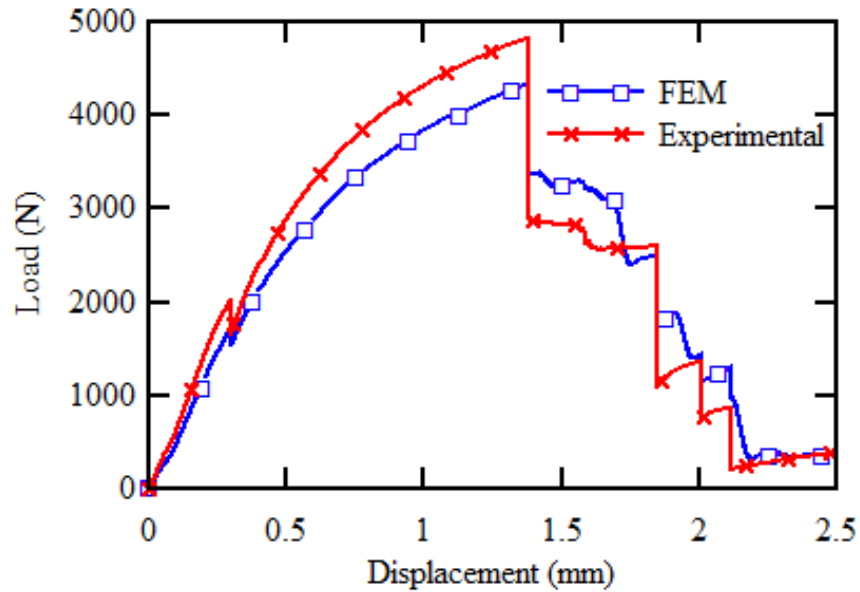


Figure 7. Force-displacement curves of the auxetic sample obtained from the finite element method and experimental results

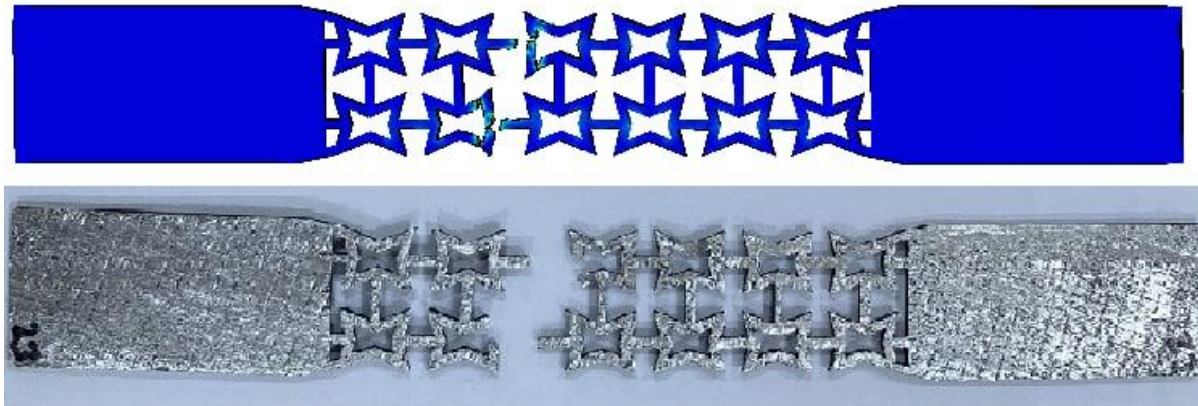


Figure 8. Comparison of the tensile failure mode of the auxetic structure obtained from the results of the finite element model and the experimental results

The effect of different geometrical parameters on the performance of this sample was investigated in the following. For this purpose, the geometric specifications that have changed in the original design were according to Table 3. For these samples, the force-displacement curve was extracted and the results were presented in Figure 9. According to the results, the maximum

breaking force for sample B and base sample (i.e. sample A) is 5 kN and 4.2 kN, respectively. Therefore, the maximum braking force of modified sample B has increased by 17% compared to the base sample and this sample has the best tensile performance. Figure 10 shows the failure mechanism in these six samples under investigation.

Table 3. Geometry thickness (t) and material thickness (w) variation and naming of the samples

Number of third design sample	w (mm)	t (mm)
A	2	1.5
A1	3	1.5
A2	4	1.5
A3	5	1.5
B	2	1.75
C	2	2
D	2	2.2

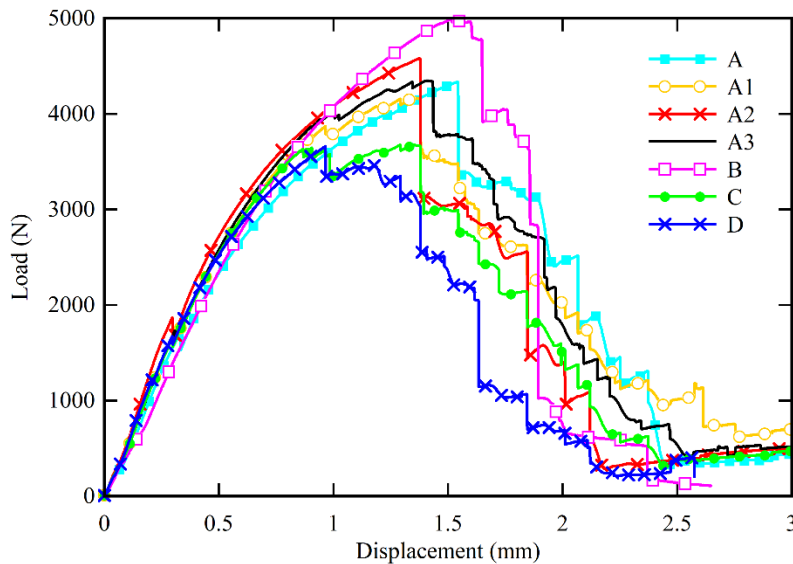


Figure 9. The force-displacement curve in different samples

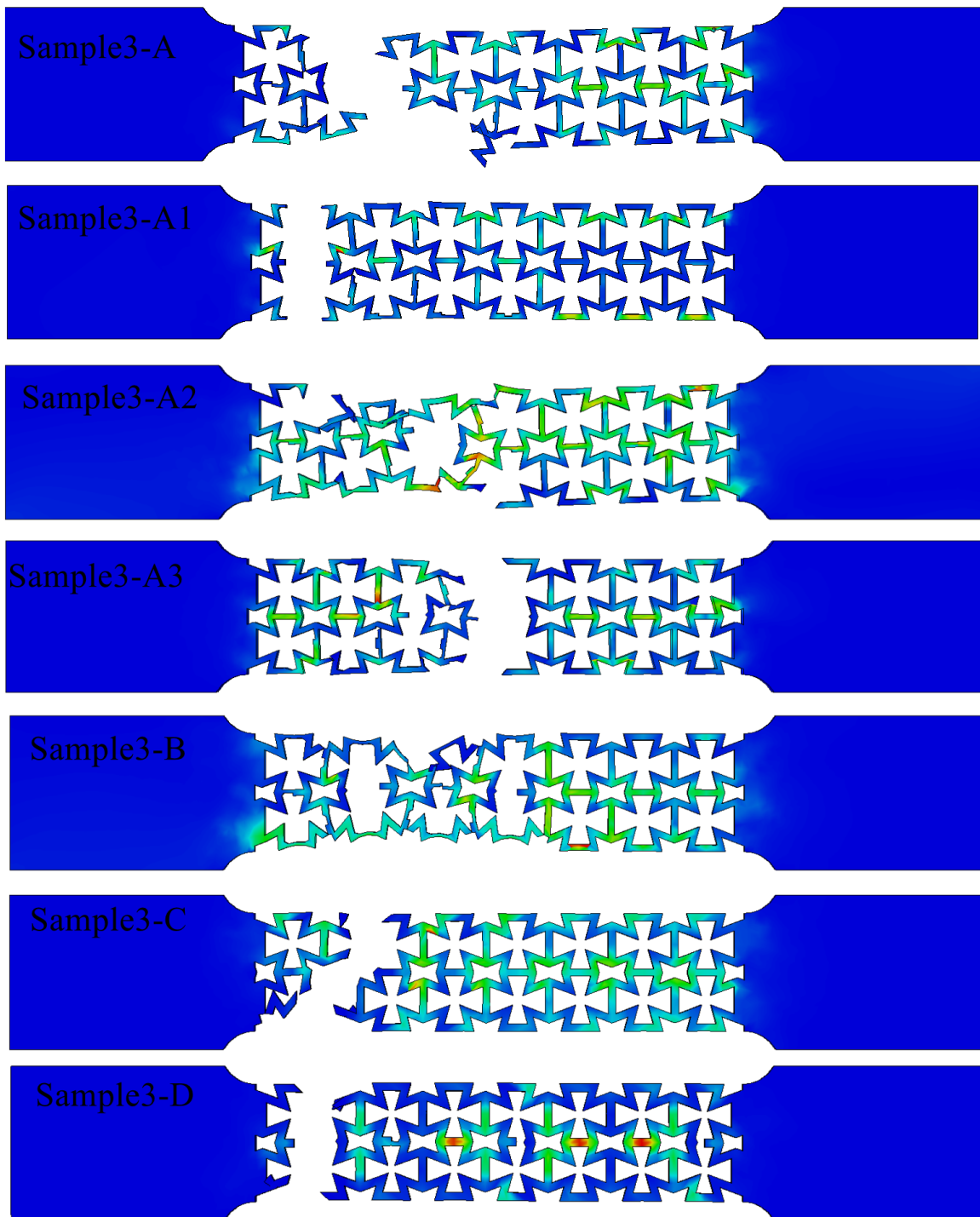


Figure 10. Failure mechanism in six improved samples under investigation

4. CONCLUSION

Additive manufacturing, also known as 3D printing, is a method that, unlike traditional manufacturing methods, shapes the desired piece layer by layer from powder. With the help of this method, it is possible to make parts with complex geometries. Considering the development of the use of this construction method, it is very important to investigate the mechanical behavior of different types of structures produced by this method. The main aim of the current research was to investigate the mechanical behavior of 3D-printed AlSi10Mg auxetic panels using finite element and experimental methods. By simulating the finite element of the auxetic structure in ABAQUS software, the effect of geometric parameters on the tensile behavior of different samples was discussed. The accuracy of the results of the numerical model was checked using the result of the experimental test. Finally, after confirming the accuracy of the model, in order to perform a parametric study and determine the appropriate geometry, the finite element simulation results were used. The force-displacement curves for the auxetic structure presented and obtained from the finite element method and the experimental test showed that the finite element model predicted the tensile failure behavior with good accuracy. The maximum prediction error of the maximum failure force between the finite element model and experimental results was less than 3%.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study was financially supported by Scientific Research Projects Coordination Unit of Bartın University (2021-FEN-B-003).

REFERENCES

- [1] Scarpa, F., Auxetic materials for bioprotheses [In the Spotlight]. IEEE Signal Processing Magazine, 25(5), pp. 128-126, 2008
- [2] Xu, B., Arias, F., Brittain, S.T., Zhao, X.M., Grzybowski, B., Torquato, S. and Whitesides, G.M., Making negative Poisson's ratio microstructures by soft lithography. Advanced materials, 11(14), pp.1186-1189. 1999
- [3] Bezazi, A. and Scarpa, F., Mechanical behaviour of conventional and negative Poisson's ratio thermoplastic polyurethane foams under compressive cyclic loading. International Journal of fatigue, 29(5), pp.922-930, 2007

- [4] Bezazi, A. and Scarpa, F., Tensile fatigue of conventional and negative Poisson's ratio open cell PU foams. *International Journal of Fatigue*, 31(3), pp.488-494, 2009.
- [5] Evans, K.E. and Alderson, A., Auxetic materials: functional materials and structures from lateral thinking!. *Advanced materials*, 12(9), pp.617-628, 2000.
- [6] Grima, J.N., Caruana-Gauci, R., Dudek, M.R., Wojciechowski, K.W. and Gatt, R., Smart metamaterials with tunable auxetic and other properties. *Smart Materials and Structures*, 22(8), p.084016, 2013.
- [7] Grima, J.N., Jackson, R., Alderson, A. and Evans, K.E., Do zeolites have negative Poisson's ratios?. *Advanced Materials*, 12(24), pp.1912-1918, 2000.
- [8] Wang, Y.C. and Lakes, R., Analytical parametric analysis of the contact problem of human buttocks and negative Poisson's ratio foam cushions. *International Journal of Solids and Structures*, 39(18), pp.4825-4838, 2002.
- [9] Ma, Y., Scarpa, F., Zhang, D., Zhu, B., Chen, L. and Hong, J., A nonlinear auxetic structural vibration damper with metal rubber particles. *Smart Materials and Structures*, 22(8), p.084012, 2013.
- [10] Bertoldi, K., Reis, P.M., Willshaw, S. and Mullin, T., Negative Poisson's ratio behavior induced by an elastic instability. *Advanced materials*, 22(3), pp.361-366, 2010.
- [11] Voigt W. *Lehrbuch der Kristallphysik* Teubner; 1928.
- [12] Lakes, R., Foam structures with a negative Poisson's ratio. *Science*, 235(4792), pp.1038-1040, 1987.
- [13] Zhang, J., Lu, G. and You, Z., Large deformation and energy absorption of additively manufactured auxetic materials and structures: A review. *Composites Part B: Engineering*, 201, p.108340, 2020.
- [14] Meena, K. and Singamneni, S., A new auxetic structure with significantly reduced stress concentration effects. *Materials & Design*, 173, p.107779, 2019.
- [15] Ren, X., J. Shen, A. Ghaedizadeh, H. Tian, Y.M. Xie, A simple auxetic tubular structure with tuneable mechanical properties. *Smart Materials and Structures*. 25(6), 065012 (2016).
- [16] Ren, X., Shen, J., Ghaedizadeh, A., Tian, H. and Xie, Y.M., A simple auxetic tubular structure with tuneable mechanical properties. *Smart Materials and Structures*, 25(6), p.065012, 2016.
- [17] Guo, Y., Zhang, J., Chen, L., Du, B., Liu, H., Chen, L., Li, W. and Liu, Y., Deformation behaviors and energy absorption of auxetic lattice cylindrical structures under axial crushing load. *Aerospace Science and Technology*, 98, p.105662, 2020.
- [18] Nedoushan, R.J., Improvement of energy absorption of expanded metal tubular structures



under compressive loads. *Thin-Walled Structures*, 157, p.107058, 2020.

[19] Peixinho, N., Carvalho, O., Areias, C., Pinto, P. and Silva, F., Compressive properties and energy absorption of metal-polymer hybrid cellular structures. *Materials Science and Engineering: A*, 794, p.139921, 2020.

[20] Lee, W., Jeong, Y., Yoo, J., Huh, H., Park, S.J., Park, S.H. and Yoon, J., Effect of auxetic structures on crash behavior of cylindrical tube. *Composite Structures*, 208, pp.836-846, 2019.

[21] Esmaeili, J., Andalibi, K., Gencel, O., Maleki, F. K., Maleki, V. A., Pull-out and bond-slip performance of steel fibers with various ends shapes embedded in polymer-modified concrete. *Construction and Building Materials*, 271, 121531, 2021.

[22] Ghaderi, M., Maleki, V.A. and Andalibi, K., Retrofitting of unreinforced masonry walls under blast loading by FRP and spray on polyurea. *Fen Bilimleri Dergisi (CFD)*, 36(4), 2015.

[23] Esmaeili, J., Andalibi, K. and Gencel, O., Mechanical characteristics of experimental multi-scale steel fiber reinforced polymer concrete and optimization by Taguchi methods. *Construction and Building Materials*, 313, p.125500, 2021.



COMPARISON OF PERFORMANCE OF DIFFERENT N VALUES WITH N-FOLD CROSS-VALIDATION IN A GRAPH-BASED LEARNING MODEL FOR lncRNA-DISEASE PREDICTION

Zeynep BARUT^{1*}, Volkan ALTUNTAŞ²

^{1*,2}Bursa Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Bursa

Abstract

In machine learning, the value of n in the n -fold cross validation method significantly affects the performance of the created model. In some cases, increasing n increases the accuracy, while in some cases it only increases the computational cost. That is, the n value represents the amount of data used to increase the accuracy of the model. However, the accuracy of the model may not increase at the same rate as the value of n increases. In this case, the correct selection of the n value is of great importance. In the studies that have been done, the value of n is usually taken as five or ten because these two values are thought to produce average estimates. However, there is no official rule. It has been observed that few studies have been carried out to use different n values in the training of different models. In this study, various n values (2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 and 10) and four data sets were used with the VGAE LDA model, a model that combines variational inference and graphic autoencoders to determine the relationships between lncRNA and disease. A performance evaluation was performed on the lncRNA-disease model using The obtained results were compared and the most suitable n value for the model was determined. In addition, the missing functions were examined for four data sets and the results were interpreted. In future studies, it is aimed to carry out a more comprehensive study by increasing the number of data sets.

Keywords: Graph Autoencoder, Variational Inference, Representation Learning

IncRNA-HASTALIK TAHMİNİ İÇİN GRAPH TABANLI BİR ÖĞRENME MODELİNDE N-FOLD CROSS-VALIDATION İLE FARKLI N DEĞERLERİNİN PERFORMANSININ KARŞILAŞTIRILMASI

Öz

Makine öğrenmesinde, n-katlı çapraz doğrulama yöntemindeki n değeri, oluşturulan modelin performansını önemli ölçüde etkilemektedir. Bazı durumlarda n'nin artması doğruluğu artırırken bazı durumlarda sadece hesaplama maliyetini arttırmaktadır. Yani n değeri, modelin doğruluğunu artırmak için kullanılan veri miktarını temsil eder. Ancak, n değeri arttıkça modelin doğruluğu aynı oranda artmayabilir. Bu durumda n değerinin doğru seçilmesi büyük önem taşır. Yapılmış olan çalışmalarda genellikle n değeri beş veya on alınmaktadır çünkü bu iki değer ortalama tahminler ürettiği düşünülmektedir. Ancak resmi bir kural yoktur. Farklı modellerin eğitiminde farklı n değerlerinin kullanılması için az sayıda çalışma yapıldığı görülmüştür. Bu çalışmada, IncRNA ve hastalık arasındaki ilişkileri belirlemek için varyasyonel çıkarım ve grafik autoencoder'ları birleştiren bir model olan VGAE LDA modeli ile çeşitli n değerleri (2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 ve 10) ve dört veri seti kullanılarak IncRNA-hastalık modeli üzerinde bir performans değerlendirilmesi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve model için en uygun n değeri belirtilmiştir. Ayrıca kayıp fonksiyonlar dört veri seti için incelenerek sonuçlar yorumlanmıştır. Gelecekte yapılacak olan çalışmalarda veri seti sayısının artırılması ile daha geniş kapsamlı bir çalışma yapılması hedeflenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Graf Otomatik Kodlayıcı, Varyasyonel Çıkarım, Temsil Öğrenimi

1. INTRODUCTION

IncRNA (Long non-coding Ribonucleic acid) is RNA consisting of many nucleotides and non-coding, functioning through biochemical mechanisms. It is linked to many human diseases, as it has various biological tasks, such as the regulation of gene expressions. For example, because it has a tumor suppressive function, it causes the onset of cancer in humans [1]. MiRNA (Micro RNA) is a class of short IncRNA molecules. Although miRNAs are small, they are important regulators of gene expression associated with a variety of cellular processes. For this reason, changes in miRNAs have been associated with a number of diseases such as cancer, epidemics, and immune system-related diseases [2]. Sun et al. [3] found in their study that MEG3(Maternally Expressed Gene 3), a gene that encodes an IncRNA associated with many cancer types, forms gastric cancer cells. According to Faghihi et al. [4] found in their study that IncRNA BACE1 (Beta-site Amyloid precursor protein Cleaving Enzyme 1) causes Alzheimer's. Therefore, the

relationships between lncRNA and disease should be examined in more detail in order to find solutions to diseases more easily.

For this purpose, machine learning methods can be examined in three approaches. In the first approach, matrix analysis is used. Matrix analysis is divided into manifold editing and matrix completion. In their study, Chen and Yan [5] proposed the LRLSLDA (Laplacian Regularized Least Squares for LncRNA–Disease Association) tool, which applies LRLS (Laplacian Regularized Least Square) by creating graphs to determine the relationships between lncRNA and disease. Lu et al. [6] proposed a matrix completion based method, SIMCLDA (Speedup Inductive Matrix Completion LncRNA–Disease Association), to determine the relationships between lncRNA and disease. In the second approach, features of different nature are combined. Lan et al. [7] in their study, an application was created to determine the disease by combining the characteristics of lncRNA and diseases. In the third approach, the graph autoencoder model was used for representative learning of lncRNA and disease characteristics. Xuan et al. [8] used convolutional and graph neural networks together to determine the relationships between lncRNA and disease. Wu et al. [9] used graph autoencoder to determine the relationships between lncRNA and disease. Tamilarasi and Rani [10] tried to obtain the best n value in the cross validation method with different machine learning methods on crime data. As a result of the study, it was seen that KNN had better performance than other methods trained with the same n value. Jung et al. [11] used artificial neural network-based models to accurately predict nitrate loads in river basins. The accuracy of various n values for the training of artificial neural networks has been investigated. As a result of the study, it was seen that the use of $n = 10$ had better performance when looking at the overall data sets. In the literature, it seems that $n = 10$ is more common than other values, but there is no official rule. However, several studies have extensively investigated how different n -fold values affect validation results in various machine learning methods tested with a dataset with available numerical properties [12,13,14]. In this study, the VGAELDA (Variational Graph Autoencoders LncRNA–Disease Association) model, which uses variable inference and graph autoencoder together, was used to determine the relationships between lncRNA and disease. This model is divided into two as Variational Graph Autoencoder and Graph Autoencoder. These autoencoder types are trained with a variable maximization algorithm. These methods increase the

predictive ability of the created model. In the study, four different data sets were used to find the appropriate n value [15,16, 17]. Other studies in the literature using graph neural network-based computational methods to predict relationships between IncRNA-disease are summarized in Table 1. When the studies were examined, it was seen that the studies in which different n-fold cross validation values were compared for different data sets were not sufficient in the studies performed to predict the relationships between the unknown IncRNA-disease. In this study, n values between 2 and 10 were examined for 4 different data sets, contributing to the literature.

Table 1. Graph neural network-based computational methods [18].

Method	Description	N Value	Source Code
GCNLDA [8]	A novel method based on graph convolution and convolutional neural network	5	Unavailable
GAERF [19]	A computational method based on graph autoencoder and random forest	5	Unavailable
MLGCNET [20]	A framework using multi-layer aggregation graph convolutional network and extra trees	5	https://github.com/QingWu/MLGCNET
MGATE [21]	A method using multi channel graph attention autoencoder	5	https://github.com/sheng-n/MGATE
GANLDA [22]	An end-to-end computational model based on graph attention network	10	Unavailable
GTAN [23]	A novel method based on graph neural network with attribute level attention mechanisms and multilayer convolutional neural networks	5, 10, 20	Unavailable
GAMCLDA [9]	A computational framework based on graph autoencoder matrix completion	10	Unavailable
GCRFLDA [24]	A method using graph convolutional matrix completion with conditional random field and attention mechanism	5	https://github.com/jademyC1221/GCRFLDA
HGATLDA [25]	A heterogeneous graph attention network framework based on meta-paths	5	Unavailable

2. MATERIAL AND METHOD

2.1. Graph Semi Supervised Learning

This method is a type of semi-supervised learning using labeled and unlabeled data. This method tries to extract the label information of the unlabeled data from the data in the graph structure. It is used in many applications where a large number of unlabeled samples are obtained, although there are few labeled samples. The manifold assumption is used for the method. In the manifold assumption, samples located close together on a low-dimensional manifold share similar label. This assumption is used to construct the graph structure. The graph structure creates a graph where the nodes specify the samples and the weighted edges indicate the similarity between the nodes. This method of constructing graphs shows that nodes associated with weighted edges tend to have similar labels, in accordance with the manifold assumption. It tries to find the tags of unlabeled samples by making use of tagged samples. For example, the labels of the nodes associated with the labels of the labeled samples can be similarly predicted. These methods are important because of the abundance of unlabeled data and often reduce the need for data labeling and aid in a better understanding of datasets [26].

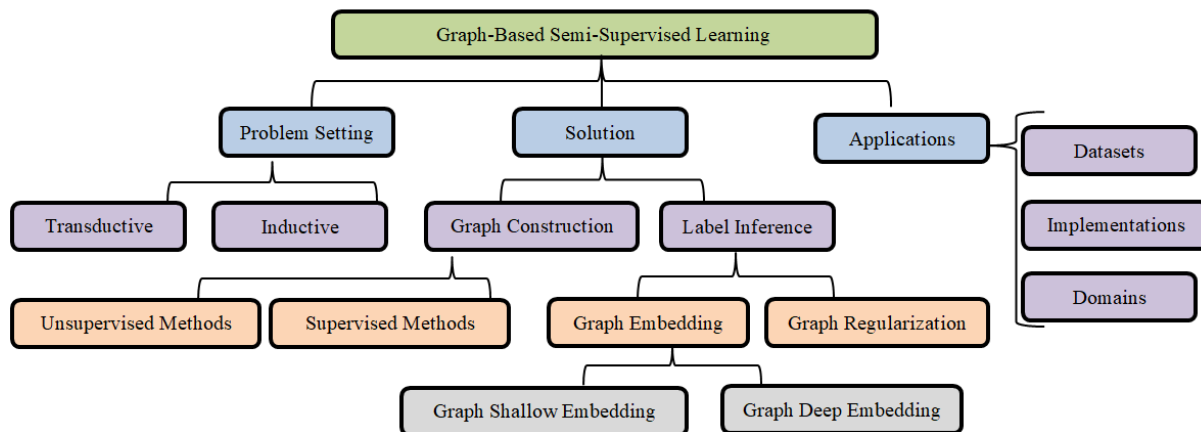


Figure 1. General structure of Graph semi-supervised learning

This method is classified as in Figure 1. A similarity graph is created, and label extraction is done using this graph. Label extraction is difficult to do, it is divided into two as graphic editing methods

and graphic embedding methods. Graphical editing methods create a framework with the loss function, while graphic embedding methods create a new unified representation with the encoder-decoder framework [26].

2.2. Graph Markov Neural Networks

This method models the distribution of object labels with a field that can be trained using the variational EM (Expectation Maximization) algorithm. It combines statistical relational learning methods and graph neural networks. Useful representations for predicting object tags are learned and dependencies between object tags are modeled. In stage E, the graph neural network learns object representations to approximate distributions of object labels, while in stage M, a different graph neural network is available to model the label dependence. Studies on object classification, connection classification and unsupervised node representation learning have shown that the use of neural network method is advantageous. The general structure of the neural network is given in Figure 2. Yellow and gray squares indicate labeled and unlabeled objects. Graph markov neural networks are trained by switching between stages E and M [27].

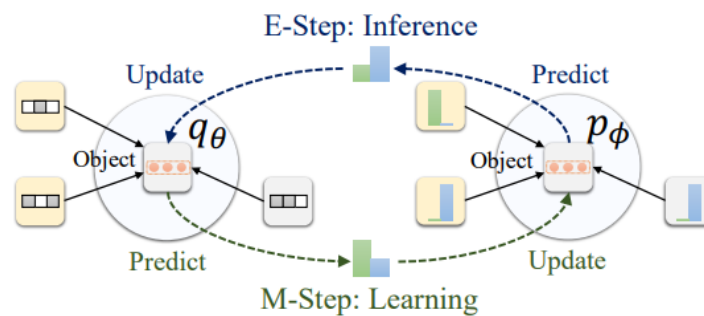


Figure 2. General structure of graph markov neural networks [27].

2.3. Geometric Matrix Completion

Models in this method are commonly used in recommendation systems and have the advantage of storing relationships between users and items with the help of graphs. However, the number of parameters to be learned in these models varies according to the number of users and items. The geometric matrix completion method proposes using geometric deep learning on graphs to

overcome this limitation. This method uses a multi-graph convolutional neural network that learns the graph structures of the elements, and a recurrent neural network that implements a learnable spread in the matrix. This structure always requires the same number of parameters regardless of the matrix size, so it is convenient in terms of the number of operations that will occur [28].

2.4. Graph Autoencoder

This method is an embedding method that maps graph data to a low-dimensional space and reduces computational cost. It is a neural network that transforms the input data into a representation and reconstructs it from the encoder's output. This neural network structure uses graph neural network as input data. This method is widely used as it shows great potential in size reduction. It consists of two parts, encoder and decoder. Figure 3 shows the model of a graph autoencoder and a graph autoencoder built with a graph neural network. Input data is generated with the encoder. The decoder can regenerate the initial input data. The decoder in the given model is a graph neural network [29].

2.5. N-Fold Cross-Validation

N-fold cross-validation is a method used to evaluate machine learning models. This method divides the dataset into n-folds and in each iteration, one is used as the test set and the remainder as the training set. These steps are repeated until the data set is fully evaluated. This method is used to evaluate the accuracy and general validity of machine learning models. In this way, it can be understood whether the predictions of the models are specific to the data set and more reliable results can be obtained. The general structure of the method is shown in Figure 4 [30].

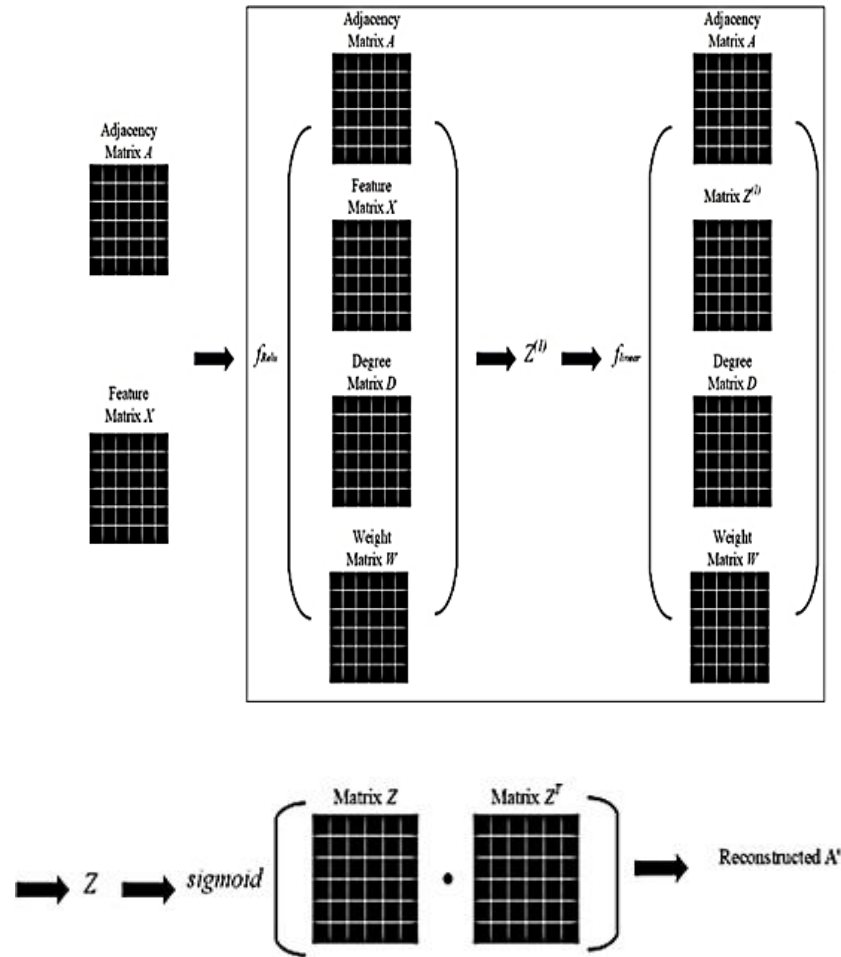


Figure 3. An autoencoder model based on Graph neural network [29].

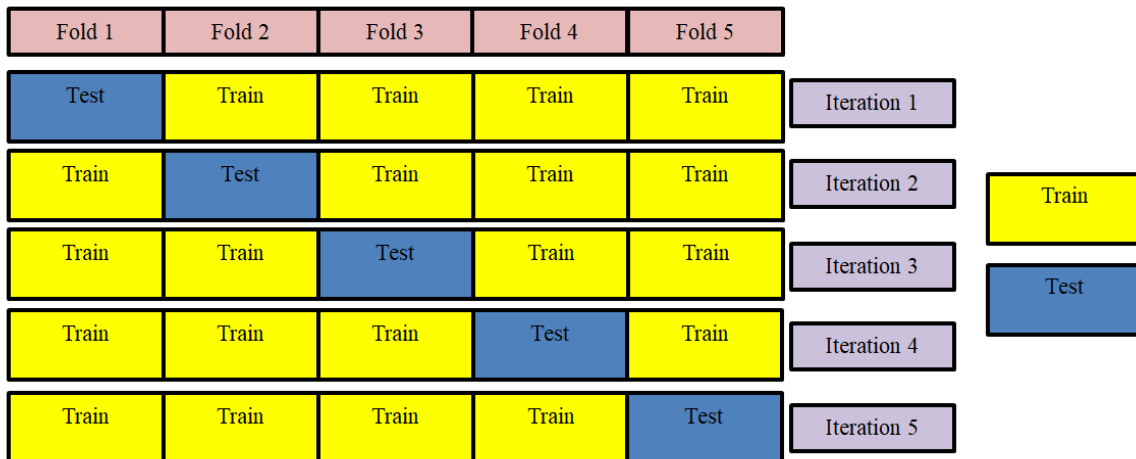


Figure 4. N-fold cross-validation general structure

2.6. VGAELDA

Graph semi-supervised learning is a learning method that aims to learn the relationships between features in the dataset. This method represents a dataset as a graph and aims to learn the relationships between nodes and edges on the graph. This method may yield better results than other methods for detecting similarities between features because graphs can more directly represent relationships between features in a dataset. VGAELDA is designed to solve the graph semi-supervised learning problem. With this model, a representation learning model was created by combining feature extraction and tag propagation networks and trained with a variational EM algorithm using variable inference and graph Markov neural networks. GNNq (Graph Neural Networks q), is a neural network model that utilizes the structure of a graph to extract features from it, it is called a variational graph autoencoder. On the other hand, GNNp (Graph Neural Networks p), is another neural network model that uses the graph's structure to propagate tags through it, it is referred to as a graph autoencoder. Both GNNq and GNNp are designed to operate on graphs, but they have different functions and purposes. While generating low-dimensional representations in the feature extraction stage, GNNp is determined and GNNq is trained with high-dimensional features. In the tag propagation stage, GNNq is determined, and the IncRNA-disease matrix is given as input to GNNp for training. These stages are performed continuously. The structure of the model used in the study is given in Figure 5 and the algorithm of the model is given in Figure 6. The hidden vector size of the model was determined as 256, the size of the IncRNA embedding vectors was 300, and the epoch value was 500 [16].

The EM algorithm is applied continuously until the GNNq/GNNp losses are minimized. As given in Equation 1, the GNNq loss function (L_{sq}) is calculated by the reconstruction error L_{qr} and the KL deviation L_{KL} . IncRNA features have a Gaussian distribution, and the reconstruction error is calculated as given in Equation 2. Disease characteristics have a Bernoulli distribution and are calculated as given in Equation 3. KL deviation loss is calculated as given in Equation 4. GNNp loss function (L_{sp}) is calculated with reconstruction error and manifold loss as given in Equation 5. The reconstruction error given in Equation 6 is calculated by the cross-entropy of the estimated and actual labels [16].

$$L_q = L_{qr} + L_{KL} \tag{1}$$

$$L_{qr} = \frac{1}{2} \|X - \hat{X}\|_F^2 \tag{2}$$

$$L_{qr} = - \sum_{i,j} X_{i,j} \log \hat{X}_{ij} \tag{3}$$

$$L_{KL} = - \sum_{i,j} \frac{1}{2} (1 + 2 \log \sigma_{ij} - \mu_{ij}^2 - \sigma_{ij}^2) \tag{4}$$

$$L_p = L_{pr} + \gamma L_m \tag{5}$$

$$L_{pr} = - \sum_{i,j} Y_{ij} \log F_{ij} \tag{6}$$

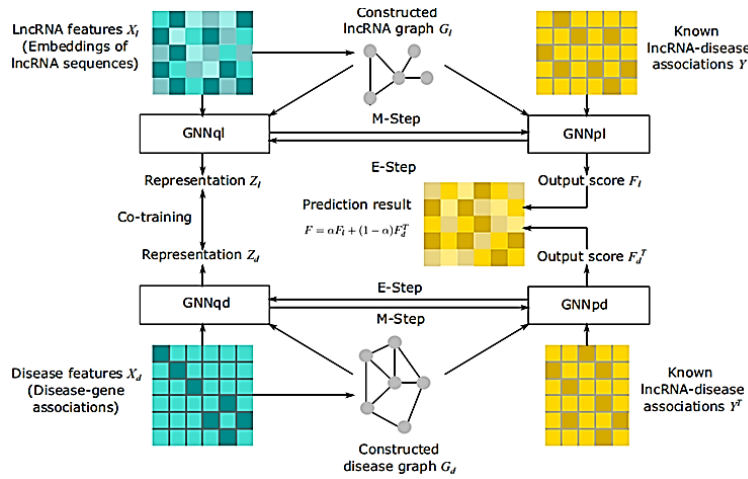


Figure 5. Structure of the VGAELDA model [16].

Algorithm 1 VGAELDA Algorithm

Input: lncRNA features X_l , disease features X_d , initial association matrix Y , parameter α, β, γ
Output: score matrix F

- 1: Construct graph G_l and G_d through Eq. (16), from lncRNA features X_l and disease features X_d respectively
- 2: **repeat**
- 3: $X'_l, Z'_l \leftarrow \text{GNNql}(G_l, X_l)$
- 4: $F_l, Z'_l \leftarrow \text{GNNpl}(G_l, Y)$
- 5: $X'_d, Z'_d \leftarrow \text{GNNqd}(G_d, X_d)$
- 6: $F_d, Z'_d \leftarrow \text{GNNpd}(G_d, Y^T)$
- 7: Compute L_{ql} and L_{qd} through Eq. (17) respectively
- 8: Compute L_{pl} and L_{pd} through Eq. (21) respectively
- 9: Compute co-training loss L_c through Eq. (24) // train GNNql and GNNqd collaboratively
- 10: $L_q \leftarrow \alpha L_{ql} + (1 - \alpha) L_{qd} + \beta L_c$ // Eq. (25)
- 11: $L_p \leftarrow \alpha L_{pl} + (1 - \alpha) L_{pd}$ // Eq. (26)
- 12: Update the weights of GNNql, GNNpl, GNNqd and GNNpd, by optimizing L_q and L_p alternately // train GNNq and GNNp alternately via variational EM algorithm
- 13: **until** Convergence
- 14: $F \leftarrow \alpha F_l + (1 - \alpha) F_d^T$ // Eq. (28)
- 15: **return** F

Figure 6. The algorithm of the VGAELDA model [16].

Four different data sets were used in the study. Dataset 1 is an lncRNA-disease association dataset containing 540 associations between 115 lncRNAs and 178 diseases. This dataset was collected from the LncRNADisease Database [31]. Dataset 2 is an lncRNA-disease association dataset containing 2697 associations between 240 lncRNAs and 412 diseases. This data set was also collected from the LncRNADisease Database [31]. Dataset 3 includes 240 lncRNAs, 495 miRNAs, and 412 diseases. This dataset comes from Fu et al.'s study of lncRNA–Disease Association prediction [32]. Dataset 4 is a miRNA-disease association dataset containing 4264 associations between 348 miRNAs and 210 diseases. This dataset was downloaded from the HMDD v3.0 database [33]. The methods described in the study were developed using the Python programming language and implemented in the PyCharm integrated development environment. The choice of n value for cross validation significantly affects the performance of the determined model. Studies suggest choosing values of 5, 10 or 20 because it is generally preferable to use more models for training purposes [34]. For this reason, the value of n was chosen between 2 and 10 for the study.

3. RESULTS AND DISCUSSION

In this study, various n values in cross validation were compared and the results were examined. An attempt has been made to find the appropriate n value that provides better prediction accuracy and AUROC/AUPR. For the study, calculations were made with 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 and 10 n values. While the receiver operating characteristic (ROC) curve is created with TPR (True Positive Rate) and FPR (False Positive Rate), the area under the ROC curve (AUROC) and the area under the Precision-recall curve (AUPR) are the methods used to show the success of the model. A n value with the highest cross validation values for AUROC and AUPR and not too computational complexity is accepted as the most appropriate n value. The results for different n values are given in Table 2. Looking at the majority of datasets, $n=10$ outperformed all other n -values. In data set 1, it was observed that there was an increase in AUROC from $n=2$ to $n=7$, a decrease in $n=8$ and an increase in $n=9,10$ values again. A sustained increase was observed for AUPR. In data set 2, it was observed that there was an increase from $n=2$ to $n=5$ for AUROC and AUPR, a decrease in $n=6$ and an increase again in values from $n=7$ to 10. In data set 3, it was observed that there was an increase from $n=2$ to $n=7$ for AUROC and AUPR, a decrease in $n=8$ and an increase in $n=9,10$

values again. In data set 4, it was observed that there was an increase from $n=2$ to $n=7$ for AUROC and AUPR, decreases in $n=8$ and 10 values, but increased again in $n=9$ values. The values of Lossp and Lossq loss functions are given in Table 3. Looking at the missing functions for the four data sets, $n=5, 6$ and 9 values for Lossp in Dataset 1, $n=2, 4$ and 10 values for Lossq, $n=7, 8$ and 9 values for Lossp in Dataset 2, $n=2, 3$ and 10 for Lossq, $n=4, 6$ and 9 for Loss in Dataset 3, $n=2, 4$ and 10 for Lossq, $n=6$ for Lossp in Dataset 4, It was seen that it gave low results at 8 and 9 values, and $n=2, 3$ and 10 values for Lossq. Execution time values are given in Table 4. Looking at the execution time for the four datasets, it is seen that the seconds value increases as the n value increases, except for the $n=6$ and $n=10$ values in Dataset 1. Except for the $n=8$ value in Dataset 2, it was observed that the seconds value increased as the n value increased. Except for the $n=10$ value in Dataset 3, it was observed that the seconds value increased as the n value increased. In Dataset 4, it was observed that the seconds value increased as the n value increased. ROC and PR curves of Dataset 1, Dataset 2, Dataset 3 and Dataset 4 from $n=2$ to $n=10$ are given in Figure 7, Figure 8, Figure 9 and Figure 10, respectively. The blue line represents the ROC curve and the orange line the PR curve. Performance results of datasets with various n values show that n is not generalizable for the VGAELDA model. Therefore, it shows that the performance of a model with different n -fold cross-validation values is determined by many components related to model structure and complexity, and the grade and number of dataset used. Studies show that a better prediction model can be created by increasing the prediction accuracy of the cross-validation algorithm.

Table 2. AUROC and AUPR results for different n values

N values for Cross Validation	Dataset 1		Dataset 2		Dataset 3		Dataset 4	
	AUROC	AUPR	AUROC	AUROC	AUPR	AUPR	AUROC	AUPR
N=2	0.7593	0.4494	0.7403	0.4042	0.7138	0.3585	0.7608	0.5770
N=3	0.8890	0.6882	0.8506	0.6523	0.8066	0.5253	0.8483	0.7123
N=4	0.9122	0.7360	0.9211	0.7661	0.8564	0.6021	0.9069	0.8146
N=5	0.9631	0.8449	0,9584	0,8580	0.9229	0.6959	0.9300	0.8487
N=6	0.9664	0.8689	0.9336	0.8283	0.9367	0.7216	0.9350	0.8693
N=7	0.9665	0.8707	0.9729	0.8894	0.9455	0.7511	0.9607	0.9015
N=8	0.9648	0.8747	0.9748	0.8954	0.9326	0.7505	0.9570	0.8961
N=9	0.9758	0.9019	0.9785	0.9021	0.9512	0.7581	0.9696	0.9180
N=10	0.9770	0.9046	0.9898	0.9343	0.9694	0.8111	0.9634	0.9171

Table 3. Lossp and Lossq results for different n values

N values for Cross Validation	Dataset 1		Dataset 2		Dataset 3		Dataset 4	
	Lossp	Lossq	Lossp	Lossq	Lossp	Lossq	Lossp	Lossq
N=2	0.2332	0.0769	0.2672	0.0779	0.2770	0.0745	0.2266	0.0158
N=3	0.1706	0.0919	0.2469	0.0903	0.2648	0.0904	0.2178	0.0134
N=4	0.1802	0.0873	0.2483	0.1033	0.2349	0.0850	0.2107	0.0313
N=5	0.1690	0.1015	0.2296	0.1097	0.2642	0.1015	0.2110	0.0288
N=6	0.1586	0.0970	0.2088	0.1242	0.2370	0.0925	0.2074	0.0365
N=7	0.1755	0.1058	0.1951	0.1311	0.2588	0.1014	0.2078	0.0427
N=8	0.1703	0.1084	0.1953	0.1413	0.2591	0.1043	0.1926	0.0614
N=9	0.1637	0.0999	0.1957	0.1502	0.2543	0.0971	0.2009	0.0556
N=10	0.1883	0.0785	0.2211	0.0809	0.2906	0.0793	0.2414	0.0213

Table 4. Execution time results for different n values

	Dataset 1	Dataset 2	Dataset 3	Dataset 4
N values for Cross Validation	Execution Time (seconds)	Execution Time (seconds)	Execution Time (seconds)	Execution Time (seconds)
N=2	55.6821	346.2108	61.0048	60.6895
N=3	84.6763	533.7133	102.6874	90.3744
N=4	117.1502	754.4565	124.5229	127.4893
N=5	179.1467	965.4385	146.4717	160.9431
N=6	176.5914	1395.0183	205.6096	207.4925
N=7	208.4421	1488.4724	224.7853	213.0182
N=8	238.8682	1448.2642	269.3764	376.0928
N=9	583.8292	1564.2915	296.0036	420.0812
N=10	420.2618	1875.5056	282.5071	500.3574

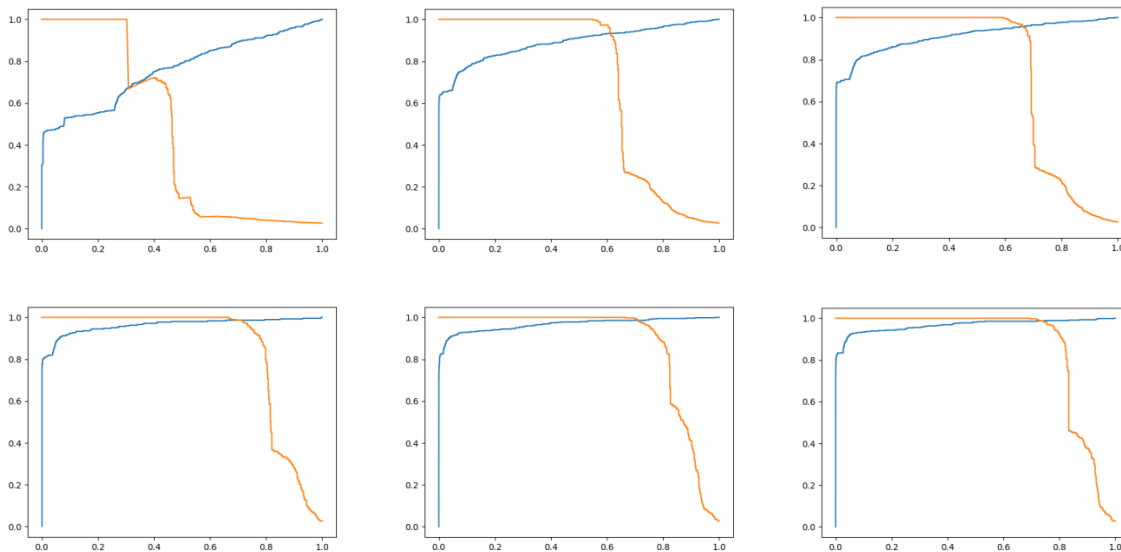


Figure 7. Plot graph results of different n values for Dataset 1 (continuing)

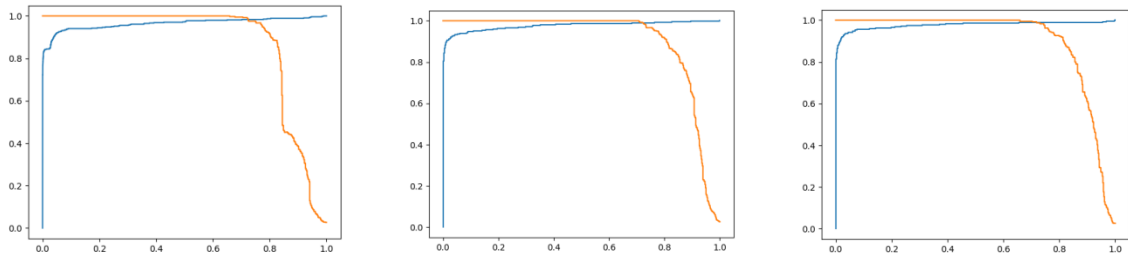


Figure 7. Plot graph results of different n values for Dataset 1

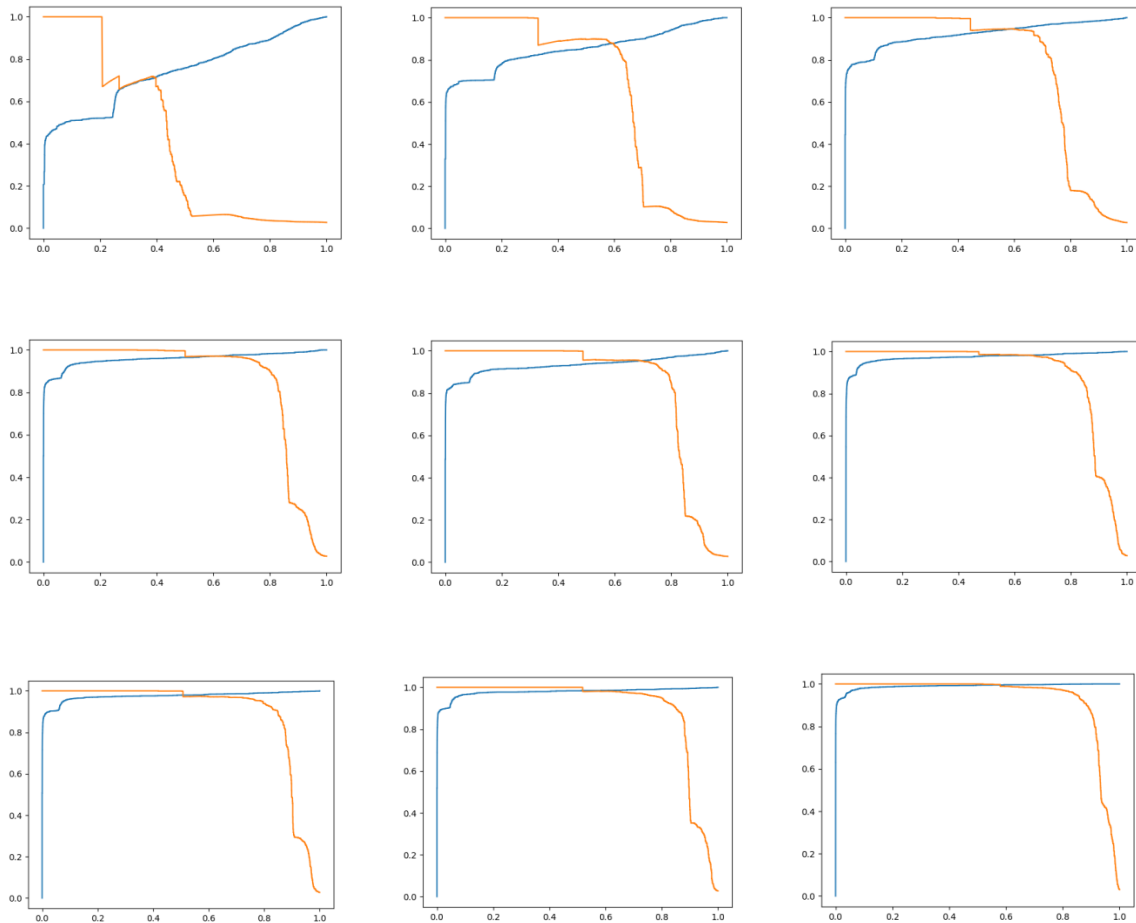


Figure 8. Plot graph results of different n values for Dataset 2

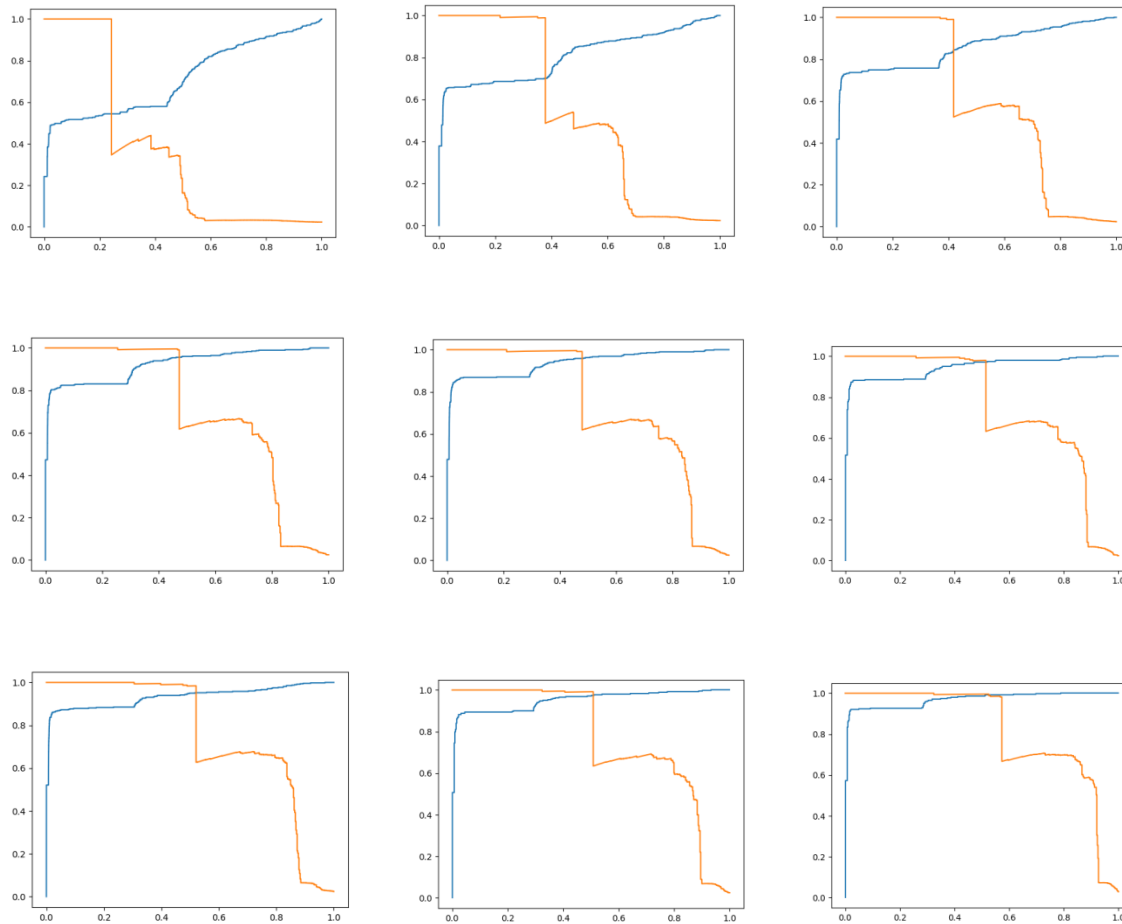


Figure 9. Plot graph results of different n values for Dataset 3

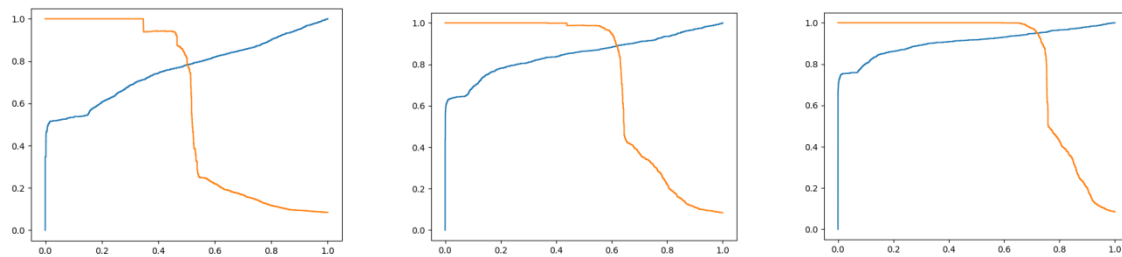


Figure 10. Plot graph results of different n values for Dataset 4 (continuing)

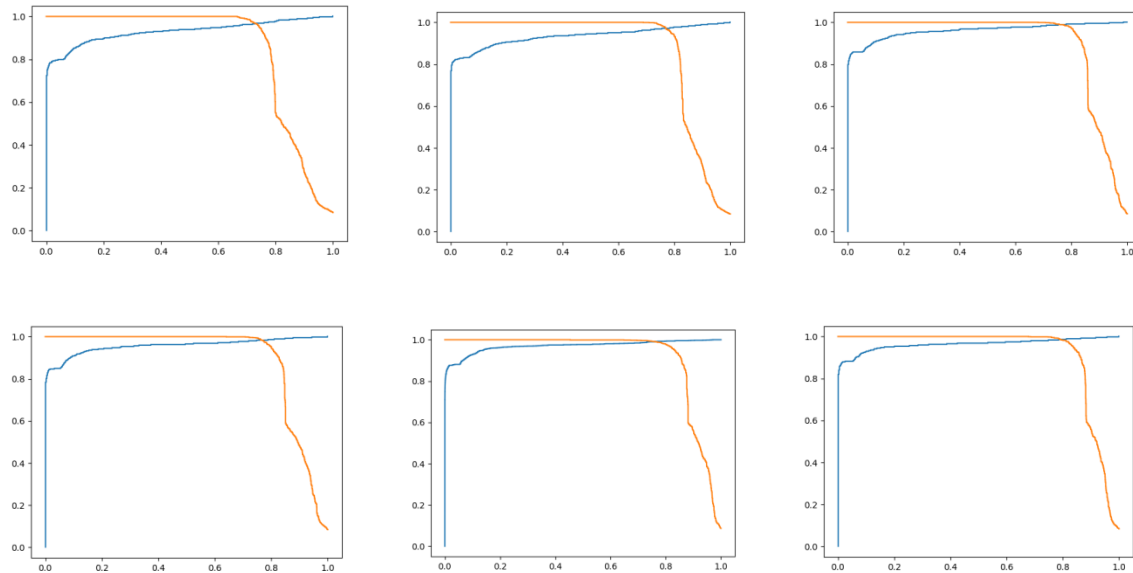


Figure 10. Plot graph results of different n values for Dataset 4

4. CONCLUSION

In this study, the VGAE LDA model, a model that combines variational inference and graphic autoencoders, was used to determine the relationships between lncRNA and disease. In the study, the performance of various n values (2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 and 10) in n-fold cross-validation on different data sets was investigated. The performance values of the model for the same classification task differ from one dataset to another. In the study, when the majority of the data sets are examined, the n=10 value outperformed all other n values. When the missing functions are examined for the four data sets, it is seen that they generally give low results for the values of n=2, 8 and 10. In addition, when the data sets are examined in general, it is seen that the execution time increases as the n value increases. In some cases, an increase in n increases the accuracy, while in some cases it only increases the computational cost. When the n value is increased, the accuracy of the model does not increase at the same rate. Because of these situations, choosing the n value is important because a small n value has little variance, is easy to calculate, and has high bias. But a large n value is difficult in terms of complexity, has high variance, low bias. Therefore, the size of each data set must be appropriate for the n-value to provide an accurate estimate of the model's

performance. In order to find the most appropriate n value in improving the accuracy, it would be appropriate to work with various n values on a specific data set and model.

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

REFERENCES

- [1] Coşan, D.T., Yağcı, E., Kurt, H., Epigenetikten Kanser Uzanan Çizgiler: Uzun Kodlamayan RNA'lar. *Osmangazi Journal of Medicine*, 40(3), S 114-121, 2018.
- [2] Karaarslan, Z. Ö., Serin, M. S., Hastalıkların tanı ve tedavi stratejilerinde miRNA ve diğer non-protein-coding RNA'lar. *Mersin Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 9(3), S 159-172, 2016.
- [3] Sun, M., Xia, R., Jin, F., Xu, T., Liu, Z., De, W., Liu, X., Downregulated long noncoding RNA MEG3 is associated with poor prognosis and promotes cell proliferation in gastric cancer. *Tumor Biology*, 35(2), S 1065-1073, 2014.
- [4] Faghihi, M.A., Modarresi, F., Khalil, A.M., Wood, D.E., ahagan, B.G., Morgan, T.E., Finch, C.E., Laurent, G., Kenny, P.J., Wahlestedt, C., Expression of a noncoding RNA is elevated in Alzheimer's disease and drives rapid feed-forward regulation of β -secretase. *Nature medicine*, 14(7), S 723-730, 2008.
- [5] Chen, X., Yan, G. Y., Novel human lncRNA–disease association inference based on lncRNA expression profiles. *Bioinformatics*, 29(20), S 2617-2624, 2013.
- [6] Lu, C., Yang, M., Luo, F., Wu, F.X., Li, M., Pan, Y., Li, Y., Wang, J., Prediction of lncRNA–disease associations based on inductive matrix completion. *Bioinformatics*, 34(19), S 3357-3364, 2018.
- [7] Lan, W., Li, M., Zhao, K., Liu, J., Wu, F. X., Pan, Y., Wang, J., LDAP: a web server for lncRNA-disease association prediction. *Bioinformatics*, 33(3), S 458-460, 2017.
- [8] Xuan, P., Pan, S., Zhang, T., Liu, Y., Sun, H., Graph convolutional network and convolutional neural network based method for predicting lncRNA-disease associations. *Cells*, 8(9), 1012, 2019.
- [9] Wu, X., Lan, W., Chen, Q., Dong, Y., Liu, J., & Peng, W., Inferring lncRNA-disease associations based on graph autoencoder matrix completion. *Computational Biology and Chemistry*, 87, 107282, 2020.
- [10] Tamilarasi, P., Rani, R., Diagnosis of crime rate against women using k-fold cross validation through machine learning. In *2020 Fourth International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC)*, S 1034-1038, 2020.



- [11] Jung, K., Bae, D. H., Um, M. J., Kim, S., Jeon, S., Park, D., Evaluation of nitrate load estimations using neural networks and canonical correlation analysis with k-fold cross-validation. *Sustainability*, 12(1), 400, 2020.
- [12] Fang, L., Liu, S., Huang, Z., Uncertain Johnson–Schumacher growth model with imprecise observations and k-fold cross-validation test. *Soft Computing*, 24(4), S 2715-2720, 2020.
- [13] Wayahdi, M. R., Syahputra, D., Ginting, S. H. N., Evaluation of the K-Nearest Neighbor Model With K-Fold Cross Validation on Image Classification. *INFOKUM*, 9(1), S 1-6, 2020.
- [14] Marcot, B. G., Hanea, A. M., What is an optimal value of k in k-fold cross-validation in discrete Bayesian network analysis?, *Computational Statistics*, 36(3), S 2009-2031, 2021.
- [15] Yao, D., Zhan, X., Zhan, X., Kwoh, C. K., Li, P., Wang, J., A random forest based computational model for predicting novel lncRNA-disease associations. *BMC bioinformatics*, 21(1), S 1-18, 2020.
- [16] Shi, Z., Zhang, H., Jin, C., Quan, X., & Yin, Y., A representation learning model based on variational inference and graph autoencoder for predicting lncRNA-disease associations. *BMC bioinformatics*, 22(1), S 1-20, 2021.
- [17] Zhang, G., Li, M., Deng, H., Xu, X., Liu, X., Zhang, W., SGNNMD: signed graph neural network for predicting deregulation types of miRNA-disease associations. *Briefings in Bioinformatics*, 23(1), 2022.
- [18] Sheng, N., Huang, L., Lu, Y., Wang, H., Yang, L., Gao, L., Xie, X., Fu, Y., Wang, Y., Data resources and computational methods for lncRNA-disease association prediction. *Computers in Biology and Medicine*, 2023.
- [19] Wu, Q.-W., Xia, J.-F., Ni, J.-C., Zheng, C.-H., GAERF: predicting lncRNA-disease associations by graph auto-encoder and random forest. *Briefings Bioinf*, 22(5), 2021.
- [20] Wu, Q. W., Cao, R. F., Xia, J. F., Ni, J. C., Zheng, C. H., Su, Y. S., Extra Trees Method for Predicting lncRNA-Disease Association Based On Multi-Layer Graph Embedding Aggregation. *IEEE/ACM transactions on computational biology and bioinformatics*, 19(6), S 3171–3178, 2022.
- [21] Sheng, N., Huang, L., Wang, Y., Zhao, J., Xuan, P., Gao, L., Cao, Y., Multi-channel graph attention autoencoders for disease-related lncRNAs prediction. *Briefings in bioinformatics*, 23(2), 2022.
- [22] Lan, W., Wu, X., Chen, Q., Peng, W., Wang, J., Chen, Y.-P., GANLDA: graph attention network for lncRNAdisease associations prediction. *Neurocomputing*, 469, S 384–393, 2022.
- [23] Xuan, P., Zhan, L., Cui, H., Zhang, T., Nakaguchi, T., Zhang, W., Graph triple-attention network for disease-related lncRNA prediction. *IEEE journal of biomedical and health informatics*, 26(6), S 2839–2849.



- [24] Fan, Y., Chen, M., Pan, X., GCRFLDA: scoring lncRNA-disease associations using graph convolution matrix completion with conditional random field. *Briefings in bioinformatics*, 23(1), 2021.
- [25] Zhao, X., Zhao, X., Yin, M., Heterogeneous graph attention network based on metapaths for lncRNA-disease association prediction. *Briefings in bioinformatics*, 23(1), 2021.
- [26] Song, Z., Yang, X., Xu, Z., & King, I., Graph-based semi-supervised learning: A comprehensive review. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, S 21, 2022.
- [27] Qu, M., Bengio, Y., Tang, J., Gmn: Graph markov neural networks, In *International conference on machine learning*, Long Beach, California, PMLR 97, S 5241-5250, 2019.
- [28] Monti, F., Bronstein, M., Bresson, X., Geometric matrix completion with recurrent multi-graph neural networks. *Advances in neural information processing systems*, 30, 2017.
- [29] Wang, Y., Xu, B., Kwak, M., Zeng, X., A simple training strategy for graph autoencoder. In *Proceedings of the 2020 12th International Conference on Machine Learning and Computing*, S 341-345, 2020.
- [30] Nti, I. K., Nyarko-Boateng, O., Aning, J., Performance of Machine Learning Algorithms with Different K Values in K-fold Cross-Validation. *Inter. J. Info. Technol. Comp. Sci.*, 13, S 61-71, 2021.
- [31] Chen, G., Wang, Z., Wang, D., Qiu, C., Liu, M., Chen, X., Zhang, Q., Yan, G., Cui, Q., LncRNADisease: a database for long-non-coding RNA-associated diseases. *Nucleic acids research*, 41(Database issue), S D983–D986, 2013.
- [32] Fu, G., Wang, J., Domeniconi, C., Yu, G., Matrix factorization-based data fusion for the prediction of lncRNA–disease associations. *Bioinformatics*, 34(9), S 1529-1537, 2018.
- [33] Huang, Z., Shi, J., Gao, Y., Cui, C., Zhang, S., Li, J., Zhou, Y., Cui, Q., HMDD v3.0: a database for experimentally supported human microRNA-disease associations. *Nucleic acids research*, 47(D1), S 1013–1017, 2019.
- [34] Anguita, D., Ghelardoni, L., Ghio, A., Oneto, L., Ridella, S., The 'K' in K-fold Cross Validation. In *ESANN*, S 441-446, 2012.

MAHALLE KURGUSU ÇERÇEVESİNDE PEYZAJ TASARIM KARARLARININ GELİŞTİRİLMESİ: TEKİRDAĞ/ÇORLU/TÜRKGÜCÜ MAHALLESİ ÖRNEĞİ

Tuğba KİPER*¹, Taner BAŞARAN²

^{1*2} Namık Kemal Üniversitesi Güzel Sanatlar, Tasarım ve Mimarlık Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Tekirdağ

Öz

Bu çalışmada plan ve tasarım yaklaşımlarında özgün ve yerel değerlerini koruyabilen sürdürülebilir bir yaşam ortamı oluşturmak önemli bir gerekliliktir" hipotezi çerçevesinde Tekirdağ/Çorlu İlçesi özelinde yeni yerleşime açılması öngörülen Türkgücü Mahallesi örneğinde peyzaj tasarım kararlarının geliştirilmesi öngörülmüştür. Bu amaçla; sanayi kenti imajı ile ön plana çıkmış bir İlçenin henüz yapılaşmaya açılmamış bir alanın; parsel, açık alan, sokak ve yapı ölçeğine kadar inen bir yaklaşımla, çevresel açıdan sürdürülebilir, toplumsal açıdan yaşanılabilir, kültürel açıdan özgün bir şekilde tasarlanması hedeflenmiştir. Çalışma yöntemi, literatür verilerinin incelenmesi, arazi gözlemleri, analiz ve değerlendirmeleri ile peyzaj tasarım projelerini içermektedir. Yöntem süreci dahilinde, mahalle ölçeğinde; eğim, bakı, yükseklik, kentsel donatı alanları, yeşil alanlar ve ulaşım durumuna ilişkin haritalar oluşturulmuştur. İlgili haritalardan yararlanılarak, parsel- açık-yeşil alan-yol ve bina ölçeğinde stratejiler geliştirilerek, stratejilere yönelik AutoCAD, Photoshop ve Lumion programlarının kullanıldığı çok sayıda 3 boyutlu proje örneklerini içeren tasarım kararları geliştirilmiştir. Çalışma sonuçları "Griden Yeşile Dönüşüm" konsepti çerçevesinde, sürdürülebilir kentlerin gelişimi için mahalle kurgusu özelinde mikro ölçekte bir örnek oluşturacaktır.

Anahtar Kelimeler: Mahalle, Peyzaj Tasarım, Yeşil Alan, Tekirdağ/Çorlu

DEVELOPING LANDSCAPE DESIGN DECISIONS IN THE FRAMEWORK OF NEIGHBORHOOD FICTION: THE EXAMPLE OF TEKİRDAĞ/ÇORLU/TÜRKGÜCÜ NEIGHBORHOOD

Abstract

In this study, it is envisaged to develop landscape design decisions in the example of Türkgücü District, which is expected to be opened for a new settlement in Tekirdağ / Çorlu District, within the framework of the hypothesis that "it is an important requirement to create a sustainable living environment that can preserve its original and local values in planning and design approaches". For this purpose, it is aimed to design an area that has not yet been opened for construction in a district that has come to the forefront with

Sorumlu Yazar: Tuğba KİPER, tkiper@nku.edu.tr

its industrial city image with an approach that goes down to parcel, open space, street and building scale in an environmentally sustainable, socially livable and culturally original way. The study method includes examining the literature data, field observations, analysis and evaluations, and landscape design projects. Maps regarding slope, aspect, elevation, urban reinforcement areas, green areas and transportation status were created at the neighborhood scale within the method process. Strategies were developed at the scale of parcels, open-green areas, roads and buildings, and design decisions were developed including many 3D project examples using AutoCAD, Photoshop and Lumion programs for strategies by utilizing the relevant maps. The results of the study will set a micro-scale example for the development of sustainable cities, in particular the neighborhood setting within the framework of the concept of "Transformation from Gray to Green".

Keywords: Neighborhood, Landscape Design, Green Area, Tekirdağ/Çorlu

1. GİRİŞ

Kentleşme süreci ile birlikte; toplumsal, ekonomik, çevresel ve mekânsal boyutta değişim ve dönüşümler yaşanmıştır. Özellikle de 1950’li yıllarla birlikte; kent kurgusunda “apartmanlaşma”, “gecekondulaşma” ve “toplu konut” oluşumları ortaya çıkmıştır [1, 2]. Sekizinci Kalkınma Planı ile birlikte de 2000’li yıllardan itibaren kentlerde “dönüşüm” olgusu strateji olarak ele alınmaya başlanmıştır [3]. Kent kurgusundaki değişim ve dönüşüm; kır-kent, toplum-mekân, çevre-canlı yaşamı ilişkisinde çok boyutlu problemleri beraberinde getirmiştir. Bu durum geleneksel mahalle dokusu ve mahalle kültürünün zayıflamasına ve sadece mekânsal anlamda sürekliliğini koruyan bir fiziksel bir sınır olarak yerini alan mahalle olgusunu oluşturmuştur. Diğer taraftan mahalle; yapı/ ada-parcel-sokak-yeşil alan ve mahalle sakinleri ile onların yaşam biçimleri ile kentin yapı taşı olup, kentsel kimliğin devamlılığı ve sürdürülmesinde önemlidir [1, 2]. Birçok çalışmada da günümüz kentleri için mahalle kurgusunun önem ve gerekliliğine dikkat çekilmiştir [4-10]. Duany vd., (2003) de çalışmalarında; yeni şehircilik akımına göre mahalleyi kent organizasyonunun başlangıç ölçeği olarak tanımlamışlardır [11]. Bununla birlikte; Ulusal plan ve politika yaklaşımlarında da yaşam kalitesi, kimlik, imaj, ekoloji, sürdürülebilirlik, yerellik, özgünlük gibi kavramlarla birlikte kentin ana kurgusunu oluşturan mahalle ölçeğinden başlayarak plan ve tasarım kararlarının alınması gerekliliği vurgulanmıştır. Öyleki; On Birinci Kalkınma Planı’nda, şehirleşme hedefleri içerisinde; mahalle kültürü ve kent bilincini geliştirecek strateji ve

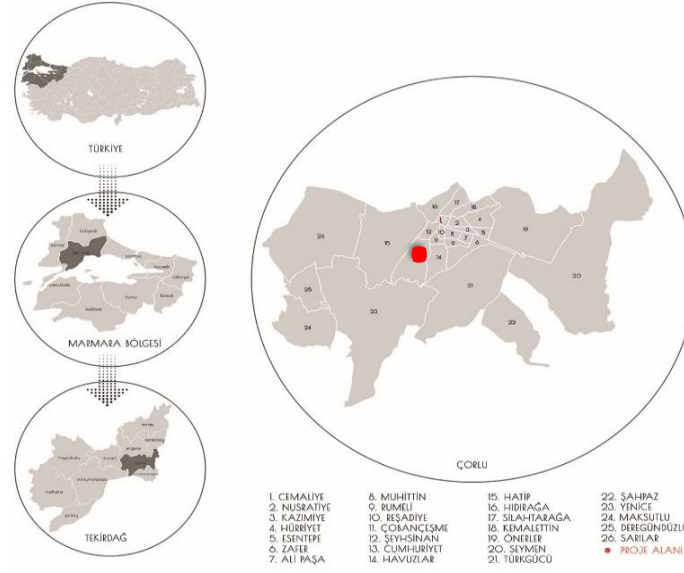
uygulamaların yaygınlaştırılması gerekliliği ortaya konmuştur. Yine aynı planda 81 ilde “Özgün mahalle sertifikası” olması hedeflenmiştir [12]. Mekânsal Planlar Yapım Yönetmeliği’nde; park, çocuk bahçesi, oyun alanı park gibi açık alan tasarımları mahalle ve semt ölçeği ile ilişkilendirilmiştir [13]. Mülga T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı öncülüğünde hazırlanan ve Kentsel Tasarım Rehberlerinde de mahalle, sokak/parsel ve yapı ölçekleri kentsel tasarımın ve kentsel tasarım rehberlerinin etkin olduğu ölçekler olarak tanımlanmıştır [14]. Toki ve Emlak Konut iş birliği ile düzenlenen “7 İklim 7 Bölge –Mahalle Ulusal Mimari ve Kentsel Tasarım Fikir Yarışması”nın genel çerçevesini “mahalle dokusu, mahalle kültürü, kimlik, kullanıcı odaklılık, yaşam ve mekân kalitesi, sosyal yaşam, geleneksel değerler, modern yaşam gereksinimleri, sosyal bütünleşme, mimari öğeler, kentsel estetik ve peyzaj, silüet, ekoloji kavramları ile yeni şehircilik akımlarının “mahalle” ortak bileşeninde sentezlenmesi oluşturmuştur [15]. Bu doğrultuda çalışmada *plan ve tasarım yaklaşımlarında özgün ve yerel değerlerini koruyabilen sürdürülebilir bir yaşam ortamı oluşturmak önemli bir gerekliliktir*" hipotezi çerçevesinde Tekirdağ/Çorlu İlçesi özelinde yeni yerleşime açılması öngörülen Türkgücü Mahallesi örneğinde peyzaj tasarım kararlarının geliştirilmesi öngörülmüştür. Bu amaçla; sanayi kenti imajı ile ön plana çıkmış bir İlçenin henüz yapılaşmaya açılmamış bir alanın; parsel, açık alan, sokak ve yapı ölçeğine kadar inen bir yaklaşımla, çevresel açıdan sürdürülebilir, toplumsal açıdan yaşanılabilir, kültürel açıdan özgün bir şekilde tasarlanması hedeflenmiştir. Böylelikle, bu çalışmada, örnek olarak seçilen mahalle özelinde, Çorlu İlçe’sinin sanayi kenti (gri) algısını azaltacak insan-ekoloji-mekan etkileşimi çerçevesinde sürdürülebilir gelişimini destekleyen, tasarım kararları geliştirilmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

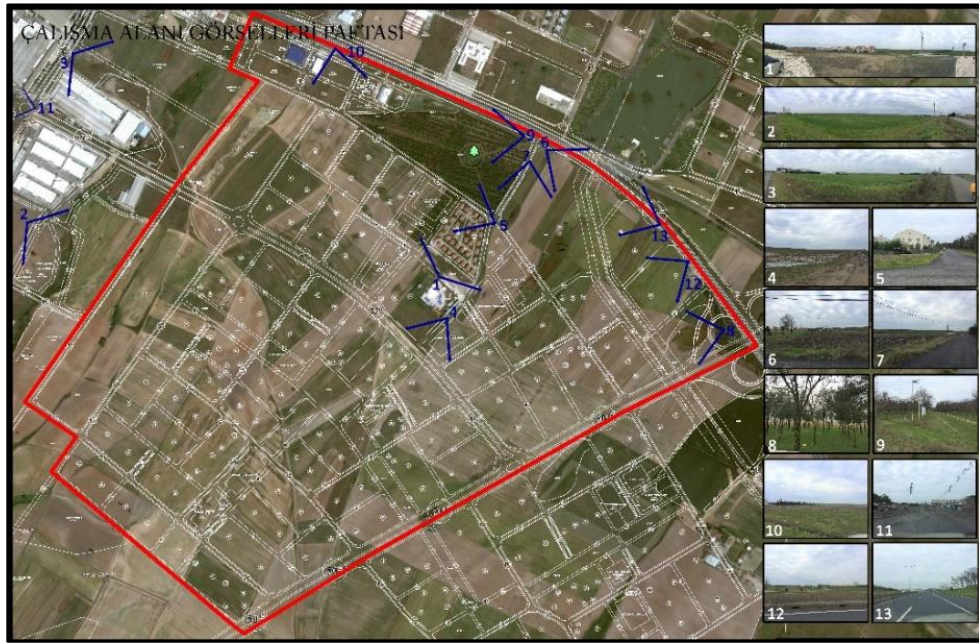
2.1. Materyal

Çalışma alanı Tekirdağ İli Çorlu İlçesi Türkgücü Mahallesi’nin doğusunda yer alan henüz yerleşime açılmamış 2.060.056 m²’lik parsel alanına sahip bölümüdür (Şekil 1). Genel olarak yükselti farklılıklarının görülmediği, düze yakın bir eğimin hakim olduğu bir görünüme sahiptir (Şekil 2). Alan, seçiminde; yeşil alan varlığı, önemli odak noktalarına yakınlık, yerleşime açılmamış olması ve erişilebilirlik durumu etken olmuştur. Öyleki alan, önemli kent odaklarından Çorlu havalimanı, AVM’ler bölgesi ve Gölbaşı Gençlik Parkı’na oldukça yakın bir konumdadır.

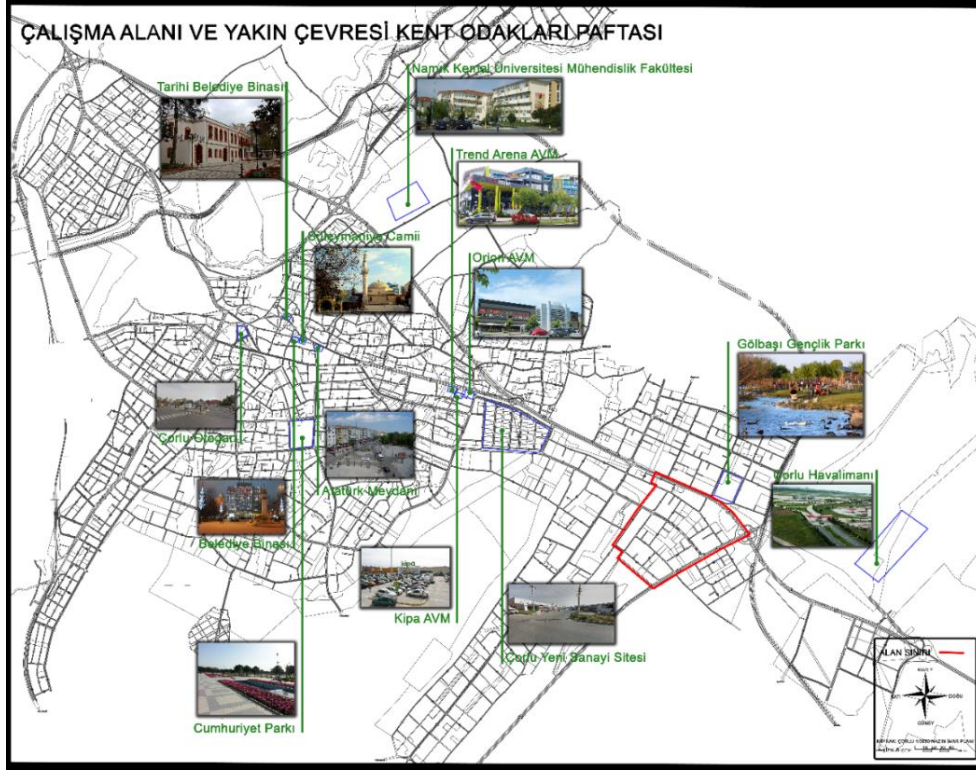
(Şekil 3). Konu ile ilgili makale, tez, rapor vb. kaynaklar da çalışmanın ikincil materyallerini oluşturmuştur.



Şekil 1. Çorlu ilçesi ve çalışma alanı konumu



Şekil 2. Çalışma alanı Google earth görüntüsü ve görselleri



Şekil 3. Çalışma alanı ve yakın çevresi kent odakları paftası

2.2. Yöntem

Çalışma yöntemi; amaç ve kapsamın belirlenmesi, veri toplama ve analiz, tasarım kararlarının belirlenmesi ile sonuç ve önerilerin geliştirilmesi olmak üzere 4 temel aşamadan oluşmaktadır. Her bir aşama bir sonraki aşamanın altlığını oluşturacak şekilde planlanmıştır. Çalışma yönteminin kurgusunda; T.C. Başbakanlık Toplu Konut İdaresi Başkanlığı (TOKİ) ile Emlak Konut işbirliği ile düzenlenen “7 İklim 7 Bölge Mahalle Ulusal Mimari ve Kentsel Tasarım Fikir Yarışması” oluşturmuştur. İlgili yarışmada; mahalle dokusu, mahalle kültürü, sosyal bütünleşme, insan ölçeği, yeşil alan, silüet, sokak, meydan gibi önemli kavramların temel alındığı Türkiye'nin farklı iklim koşullarına ve kültürel değerlere sahip yedi bölgesindeki iller için örnek olarak seçilen alanlarda mahalle kimliğinin oluşturulması amaçlanmıştır [2, 15].

Amaç ve kapsam belirleme: Çalışma kapsamında öncelikle alana ve konuya ilişkin amaç kapsam belirlenmiştir. Giriş bölümünde detaylı bir biçimde verilmiştir.

Veri toplama ve analiz: Bu aşamada, Çorlu Belediyesinden temin edilen 1/5000 ve 1/1000 ölçekli Nazım ve Uygulama imar planları [16, 17], çeşitli makaleler, raporlar taranarak incelenmiştir. Konu ile ilgili makale ve raporlar çalışma genel kurgusunun oluşturulmasında etken olmuştur. İmar Plan'larından elde edilen veriler ile eğim, bakı, yükseklik, yeşil alanlar, kentsel donatı alanları, konut alanları ve ulaşım durumuna ilişkin haritalar oluşturulmuştur. İlgili haritalar tasarım kararlarının geliştirilmesine dayanak oluşturmuştur.

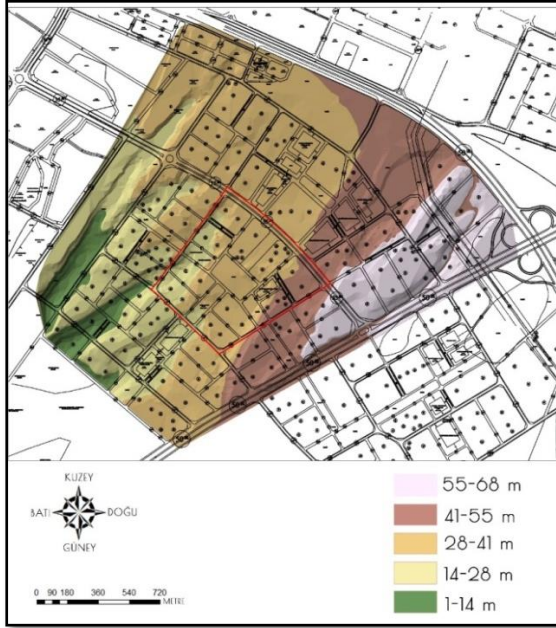
Tasarım kararlarının belirlenmesi: Bu aşamada, "*Griden Yeşile Dönüşüm*" konsepti çerçevesinde, mahalle-yeşil alan- cadde/sokak ve yapı ölçeğinde tasarım kararları geliştirilmiştir. Tasarım kararlarında; iklim odaklı tasarım (hakim rüzgar ve güneşlenme açıları), yeşil ve sosyal odaklı tasarım (komşuluk, aktivite ve sosyal ilişkiler), yaya odaklı tasarım (yürünebilirlik, erişilebilirlik), doğa ve yaşam odaklı tasarım (yeşil çatı, karma kullanımlar, az katlı yapılaşma, ortak kullanım alanları) olmak üzere 3 temel prensip etken olmuştur. Ana prensiplere bağlı kalınarak; ada-parcel-açık alan-yapı ve sirkülasyon ilişkisi, doluluk/boşluk oranı, aktivite çeşitliliği, oturma-izleme-sohbet etme-alışveriş yapma olanağı sağlayacak ortak mekân oluşturma gibi ölçütler dikkate alınmıştır. İlgili ölçütlerin geliştirilmesinde çeşitli kaynaklar temel alınmıştır [15, 1, 18, 2].

Sonuç ve önerilerin geliştirilmesi: İlgili hedeflere yönelik mahalle-yeşil alan- cadde/sokak ve yapı ölçeğinde geliştirilen tasarım kararları AutoCAD, Photoshop ve Lumion programları kullanılarak 3 boyutlu görsellerle desteklenecek şekilde sunulmuştur.

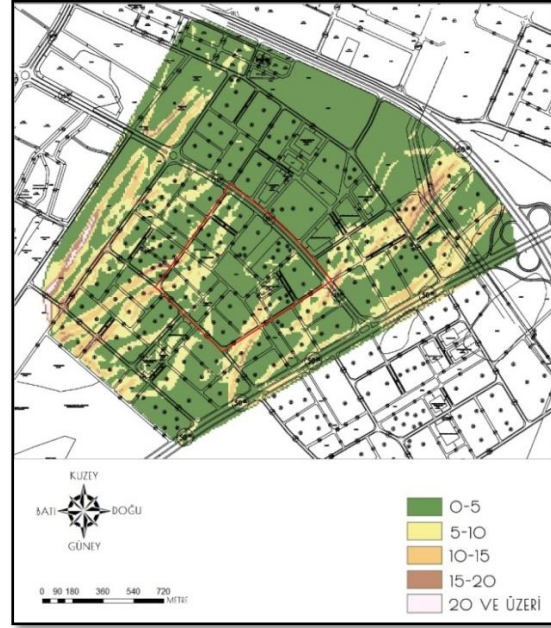
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Çalışma Alanı ve Yakın Çevresine İlişkin Topografik Yapı

Topoğrafik yapı; tasarım kararların geliştirilmesinde önemli bir belirleyicidir [10, 20-24]. Bu kapsamda; çalışma alanı ve yakın çevresi topografik yapı durumuna ilişkin olarak Çorlu İlçesi İmar Planı paftalarından yararlanılarak, yükseklik, eğim ve bakı haritaları oluşturulmuştur. Buna göre, proje alanı; 14 m ile 55 m aralığında bir yüksekliğe sahip olup, eğim açısından incelendiğinde; %0-10 arasındaki eğime sahip olduğu saptanmıştır. Alanın büyük bir bölümü düz ve düze yakın bir eğime sahiptir (Şekil 4, Şekil 5).

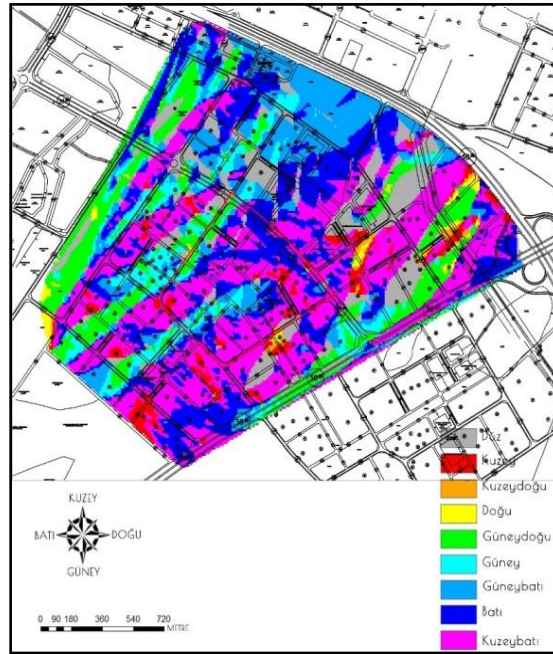


Şekil 4. Çalışma alanı yükseklik haritası



Şekil 5. Çalışma alanı eğim haritası

Çalışma alanı ve yakın çevresi bakı durumu incelendiğinde ise batı ve kuzeybatı yönlerinin baskın olduğu görülmektedir (Şekil 6).

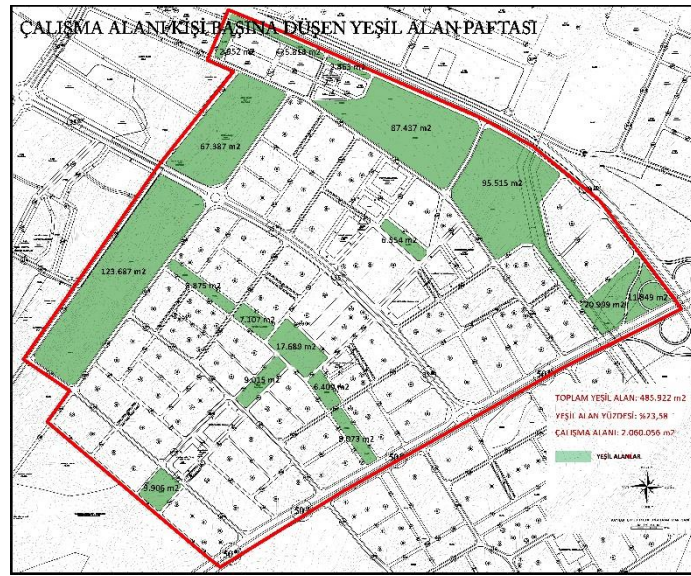


Şekil 6. Çalışma alanı bakı haritası

3.2. Çalışma Alanı ve Yakın Çevresine İlişkin Yeşil Alan Durumu

Sarı Başman ve Akın (2018)'in da belirttiği gibi; yeşil alanlar, mahalle-komşuluk grubu ölçeğinde olması gereken ortak mekânlar olup, hareket, izleme, oturma, bekleme, oyun oynama vb. tüm aktivitelere cevap verebilecek nitelikler taşımalıdır [18]. Sürdürülebilir ve yaşanabilir odaklı tasarım yaklaşımlarının temelinde de çevresel, sosyal, fiziksel faydaları ile yeşil alanlar yer almaktadır [22, 21, 23,24, 8, 10].

Çalışma alanı toplam yeşil alan miktarı 485.922 m² olarak hesaplanmıştır. Bu miktar çalışma alanının yaklaşık %23,59'unu kapsamaktadır. Yeşil alanlar, çalışma alanının doğu ve kuzey yönünde yer almış olup, bu durum, doğal bir eşik oluşturacağından önemlidir. Bununla birlikte alanın ortasında kuzeyini güneyine bağlayan yeşil bir aks bulunmaktadır (Şekil 7).

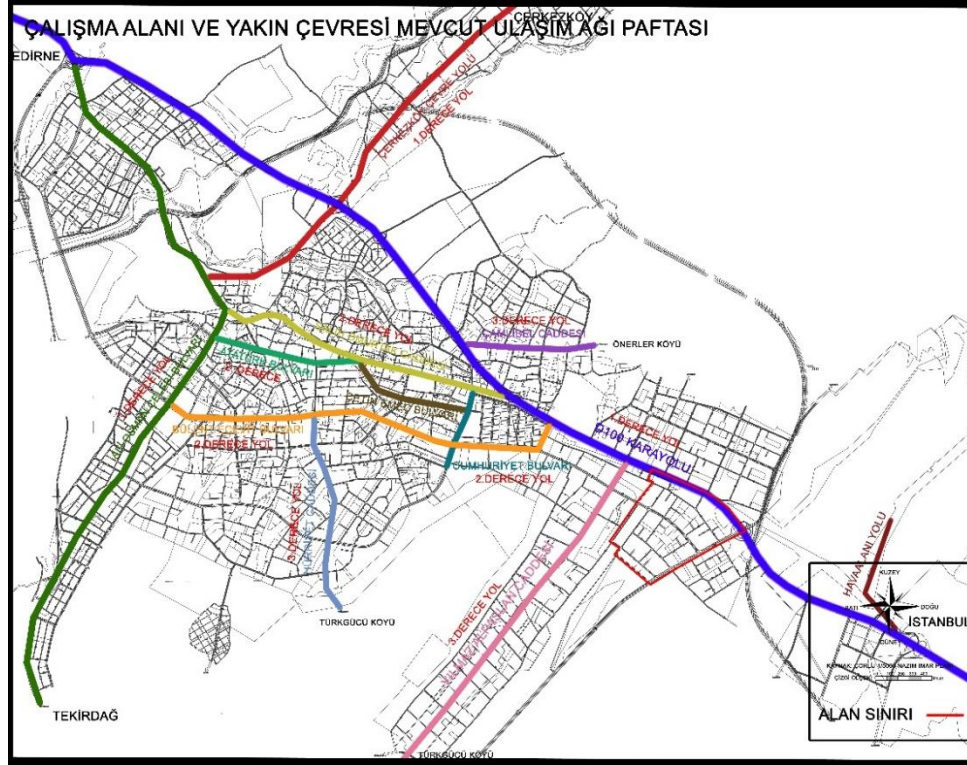


Şekil 7. Çalışma alanı yeşil alanlar paftası

3.3. Çalışma Alanı ve Yakın Çevresine İlişkin Ulaşım Durumu

Kentsel gelişme ve kentin biçimlenişi ile ulaşım arasında güçlü bir ilişki vardır [25, 26]. Keza; Palma Nova'nın, radyal sistem ile beraber ışımsal simetrik yaklaşımı, Soria Y. Mata'nın lineer kent modeli, Ebenezer Howard'ın bahçe-şehir düzeni, Le Corbusier'in ışımsal kent öngörülerinde yollar kent formunun biçimlenişinde önemli birer belirleyici olmuşlardır [27]. Çalışma alanı ve yakın çevresi mevcut ulaşım durumu incelendiğinde, alanın kuzey sınırını Edirne İstanbul bağlantısını

sağlayan D-100 karayolunun oluşturduğu görülmektedir (Şekil 8). Bu yol kentin gelişiminde önemli bir referans olmuştur. Aynı zamanda bu yol, çalışma alanının kuzey sınırını yatay eksende kesen bir konumunda yer almaktadır.



Şekil 8. Çalışma alanı ve yakın çevresi mevcut ulaşım paftası

3.4. Çalışma Alanı ve Yakın Çevresine İlişkin Kentsel Alan Kullanımları ve Konut Alanları

Çalışma alanı içerisinde meydan alanı, ticaret alanı, ortaöğretim tesis alanı, ilköğretim tesis alanı, sağlık tesis alanı, resmi kurum alanı, kreş alanı, sosyal kültürel tesis alanı, belediye hizmet alanı, otopark alanı, yeşil alanlar, konut alanlarının bulunduğu görülmektedir. Kentsel donatıların çalışma alanının ortasında bir aksta toplandığı görülmektedir. Ticaret alanları ise alanın kuzey ve güneyini bağlayan ana aksın merkezinde yer almaktadır. Bu durum özellikle mahallelinin ihtiyaç ve beklentileri doğrultusunda alışveriş yapma olanakları açısından erişim kolaylığı yaratacaktır (Şekil 9).

Çalışma alanı ve yakın çevresi imar planına göre konut alanları paftası Şekil 10'da verilmiştir. Buna göre; konut alanlarının sık yoğunlukta olduğu görülmektedir. Çalışma alanı sınırları

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

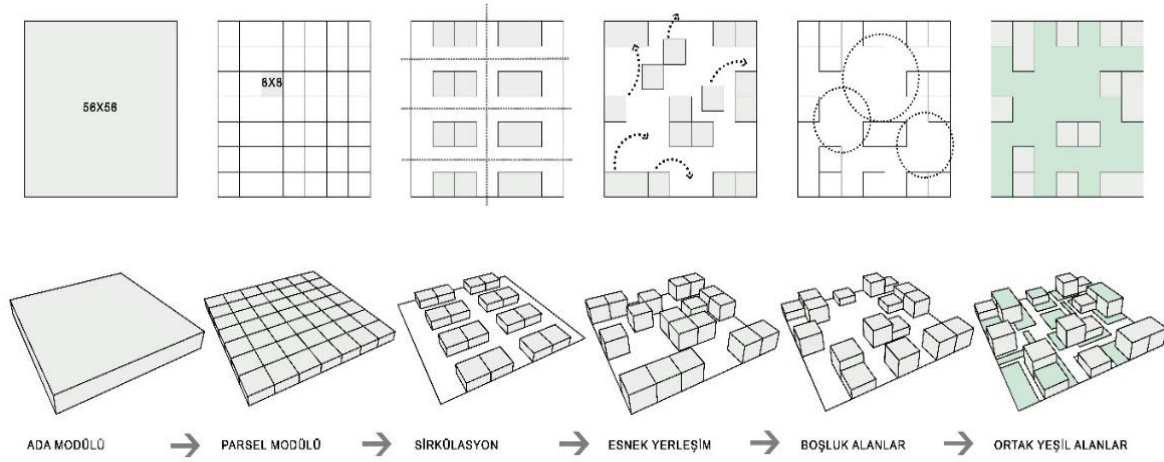
Çalışma kapsamında elde edilen verilere dayalı olarak, “Griden yeşile dönüşüm” konsepti çerçevesinde belirlenen; yeşil, sosyal, yaya, doğa ve yaşam odaklı temel prensipler dahilinde çeşitli stratejiler belirlenmiştir. İlgili stratejilere yönelik, ada-parcel-açık alan-yapı ilişkisi temelinde alt hedefler tanımlanmış ve bunlara ilişkin kazanımlar belirlenmiştir (Tablo 1).

Tablo 1. Çalışma alanı genel tasarım ilkelerine yönelik strateji, hedef ve kazanımlar

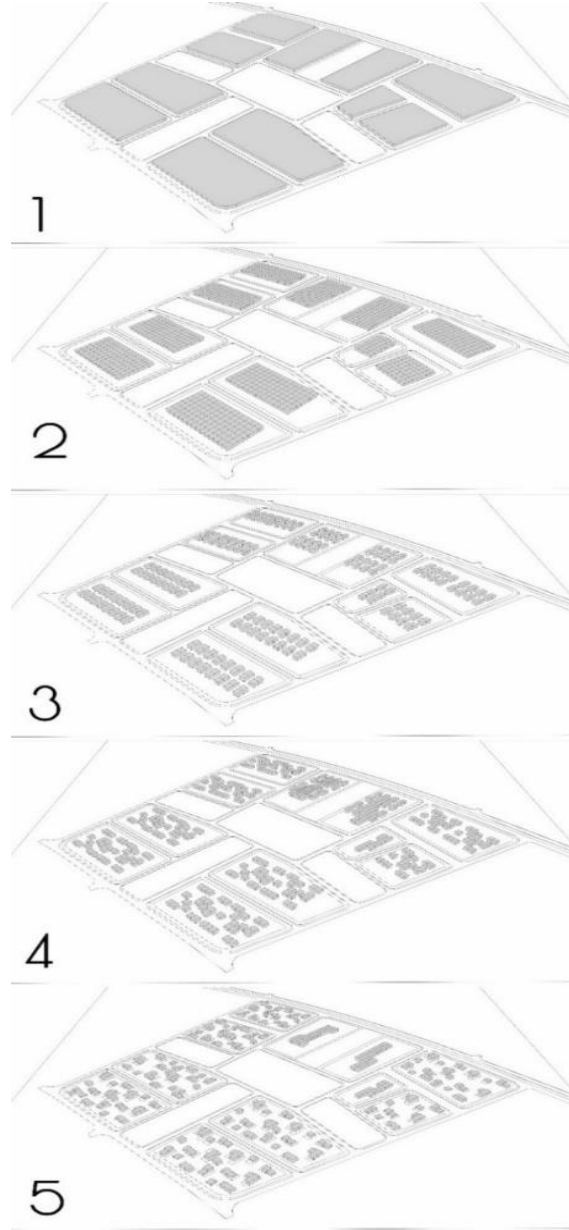
Stratejik İlkeler	Alt Hedefler	Kazanımlar
Yeşil ve sosyal odaklı parcel-yapı ilişkisi	Hareketli ızgara düzeni ile sirkülasyon, esnek yerleşim, boşluk alanlar ve ortak yeşil alanlar oluşturulması	Komşuluk, aktivite çeşitliliği ve sosyal ilişkiler
Doğal havalandırma	Hakim rüzgar ve güneşlenme açıları dikkate alınarak yerleşim kararlarının oluşturulması	Ekolojik sürdürülebilirlik, iklim öncelikli tasarım
Karma kullanım	Kullanımların çeşitlendirilmesi	Komşuluk, sosyal iletişim, sosyal güvenlik
Yeşil alanlarda süreklilik	Birbiri ile etkileşimli ve ilişkili yeşil alan kurgusu	Ekolojik sürdürülebilirlik,
Aktif ve pasif rekreasyon olanaklarını geliştirme	Yaşayan, canlı ve dinamik bir mahalle dokusunun yaratılması	Aktivite çeşitliliği ve sosyal ilişkiler
Ortak mekan oluşturma	Oturma-izleme-sohbet etme-alışveriş yapma olanağı sağlayacak alanlar tasarlanması	Aktivite çeşitliliği, sosyal iletişim, sosyal ilişkiler
Yaya öncelikli mahalle	“Woonerf” ve “Home zone” uygulamalarının tasarlanması Bisiklet yolu tasarlanması Toplu taşıma güzergahlarının geliştirilmesi	Konfor, erişilebilirlik, aidiyet,
Kentsel silüette insan ölçeğine uygun yapılaşma	Az katlı, bahçeli yapılaşma biçimi	Algılanabilirlik, konfor, aidiyet,
Su etkin tasarım	Ekolojik gölet tasarlanması, drenaj sistemi	Ekolojik sürdürülebilirlik

Tablo 1’de verilen strateji ve alt hedefler aşağıda maddeler şeklinde ayrıntılı bir biçimde verilmiştir.

- Yerleşim düzeni oluşturulurken; sirkülasyon, doluluk–boşluk, yönlenme, manzara, yeşil alan ve rüzgâr durumu dikkate alınmıştır (Şekil 11, Şekil 12)

**Şekil 11.** Ada içi yerleşim düzen planı

Şekil 11 ve Şekil 12’de belirtilen, ada içi yerleşim düzeninde; öncelikle her bir ada modülü eşit oranlarda gridlere bölünmüş, sonrasında her bir grid, sirkülasyon, doluluk-boşluk, manzara ve yönlenme ilkeleri dikkate alınarak farklı büyüklük ve konumlarda yerleştirilen yapı blokları ile yeşil koridorlar şeklinde tanımlanmıştır. Ada-parcel bölümlenmesinde; yapı blokları arasında en az 2, zaman zaman ise 4 tarafı açık-yeşil alanlardan oluşan ortak ve esnek kullanım için ayrılmış yeşil alanlar oluşturulması sağlanmıştır. Ada-parcel düzeninde, yapıların biçimlenişini belirtmek için, üçlü, ikili ve tekli küp şeklinde gösterilen her bir blok farklı ölçülere sahip tek bir yapı grubunu göstermektedir.



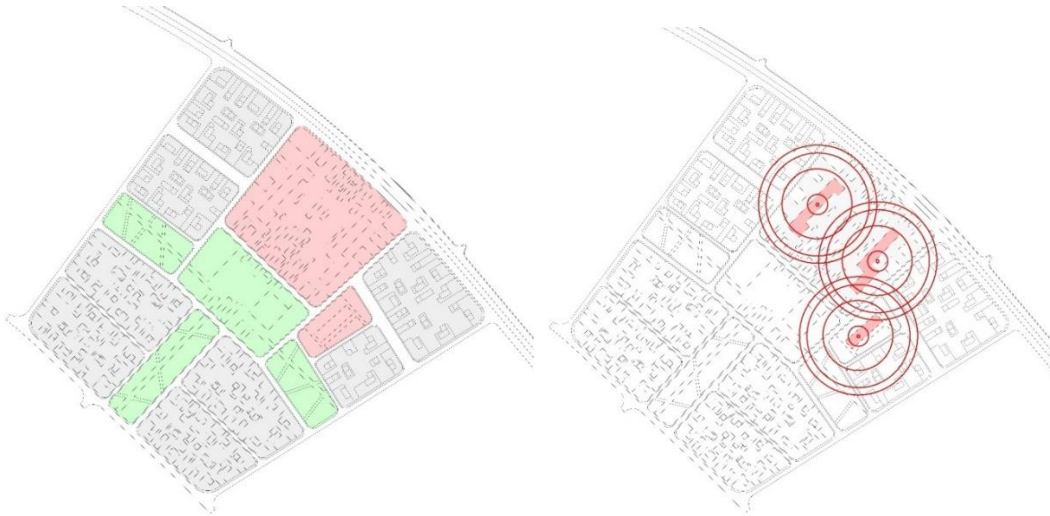
Şekil 12. Çalışma alanı yapılaşma aşamaları

- Proje alanında hakim rüzgar ve güneşlenme açıları dikkate alınarak yerleşim kararları oluşturulmuştur. Kuzey, kuzeybatı hakim rüzgar yönlerine göre yapı kompozisyonları imar planına uygun olarak önerilmiştir. Böylelikle rüzgar akışının yapı blokları arasında kesintiye uğramadan devam ederek serinlik etkisi yaratması hedeflenmiştir. Bu durum hem Çorlu İlçesi merkez yerleşimi, hem de örnek olarak seçilen çalışma alanı özelinde belirtilmiştir (Şekil 13).



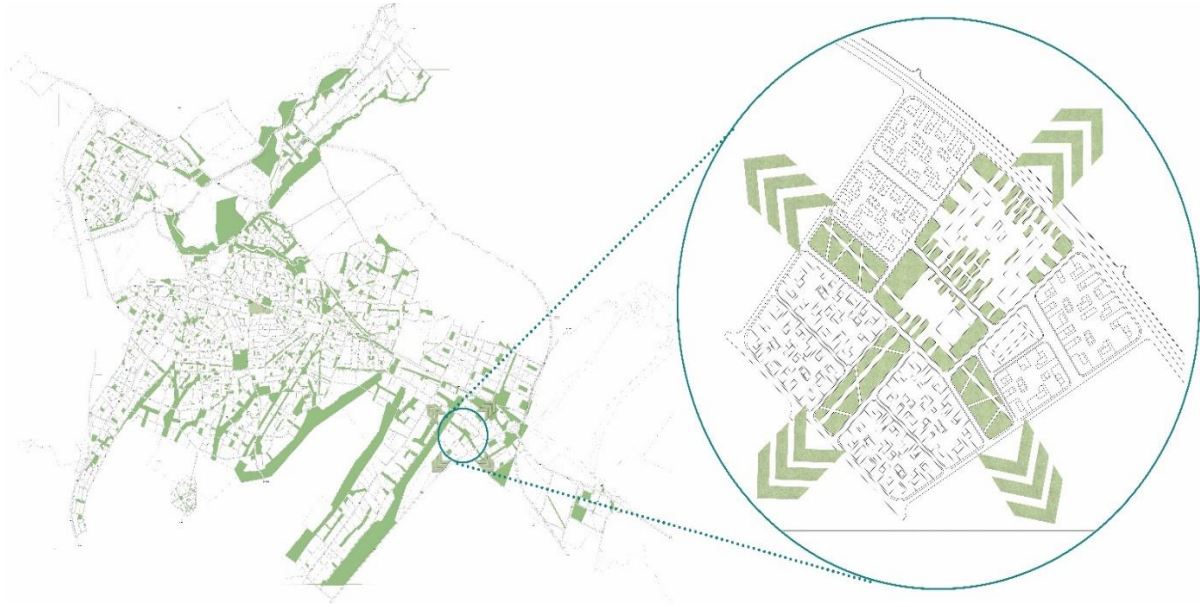
Şekil 13. Çalışma alanı rüzgar koridoru planı

- Mahallelinin günlük ihtiyaçlarına cevap verebilecek ticaret ve yeşil alan gibi kullanımların geliştirilmesi ile ticaret-konut-yeşil alan birlikteliğinin sağlanması öngörülmüştür (Şekil 14). Bu durumun; kullanıcı-mekan-yeşil ilişkisinin kurgulanmasında önemli bir dayanak oluşturacağı düşünülmüştür. Öyle ki; Alver (2010) çalışmasında; mahallenin kuruluşunda mekân ve insanın iki temel dayanak olduğunu vurgulamış ve bu birlikteliğin, kullanıcılara yönelik olarak komşuluk, ait olma, benimsenme gibi duyguları güçlendirdiğini belirtmiştir [6].

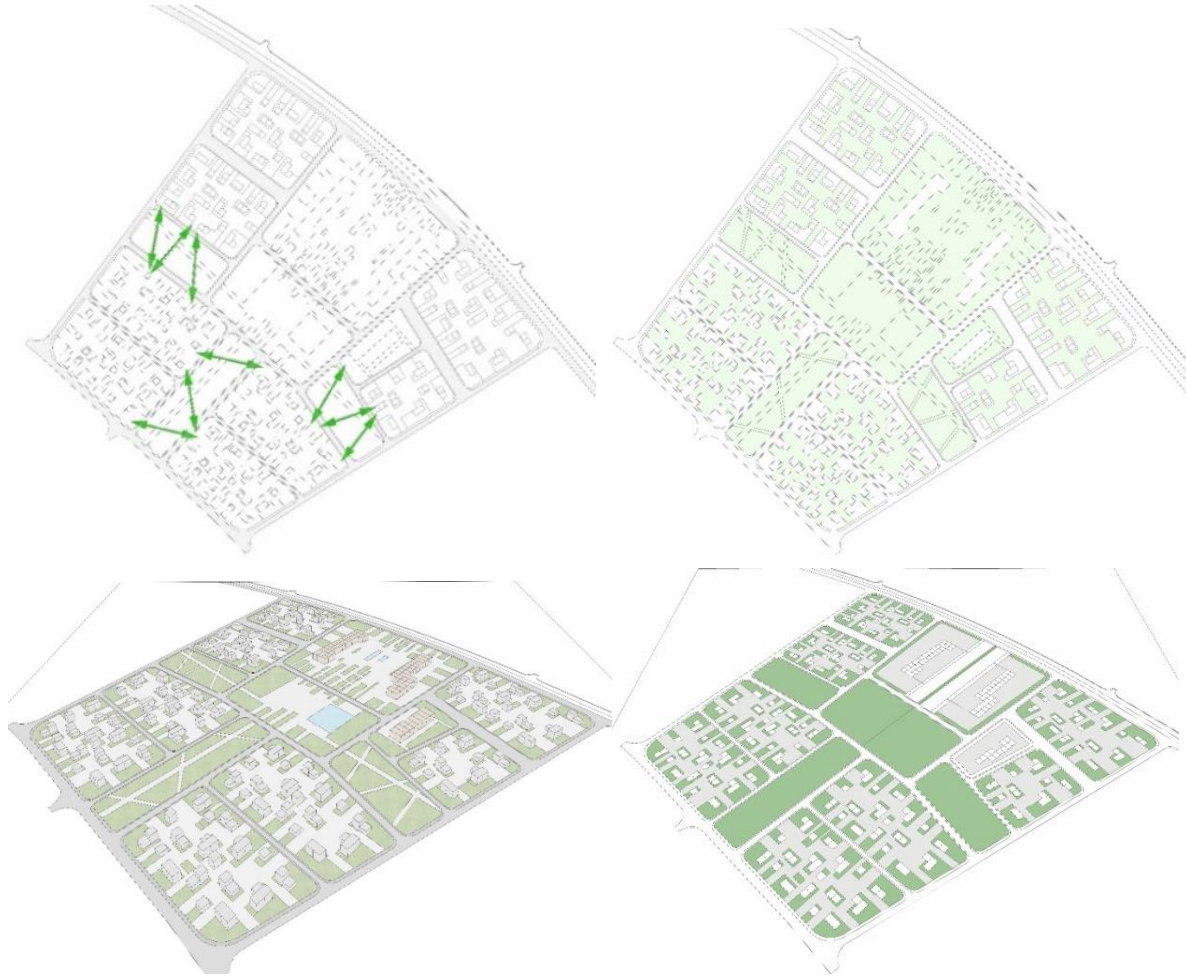


Şekil 14. Çalışma alanı parsel kullanım kararları ve ticaret alanları etki durumu paftası

- Yeşil sistem önerisi, Çorlu İlçesi yeşil alan kurgusu çerçevesinde, alanın kuzeyini güneyine bağlayan odak noktası oluşturabilecek merkezi bir aks boyunca devam eden bir yeşil sistem önerilmiştir. Bu yeşil aks konutlara ait ön bahçeler ile de ilişkilendirilmiş ve bütünsellik oluşturulmuştur. Aynı zamanda yapı ölçeğinde geliştirilen öneriler kapsamında da konutlara ilişkin olarak yeşil çatı öngörülmüştür. Bu durum, hem yeşilin süreklilik ve bütüncüllüğü destekleyecek, hem de yeşil alan miktarının artırılmasına katkı sağlayacaktır (Şekil 15, Şekil 16).



Şekil 15. Çalışma alanına ilişkin üst ve alt ölçek yeşil sistem öngörüsü



Şekil 16. Çalışma alanı yeşil alan tasarım kararları

- Rekreatyonel olanakları geliştirmek amaçlı her yaş grubuna hizmet edebilecek izleme-oturmaspor-eğlenme-dinlenme-oyun oynama temalı alanlar tasarlanmıştır. Aynı zamanda, ilgili ortak kullanım alanları, yeşil alanlarla çevrelenmiş yol bağlantıları ile desteklenerek kurgulanmış olup, her yaş grubuna ilişkin kişilerin eşit mesafede erişilebilmesi sağlanmıştır. Böylelikle, aktif ve pasif rekreasyon alanları, yeşil alanlar ve konutlar arasında yaya sürekliliği sağlanmıştır (Şekil 17).

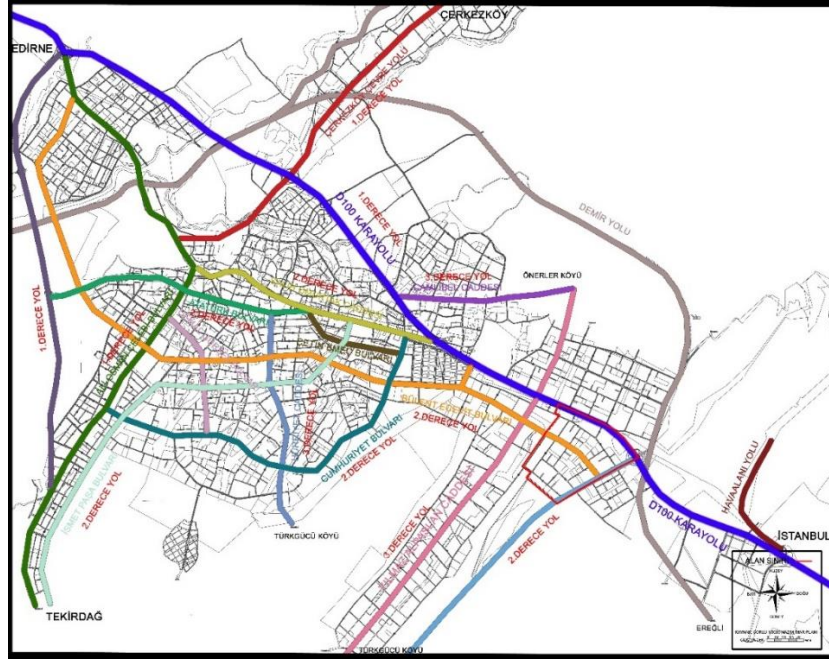


Şekil 17. Aktif ve pasif rekreasyon alanlarına yönelik örnek tasarımlar

- Ortak alanlarda, bireylerin sosyalleşmelerini güçlendirecek, oturma-izleme-sohbet etme olanağı sağlayan alanlar tasarlanmıştır (Şekil 18).



Şekil 18. Ortak mekanlara ilişkin tasarımlar



CADDE VE SOKAK ADLARI

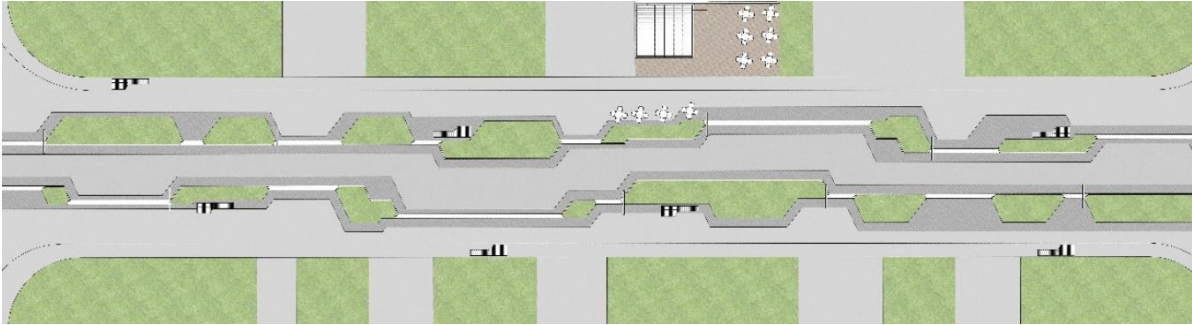
CADDE VE SOKAK GENİŞLİKLERİ



Şekil 19. Çalışma alanına ilişkin cadde ve sokaklar

- Mahalle dokusunun ana omurgası yollar (Şekil 19) insan odaklı olarak tasarlanmıştır. Öyleki Göksu (2013) çalışmasında; kişilerin kolay erişim sağlayabilmeleri için kullanımlar arası süreklilik ve dolaşımın sağlanması gerekliliğini belirtmiştir [28]. Diğer taraftan Avrupa Kentsel Şartı Bildirgesi'nin ulaşma ilişkin ilkeler bölümünde; araç trafiğinin azaltılması, ulaşım biçimlerinin çeşitlendirilmesi ve yol ağının sosyal mekan olarak işlevlendirilmesi yer almıştır

[29]. Bu kapsamda yaya erişiminin öncelikli olduğu Woornef ve Home zone uygulamaları önerilmiştir (Şekil 20, Şekil 22). Keza Woornef sistemi sokak trafiğinin ya da trafik hızının azaltılmasıyla sokakta çocuklar için oyun mekânlarının geliştirilmesini, dinlenme, oturma mekânlarının oluşturulmasını amaçlayan bir sistemdir [30, 31]. “Home Zone” ise, sokak içerisinde trafik hızını azaltarak, yaya öncelikli yollar, oturma mekânları ve oyun alanları oluşturulması amacıyla yapılan sistemdir [32, 31]. Mahalle tasarımında bu sistemler örnek alınarak Ata Caddesi 4. Sokak 1. Aralık ve Ata Caddesi 2. Sokak 1. Aralık bu yaklaşımla tasarlanmıştır.



Şekil 20. Ata Caddesi 2. Sokak 1. Aralık ta yapımı planlanan woornef sokağı plan görünüşü.



Şekil 21. Woornef sokağı görselleri

- Toplu taşıma duraklarına götüren sokaklar uygun bir kaldırım ve bisiklet yolu sistemi ile tasarlanması öngörülmüştür (Şekil 22). Böylelikle hız seviyesi düşürülmüş araç trafiğine karşılık yoğunluklu yaya ve bisiklet yol düzeni öngörülmüştür. Aynı zamanda yayalar için uygun noktalarda cepler açılarak, yayaların sosyal mekan olarak kullanabilecekleri odaklar tasarlanmıştır.



Şekil 22. Bisiklet yolu görseli

- Farklı yollar arasında güvenlik ve görsel etki oluşturmak amacıyla yeşil bantlar oluşturulmuştur. Bu alan bisiklet yolu ile taşıt trafiği ve yaya yolu arasında bir ayırım sağlar (Şekil 23, Şekil 24).

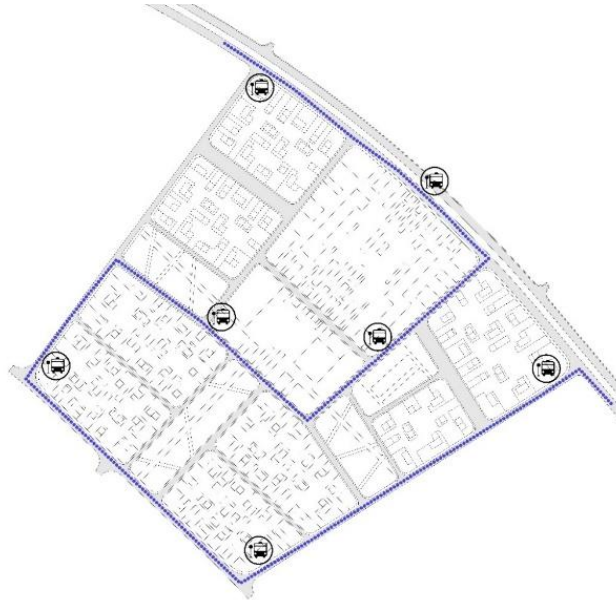


Şekil 23. Araç yolu, bisiklet yolu ve yaya yolu görseli



Şekil 24. Otopark alanları ve konut girişleri

- Toplu taşımaya hizmet edebilecek otobüs güzergâhı ve durak önerileri geliştirilmiştir (Şekil 25). İlgili önerilerin geliştirilmesinde; ana yola ve odak açık alanlara erişim dikkate alınmıştır.

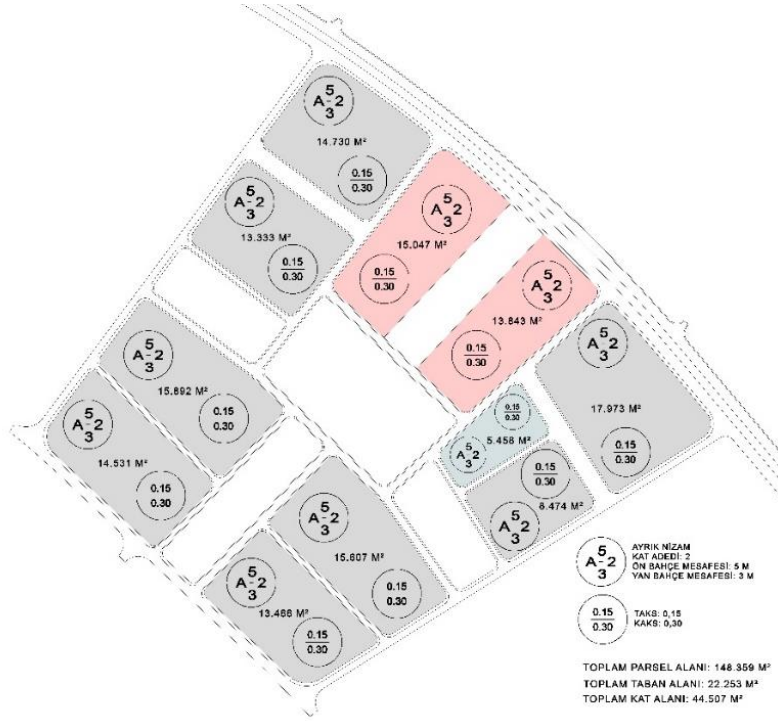


Şekil 25. Çalışma alanı otobüs güzergâhı ve durak önerileri

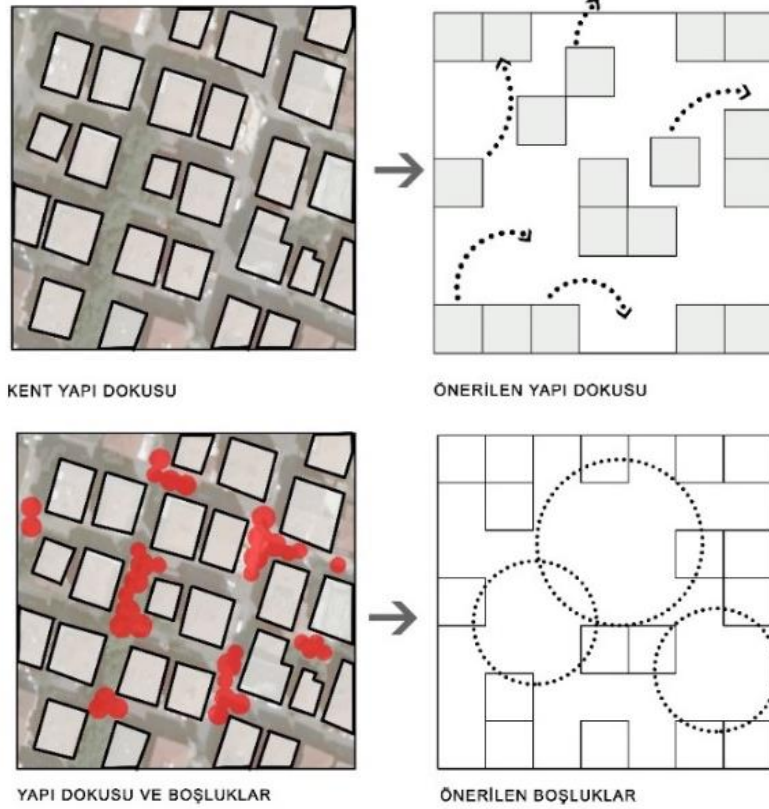
- İmar planına göre yapı düzeni ve parsel büyüklükleri incelendiğinde; ayrık nizam, iki kat, ön bahçe mesafesi beş metre, yan bahçe mesafesi üç metre olarak uygulanması gerektiği belirtilmektedir. Yapı düzenine ilişkin tasarım, ilgili ilkeler dikkate alınarak; iki, üç veya dört tarafı yeşille çevrilenmiş olarak, dikdörtgen, kare ve L gibi farklı ölçüler çerçevesinde

gerçekleştirilmiştir (Şekil 26). Yapılara ilişkin manzara ve giriş yeri seçiminde güneş ve hakim rüzgar yönünün dikkate alınması sağlanmıştır.

- Yapıların yerleşim düzeninde ortak kullanım alanları ve boşluklar bırakılması öngörülmüştür (Şekil 27).

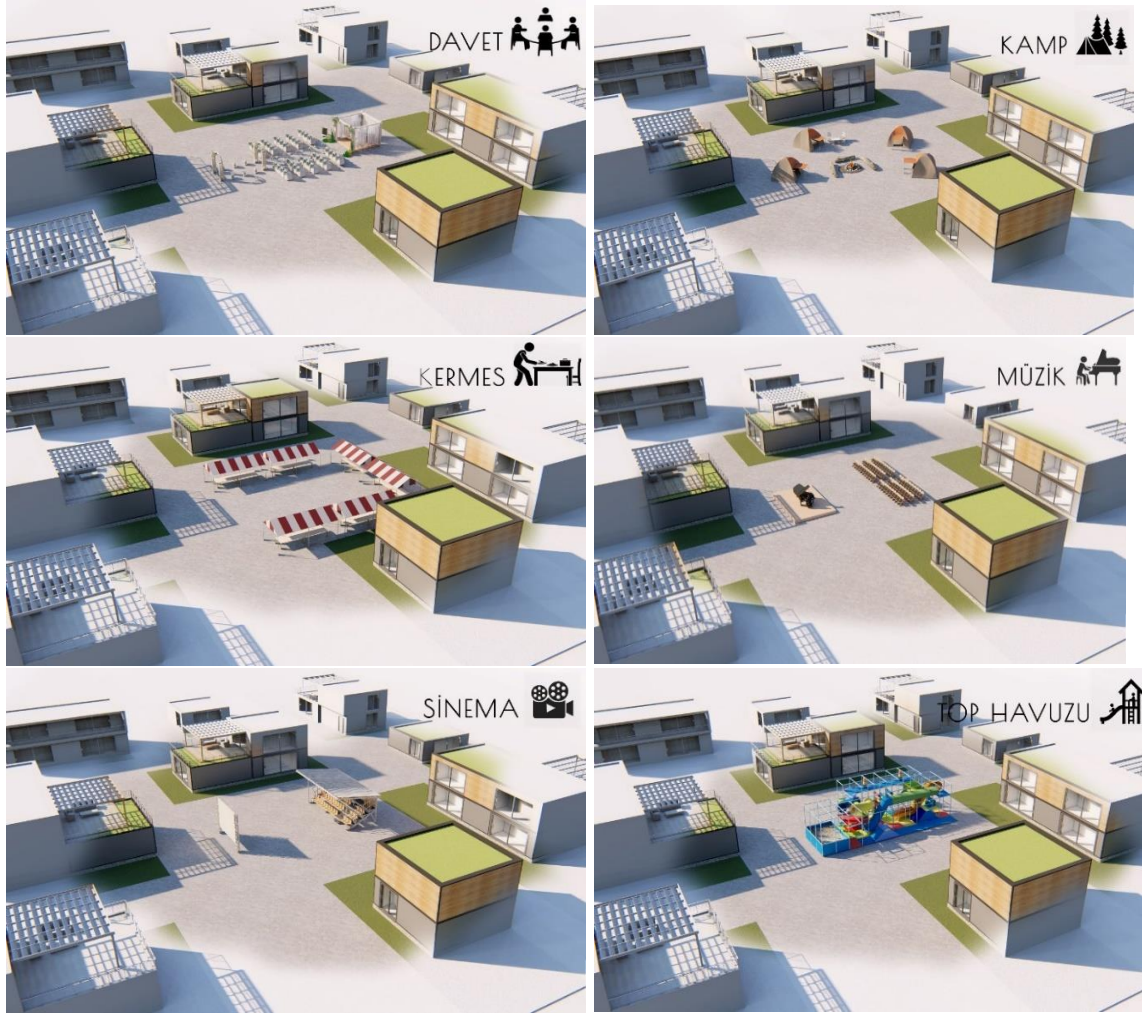


Şekil 26. İmar planına göre yapı düzeni ve parsel büyüklükleri

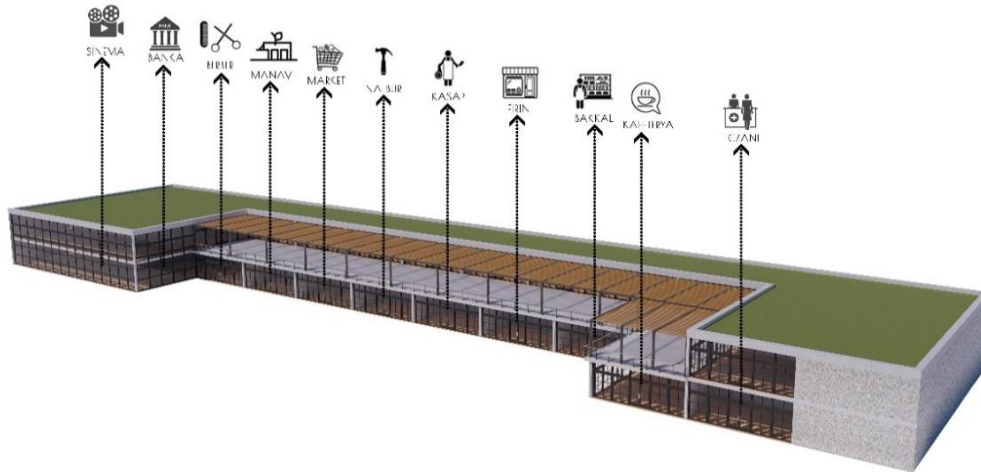


Şekil 27. Kent yapı dokusu ve önerilen yapı dokusu

- Yapı aralarında oluşturulan ortak kullanım alanları mahallelinin ihtiyaç ve beklentilerini karşılayacak şekilde esnek tasarlanmış çeşitli kullanım senaryoları düşünülerek oluşturulmuştur (Şekil 28).
- Ticari/hizmet birimlerinin tasarımında; işlevsellik, çeşitlilik, erişilebilirlik ve birleştiricilik ilkeleri benimsenmiştir. Bu durumun, kişilerin mekan algısı ve aidiyet hissini güçleneceği düşünülmüştür (Şekil 29). Öyle ki; Göksu (2013) da çalışmasında; ticari/hizmet birimlerinden (fırın, kasap, bakkal, manav, vb.) oluşan bir çarşının, bir mahalle ünitesi kapsamında canlılık ve hareketliliği sağlayan, ihtiyaç duyulan ve sosyal ilişkileri geliştiren ortak mekânlar olarak geliştirilmesi gerekliliğine dikkat çekmiştir [28].

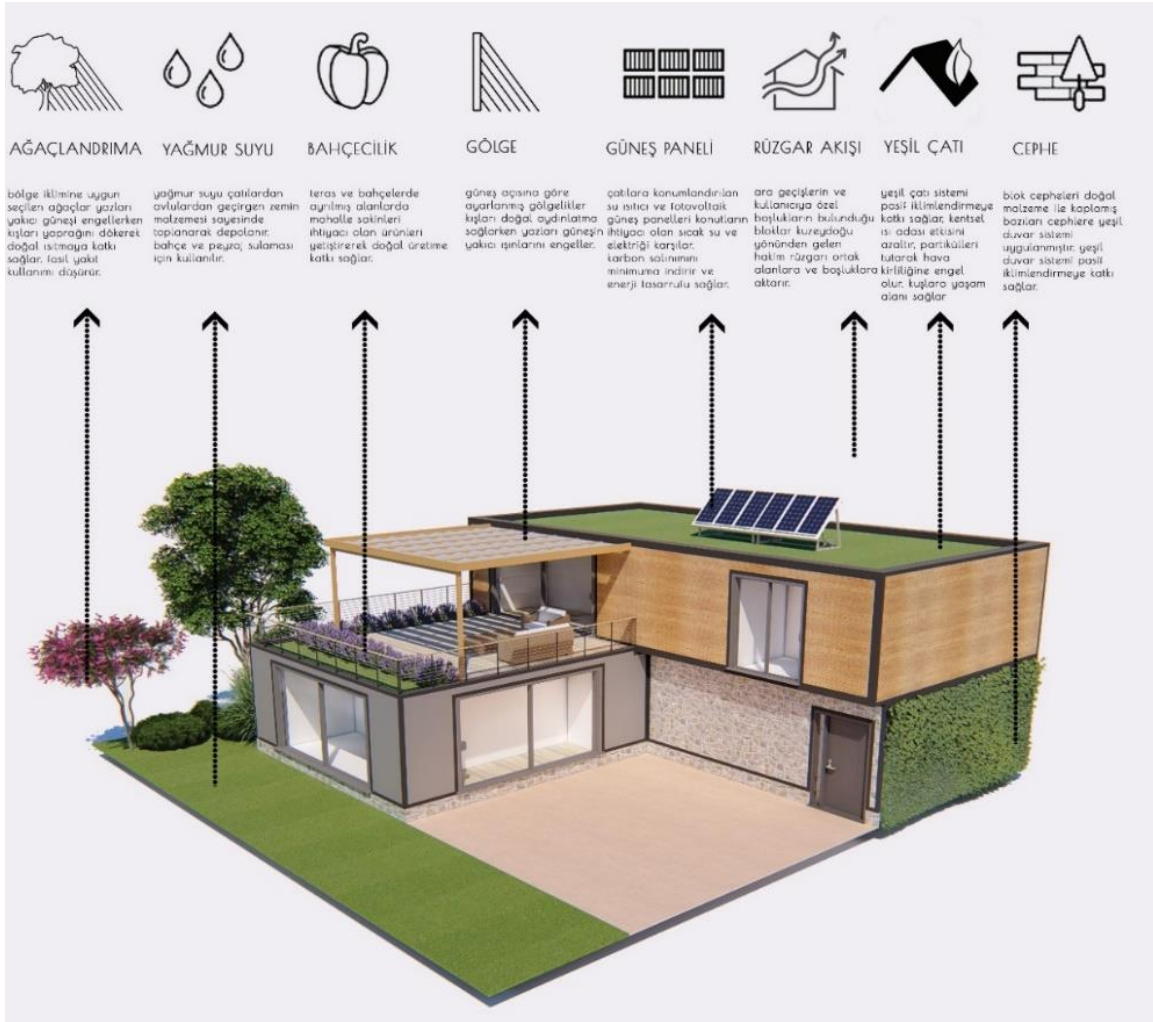


Şekil 28. Ortak kullanım alanı, kullanım senaryoları



Şekil 29. Ticari yapı kullanımları

- Oluşturulan konsept kapsamında farklı tasarım yaklaşımları çerçevesinde ekolojik yaklaşımli binalar tasarlanmış ve minimum enerji harcayan çevreci çözümler üretilmiştir Aynı zamanda insan ölçeği göz önünde bulundurularak öz (Şekil 30, Şekil 31).



Şekil 30. Ekolojik yapı tasarımı.



Şekil 31. Farklı konut tasarımı örnekleri

- Su etkin tasarım çerçevesinde; çatılardan toplanan yağmur sularının, teras bahçeleri ve yeşil duvarların sulanmasında kullanılmak üzere yer altındaki sarnıçlarda toplanması öngörülmüştür. Açık-yeşil alan ve konut bahçelerinde kurakçıl peyzaja uyum sağlayabilecek ve yörenin iklim koşullarına uygun Meşe (*Quercus sp.*), Çınar (*Platanus sp.*), Akçaağaç (*Acer sp.*), Ihlamur (*Tilia sp.*), İğde (*Eleagnus sp.*) gibi türlerden kullanımı öngörülmüştür.

Sonuç olarak, bu çalışma, mahalle kurgusu çerçevesinde plan ve tasarım yaklaşımlarında özgün ve yerel değerlerini koruyabilen sürdürülebilir bir yaşam ortamı oluşturmanın önemini ortaya koymuştur. Bu kapsamda; alan özelinde 3 boyutlu görsellerle desteklenen komşuluk, aktivite çeşitliliği, yeşil süreklilik, sosyal ilişkiler, yürünebilirlik, erişilebilirlik, karma ve ortak kullanımlar ile az katlı yapılaşmayı öngören tasarım kararları geliştirilmiştir.

Not: Bu çalışma IV. Uluslararası Uygulamalı Bilimler, Mühendislik ve Matematik Kongresinde özet olarak sunulmuştur.

KAYNAKLAR

- [1] Özbek Eren, İ. (2012). Türkiye'de Dönüşen Kentlerin Son Kalesi: Kent Kurucu Öge Olarak Osmanlı'dan Günümüze Mahalle. *International Journal of Human Science*, 9 (2), 1547-156.
- [2] Tuğcu, P. ve Arslan, T.V. (2019). Türkiye'de Geleneksel Mahalle Kimliğinin Sürdürülebilirliğinin Yarışma Projeleri Üzerinden İncelenmesi *Mimarlık ve Yaşam Dergisi*, 4 (1), 93-115.
- [3] Anonim (2001). Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Konut Özel İhtisas Komisyonu Raporu. Devlet Planlama Teşkilatı, Ankara.
- [4] Galster, G. (2001). On the Nature of Neighbourhood. *Urban Studies*, 38(12), 2111–2124.
- [5] Patricios, N. (2002). The Neighborhood Concept: A Retrospective Of Physical Design and Social Interaction. *The Journal of Architectural and Planning Research*, 19(1), 70–90.
- [6] Alver, K. (2010). Mahalle: Mekân ve Hayatın Esrarlı Birlikteliği. *İdealkent Dergisi*, 2, 116-139.
- [7] Gutierrez, E.E., (2015). Collaborative Neighborhood-Scale Sustainability Assessment and Planning Using The Spatial Optimization For Urban Resource Conservation and Engagement (SOURCE) Tool: Applying The Analytic Hierarchy Process For Spatial Decision Support. Doctor Of Philosophy In Environmental Sciences, Oregon University, 39–47.
- [8] Akın, O. ve Hamamcıoğlu, C.C. (2018). Yaşanabilir ve Kimlikli Mahalle Birimleri Tasarım İlkeleri: İstanbul'da Kadıköy ve Ataşehir Örneği Karşılaştırması, *Mimarist*, 3, 77-83.
- [9] Çelikyay, S. ve Öztaş, G. (2019). Sürdürülebilir Kentsel Gelişmede Mahalle Ölçeği. *Mimarlık, Planlama ve Tasarım Alanında Araştırma ve Değerlendirmeler*, Ed. Kaya, L.G., Abbasova, S., 229-238.
- [10] Ünal, S.G. ve Erol, D. (2020). Sürdürülebilir Mahalle Planlamasının Değişimi, Planlamada Yeni Eğilim “EkoYer” Yaklaşımı ve Türkiye’de Uygulanabilirliği. *Planlama*, 30(1), 15–35.
- [11] Duany, A., Plater-Zyberk, E. Ve Alminana, R. (2003). *The New Civic Art: Elements of Town Planning*. Rizzoli Publications, New York.
- [12] Anonim (2019). On Birinci Kalkınma Planı. T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- [13] Anonim (2014a). Mekânsal Planlar Yapım Yönetmeliği. 14.06.2014 Tarih ve 29030 sayılı karar, <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2014/06/20140614-2.htm>. Erişim tarihi: 15.10.2022.
- [14] Anonim (2016). Kentsel Tasarım Rehberleri/Araştırma ve Tanımlama. Cilt I, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı öncülüğünde hazırlanan ve Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Kentsel Tasarım Uygulama ve Araştırma Merkezi, Ankara.

- [15] Anonim (2017). Ulusal Mimari Kentsel Tasarım Fikir Çalışması 7 İklim 7 Bölge Mahalle. T.C Başbakanlık TOKİ, Emlak Konut, Ankara.
- [16] Anonim (2014b). Çorlu İlçesi 1/5000 Nazım İmar Planı ve Raporu, Çorlu Belediyesi.
- [17] Anonim (2014c). Çorlu İlçesi 1/1000 Uygulama İmar Planı ve Raporu, Çorlu Belediyesi.
- [18] Sarı Başman, B. ve Akın, O. (2018). Mahalle Ölçeğinden Birim Konut Ölçeğine Ortak Mekân Kavramı ve Değişimi. DeğişKent Değişen Kent, Mekân ve Biçim Türkiye Kentsel Morfoloji Araştırma Ağı II. Kentsel Morfoloji Sempozyumu, 945-962.
- [19] Atıl, A., Gülgün, B. ve Yörük, İ. (2005). Sürdürülebilir Kentler ve Peyzaj Mimarlığı. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, (42), 215-226.
- [20] Coşgun, S. (2013). Kentsel Tasarım Kapsamında Kentsel Peyzaj Tasarımı ve Diyarbakır Kayapınar Örneğinde İrdelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [21] Birişçi, T., Güney, M.A., Türel, H.S., Kılıçaslan, Ç. (2012). Bitkisel Tasarım. Üniversiteler Ofset, Bornova.
- [22] Onur, E.B., Peyzaj Tasarım ve Yönetiminde Ekolojik Yaklaşım ve Sürdürülebilir Kent Hedefine Katkıları. İnönü Üniversitesi Sanat ve Tasarım Dergisi, 2(5), 245-252, 2012.
- [23] Korkut, A. ve Kiper, T. (2016). Yaşanılabilir, İnsan Odaklı Kent Yaklaşımı, 4. Uluslararası Kentsel ve Çevresel Sorunlar ve Politikalar Kongresi, 25-38.
- [24] Korkut, A., Kiper, T., Üstün Topal, T. (2017). Kentsel Peyzaj Tasarımda Ekolojik Yaklaşımlar, Artium, 5 (1), 14-26.
- [25] Yenice, M. S. (2005). Kentsel Planlama Sürecinde Konya Kent Formunun Gelişimi Üzerine Bir Araştırma. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- [26] Erdoğan, G. (2015). Kent Makroformlarının Mekânı Kullanma Verimliliklerinin Fraktal Boyut ile İncelenmesi. Doktora tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [27] Aktuğlu Aktan, E.O. (2012). İdeal ve Ütopik Kent Modellerine Ulaşım Bağlamında Biçimsel Yaklaşımlar. İdealkent, 5, 68-103.
- [28] Göksu, A. F. (2013). Mahalle 3 Yaşamsal Dokunuş. www.mahalle3d.weebly.com, Erişim tarihi: 19.10.2022.
- [29] Palabıyık, H. (2004). Avrupa Konseyi Yerel ve Bölgesel Yönetimler Kongresi Anlaşmaları, Avrupa Kentsel Şartı, Ed. İzmir, Z., Toprak, H., Yavaş, M., Birleşik Yayınları.
- [30] Ergen, S. (2000) Sokakların Çocuk Oyun Alanı Olarak Kullanılabilirliğine İlişkin Bir Yöntem Denemesi: Süleymaniye Örneği. Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.



[31] Tandoğan, O. (2014). Çocuk İçin Daha Yaşanılır Bir Kentsel Mekân: Dünyada Gerçekleştirilen Uygulamalar. *Megaron*, 9(1),19-33.

[32] Surrey County Council, (2003). Tandridge Home Zone Project. Retrieved February 19, 2003, from www.surreycc.gov.ok. Erişim tarihi: 12.12.2017.

DOĞAL GAZ DAĞITIM ŞEBEKESİNDE ORİFİSMETRE ÖLÇÜM EKİPMANI TASARIMLANMASI VE ÖLÇÜM SONUÇLARININ ULTRASONİKMETRE SAYAÇ İLE DENEYSEL OLARAK KARŞILAŞTIRILMASI

Ramazan KÖSE¹, Ümit ERTURHAN^{2*}

¹Dumlupınar Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, KÜTAHYA

^{2*}Dumlupınar Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Bölümü, KÜTAHYA

Öz

Doğal gaz dağıtım sistemlerinde, hem alım satım amacıyla hem de var olan şehir şebekesini daha verimli yönetmek ve kesintisiz gaz arzı sağlamak amacıyla “ölçüm” son derece önemlidir. Özellikle şehir dağıtım şebekelerinin, bölgelerinde dağıtım görevini üstlenen “bölge regülatörleri”, doğal gaz şebekesinin doğru yönetilmesi için sürekli olarak izlenmeli ve kontrol edilmelidir. Bu çalışmada, bölge regülatörlerinde ölçme ve kontrol amacıyla yerli ve milli kaynaklarla orifismetre tasarımı yapılmış ve ortaya çıkan ürünün ölçüm sonuçları ultrasonikmetre tip sayacın ölçüm sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Çalışma boyunca farklı zaman aralıklarında ve farklı akış debilerinde elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Deneysel çalışma belirli bir bölgeyi besleyen bölge regülatörünün gerçek çalışma şartlarında yapılmıştır. Ölçümler ısıtma sezonu olan ocak, şubat, mart ayları ile birlikte ekim, kasım ve aralık aylarında yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda tasarımı yapılan orifismetre sayaç ile yaklaşık %98 doğrulukta ölçüm yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Doğal Gaz, Ölçme, Bölge Regülatörü, Orifismetre, Ultrasonikmetre

DESIGNING AN ORIFICE METER AS A MEASURING EQUIPMENT IN THE NATURAL GAS DISTRIBUTION NETWORK AND COMPARING MEASUREMENT RESULTS WITH ULTRASONIC METER EXPERIMENTALLY

Abstract

In natural gas distribution systems measurement is highly important for the purpose of both purchase&sale. Also, the management of existing natural gas distribution network in the city and providing continuous gas supply is important too. Especially, “local area regulation stations” which are responsible of natural gas company in distribution network should be watched and controlled for the management of the natural gas distribution network properly. In this study, the orifice meter was designed for the purpose of control and measurement in “local area regulation stations” with national and domestic fund. Then, the measurement results of designed orifice meter were compared with the measurement results of existing ultrasonic meter.

Sorumlu Yazar: Ümit ERTURHAN, umiterturhan@gmail.com

During the study, the results obtained at different time intervals and different flow rates were evaluated. Experimental study was carried out under real operating conditions of the zone regulator feeding a certain zone. Measurements were made in the months of January, February, March, which are the heating season, as well as in October, November and December. As a result of the study, approximately 98% accuracy was measured with the designed orifice meter.

Key Words: Natural Gas, Measurement, Local Area Regulation Stations, Orifis meter, Ultrasonic meter

1. GİRİŞ

Ölçme, mühendislik biliminin en temel yaklaşımıdır. Ölçmediğinizi bilemez, bilmediğimizi yönetemeyiz. Ölçme hayatımızın her alanında en temel faaliyet olup, mühendislik biliminin vazgeçilmez unsurudur.

Ülkemizde ilk defa 1853 yılında İstanbul'da kurulan hava gazı fabrikası ile gaz şebekesi sistemleri kurulmaya başlanmış, 1929 yılında Ankara'da kurulan hava gazı fabrikası ile devam etmiştir. Ülkemiz 1988 yılında Ankara'da, 1989 yılında da İstanbul'da ilk defa doğal gaz ile tanışmıştır. Ardından 1992 yılında Bursa, 1993 yılında Adapazarı, 1996 yılında Eskişehir ve Kocaeli şehirlerinde başlayan doğal gaz dağıtımını 2004 yılından sonra EPDK'nın ihaleleri ile ülke genelinde yaygınlaşmaya başlamıştır. Bugün 81 vilayetin tamamında ve 750'den fazla ilçe ve beldede doğal gaz dağıtım faaliyetleri yürütülmektedir. O yıllarda ülkemizde doğal gaz teknolojisi çok ileri düzeyde değildi. Hemen hemen tüm ekipmanlar (basınç düşürücüler, borular, sayaçlar, kazan ve kombi gibi yakıcı cihazlar vb.) yurt dışından ithal ediliyordu. Aradan geçen yaklaşık 30 yıl süre zarfında doğal gaz piyasası %90 oranında yerli üretime ulaşmış olsa da özellikle ölçüm ekipmanları (sayaç, transmitter, akış bilgisayarı vb) hala yurt dışından ithal edilmektedir.

Doğal gaz ülke içinde 35-75 bar basınç aralığındaki ulusal iletim şebekesi ile ülkeye giriş noktalarından şehirlerarası taşınmaktadır. Bir şehir dağıtım bölgesinde, bu basınç aralığındaki iletim hattından doğal gazı alınarak bir şehir giriş istasyonu (RMS/A) vasıtasıyla basınç 12-19 bar aralığına düşürülerek bu basınç ile şehir içindeki alt bölgelere ve mahallelere iletilir. Bu alt bölgelerde kurulan Bölge Regülatörü (BR) vasıtasıyla basınç 4 bara düşürülerek cadde ve sokaklarda bulunan son kullanıcılara iletilir. Son kullanıcılar ise gazı, her bina önünde kurulu bulunan servis kutusu içindeki basınç düşürücü regülatör vasıtasıyla 21 mbar veya 300 mbar

basınca düşürülerek kullanırlar.

Şehir içi doğal gaz dağıtım şebekelerinde her bölgenin kullanıcı sayısı ve ticari/konut abone dağılımı ve ekonomik yapısı farklı olabilir. Bu nedenle bölgelerde kullanılan doğal gazın kullanım yükleri de farklılık gösterebilir. Kesintisiz ve güvenli doğal gaz arzının sağlanabilmesi için bölgelerde kurulu olan bölge regülatörlerinin yüklerinin bilinmesi ve takip edilmesi son derece önemlidir. Bu nedenle bölge regülatörlerinde yük yönetimini izlemek ve kontrol altına almak amacıyla bir ölçüm ekipmanına ihtiyaç bulunmaktadır. Bu ölçekte bir ölçüm ekipmanının yurt dışından ithal edilmesi sebebiyle yerli imkânlarla ve daha uygun maliyetle bir orifismetre ölçüm ekipmanı tasarlanması, testlerinin yapılması ve standartlara uygun başka bir ölçüm ekipmanı ile ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması amacıyla bir çalışma planlanmıştır.

Bu çalışmada en önemli hususlardan birisi de akışkanların ölçümü konusu olmuştur. Akışkan ölçümleri yüz yıllardır kendini sürekli geliştiren bir konu olmuştur. Akışkanlar mekaniği teorisine bilinen ilk katkıyı, Yunanlı matematikçi Archimedes yapmıştır (İ.Ö.285-212). O, kral I. Hiero'nun tacındaki altın oranını belirlemek amacıyla tarihte yapılan ilk tahribatsız deney için akışkanların kaldırma ilkesini ortaya atmış ve uygulamıştır.

Devam eden yıllar boyunca Toricelli (1608-1647), Pascal (1623-1662), Newton (1643-1727), Bernoulli (1700-1782), Euler (1707-1783), Chezy (1718-1798), Navier (1785-1836), Coriolis (1792-1843), Reynold (1842-1912), Stokes (1819-1903), Prandtl (1875-1953) gibi bilim adamlarının hepsi akışkanların hesaplamaları ve ölçümlenmeleri konularında birçok çalışma ortaya koymuşlardır.

Bu çalışmalarda içerisinde, boru ve kanal içerisindeki akışlarla ilgili en önemli çalışmalar Bernoulli tarafından gerçekleştirilmiştir. Bir kanalın içerisine yerleştirilen orifis plakası vasıtasıyla orifis giriş ve çıkışı arasında basınç farklı oluşturulmakta ve Bernoulli denklemleri vasıtasıyla oluşan basınç farkı üzerinden geçen akışkanın debisi hesaplanmaktadır. Akışkanın hızı ne kadar yüksek olursa, üretilen fark basıncı o kadar yüksek olur, akış hızı fark basıncı ölçülerek hesaplanabilir. Bu akışı ölçme yöntemi, akış sürekliliği denklemine ve enerjinin korunumu kanununa dayanmaktadır.

Bu çalışma kapsamında doğal gaz dağıtım şebekesinde belirli bir bölgeyi besleyen bir bölge regülatöründe tadilat yapılarak tasarlanan orifismetre ölçüm ekipmanı ile sonuçların karşılaştırılması için bir ultrasonikmetre ölçüm ekipmanı seri olarak bağlanmıştır. Ölçüm sonuçları

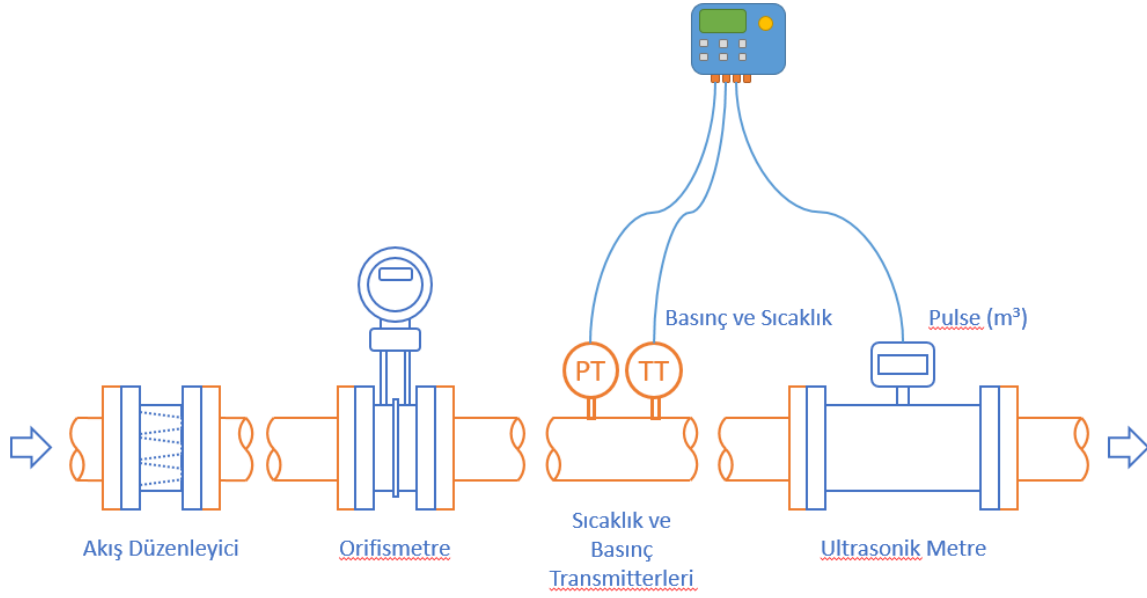
bölge regülatöründe kurulu bulunan SCADA sistemi ile anlık olarak kaydedilmiş ve çalışma süresince farklı debilerdeki akışlarda ölçüm sonuçları karşılaştırılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada, doğalgaz şebekesinin yük yönetimini düşük maliyetlerde yapabilmek için bölge regülatörlerinde kullanılacak % 90 doğrulukta ölçüm yapabilen ölçüm ekipmanı ve yazılımı geliştirilmiştir. Geliştirilen orifismetre ölçüm ekipmanı Eskişehir doğal gaz dağıtım bölgesinde kurulu bulunan bir bölge regülatöründe revizyon yapılarak akış düzenleyici ve ultrasonikmetre ile birlikte montajı yapılmıştır. Ölçüm değerleri bölge regülatöründe kurulu bulunan haberleşme sistemi ile doğal gaz dağıtım şirketinin SCADA merkezine aktarılarak veriler depolanmıştır. Yaklaşık 12 ay boyunca ölçüm değerleri alınarak sonuçlar elde edilmiştir.

2.1. Bölge Regülatöründe Orifismetre Ölçüm Ekipmanı Deney Düzeneği Tasarımı

Bu amaçla, çalışma kapsamında, Eskişehir doğal gaz dağıtım bölgesinde iç dizaynı bu çalışmayı yapmaya uygun bir adet bölge regülatörü seçilecek ve içerisinde gerekli mekanik revizyonlar yapılmış, 1 adet ultrasonikmetre tipinde sayaç ile bu sayaçtan alınacak m³ başına pulse bilgisini, gaz sıcaklığını ve basıncını değerlendirerek Stm³ cinsinden gaz akışını karşılaştırma yapılabilmesi amacıyla hesaplayacak 1 adet Elektronik Hacim Düzeltici (EHD) montajı bölge regülatörü istasyonuna yapılmıştır. Devamında proje ürünü olan Ölçüm Ekipmanının tasarım, düzeltme ve üretim aşamaları gerçekleştirilmiş ve aynı bölge regülatörü istasyonuna montajı yapılmıştır. Ölçüm ekipmanı ile ultrasonikmetre arasına ölçümü etkilememesi için 1 adet de akış düzenleyici montajı yapılmıştır. Yapılan çalışmanın şematik çizimi Şekil 1.'de gösterilmektedir.



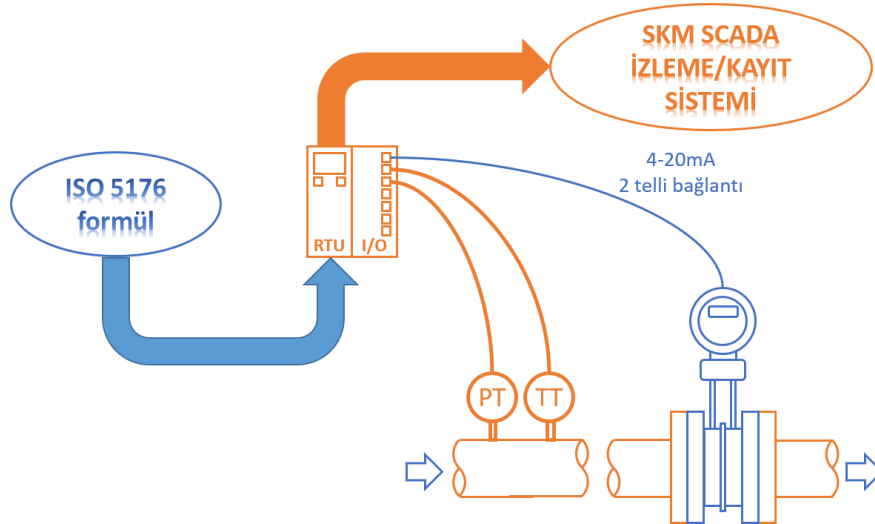
Şekil 1. Orifis metre deneysel planı şematik çizimi

Tasarımı tamamlanan ürünlerin montajlarının Şekil 2’de görülen bölge regülatörüne montajının yapılmasının ardından ölçümlere başlanmıştır.



Şekil 2. Bölge regülatörünün revizyon sonrası hali

Ölçüm ekipmanından alınan fark basınç bilgisini temsil eden 4-20mA analog sinyali istasyonda bulunan ve istasyon bilgilerini ESGAZ Merkezi SCADA sistemine iletmekle görevli RTU'ya (Remote Terminal Unit: Uzak Giriş/Çıkış Birimi) girilmiştir. Şekil 3'de görülen RTU cihazları uzak noktalardan toplanan analog ve dijital sinyallerin bir merkeze iletilmesinde kullanılan mikroişlemci temelli cihazlar olmakla birlikte içerisinde bir hesaplama ve işlem birimi de barındırmaktadır. Cihazın bu özelliğinden yararlanılarak yukarıdaki hesaplamada kullanılan ISO 5167 tabanlı formül bu RTU cihazına kendi geliştirme yazılımı ile işlenmiştir. Böylece ölçüm ekipmanından alınan fark basınç bilgisi volümetrik debiye dönüştürülmüştür.



Şekil 3. Orifis metre akış izleme şematik çizimi

RTU cihazına girilecek yazılım ile “mbar” cinsinden ölçüm ekipmanı basınç farkı “Std_m3/h” cinsinden debiye dönüştürülmüştür.

Yukarıda bahsedilen EHD cihazı da yine yukarıda bahsedilen RTU cihazına haberleşme yolu ile bağlanarak bu EHD bilgilerinin de SCADA sistemine aktarılması, ultrasonik metre ve ölçüm ekipmanı ölçümlerinin karşılaştırılması sağlanmıştır.

2.2. Orifis metre Tasarım Hesaplama Prosedürü

Fark basınç metoduyla ölçüm yapan bir debimetrede akışın kütlece debisi, EN ISO 5167 standart serisinde belirtilen belirsizlik sınırları içerisinde basınç farkına bağlı olması nedeniyle Eşitlik (1) kullanılarak hesaplanır;

$$q_m = \frac{C}{\sqrt{1-\beta^4}} \varepsilon \frac{\pi}{4} d^4 \sqrt{2\Delta p \rho_1} \quad (1)$$

Benzer şekilde, akışın hacim debisi aşağıda verilen Eşitlik (2) kullanılarak hesaplanabilir;

$$q_V = \frac{q_m}{\rho} \quad (2)$$

q_m : Kütlece Debi (kg/s)

q_V : Hacimsel Debi (m³/s)

β : Çap Oranı

ε : Genleşebilirlik Faktörü

d : Orifis Çapı (m)

Δp : Fark Basınç (Pa)

ρ_1 : Girişteki akışkan yoğunluğu (kg/m³)

C : Akış Katsayısı

Kütlece debi hesabında hat çapı, orifis iç çapı ve hesaplanan çap oranı değerleri şu şekildedir:

$$d=57,00 \text{ mm}$$

$$D=154,06 \text{ mm}$$

$$\beta = \frac{d}{D} = \frac{57,00}{154,06} = 0,37 \quad (3)$$

Δp : Fark Basınç Sensöründen okunan 4-20 mA karşılığındaki fark basınç, 0-1000 mbar (0-100000 Pa), Tablo 1'de verilen hesaplama tablosunda 0 ile %100 okuma ölçeğinde 21 farklı ölçüm noktası belirlenmiştir.

Tablo 1. Fark basınç sensöründen elde edilen ölçüm noktası tablosu

No	Δp [%]	Δp [mbar]	qm [kg/h]	qV [m ³ /s]	Re _D	qV [Sm ³ /s]
min.	0,1	1,0	152,9	40,9	3,37E+04	211,77
1	5	50,0	1073,0	287,0	2,37E+05	1486,25
2	10	100,0	1512,7	404,7	3,33E+05	2095,23
3	15	150,0	1847,1	494,1	4,07 E+05	2558,50
4	20	200,0	2126,7	568,9	4,69 E+05	2945,69
5	25	250,0	2370,8	634,2	5,23 E+05	3283,86
6	30	300,0	2589,6	692,7	5,71 E+05	3586,91
7	35	350,0	2789,0	746,1	6,15 E+05	3863,13
8	40	400,0	2973,0	795,3	6,55 E+05	4117,92
9	45	450,0	3144,2	841,1	6,93 E+05	4355,06
10	50	500,0	3304,6	884,0	7,28 E+05	4577,28
11	55	550,0	3455,8	924,5	7,62 E+05	4786,67
12	60	600,0	3598,9	962,7	7,93 E+05	4984,86
13	65	650,0	3734,8	999,1	8,23 E+05	5173,12
14	70	700,0	3864,3	1033,7	8,52 E+05	5352,51
15	75	750,0	3988,0	1066,8	8,79 E+05	5523,89
16	80	800,0	4106,5	1098,5	9,05 E+05	5688,00
17	85	850,0	4220,2	1128,9	9,30 E+05	5845,43
18	90	900,0	4329,4	1158,2	9,54 E+05	5996,73
19	95	950,0	4434,5	1186,3	9,77 E+05	6142,34
20	100	1000,0	4535,8	1213,4	1,00 E+05	6282,65

Yukarıda verilen formülde kütleli debinin hesaplanabilmesi için direkt olarak akışkan cinsine, sıcaklık ve basıncına bağlı olarak değişkenlik gösteren parametrelerin bulunması veya hesaplanması gerekmektedir. Bunun için, şebeke bilgileri kullanılarak yoğunluk, dinamik viskozite ve diğer değerler elde edilmiştir.

Yoğunluk

Doğalgaz yoğunluğu gazın muhteviyatıyla direkt orantılıdır. Bu ve diğer fiziksel özelliklerin hesaplaması için AGA-8 standardındaki korelasyonlar kullanılmıştır. Gaz muhteviyatı için şehir ana gaz giriş istasyonundaki kromatografadan alınan yıllık ortalama değerler Tablo 2'de gösterilmiştir:

Tablo 2. Gaz kromotograftan alınan yıllık ortalama değerler

Metan	Nitrojen	CO2	Etan	Propan	İ- Bütan	N- Bütan	İ- Pentan	N- Pentan	Heksan	Spesifik Graviyt
95,0603	1,1467	0,3226	2,3258	0,767	0,1286	0,1565	0,0351	0,0337	0,0236	0,5867
%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	

Bölgenin şartları ve hat içerisinde değişkenlik gösterebilecek parametreler gereği, yoğunluk bilgileri arasında interpolasyon yapılabilmesi amacıyla farklı sıcaklık ve basınç değerleri üzerinden yoğunluk değerleri hesaplatılmıştır.

Tablodaki değerler AGA-8 standardına göre ve “Detail” hesaplama metoduyla hesaplanarak aşağıdaki yoğunluk değerleri elde edilmiştir.

Tablo 3. AGA-8 standardına göre hesaplanan yoğunluk değerleri

Sıcaklık (°C)	-5	0	7	15	30	0	0	0	0
Basınç (MPa)	0,492	0,492	0,492	0,492	0,492	0,42	0,44	0,55	0,59
Yoğunluk (kg/m ³)	3,80001	3,72733	3,63029	3,52559	3,34517	3,17588	3,32885	4,17307	4,48128

Dinamik Viskozite

Dinamik viskozite değeri LGE (Lee, Gonzalez and Eakin correlation) metoduyla hesaplanarak aşağıdaki viskozite değerleri elde edilmiştir.

Tablo 4. Hesaplanan vizkozite değerleri

Sıcaklık (°C)	-5	0	7	15	30	0	0	0	0
Basınç (MPa)	0,492	0,492	0,492	0,492	0,492	0,42	0,44	0,55	0,59
Vizkozite (Pa.s)	1,023E- 05	1,043E- 05	1,069E- 05	1,1E-05	1,156E- 05	1,042E- 05	1,042E- 05	1,043E- 05	1,044E- 05

Dinamik viskozite, Reynolds sayısını, ve akabinde C akış katsayısını bulmak için kullanılmıştır.

Cp/Cv, İzantropik Üs

Cp/Cv katsayısı (veya İzantropik Üs ideal gazlar için bu iki değer birbirine eşittir, ancak doğal gaz fiziksel özellikleri reel gaz olarak hesaplandığında fark çıkmaktadır. Bu yüzden izantropik üs parametresi kullanılmıştır.) yoğunluk hesabında olduğu gibi AGA-8 hesaplamaları sonucu elde edilmektedir. Bu hesaplamalar sonucunda aşağıdaki tablo elde edilmiştir.

Tablo 5. AGA-8 standardına göre hesaplanan izantropik üs

Sıcaklık (°C)	-5	0	7	15	30	0	0	0	0
Basınç (MPa)	0,492	0,492	0,492	0,492	0,492	0,42	0,44	0,55	0,59
İzantropik Üs	1,3065	1,30485	1,30242	1,29947	1,29353	1,30472	1,30475	1,30497	1,30506

Genleşebilirlik Faktörü, ϵ

Genleşebilirlik faktörü hesabında EN ISO 5167-2 bölüm 5.3.2.2’de verilen ampirik formül kullanılmıştır.

Genleşme (genişleme) faktörü, ϵ

Üç basınç ölçme deliği tanzimi için, genleşme (genişleme) faktörü ϵ ’un hesaplanması amacıyla kullanılacak

ampirik eşitlik aşağıda verilmiştir:

$$\epsilon = 1 - (0,351 + 0,256\beta^4 + 0,93\beta^8) \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{1/K} \right] \quad (4)$$

Eşitlik 3 sadece Madde 5.3.1’de belirtilen kullanma sınırları arasında uygulanabilir.

ϵ değeri ile ilgili hesaplama sonuçları sadece hava, buhar ve doğal gaz için belirlenmiştir. Bununla birlikte,

Eşitlik 3’in izotropik üs değeri bilinen diğer gazlar ve buharlar için de kullanılmasında bir sakınca yoktur.

Buna rağmen Eşitlik 3 sadece $(p_2 / p_1) \geq 0,75$ olduğunda uygulanabilir.

İzotropik üssün fonksiyonu olarak, genleşme (genişleme) faktörü, basınç oranı ve çap oranı değerleri kolaylıkla ulaşılabilmesi için TS EN ISO 5167-2’de ki Çizelge A.12’de verilmiştir. Bu değerler hassas enterpolasyon için kullanılmamalıdır. Ekstrapolasyon yapılmasına müsaade edilmez (TS EN ISO 5167-2/Nisan 2006).

Akış Katsayısı

Fark basınç debi hesabında kullanılan en önemli parametre olan akış katsayısı, yine TS EN ISO 5167-2 standardında 5.3.2.1 bölümünde yer alan Reader-Harris/Gallagher denklemi ile elde edilmiştir. Denklemin içerisinde Reynolds sayısı bulunması sebebi ile, gerçek akış katsayısı değeri ancak birkaç iterasyondan sonra elde edilebilmektedir. Dolayısıyla hesaplama yapılan 21 nokta için en az 5'er kez iterasyon yapılarak doğru akış katsayısı hesaplanmıştır. Ancak, akış katsayısı, direkt olarak debimetrenin geometrisine bağlıdır, dolayısıyla üretimdeki sapmalar bu değerde farklılıklara yol açacaktır. Bu değer için spesifik bir debimetre için öğrenmenin diğer bir yolu ampirik deneyler, yani diğer adıyla kalibrasyondur.

Kütlesel Debi

Hesaplamaya devam ederken tek bir kütleli debi hesaplanmıştır. Bu kütleli debi, kış şartlarında referans olarak müşteri tarafından verilmiş olan “0 °C. 4 barg” koşulları altında hesaplanmıştır. Göreli basınçtan (barg) mutlak basınca (bara) çeviri ise yine müşteri tarafından verilmiş olan Eskişehir bölgesine ait atmosferik basınç, 992 mbar, ile hesaplanmıştır. (4000 + 992 = 4992 mbara) Bu durumda, Tablo 6’da 0-%100 ölçek aralığında sensörde okunan değere karşılık gelen kütleli debi, yukarıda belirtilen tüm parametreler kullanılarak bulunmuştur.

Bulunan kütleli debinin Sm^3/h cinsine dönüştürülmesi için aşağıdaki formül kullanılır.

$$q_{V,Std} = \frac{q_m}{\rho_{1,Std}} \quad (5)$$

$q_{V,Std}$: Standart koşullar altında indirgenmiş hacimsel debi ($Stdm^3/h$)

$\rho_{1,Std}$: Standart koşullar altında indirgenmiş yoğunluk (kg/m^3)

Standart koşullar: 15 °C sıcaklık ve 1013 mbara basınç

Bu durumda ölçüm tablosunun son durumu Tablo 7’de gösterilmiştir.

Tablo 6. Hesaplanan kütleli debi

Yüzde (%)	Akım (mA)	DP, ΔP (mbar)	Akış, q _m (kg/h)
1	4.160	10	484,4
5	4.800	50	1079,3
10	5.600	100	1521,6
15	6.400	150	1858,0
20	7.200	200	2139,2
25	8.000	250	2384,8
30	8.800	300	2604,9
35	9.600	350	2805,5
40	10.400	400	2990,6
45	11.200	450	3162,8
50	12.000	500	3324,2
55	12.800	550	3476,3
60	13.600	600	3620,2
65	14.400	650	3757,0
70	15.200	700	3887,3
75	16.000	750	4011,7
80	16.800	800	4130,9
85	17.600	850	4245,3
90	18.400	900	4355,2
95	19.200	950	4460,9
100	20.000	1000	4562,9

Tablo 7'ye göre, 1000 m³/h nominal ve 5000 Sm³/h azami ölçüm karşılanmaktadır.

Ancak, hat içerisindeki anlık basınç ve sıcaklık değişimlerinde akışkanın fiziksel özellikleri de değişmektedir. Bu değişim ölçülen basınç farkına tekabül eden kütleli debi hesaplamasına anlık olarak yansımaktadır. Anlık hesaplamaların basınç ve sıcaklık değerleri ile düzeltilmesi işlemine sıcaklık ve basınç kompanzasyonu denir.

Tam teşekküllü akış bilgisayarlarında bu kompanzasyon anlık sıcaklık ve basınç değerleri ile (ve aynı zamanda kromatograf yoluyla elde edilen muhteviyat bilgisi ile) AGA-8 formülünü sürekli hesaplayarak yeni fiziksel parametreler elde ederek gerçekleşir.

Tablo 7. Hesaplanan kütleli debi ve standart akış

Yüzde (%)	Akım (mA)	DP, ΔP (mbar)	Akış, q _m (kg/h)	Standart Akış, q _{v,Std} (Sm ³ /h)
1	4.160	10	484,4	672,8
5	4.800	50	1079,3	1499,1
10	5.600	100	1521,6	2113,4
15	6.400	150	1858,0	2580,6
20	7.200	200	2139,2	2971,2
25	8.000	250	2384,8	3312,3
30	8.800	300	2604,9	3618,0
35	9.600	350	2805,5	3896,6
40	10.400	400	2990,6	4153,7
45	11.200	450	3162,8	4392,9
50	12.000	500	3324,2	4617,0
55	12.800	550	3476,3	4828,3
60	13.600	600	3620,2	5028,2
65	14.400	650	3757,0	5218,1
70	15.200	700	3887,3	5399,1
75	16.000	750	4011,7	5572,0
80	16.800	800	4130,9	5737,5
85	17.600	850	4245,3	5896,4
90	18.400	900	4355,2	6049,0
95	19.200	950	4460,9	6195,9
100	20.000	1000	4562,9	6337,5

Basınç ve sıcaklık kompanzasyonu daha basit ve faturaya yönelik ölçüm yapılmayan cihazlarda ideal gaz denklemi kullanılarak yapılır. Bu uygulamada da ideal gaz denklemi kullanılmıştır. Bu denklemde değişen sıcaklık ve basınçlar için şu kompanzasyon formülü kullanılmaktadır:

$$q_{v,Std,anlık} = q_{v,Std} \sqrt{\frac{273,15 P_{anlık}}{T_{anlık} 4992}} \quad (6)$$

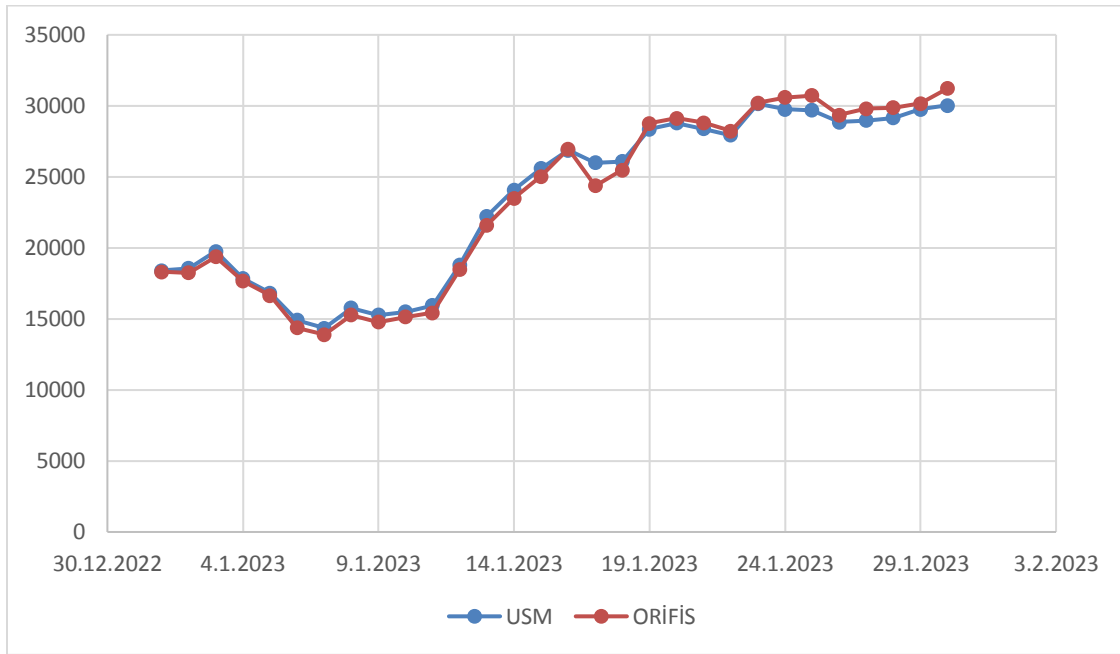
$q_{v,Std,anlık}$: Anlık hacimsel standart debi (Sm³/h)

$T_{anlık}$: Anlık mutlak sıcaklık (K)

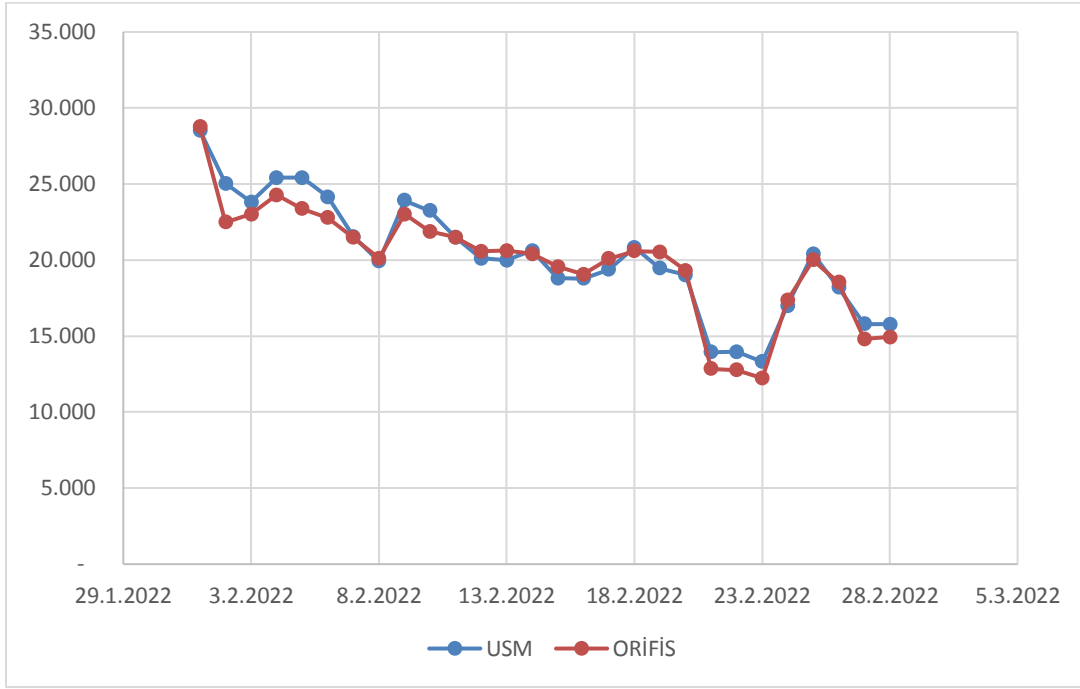
$P_{anlık}$: Anlık mutlak basınç (mbara)

3. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

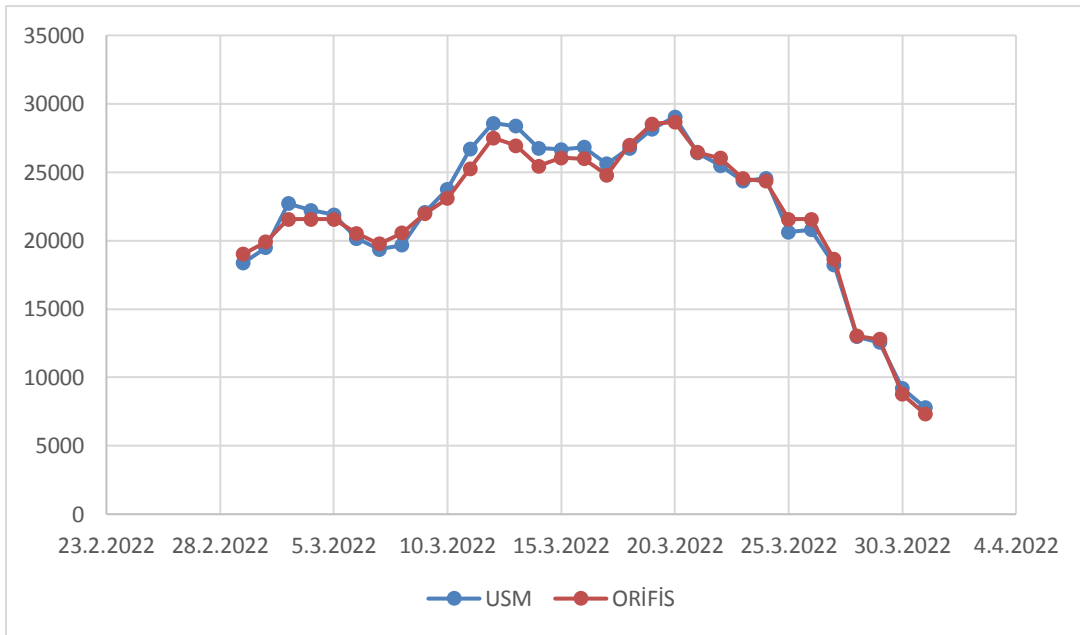
DeneySEL çalışma belirli bir bölgeyi besleyen bölge regülatörünün gerçek çalışma şartlarında yapılmıştır. Ölçümler ısıtma sezonu olan ocak, şubat, mart ayları ile birlikte ekim, kasım ve aralık aylarında yapılmıştır. Bunun dışında kalan aylarda aynı bölgeyi besleyen birden fazla bölge regülatörü olduğu için çalışmanın yapıldığı bölge regülatörü devre dışı kaldığından ölçüm sonuçları alınamamıştır. Çalışma sonuçları aşağıda verilmiştir. Şekil 4’de verilen ocak ayı değerlerine bakıldığında ölçüm sonuçlarının %99,37, Şekil 5’de verilen şubat ayı değerlerine bakıldığında ölçüm sonuçlarının %98,06, Şekil 6’de verilen mart ayı değerlerine bakıldığında ölçüm sonuçlarının %99,31, Şekil 7’de verilen ekim ayı değerlerine bakıldığında ölçüm sonuçlarının %97,69, Şekil 8’de verilen kasım ayı değerlerine bakıldığında ölçüm sonuçlarının %98,78, Şekil 9’de verilen aralık ayı değerlerine bakıldığında ölçüm sonuçlarının %98,64 olduğu görülmektedir.



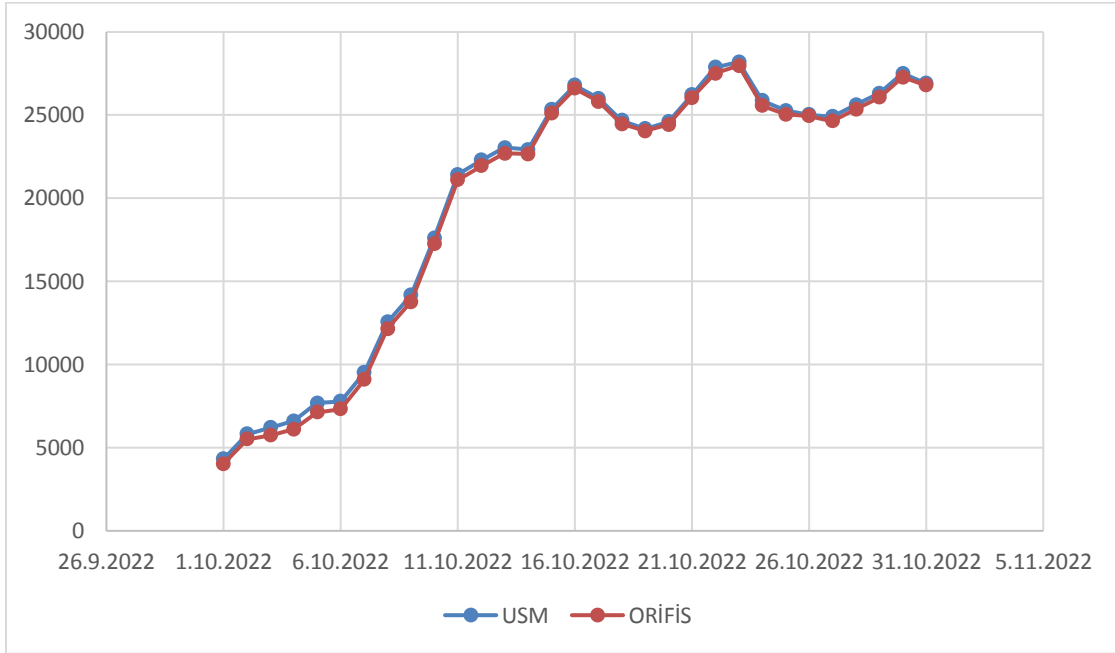
Şekil 4. Ocak 2022 ölçüm sonuçları



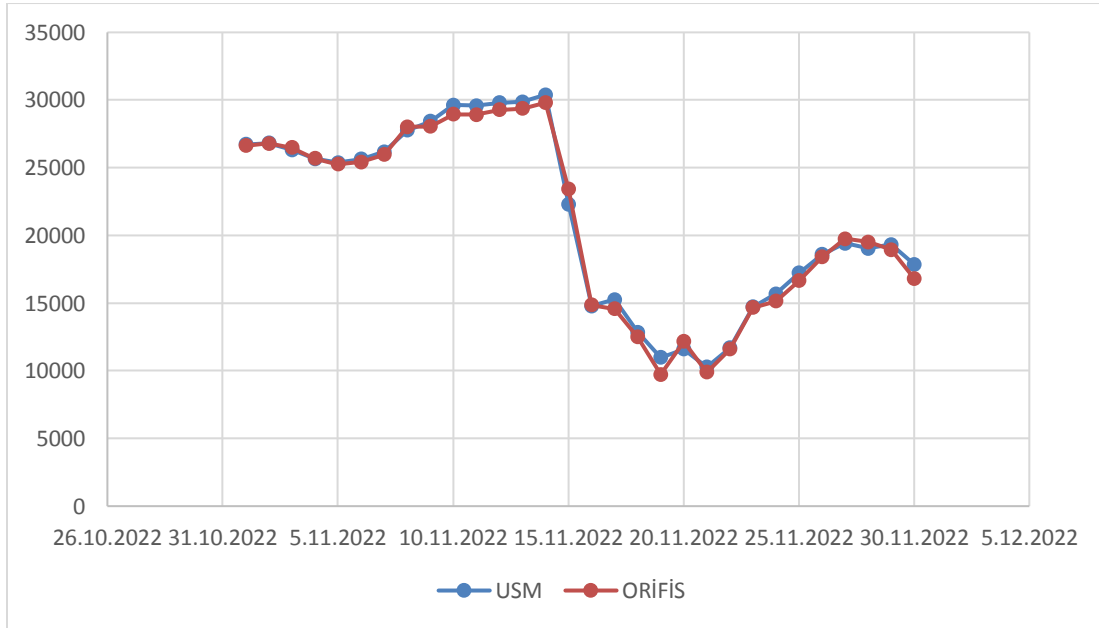
Şekil 5. Şubat 2022 ölçüm sonuçları



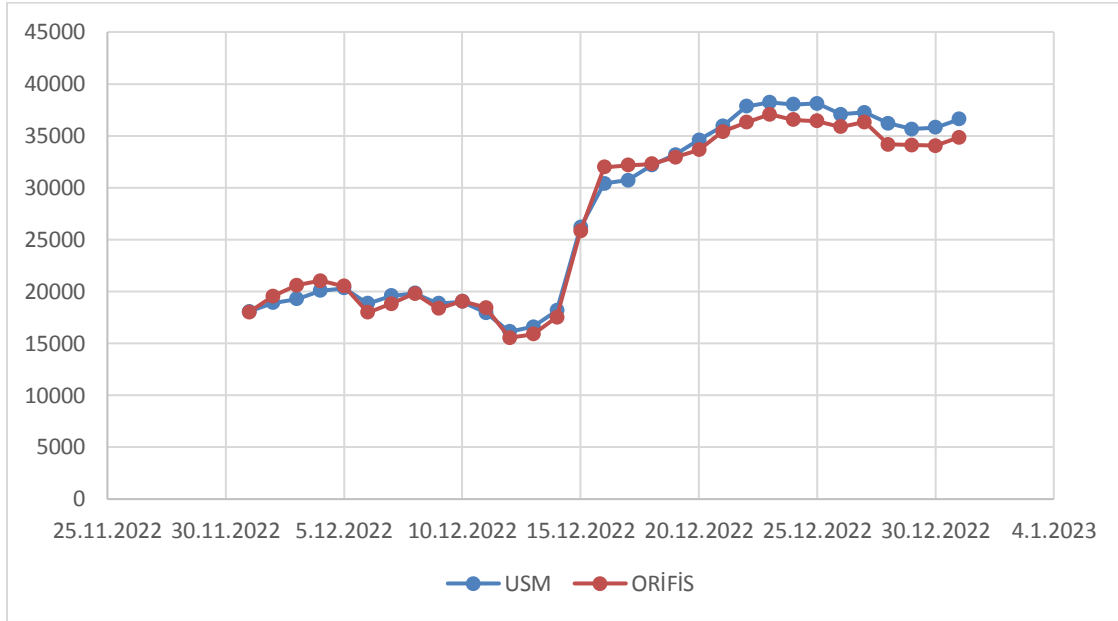
Şekil 6. Mart 2022 ölçüm sonuçları



Şekil 7. Ekim 2022 ölçüm sonuçları



Şekil 8. Kasım 2022 ölçüm sonuçları



Şekil 9. Aralık 2022 ölçüm sonuçları

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada doğal gaz dağıtımını yapan bir şebekede kurulu bulunan ve belirli bir bölgeyi besleyen bölge regülatörünün üzerine yerli ve milli imkânlarla tesis edilen bir orifis metre ile elde edilen sonuçlar doğruluğu belgelendirilmiş ve ticari amaçlı kullanıma uygun bir ultrasonik metre sayacın sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Sonuçları birbirine oranladığımızda çıkan doğruluk oranları özet olarak Tablo 8’de sunulmuştur.

Tablo 8. Ölçüm sonuçları özet tablosu

Aylar	Oca	Şub	Mar	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl	Eki	Kas	Ara
Sonuç	%99,37	%98,06	%99,31	-	-	-	-	-	-	%97,69	%98,78	%98,64

Sonuçlara göre yapılan değerlendirme orifismetrenin %98,64 ortalama doğrulukta ölçüm yaptığını göstermiştir.



Bu deneysel çalışma mevcut bir bölge regülatöründe yapılan revizyonlar ile gerçekleştirilmiştir. Dağıtım bölgelerinde kullanılan tüm bölge regülatörleri aynı mekanik tasarım yapısına sahip olmayabilir. Ortaya çıkan ürünün kullanımı için mutlaka girişte laminar akış sağlayacak bir düz boru mesafesine ihtiyaç olacaktır. Bu husus ortaya çıkan ürünün kullanım alanlarını kısıtlayabilir.

Bundan sonraki çalışmalarda laminar akışın sağlanması için orifis metre giriş alanında kullanılan akış düzenleyicilerin etkinliği ve daha etkin akış düzenleyiciler geliştirilmesi üzerine çalışmalar yapılabilir. Ayrıca geliştirilen bu orifis metre ürünü daha büyük ölçekte gaz tüketimi olan basınç düşürme ve ölçüm istasyonlarında kullanımı deneyimlenerek daha yüksek debilerdeki ölçüm doğrulukları araştırılabilir. Bununla birlikte aynı deney düzeneğinde çok delikli orifis metre tasarımı da yapılarak çok delikli orifis metrelerin tek delikli orifis metrelere göre ölçüm doğrulukları açısından sonuçları da araştırılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Anonim 1, Türk Standardı TS EN ISO 5167-2 (Nisan 2006). Türk Standartları Enstitüsü, Erişim tarihi: 10.05.2023.
- [2] Anonim 2, AGA Report No. 8, Part 1, Thermodynamic Properties of Natural Gas and Related Gases Using DETAIL and GROSS Equations of State, American Gas Association (2017), Erişim tarihi: 10.05.2023.
- [3] Anonim 3, ASME MFC-3M-2004, Measurement of Fluid Flow in Pipes Using Orifice, Nozzle and Venturi, The American Society of Mechanical Engineers (2015), Erişim tarihi: 10.05.2023.
- [4] Anonim 4, Orifice Metering of Natural Gas and Other Related Hydrocarbon Fluids Part 1, American Gas Association Report No:3, American Petroleum Institute API 14.3, Gas Processors Association (1990), Erişim tarihi: 10.05.2023.
- [5] Y. Çengel and J.M. Cimbala. (2012). Akışkanlar Mekaniği Temelleri ve Uygulamaları.

ASANSÖRLER İÇİN HATADA GÜVENLİ BİR ELEKTRONİK KART TASARIMI

Özgür Turay KAYMAKÇI^{1*}, Furkan KARBAYIR²

^{1*}Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Çanakkale, Türkiye

²Arkel Elektrik Elektronik A.Ş., İstanbul, Türkiye

Öz

Dijitalleşme ve endüstri 4.0'ın etkisi ile gündelik hayatımızda kullandığımız birçok sistemde artık daha fazla elektronik ve programlanabilir elektronik bileşen bulunmaktadır. Bu artan karmaşıklık beraberinde birçok güvenlik riskini de açığa çıkartmıştır. İlgili sistemleri güvenli kılmak adına uluslararası camia birçok standart ve regülasyon ortaya koymuştur. Bu noktada IEC 61508 standardı güvenlikle ilgili sistemin hayata geçirebilmek için donanımsal ve yazılımsal açıdan gerekli özellikleri tanılamaktadır. Zaman içinde IEC 61508 temel alınarak birçok sektörel standart türetilmiştir. Lakin hem akademik camia hem de sektör temsilcileri EN 81-20 ve IEC 61508 kapsamında asansör sistemleri için ne şekilde elektronik sistemler geliştireceklerini tam olarak bilmemektedirler. Bu çalışma ile bu boşluğun kapatılması hedeflenmiş, ilgili tasarımı yapar iken nelere dikkat edilmesi gerektiği ve ilgili hesaplamaların hangi standartlara göre ne şekilde yapılması gerektiği ve çıkan sonuçların anlamı irdelenmiştir. Bu kapsamda asansör kapılarının pozisyonları hatada güvenli bir şekilde takip eden hatada güvenli bir elektronik kart geliştirilmiştir. Ayrıca yapılan hesaplamalar sonucunda tasarlanan kartın $PFH_{SYS}=3.64 \cdot 10^{-8}$ 1/h, $SFF=0.876$ ve $HFT=1$ değerlerine sahip olduğu gözlemlenmiş, buna göre sistemin IEC 61508 standardındaki SIL 3 güvenlik seviyesine sahip olduğu gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Fonksiyonel Güvenlik, Asansör, FMEA, Güvenilirlik

A FAIL SAFE ELECTRONIC CARD DESIGN FOR LIFTS

Abstract

With the impact of digitalization and Industry 4.0, many systems used in our daily lives include more electronic and programmable electronic components. This increased complexity has also revealed many safety risks. The international community has put forward many standards and regulations to make these systems safer. At this point, the IEC 61508 standard identifies the hardware and software requirements for a safety-related system to be implemented. Over time, many sectoral standards have been derived from IEC 61508.

Sorumlu Yazar: Özgür Turgay KAYMAKÇI, okaymakci@comu.edu.tr

However, both academic community and sector representatives do not know exactly how to design electronic systems for lifts within the scope of EN 81-20 and IEC 61508. With this study, it was aimed to close this gap. What should be considered while making the relevant design, how the relevant calculations should be made according to which standards, and the meaning of the results were examined. In this context, a fail-safe electronic card has been designed that follows the positions of the lift doors safely in case of failure. In addition, it was observed that the designed card had $PFH_{SYS}=3.64 \cdot 10^{-8}$ 1/h, $SFF=0.876$ and $HFT=1$ values as a result of the calculations. It has also shown that the system has the SIL 3 safety level according to IEC 61508 standard.

Keywords: Functional Safety, Lifts, FMEA, Reliability

1. GİRİŞ

Modern asansörlerin tarihi, hammaddelerin dağ eteklerinden taşınma ihtiyacıyla başlar. Bu kapsamda ilk elektrikle çalışan asansör, Werner von Siemens tarafından 1878 yılında üretilmiştir. Malzeme mühendisliğindeki gelişim ve endüstri devrimi ise 1929 yılında Clarence Conrad Crispin'in ilk konut asansörünü üretmesini önünü açmıştır. Zaman içinde yolcu ve yük taşımacılığını bugünkü seviyesine taşımıştır.

Günümüzde asansör sistemleri hem mekanik hem de elektriksel pek çok güvenlik fonksiyonunu bünyesinde barındırmaktadır. Bu güvenlik fonksiyonları genellikle röleler ile birbirine bağlanmakta öyle ki rölelerin seri olarak bağlanmış normalde kapalı kontakları üzerinden bir güvenlik devresi oluşturmaktadır. En nihayetinde bu devre asansör motorunu süren ana kontaktörün bobinine seri olarak bağlanmakta ya da ilgili motoru süren sürücünün acil durdurma girişine bağlanmaktadır. Bu noktada güvenlik kontaklarından herhangi birisinin açması halinde ana kontaktörünün enerjisi kesilmekte ve asansör durmaktadır.

Klasik asansör sistemlerinde güvenlik devresinde bulunan alt ve üst limit anahtarlar, zorunlu yavaşlama anahtarları, kapı bölgesi manyetik anahtarları, vb. birçok eleman ya mekanik ya da elektromekanik cihazlardır. Diğer taraftan bu tip cihazlar gerek bakım ihtiyaçları gerekse montaj, bağlantı ve kablolama zorlukları nedeni ile günümüzde programlanabilir elektronik cihazlar ile hayata geçirilmeye başlanmıştır. Lakin bu elektronik sistemler diğer sistemlerden farklı olarak yüksek güvenilirlik ve hatada güvenli çalışma koşullarını sağlamak zorundadır.

Bu noktada elektrik, elektronik ve programlanabilir elektronik cihazlarda fonksiyonel güvenliğin sağlanması için IEC 61508 standardı tanımlanmıştır [1]. Ayrıca konu ile alakalı EN 81-50 gibi sektörel standartlar da tanımlanmıştır. EN 81-50 standardı, asansör sistemlerinde güvenlik bütünlük seviyesine uygun programlanabilir elektronik cihazların tasarımı ile alakalı normatif kurallardan tanımlamaktadır [2].

EN 81-50 sektörel bir standart olması neticesinde asansör sistemlerinde olması gereken minimum güvenlik fonksiyonlarının neler olduğu ve bu güvenlik fonksiyonlarının sağlanması gereken en düşük güvenlik bütünlük seviyesi hakkında tavsiyeler vermektedir. Standartta göre ilgili güvenlik fonksiyonunun bertaraf ettiği riskin büyüklüğüne göre tasarlanması hedeflenen elektrik, elektronik ya da programlanabilir elektronik sistemin genellikle SIL 3 seviyesinde bir güvenlik bütünlük seviyesine sahip olması gerektiğini tavsiye etmekle beraber bazı güvenlik fonksiyonlarının SIL 2 olarak da tasarlanmasına izin vermektedir.

Endüstriyel sistemlerdeki dijitalleşmenin bir sonucu olarak sistemlerde açığa çıkan karmaşıklık fonksiyonel güvenliğe olan ilgiyi arttırmaktadır. Sistemlerde yazılım ve donanımsal olarak artan karmaşıklık birçok riski de beraberinde getirmekte; bu artan riskleri yönetmek ve kabul edilebilir seviyede tutmak için uygun risk yönetim süreçlerini ve sonuçta fonksiyonel güvenliğe uygun sistemlerin tasarlanmasını zorunlu kılmaktadır.

Bu kapsamda özellikle son yıllarda bir çok araştırma yapılmıştır. Flesch ve ekibi, sayısal sinyal işleme alanında bir vaka çalışmasını değerlendirerek FPGA uygulamalarında hata toleransına uygulanan bir güvenlik metodolojisi geliştirmişlerdir [3]. Meany ise değişken hız sürücülerıyla ilgili temel güvenlik standartlarını incelemiş ve motor enerjisinin güvenli şekilde sıfırlanmasının nasıl yapılabileceğini araştırmıştır [4]. Kim ve ekibi ise elektrikli gemiler için güç yönetim sistemleri için fonksiyonel güvenlik standartlarının uygulanabilirliğini ele almış ve EN 61508 standardına göre bir risk grafiği ve saat başına başarısızlık ihtimali değerlendirmesi sunmuşlardır [5]. Diğer taraftan Gradwell ise acil kapatma sistemlerinin emniyet bütünlük seviyesini belirlemek için fonksiyonel güvenlik tekniklerini kullanmış ve güvenli tasarım yaklaşımlarının proses endüstrileri tarafından nasıl uygulandığı üzerinde bir çalışma yapmıştır [6].

Ayrıca şunu ifade etmek gerekir ki son yıllarda yapılmış fonksiyonel güvenlik ve elektronik sistem tasarımı araştırmaları genellikle otomotiv endüstrisi merkezlidir. Sinha ve arkadaşları arızada

çalışma yeteneklerine sahip telli fren sistemi için bir sistem mimarisi önermişlerdir öyle ki önerilen sistem mimarisine ait güvenlik ve güvenilirlik analizi, karayolu taşıtlarında elektrik/elektronik sistemlerin fonksiyonel güvenliği için ortaya atılmış ISO 26262 standardına göre yapılmıştır [7]. Bir başka çalışmada da Kilian ve arkadaşları ise otomotiv endüstrisinde güç sistemlerinin fonksiyonel güvenliğini incelemişler, ISO 26262'nin pratik uygulaması için yorumlar ve öneriler ortaya koymuşlardır. Bu kapsamda güvenlik gereksinimlerinin ASIL tahsisi ve ASIL ayrıştırma konumu, başarısızlık oranlarının türetilmesi ve farklı bileşenler arasındaki girişimin önlenmesi konusunda analiz ve tavsiyelere değinmişlerdir [8]. Yine bir diğer otomotiv endüstrisi ile ilgili çalışmada Pancik ve arkadaşları elektronik park freni ile ilgili kontrol yazılımıyla ilgili tehlike analizi ve risk değerlendirmesini incelemiş, sistemin fonksiyonel mimarisine kapsayan yazılım öğelerinin sağlaması gereken ASIL risk seviyelerini belirlemiştir [9].

Konunun artan önemine istinaden birçok derleme çalışması da yapılmıştır. Yakın zaman önce Wang ve arkadaşları güç elektroniği bileşenleri ve donanım sistemleri üzerine yapılan araştırmaların güvenilirlik yönlerine ilişkin bir güncelleme çalışması yapmışlar; başarısızlık mekanizmaları, test yöntemleri, birikmiş hasar modellemesi ve görev profiline dayalı güvenilirlik tahmini konusundaki en son gelişmeleri sunmuşlardır [10]. Bir başka derleme çalışmasında ise özellikle küçük şebekelerde güç elektroniği güvenilirliğinin ve bunun sistem tasarımı üzerindeki etkisinin doğru bir şekilde araştırılmasını sağlamak için mevcut güvenilirlik yöntemleri incelenmiş, güç elektroniği ve güç sistemi güvenilirliği arasında köprü kuran son yayınlarla birlikte aşınma modelleme kavramlarının temel özellikleri ayrıntılı olarak tartışılmıştır [11].

Diğer taraftan asansör kontrol sistemine fonksiyonel güvenlik perspektifinden bakan çok fazla akademik çalışma ne yazık ki bulunmamaktadır. Uluslararası sektör temsilcileri genellikle sektörel olarak sağlaması gereken minimum koşulların tanımlandığı tasarım aşamasında yol göstermekten çok uzak, sadece hedefleri belirten EN 81-20 ya da EN 81-50 gibi standartlar yayınlamaktadırlar. Bu kapsamda yapılan tüm aktiviteler genellikle patent ile koruma altına alınmaktadır. Nadir yapılmış çalışmalardan bir tanesinde Soury ve arkadaşları PESSRAL merkezli olarak güvenlik zincirini incelemiş ve güvenlik zinciri içinde gerçek zamanlı iletişim sağlayan deterministik bir işlemci çekirdek mimarisi önermişlerdir [12]. Bu çalışmanın Soury ve arkadaşlarının yaptığı çalışmadan en büyük farklı ilgili çalışmada Soury ve arkadaşları sadece bir mimari önerir iken ilgili

mimarinin ne şekilde geliştirilmesi gerektiği noktasında bir yol gösterme ya da hesaplama yapmamışlardır. Bu çalışmada ise gerekli hesaplama ve teknikler ile ilgili güvenlik bütünlük seviyesine ne şekilde ulaşılacağı net bir şekilde gösterilmiştir.

Bu noktada bu çalışma ile hem literatüre katkı sağlamak hem de sektör temsilcilerine yol gösterebilmek adına güvenlik zincirine kolaylıkla dâhil edilebilecek bir elektronik kart tasarımı yapılmış, gerekli hesaplamalar yapılarak istenilen güvenlik bütünlük seviyesinin sağlandığının gösterilmesi hedeflenmiştir.

Bu kapsamda konu olan elektronik kart asansör kuyusuna güvenli erişim sağlanması maksadı ile kapıların açılmasının kontrolünü yapmayı hedeflemektedir. Bu kapsamda tasarlanan sistem asansör kat kapılarını gerçek zamanlı ve izlemekte ve herhangi bir şekilde kapının açılması durumunda kuyuya giriş algılayarak çıkış üretir. Bu çalışmaya konu olan elektronik kartın var olan asansör sistemleri ile uyumlu çalışabilmesi için hali hazırda işletilen güvenlik zincirine bağlanabilecek şekilde tasarlanmıştır. Kart bünyesinde hayata geçirilen tüm spesifikasyonlar özellikle EN 81-50 ve EN 81-20 referans alınarak oluşturulmuş ve minimum SIL 2 güvenlik bütünlük seviyesinde bir sistem geliştirilmesi hedeflenmiştir [13].

Bu çalışma 4 ana başlık altında toplanmıştır. Giriş kısmında konunun önemi, literatüre özeti ve makalenin yazılmasındaki ana motivasyon paylaşılmıştır. Materyal ve metot bölümünde genel olarak fonksiyonel güvenlik ve endüstrideki uygulama süreçlerinden bahsedilmiştir. Ayrıca bu bölümde bir sistemin güvenilirlik analizini yapabilmek için gerekli parametre ve yöntemlerden bahsedilmiştir. Sonraki bölümde tasarlanan elektronik kart tanıtılmış ve ilgili güvenilirlik hesaplamaları yapılmıştır. Son bölümde ise elde edilen sonuçlar paylaşılmış, kazanımlardan bahsedilmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

Risk, bir olayın istenmeyen biçimde sonuçlanması olasılığıdır. Bir riskin ortaya çıkabilmesi için bir tehlikenin açığa çıkması ve bu kapsamda insanın direkt ya da dolaylı olarak ilgili tehlikeye maruz kalması gerekir. Bu noktada IEC, güvenliği mülkiyete veya çevreye verilen zararın bir sonucu olarak doğrudan veya dolaylı olarak insanların fiziksel yaralanma veya sağlığına zarar verme gibi kabul edilemez risklerden kurtulması olarak tanımlar. O zaman risk analizinde asıl

amaç, sistemde oluşabilecek tehlikeli durumları sistematik bir şekilde tespit etmek ve bu riskleri kabul edilebilir seviyeye çekmektir [14]. Bu kapsamda risk yönetim süreçleri ile ilgili olarak ortaya koyulan aktiviteler 5 adımda toplanmıştır. Bu aktiviteler sırası ile

- Risklerin tanımlanması
- Risklerin analiz edilmesi
- Risklerin sınıflandırılması
- Riskleri engelleyici aktivitelerin belirlenmesi
- Riski takip edilmesi, izlenmesi

Risklerin doğru şekilde belirlenmesi ve kaynaklarının analiz edilmesi çok kritik bir süreçtir. Bu kapsamda asansör sistemleri ile ilgili sektörel standartlar belli oranda yol göstericidir. EN 81-50 Ek B ve ISO 22201-2 standartlarında konu detaylı bir şekilde incelenmiş ve asansör sektöründe sağlanması gereken fonksiyonel güvenlik isterlerinin neler olduğu genel olarak ifade edilmiştir. Diğer taraftan bilindik bir sistem olan asansör sisteminin bünyesinde bulunan bu riskler IEC 61508'e göre tasarlanmış uygun güvenlikle ilgili sistem üzerinden hayata geçirilmesi ve sektörel standartlarda tavsiye edilen güvenlik bütünlük seviyesinde olması gerekmektedir [15].

Bu noktada IEC 61508 güvenlikle ilgili bir sistemi " Kontrol altındaki ekipmanın güvenli bir duruma ulaşmak için gerekli güvenlikle ilgili işlevleri hayata geçirmesi tasarlanmış sistem" olarak ifade etmektedir [1]. Bu tanıma göre, tasarım aşamasında belirtilen koşullar ihlal edildiğinde güvenlikle ilgili sistem prosesi güvenli duruma taşımaktadır. Güvenlikle ilgili sistemler diğer gömülü sistemlerden farklı olarak özel olarak tasarlanmış algılayıcılar, kontrolörler ve eyleyicilerin oluşmaktadır öyle ki sistem risk analiz neticesinde öngörülen güvenlik fonksiyonlarını hayata geçiren algılayıcı, kontrolör ve eyleyicilerin bir kombinasyonudur. Tüm bu ekipmanların ortak kullanım amacı riskleri kabul edilebilir seviyeye indirgemektir. İlgili sektörlerde belirli bir kaliteyi korumak için bağımsız kuruluşlar bazı standartlar geliştirmiştir. IEC 61508, elektrikli, elektronik ve programlanabilir elektronik cihazlar için işlevsel güvenliği tanımlayan uluslararası ve önde gelen standarttır. Güvenlikle ilgili sistemlerin sahip oldukları güvenlik bütünlük seviyesinin hesaplanabilmesi için sistemi oluşturan bileşenler ile ilgili olarak bazı parametreler tanımlanmıştır. Güvenlikle ilgili sistemler, tanımlanan bu parametreler üzerinden sınıflandırılmış ve karşılaştırılmıştır.

2.1. Arıza Oranı

Sistemin arızalanma sıklığıdır ve λ ile gösterilir. Sistemin, tanımlanan işlevleri yerine getirebileceği anlamına gelen güvenilirlik fonksiyonunun $R(t)$ sistemin başarısız olma olasılığını gösteren, hata yoğunluğu fonksiyonuna $f(t)$ oranıdır. Denklem 1'de verildiği gibi ifade edilir. Elektronik sistem bileşenleri için genellikle milyar çalışma saati başına arızalanan birim sayısı (FIT) ile ifade edilir. Arıza oranı, Denklem 2 ve Denklem 3'de ifade edildiği gibi sırasıyla güvenli arıza ve tehlikeli arıza olmak üzere iki farklı arızanın toplamıdır ve güvenli arıza oranı ise güvenlik oranı (S) ile arıza oranının çarpımıdır [16].

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (1)$$

$$\lambda = \lambda_S + \lambda_D \quad (2)$$

$$\lambda_S = S \times \lambda \quad (3)$$

Denklem 4'te belirtildiği gibi, tehlikeli bir arıza, tehlikeli tespit edilmiş arıza (DD) ve tehlikeli tespit edilmemiş arıza (DU) olmak üzere iki bölümden oluşur. Güvenlikle ilgili çalışmalarda, sistemin kullanım süresi içerisinde arıza oranının sabit olduğu kabul edilmektedir.

$$\lambda_D = \lambda_{DD} + \lambda_{DU} \quad (4)$$

Elektronik bileşen üreticileri yaptıkları bir dizi testler ile ilgili bileşene ait arıza oranını Denklem 5'de ifade edilen formül üzerinden belirtmektedirler [17].

$$\lambda = \frac{X^2(a,v)}{2 D H A_f} \quad (5)$$

Burada X^2 ki-kare dağılımına karşı gelir iken D toplam teste tabi tutulan eleman sayısı, H değeri her bir eleman için test edilen süreyi ve son olarak A_f termal ivmelenme faktörü ise Denklem 6'da verilen Arrhenius denklemi ile tanımlanır.

$$A_f = e^{\frac{E_a}{k} \left(\frac{1}{T_{use}} - \frac{1}{T_{test}} \right)} \quad (6)$$

Bu denklemde E_a değeri komponente ilişkin aktivasyon enerjisini (eV), T_{use} Kelvin cinsinden kullanma sıcaklığını, T_{test} değeri Kelvin cinsinden test sıcaklığını ifade eder iken k değeri Boltzmann sabitini tanımlamaktadır.

2.2. Güvenli Arıza Oranı (SFF)

Denklem 5’te de verildiği gibi IEC 61508’e göre güvenli arıza ile tehlikeli tespit edilmiş arızanın tüm arızaya oranıdır. IEC 61508-6 Ek C’de Denklem 7’de gösterildiği gibi ifade edilir [1].

$$SFF = \frac{\sum \lambda_S + \sum \lambda_{DD}}{\sum \lambda_S + \sum \lambda_{DD} + \sum \lambda_{DU}} \quad (7)$$

2.3. Ortalama Arıza Süresi (MTTF)

Bu süre endüstri tarafından kullanılan yaygın parametrelerden biridir ve bir sistemin veya herhangi bir ürünün ilk arıza meydana gelmesine kadar operasyonda kaldığı sürenin istatistiksel ortalamasıdır. Literatürde genellikle MTTF kısaltması ile sembolize edilir. Bir bileşenin MTTF değeri ne kadar yüksekse, o bileşenin birim zamanda arızalanma olasılığı o kadar düşüktür.

$$MTTF = \int_0^T R(t) dt$$

Tek bir bileşen için arıza oranı ve MTTF arasındaki ilişki $MTTF = \frac{1}{\lambda}$ olarak ifade edilir [16].

2.4. Teşhis Kapsamı (DC)

İlgili sistemlerde ne ölçüde tehlikeli arızaların meydana gelebileceğinin bir ölçümüdür. DC ile sembolize edilir. IEC 61508-4 bölüm 3.8.6’ya göre Denklem 8’de verildiği gibi tanımlanır [1].

$$DC = \frac{\sum \lambda_{DD}}{\sum \lambda_{DD} + \sum \lambda_{DU}} \quad (8)$$

Diğer taraftan $MTTF_{D,1}, MTTF_{D,2}, \dots, MTTF_{D,N}$ N farklı bileşen için ortalama tehlikeli arıza süresi olmak üzere teşhis kapsamı Denklem 9 ile hesaplanır.

$$DC_{avg} = \frac{\frac{DC_1}{MTTF_{D,1}} + \frac{DC_2}{MTTF_{D,2}} + \dots + \frac{DC_n}{MTTF_{D,N}}}{\frac{1}{MTTF_{D,1}} + \frac{1}{MTTF_{D,2}} + \dots + \frac{1}{MTTF_{D,N}}} \quad (9)$$

2.5. Ortak Nedenli Arızalar

Bu tür arızalar, tek bir olay veya nedenin sonucu olarak birden çok alt sistemin arızalanmasına neden olan arıza türüdür. Literatürde ortak nedenli hataları tanımlamak için birden fazla yöntem tanımlanmış olmasına rağmen Fleming tarafından önerilen β faktör yöntemi halen yaygın olarak

kullanılmaktadır [16], [18]. Bu yöntem β ve β_D değerlerini belirlemek için kantitatif bir yöntem önerir. Burada β ve β_D , sırasıyla tespit edilmemiş arızalar için genel ortak nedenli başarısızlık faktörünü ve tespit edilen arızalar için genel ortak nedenli arıza faktörünü tanımlar.

2.6. Donanım Hata Toleransı (HFT)

Donanım hata toleransı, alt sistemin veya bileşenin amaçlanan işlevini yerine getirmeye devam edebileceği maksimum hata sayısıdır. HFT, Denklem 10'a göre hesaplanır. Donanım hata toleransının N sayıda olması, N+1 sayıdaki hatanın emniyet fonksiyonunun emniyet kaybına sebep olacağı anlamına gelmektedir [16].

$$HFT_{sys} = \min_i HFT_i \quad (10)$$

2.7. Tip A ve Tip B Ekipman

IEC 61508 elektronik ekipmanları iki grup altında sınıflandırmıştır. İlgili ekipman için arıza modları iyi tanımlanmış ve elemanın hata koşulları altındaki davranışı tamamen tespit edilebilir durumda ise bu tip ekipmanları Tip-A olarak sınıflandırmıştır. Diğer taraftan ekipmana ait bileşenlerden en az bir tanesinin arıza modu iyi tanımlanmamış veya elemanın hata koşulları altındaki davranışı tam olarak belirlenemez durumdaysa bu tip olan ekipmanı Tip-B olarak kabul etmiştir [1].

2.8. Emniyet Bütünlük Seviyesi (SIL)

IEC 61508 tasarlanması hedeflenen sistemin güvenlik seviyesi Güvenlik Bütünlük Seviyesi kısaca SIL ile ifade edilen bir metrik üzerinden tanımlanmıştır. Bu metriğe göre SIL 1 en düşük güvenlik seviyesi iken SIL 4 en yüksek güvenlik seviyesine karşılık gelir. Sistemin düşük talep modunda ya da yüksek talep modunda çalışmasına bağlı olarak sistemin sahip olduğu güvenlik bütünlük seviyesi Talep Esnasında Ortalama Arıza Olasılığı (PFD_{avg}) değeri ya da saat başına tehlikeli arıza olasılık değeri (PFH) üzerinden karar verilir. IEC 61508-1'e göre güvenlik bütünlük seviyelerinin olasılık aralıkları Tablo 1'de verilmiştir [16].

Tablo 1. IEC 61508'e göre Güvenlik Bütünlük Seviyeleri

SIL	Düşük Talep Modu	Yüksek Talep Modu
4	$10^{-5} \leq PFD_{avg} < 10^{-4}$	$10^{-9} \leq PFH < 10^{-8}$
3	$10^{-4} \leq PFD_{avg} < 10^{-3}$	$10^{-8} \leq PFH < 10^{-7}$
2	$10^{-3} \leq PFD_{avg} < 10^{-2}$	$10^{-7} \leq PFH < 10^{-6}$
1	$10^{-2} \leq PFD_{avg} < 10^{-1}$	$10^{-6} \leq PFH < 10^{-5}$

Ayrıca bir sistemin SFF ve donanım hata tolerans değeri olan HFT'ye dayalı ulaşabileceği izin verilen maksimum güvenlik bütünlük seviyesi, IEC 61508-2'e göre

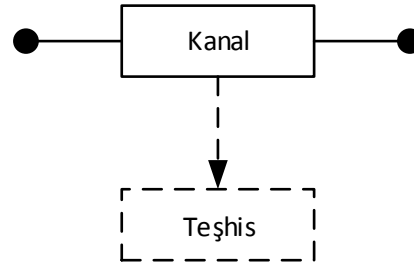
Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Sistemin Ulaşabileceği Maksimum SIL Değeri

SFF	Donanım Hata Toleransı (HFT)		
	0	1	2
<60%	SIL1	SIL2	SIL3
60%<...<90%	SIL2	SIL3	SIL4
90%<...<99%	SIL3	SIL4	SIL4
>99%	SIL3	SIL4	SIL4

2.9. 1001 Güvenlikle İlgili Sistem Mimarisi

Bu mimaride sistem tasarımda tek bir bileşen bulunmaktadır. Bu tasarımda tarafından hiçbir hata toleransı sağlanmaz ve arıza modu korumasına sahip değildir. Elektronik devreler güvenli bir şekilde veya tehlikeli bir şekilde arızalanabilir. Bu sisteme ait güvenilirlik blok diyagramı Şekil 1'deki gibidir [1]



Şekil 1. 1oo1 Fiziksel Sistem Mimarisi

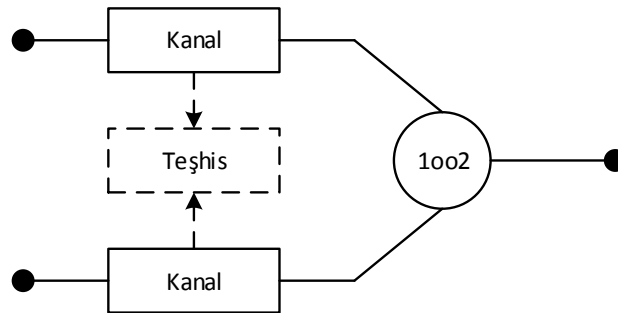
$$t_{CE} = \frac{\lambda_{DU}}{\lambda_D} \left(\frac{T_1}{2} + MRT \right) + \frac{\lambda_{DD}}{\lambda_D} MTTR \quad (11)$$

$$PFD_{avg} = \lambda_D t_{CE} \quad (12)$$

$$PFH = \lambda_{DU} \quad (13)$$

2.10. 1oo2 Güvenlikle İlgili Sistem Mimarisi

Bu mimaride güvenlik fonksiyonu paralel bağlı iki kanal kullanarak hayata geçirilir. Bu nedenle, talep esnasında ilgili güvenlik fonksiyonunun arızalanması için her iki kanalda da öncesinde tehlikeli bir arıza olması gerekir. Bu mimaride herhangi bir teşhis testinin yalnızca hataları bildireceği ve herhangi bir çıkış durumunu veya çıkış oylamasını değiştirmeyeceği varsayılır. Bu sisteme ait sistem mimari şeması Şekil 2'deki gibidir. PFD_{avg} ve PFH değerleri Denklem 15 ve Denklem 16'ya göre hesaplanır [19].



Şekil 2. 1oo2 Fiziksel Sistem Mimarisi

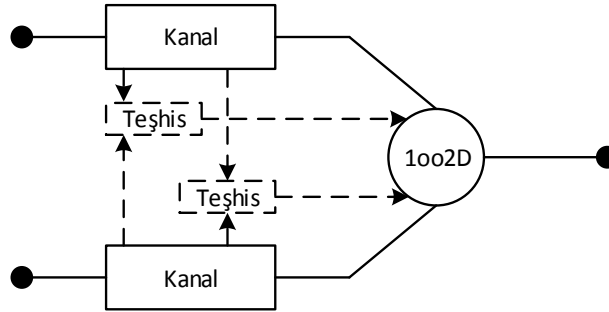
$$t_{GE} = \frac{\lambda_{DU}}{\lambda_D} \left(\frac{T_1}{3} + MRT \right) + \frac{\lambda_{DD}}{\lambda_D} MTTR \quad (14)$$

$$PFD_{avg} = 2[(1 - \beta_D)\lambda_{DD} + (1 - \beta)\lambda_{DU}]^2 t_{CE} t_{GE} + \beta_D \lambda_{DD} MTTR + \beta \lambda_{DU} \left(\frac{T_1}{2} + MRT \right) \quad (15)$$

$$PFH = 2[(1 - \beta_D)\lambda_{DD} + (1 - \beta)\lambda_{DU}](1 - \beta)\lambda_{DU}t_{CE} + \beta\lambda_{DU} \quad (16)$$

2.11. 1oo2D Güvenlikle İlgili Sistem Mimarisi

Bu mimari, paralel olarak bağlanmış iki kanal içerir. Normal çalışma süresinde, güvenlik fonksiyonunun hayata geçirilebilmesi için her iki kanalında talepte bulunması gerekir. Ayrıca, herhangi bir kanaldaki teşhis testleri bir arıza tespit ederse, oylama devre dışı kalır ve diğer kanal tarafından verilen karar çıkışta üretir. Eğer her iki kanaldaki teşhis testleri arızalı bulunursa veya herhangi bir kanala atanamayan bir farklılık varsa sistem güvenli duruma gider. 1oo2D güvenlikle ilgili sisteme ilişkin prensip fiziksel sistem mimarisi Şekil 3’de verilmiştir. Bu mimari sisteme ilişkin olarak talep esnasında ortalama arıza olasılığı Denklem 20’ye göre hesap edilir [19].



Şekil 3. 1oo2D Fiziksel Sistem Mimarisi

$$\lambda_{SD} = \lambda_S DC \quad (17)$$

$$t'_{CE} = \frac{\lambda_{DU}(\frac{T_1}{2} + MRT) + (\lambda_{DD} + \lambda_{SD})MTTR}{\lambda_{DU} + (\lambda_{DD} + \lambda_{SD})} \quad (18)$$

$$t'_{GE} = \frac{T_1}{3} + MRT \quad (19)$$

$$PFD_{avg} = 2(1 - \beta)\lambda_{DU}[(1 - \beta)\lambda_{DU} + (1 - \beta_D)\lambda_{DD} + \lambda_{SD}]t'_{CE}t'_{GE} + 2(1 - K)\lambda_{DD}t'_{CE} + \beta\lambda_{DU}(\frac{T_1}{2} + MRT) \quad (20)$$

2.12. Hata Modları ve Etki Analizi (FMEA)

Elektronik bileşenlerin birçok arıza modu bulunmaktadır ve bu modların analizi tasarımcıların bileşen arızalarını ve olası riskleri tanımalarına yardımcı olmaktadır. Bu noktada güvenilirlik ihtiyaçlarını karşılayabilmek ve tasarımı iyileştirmek için gerekli alanların belirlenmesi gerekir. Hata modları ve etki analizi her bir elemanın hata modlarını ve sistemdeki olası risk kapsamındaki

etkilerini tanımlar. Bu analiz neticesinde tanımlanmış risklere karşı önlemler tanımlanır. Donanım FMEA analizi, her bir elektronik elemanın hata modlarını kapsar. Elektronik bileşenler için donanım FMEA, EN IEC 60812 standardına göre standardize edilmiştir ve bileşenlerin temel hata modları tanımlanmıştır [20]. Örneğin, direnç veya kondansatör gibi pasif bir eleman için açık devre, kısa devre, değerin yükselmesi veya düşmesi olmak üzere 4 farklı hata modu bulunabilir. Aynı şekilde, transistör gibi bir yarıiletken içinde açık devre, kısa devre, fonksiyonun değişimi gibi hata modları da mevcuttur. Tablo 3’de bazı elektronik bileşenlerin hata modları verilmiştir.

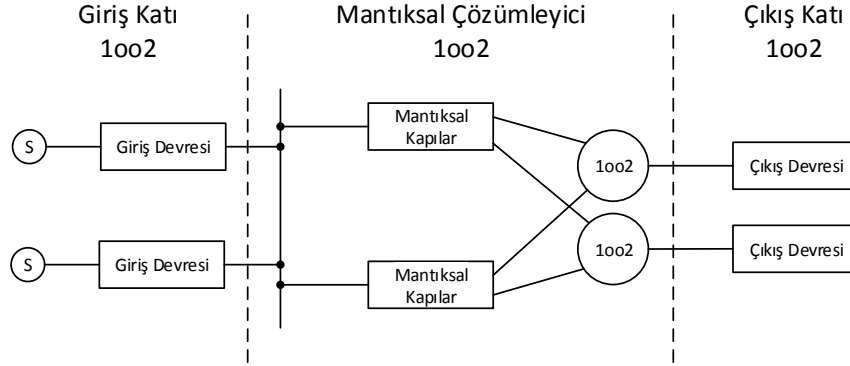
Tablo 3. EN IEC 60812:2018 standardına göre bazı bileşenlerin hata modları

Bileşen	Hata Modları				
	Açık Devre	Kısa Devre	Değer Yükselmesi	Değer Düşmesi	Fonksiyon Değişimi
Direnç	✓	✓	✓	✓	
Kondansatör	✓	✓	✓	✓	
İndüktans	✓	✓		✓	
Diyot	✓	✓			✓
Tristör	✓	✓			✓
Tümleşik Devre	✓	✓	✓	✓	✓
Sigorta		✓			
Röle	✓	✓			
PCB	✓	✓			

3. ELEKTRONİK KART TASARIMI VE GÜVENİLİRLİK DEĞERLERİNİN HESAPLANMASI

EN 81-20 standardı, asansör sistemleri özelinde sağlanması gereken güvenlik fonksiyonları ve bu fonksiyonları hataya geçirecek sistemlerin sağlaması gereken minimum güvenlik bütünlük seviye değerlerini belirtmektedir. "Kuyu boşluğu erişimine olanak veren herhangi bir kapının açılmasının kontrolü" güvenlik fonksiyonu için sistemin en az SIL 2 seviyesinde olması gerektiğini ortaya koymaktadır. Bu çalışmaya konu olan elektronik kartın bu güvenlik fonksiyonunu hayata geçirmesi hedeflendiğinden tüm tasarım ve analiz süreçleri en nihayetinde sistemin minimum SIL 2 sağlamasını hedefleyecek yönde yapılmıştır. Sistem tasarımı noktasında güvenilirlik değerinin

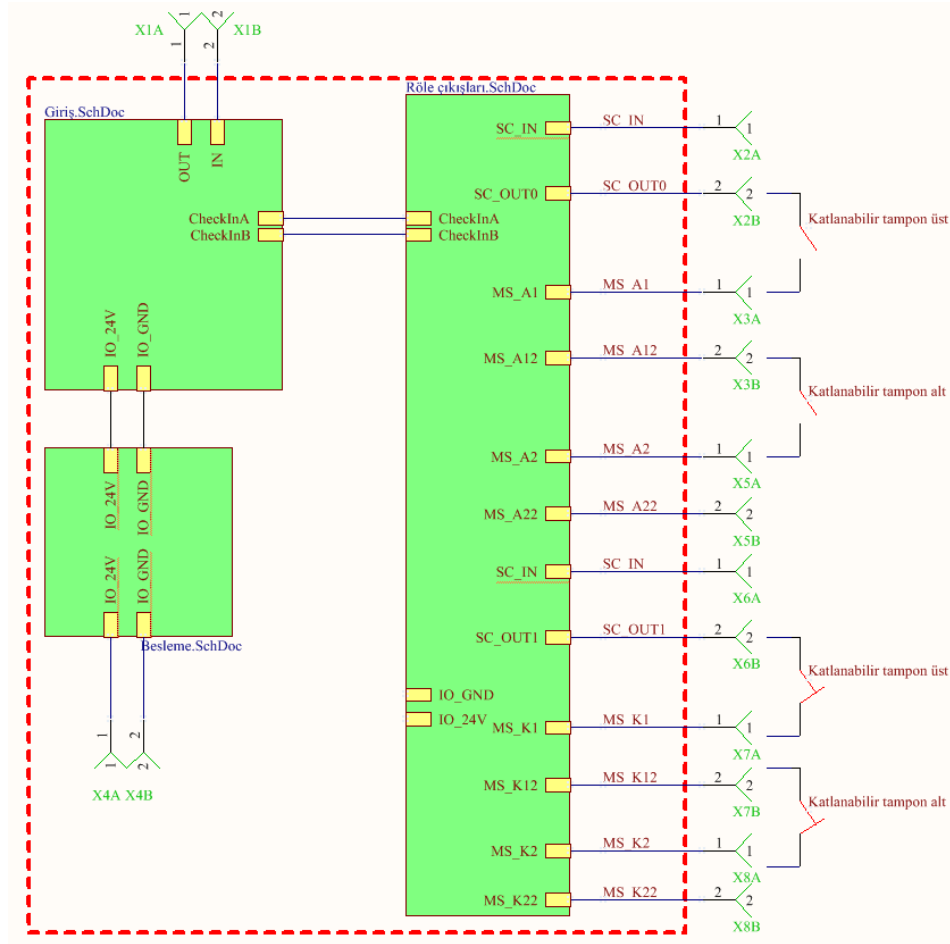
artırılması ve teşhis kapsam oranının yükseltilmesi amacıyla 1002 güvenlik mimarisinin seçilmesinin uygun olduğu kanaatine varılmıştır. Bu kapsamda tasarlanan elektronik karta ilişkin sistem blok mimarisi Şekil 4’de verilmiştir.



Şekil 4. Sistem blok mimarisi

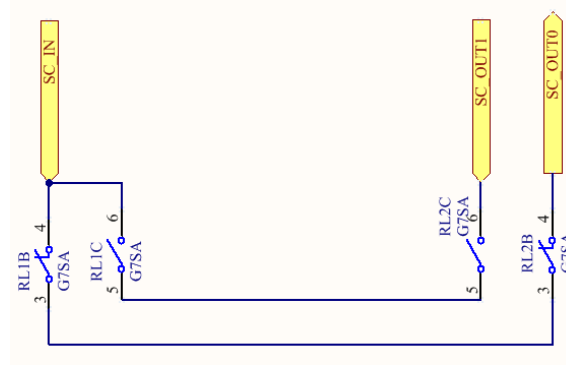
Şekil 4’ten de gözlemlendiği gibi sistem 3 alt sistemden oluşmaktadır. Bunlar sırası ile giriş katı, mantıksal çözümleyici ve çıkış katıdır. Giriş katı gelen algılayıcı verilerini düzenleyerek mantıksal çözümleyiciye aktarmakta ve en nihayetinde alınan karar çıkış devreleri üzerinden asansör güvenlik zincirine hatada emniyetli röleler üzerinden iletilmektedir.

Asansör güvenlik zinciri normalde kapalı kontaklar üzerinden bağlı birçok röleden oluşan seri bir devredir. Bu devredeki herhangi bir röle açar ise devrenin enerjisi kesilmekte ve güvenlik çevrimi devre dışı kalmaktadır. Bu kapsamda tasarlanan elektronik karta ilişkin donanım temel şeması Şekil 5’de verilmiştir.



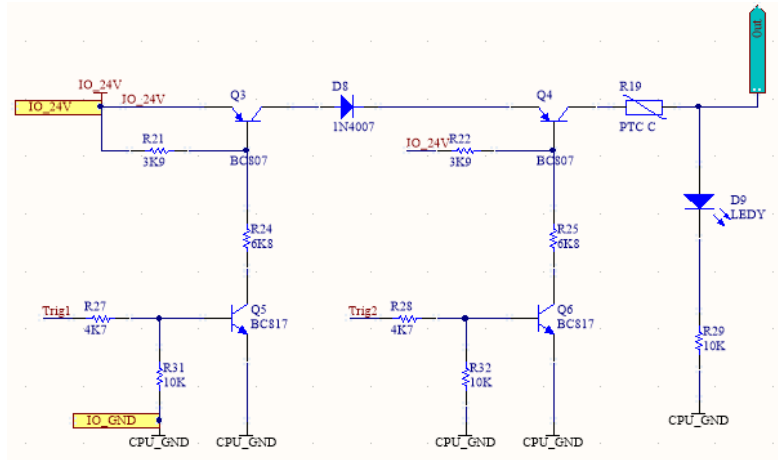
Şekil 5. Donanım Şeması

Emniyet devresi anahtarlama hattı şematik gösterimi ayrıca Şekil 6'da verilmiştir. Bu şematik, asansörün bakım durumunda ya da normal çalışma durumunda ilgili hat üzerinden hareket ettirilebilme durumunu gösterir. Eğer kuyu boşluğuna erişim sağlayan bir kapı açılmışsa (asansör bakım durumunda ise), emniyet röleleri düşecek ve emniyet devresi SC_Out0 hattından tamamlanacaktır. Ancak, eğer kuyu boşluğuna erişim sağlayan bir kapı açılmamışsa (asansör normal çalışma durumunda ise), emniyet röleleri çekecek ve emniyet devresi SC_Out1 hattından tamamlanacaktır. Aksi takdirde, asansör normal çalışma moduna geçemez.



Şekil 6. Anahtarlama hattı şematik devre

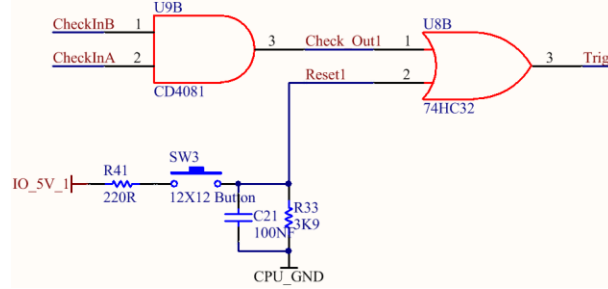
Tasarlanan elektronik karttaki kuyu boşluğuna erişim sağlayacak kapı kontaklarından dolaştırılacak olan 24 V sinyalinin anahtarlama devresi Şekil 7’de verilmiştir. Asansör sistemindeki kapıların kapalı olduğunun doğruluğunu belirlemek için, iki kanal üzerinden bir sinyal gönderilmiştir. Bu, transistörler arasındaki seri bağlantıların arızalanması durumunda sistemi güvenli hale getirmek için tasarlanmıştır. Bunun nedeni de 1oo2 yapısının kullanılmasıdır. Ayrıca 24 V dönen sinyal, tekrar iki kanal üzerinden okunmaktadır. Çift kanal üzerinden okuma bloğu, okuma devrelerinden birinin arızalanması durumunda, bu arızanın tespit edilmesi ve sistemin güvenli bir durumda tutulmasını sağlamaktadır.



Şekil 7. Giriş bloğu sürme devresi

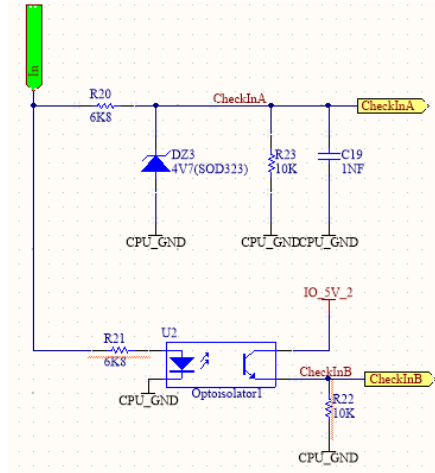
Şekil 8’de giriş bloğundaki elemanların arıza teşhis devresi verilmiştir. Buna göre kuyu boşluğuna erişim sağlayan kapıların kapalı olduğunun kontrolü için 24V sinyalinin gönderen sistem, dönüş sinyalinin iki kanal üzerinden doğru olarak "1" olarak okunmasına dayanır. Eğer okuma

devrelerinden birinde sinyal pozisyonu farklıysa, 24V sinyalini ileten transistörler duracak ve sistem emniyetli durumda kalacaktır.



Şekil 8. Teşhis devresi

Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.'de de görüldüğü üzere ara yüz devresi çift kanallı olarak tasarlanmıştır. Ayrıca, ortak nedenli hata olasılığını azaltmak için, farklı tasarımlar kullanılmıştır. Bu amaçla, bir tasarım zener diyot ile ve diğeri optokuplör ile yapılmıştır. Bu tip tasarımlar, mantıksal çözücü bloğunda ya da giriş ve çıkış bloğunda tasarlanırsa, β faktörü oylamaları tablosunda ekstra puan olarak kabul edilmesi neticesinde bloğa ait ortak nedenli hata ihtimali azalmaktadır.



Şekil 9. Algılayıcı arayüz devresi

Giriş katındaki bileşenler, Tip-B türüne aittir. Bu durumda daha önce de ifade etmiş olduğumuz gibi sistem mimarisi olarak 1oo2 güvenlik mimarisi tercih edilmiştir. Şekil 4'de ilgili mimari verilmiştir. Buna göre giriş katına ilişkin HFT değeri 1'dir.

Giriş katı alt sistem bloğu için eleman bazında detaylı donanım FMEA analizi Tablo 4’de verilmiştir. Tüm bileşenlere ait güvenilirlik değerleri IEC 62380 standardı referans alınarak türetilmiştir [21]. Bu tabloda λ ile ilgili elemanın FIT cinsinden arıza oranı verilmiştir.

Tablo 4. Giriş Katına ait Donanım FMEA

Eleman	ID	λ	DC	S	λ_S	λ_D	λ_{DD}	λ_{DU}
Direnç 6K8 Ω , %5, 0.125W	R20	10	0,9	0,5	5	5	4,5	0,5
Direnç 10K Ω %5, 0.125W	R23	10	0,9	0,5	5	5	4,5	0,5
Kondansatör seramik 1Nf	C19	3,5	0,9	0,5	1,75	1,75	1,58	0,18
Zener diyot BZX84B4V7	DZ3	0,79	0,9	0,75	0,593	0,197	0,178	0,02
Direnç 4K7 Ω , %5, 0.125W	R27	10	0,9	0,75	7,5	2,5	2,25	0,25
Direnç 10K Ω , %5, 0.125W	R31	10	0,9	0,75	7,5	2,5	2,25	0,25
Transistor BJT BC817 NPN	Q5	7	0,9	0,5	3,5	3,5	3,15	0,35
Direnç 6K8 Ω , %5, 0.125W	R24	10	0,9	0,75	7,5	2,5	2,25	0,25
Direnç 3K9 Ω , %5, 0.125W	R21	10	0,9	0,75	7,5	2,5	2,25	0,25
Transistor BJT BCP53 PNP	Q3	7	0,9	0,5	3,5	3,5	3,15	0,35
Direnç 6K8 Ω , %5, 0.125W	R26	10	0,9	0,5	5	5	4,5	0,5
Direnç 10K Ω , %5, 0.125W	R30	10	0,9	0,5	5	5	4,5	0,5
Kondansatör seramik 1nF	C20	3,5	0,9	0,5	1,75	1,75	1,57	0,18
Zener diyot BZX84B4V7	DZ4	0,79	0,9	0,75	0,59	0,19	0,17	0,02
Direnç 4K7 Ω %5, 0.125W	R28	10	0,9	0,75	7,5	2,5	2,25	0,25
Direnç 10K Ω %5, 0.125W	R32	10	0,9	0,75	7,5	2,5	2,25	0,25
Transistor BJT BC817 NPN	Q6	7	0,9	0,5	3,5	3,5	3,15	0,35
Direnç 6K8 Ω , %5, 0.125W	R25	10	0,9	0,75	7,5	2,5	2,25	0,25
Direnç 3K9 Ω %5, 0.125W	R22	10	0,9	0,75	7,5	2,5	2,25	0,25
Transistor BJT BCP53 PNP	Q4	7	0,9	0,5	3,5	3,5	3,15	0,35
Direnç PTC C	R19	22,9	0,9	1	22,94	0	0	0
Diyot 1N4007	D8	6,68	0,9	1	6,68	0	0	0
Buton	SW3	20	0,9	0,5	10	10	9	1
Kondansatör seramik 100nF	C21	3,5	0,9	0,5	1,75	1,75	1,58	0,18
Direnç 3K9 Ω , %5, 0.125W	R33	10	0,9	0,5	5	5	4,5	0,5
Buton	SW4	20	0,9	0,5	10	10	9	1
Kondansatör seramik 100nF	C22	3,5	0,9	0,5	1,75	1,75	1,58	0,18
Direnç 3K9 Ω , %5, 0.125W	R34	10	0,9	0,5	5	5	4,50	0,50

İkinci alt sistem olan mantıksal çözümleyici blok da Tip-B türündedir, çünkü bu alt sistemde de hata koşulları altındaki davranışı tam olarak tanımlanmayan elemanlar bulunmaktadır. Bu nedenle, bu alt sistem de 1oo2 güvenlik mimarisi kullanılarak tasarlanmıştır. Mantıksal çözümleyici bloğa ait donanım FMEA Tablo 5’de sunulmuştur.

Tablo 5. Mantıksal Çözümleyici için Donanım FMEA

Eleman	ID	λ	DC	S	λ_S	λ_D	λ_{DD}	λ_{DU}
CD4081	U9	100	0,6	0,5	50	50	30	20
74HC32	U8	100	0,6	0,5	50	50	30	20
74HC08	U5	100	0,6	0,5	50	50	30	20
CD4030	U6	100	0,6	0,5	50	50	30	20
TC4001	U7	100	0,6	0,5	50	50	30	20

Tasarlanan elektronik kartın çıkış bloğu da Tip-B dir ve 1oo2 mimaride tasarlanmıştır. Benzer şekilde bu alt sistemin de HFT değeri Denklem 10’a göre 1’dir. Bu alt sisteme ait detaylı donanım FMEA analizi Tablo 6’da verilmiştir.

Tablo 4, Tablo 5 ve Tablo 6’da analog kart üzerinde bulunan tüm elemanlar ve bu elemanlara ait güvenilirlik parametreleri verilmiştir. Hesaplamalar bu güvenilirlik parametreleri ve Şekil 4’de verilen 1oo2 güvenlik mimarisine göre yapılmıştır. Ayrıca ortak nedenli hata oranı oranını tespit edebilmek için IEC61508-6 Annex D’de verilen tablo referans alınmıştır. Buna göre giriş katı, mantıksal çözümleyici ve çıkış katlarına ait ortak nedenli hata oranları elde edilmiş ve Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 6. Çıkış Katı için Donanım FMEA

Eleman	ID	λ	DC	S	λ_S	λ_D	λ_{DD}	λ_{DU}
Güvenlik rölesi SFS3	RL1	190	0,9	0,5	95	95	85,5	9,5
Diyot 1N4007	D4	6,68	0,6	0,5	3,34	3,34	2,004	1,336
MELF direnci 100R Ω 1W	R4	10	0,6	0,5	5	5	3	2
Direnç 6K8 Ω , %5, 0.125W	R6	10	0,6	0,75	7,5	2,5	1,5	1
Direnç 4K7 Ω , %5, 0.125W	R5	10	0,6	0,75	7,5	2,5	1,5	1
Transistor BJT BC817 NPN	Q1	7	0,6	0,5	3,5	3,5	2,1	1,4
Güvenlik rölesi SFS3	RL2	190	0,9	0,5	95	95	85,5	9,5
Diyot 1N4007	D6	6,68	0,6	0,5	3,34	3,34	2,01	1,34
MELF direnci 100R Ω 1W	R12	10	0,6	0,5	5	5	3	2
Direnç 6K8 Ω , %5, 0.125W	R14	10	0,6	0,75	7,5	2,5	1,5	1
Direnç 4K7 Ω , %5, 0.125W	R13	10	0,6	0,75	7,5	2,5	1,5	1
Transistor BJT BC817 NPN	Q2	7	0,6	0,5	3,5	3,5	2,1	1,4
Direnç 3K9 Ω , %5, 0.125W	R7	10	0,6	0,5	5	5	3	2
Kondansatör seramik 100nF	C13	3,5	0,6	0,5	1,75	1,75	1,05	0,7
Direnç 3K9 Ω , %5, 0.125W	R10	10	0,6	0,5	5	5	3	2
Kondansatör seramik 100nF	C15	3,5	0,6	0,5	1,75	1,75	1,05	0,7
Direnç 3K9 Ω , %5, 0.125W	R15	10	0,6	0,5	5	5	3	2
Kondansatör seramik 100nF	C16	3,5	0,6	0,5	1,75	1,75	1,05	0,7
Direnç 3K9 Ω , %5, 0.125W	R16	10	0,6	0,5	5	5	3	2
Kondansatör seramik 100nF	C17	3,5	0,6	0,5	1,75	1,75	1,05	0,7
Buton	SW1	20	0,6	0,5	10	10	6	4
Direnç 3K9 Ω , %5, 0.125W	R9	10	0,6	0,5	5	5	3	2
Kondansatör seramik 100nF	C14	3,5	0,6	0,5	1,75	1,75	1,05	0,7
Buton	SW2	20	0,6	0,5	10	10	6	4
Direnç 3K9 Ω , %5, 0.125W	R18	10	0,6	0,5	5	5	3	2
Kondansatör seramik 100nF	C18	3,5	0,6	0,5	1,75	1,75	1,05	0,7

Tablo 7. Ortak Nedenli Hata Oranları

	β	β_D
Giriş Devresi	%10	%10
Mantıksal Çözümleyici	%5	%5
Çıkış Devresi	%10	%10

Tablo 4, Tablo 5 ve Tablo 6’da verilen bileşenlere ait güvenilirlik parametrelerine göre alt sistemler MIL-HDBK – 217’e göre parça sayım metoduna üzerinden hesap edildiğinde her bir alt sisteme ilişkin hesaplanan güvenilirlik parametreleri Tablo 8’de verilmiştir. Bu tabloda arıza oranları FIT cinsindedir.

Tablo 8. Alt sistem güvenilirlik parametreleri

Alt Sistem	λ	DC	S	λ_S	λ_D	λ_{DD}	λ_{DU}
Giriş devresi	253,20	0.9	0.625	161.805	91,395	82,255	9,139
Mantıksal çözümleyici	500,00	0.639	0.5	250	250	150,00	100
Çıkış devresi	588	0.8005	0.5169	304.18	284.18	227.508	56.672

Tablo 8’de elde edilen güvenilirlik parametreleri üzerinden bir alt sistem için Denklem 16’ya ve Denklem 9’a göre hesaplanan PFH ve SFF değerleri ise Tablo 9’da verilmiştir.

Tablo 9. Alt sistemlere güvenilirlik değerleri

Alt Sistem	PFH	SFF	HFT
Giriş devresi (S)	$3.65 \cdot 10^{-9}$	0.964	1
Mantıksal çözümleyici (L)	$1.002 \cdot 10^{-8}$	0.8	1
Çıkış devresi (FE)	$2.28 \cdot 10^{-8}$	0.904	1

Sisteme ilişkin saat başına tehlikeli arıza olasılık değeri ise tüm 3 alt sistemin PFH değerlerinin toplamı ile elde edilir. Buna göre

$$PFH_{SYS} = PFH_S + PFH_L + PFH_{FE} = 3.65 \cdot 10^{-9} + 1.002 \cdot 10^{-8} + 2.28 \cdot 10^{-8}$$

$$PFH_{SYS} = 3.64 \cdot 10^{-8} \text{ 1/h}$$

olarak elde edilir. Ayrıca sisteme ait SFF değeri de Denklem 9'a göre hesap edildiğinde 0.876 olduğu görülür ve sistemin tüm alt bileşenleri 1002 mimariye sahip olduğu için sistemin donanım hata tolerans değeri $HFT=1$ 'dir.

Tablo 1'e göre PFH değeri $10^{-9} \leq PFH < 10^{-8}$ aralığında olması neticesinde sistemin SIL 4 güvenlik bütünlük seviyesinde olduğu izlenimi açığa çıkmaktadır. Lakin $HFT=1$ ve $SFF=0.876$ olduğu için system

Tablo 2'ye göre tasarlanan elektronik kart maksimum SIL 3 seviyesinde olabilmektedir. Bu şartlar altında yukarıda tasarımı verilen kart için güvenlik bütünlük seviyesi IEC 61508'e göre SIL 3 olduğu söylenebilir.

3. SONUÇLAR

Dijitalleşmenin bir sonucu olarak gündelik hayatta kullandığımız birçok sistem tasarım noktasında giderek karmaşıklaşmaktadır. Asansör sistemleri de bu perspektiften son yıllarda çok büyük bir değişim geçirmiştir öyle ki birçok elektromekanik sistem yerini elektronik ya da programlanabilir elektronik sisteme bırakmıştır. Bu değişim beraberinde birçok riski de açığa çıkartmaktadır. Bu noktada geliştirilen bu sistemlerin IEC 61508 fonksiyonel güvenlik standardı merkezli olarak tasarlanması ve uygun güvenlik bütünlük seviyelerini sağlaması beklenmektedir. Bu çalışmada da bu değişime öncelik etmek adına "Kuyu boşluğu erişimine olanak veren herhangi bir kapının açılmasının kontrolü" güvenlik fonksiyonunu hayata geçiren yüksek güvenilirliğe sahip hatada güvenli bir elektronik kart geliştirilmiştir. Geliştirilen bu kartın SIL 3 güvenlik bütünlük seviyesine sahip olduğu ispat edilmiştir. İlgili tasarım EN 81-50 ve EN 81-20 referans alınarak hayata geçirilmiş, standartlardaki kısıtlara göz önünde bulundurulmuştur. Sektörel ihtiyaçları düşünerek sistemin asansör sistemlerine rahatlıkla entegre edilebilmesi için var olan güvenlik zincirine bağlanabilecek bir mimaride tasarım yapılmıştır. Kartın tasarımında kullanılan tüm elemanlara ait arıza oranları IEC 62380 referans alınarak sektörel çalışma koşullarına göre türetilmiştir. Geliştirilen bu güvenli elektronik kart ile asansör kontrol panosundaki bir kısım elektromekanik eleman azalmış ve kablo bağlantı yığınlarında azalma gözlemlenmiştir. Bu da bakım onarım noktasında zaman ve maliyet avantajı yaratacaktır.

Bu tasarlanan kart ile asansör kuyusuna güvenli erişim sağlanması maksadı ile kapıların açılmasının kontrolünün yapılması hedeflemektedir öyle ki asansör kat kapıları gerçek zamanlı

olarak izlenmekte ve herhangi bir şekilde kapının açılması durumunda kuyuya giriş algılayarak 1oo2 güvenlik mimarisi üzerinden çıkış üretilmektedir. Bu elde edilen çıkış güvenlik zinciri üzerindeki iletimi kesmesi neticesinde asansör duruşa geçmektedir. 1oo2 güvenlik mimarisi üzerinden tasarıma gidilmesinin bir sonucu olarak sistemin herhangi bir katında bir arıza olması halinde sistem çalışmaya devam etmekte ve görevini ifa etmektedir. Tasarlanan sistemin güvenli arıza oranı değeri 0.876'dır. Bu da elektronik kart üzerinde oluşabilecek arızaların %87.6'sında sistemin güvenli duruma geçeceği manasına gelmektedir. EN 81-50 "Kuyu boşluğu erişimine olanak veren herhangi bir kapının açılmasının kontrolü" güvenlik fonksiyonunu için SIL 2 seviyesinde bir tasarımın yeterli olduğunu ifade etmektedir. Bu çalışmada ise SIL 3 seviyesinde daha güvenli bir çözüm ortaya koyulmuştur. Son olarak günümüzde yaşanan endüstri devriminin asansör sistemlerinde de birçok değişimi tetiklemesi bu çalışmaya konu olan yüksek güvenilirliğe sahip hatada güvenli elektronik kartların ilerleyen günlerde daha fazla gündeme geleceğini bizlere göstermektedir.

Semboller

SIL	Güvenlik Bütünlük Seviyesi
λ	Arıza Oranı
R(t)	Güvenilirlik Fonksiyonu
f(t)	Hata Yoğunluğu Fonksiyonu
FIT	Milyar Çalışma Saati Başına Arızalanan Birim Sayısı
S	Güvenlik Oranı
λ_s	Güvenli Arıza
λ_D	Tehlikeli Arıza
λ_{DD}	Tehlikeli Tespit Edilmiş Arıza
λ_{DU}	Tehlikeli Tespit Edilmemiş Arıza
SFF	Güvenli Arıza Oranı
MTTF	Ortalama Arıza Süresi
DC	Teşhis Kapsamı
β	Tespit Edilmemiş Arızalar İçin Genel Ortak Nedenli Başarısızlık Faktörü
β_D	Tespit Edilen Arızalar İçin Genel Ortak Nedenli Arıza Faktörü
HFT	Donanım Hata Toleransı
PFD_{avg}	Talep Esnasında Ortalama Arıza Olasılığı
PFH	Saat Başına Tehlikeli Arıza Olasılık Değeri
1oo1	Birde Bir
1oo2	İkide Bir

1002D Teşhis ile İkide Bir
FMEA Hata Modları ve Etkisi Analizi
MTTR Ortalama Tamir Zamanı

KAYNAKLAR

- [1] CENELEC/IEC (2010). EN 61508-Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems.
- [2] CENELEC/IEC (2020). EN 81-50-Safety rules for the construction and installation of lifts. Examinations and tests Design rules, calculations, examinations and tests of lift components.
- [3] Flesch B. F., Brand B., Figueiredo R. M. de, Prade L. R., and Silva M. Rosa Da (2016). Proposal of a functional safety methodology applied to fault tolerance in FPGA applications, in LATS 2016-17th IEEE Latin-American Test Symposium. doi: 10.1109/LATW.2016.7483331.
- [4] Meany T. (2016). Functional safety for integrated circuits used in variable speed drives, PCIM Europe 2016, International Exhibition and Conference for Power Electronics, Intelligent Motion, Renewable Energy and Energy Management.
- [5] Kim S. D., Kim T. O., and Kang G. H. (2016). A study on the application of functional safety for PMS of electric propulsion ships, in 2016 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo, Asia-Pacific, ITEC Asia-Pacific 2016. doi: 10.1109/ITEC-AP.2016.7512958.
- [6] Gradwell B. (2017). Arc Flash\Blast, Safe by Design a Safety Integrity Level approach (SIL), IEEE IAS Electrical Safety Workshop. doi: 10.1109/ESW.2017.7914852.
- [7] Sinha P. (2011). Architectural design and reliability analysis of a fail-operational brake-by-wire system from ISO 26262 perspectives, Reliab Eng Syst Saf, vol. 96, no. 10. doi: 10.1016/j.res.2011.03.013.
- [8] Kilian P. et al. (2021). Principle Guidelines for Safe Power Supply Systems Development, IEEE Access, vol. 9. doi: 10.1109/ACCESS.2021.3100711.
- [9] Pancik J., Drgona P., and Paskala M. (2020). Functional Safety for Developing of Mechatronic Systems - Electric Parking Brake Case Study, Communications - Scientific Letters of the University of Žilina, vol. 22, no. 4. doi: 10.26552/com.C.2020.4.134-143.
- [10] Wang H. and Blaabjerg F. (2021). Power Electronics Reliability: State of the Art and Outlook, IEEE J Emerg Sel Top Power Electron, vol. 9, no. 6. doi: 10.1109/JESTPE.2020.3037161.
- [11] Sandelic M., Peyghami S., Sangwongwanich A., and Blaabjerg F. (2022). Reliability aspects in microgrid design and planning: Status and power electronics-induced challenges, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 159. doi: 10.1016/j.rser.2022.112127.

- [12] Soury A., Genon-Catalot D., and Thiriet J. M. (2015). New lift safety architecture to meet PESSRAL requirements, 2nd World Symposium on Web Applications and Networking, WSWAN 2015. doi: 10.1109/WSWAN.2015.7210314.
- [13] CENELEC/IEC (2020). EN 81-20-Safety rules for the construction and installation of lifts. Lifts for the transport of persons and goods Passenger and goods passenger lifts, 2020.
- [14] IEC/ISO (2019). IEC 31010 - Risk management - Risk assessment techniques.
- [15] CENELEC/IEC (2020). EN 81-50-Safety rules for the construction and installation of lifts. Examinations and tests Design rules, calculations, examinations and tests of lift components.
- [16] Rausand M. (2014). Reliability of Safety-Critical Systems: Theory and Applications, vol. 9781118112724. doi: 10.1002/9781118776353.
- [17] Pham H. (2009). Reliability and Risk Issues in Large Scale Safety-critical Digital Control Systems. doi: 10.1007/978-1-84800-384-2.
- [18] Rausand M. and Haugen S. (2020). Risk assessment: Theory, methods, and applications. doi: 10.1002/9781119377351.
- [19] Rausand M. (2014). Reliability of Safety-Critical Systems: Theory and Applications, vol. 978111811272. doi: 10.1002/9781118776353.
- [20] CENELEC/ISO (2018). IEC 60812-Failure modes and effects analysis (FMEA and FMECA).
- [21] CENELEC/IEC (2005). IEC 62380-Reliability data handbook Universal model for reliability prediction of electronics components, PCBs and equipment.

SÜRDÜRÜLEBİLİR İNŞAAT SEKTÖRÜ İÇİN GERİ DÖNÜŞÜM BETON AGREGASI

Onur YAVAN^{1*}, İlknur BOZBEY²

^{1*,2} *İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü*

Öz

Dünya nüfusunun artmasıyla beraber oluşturulacak yeni yerleşim yerlerinin oluşturulması inşaat sektörünün sürekli aktif olmasını sağlamaktadır. İnşaat sektöründe de en çok kullanılan yapı malzemelerinden biri agregadır. Agreganın rezervlerinin kısıtlı kaynak olması sebebiyle bu malzemenin yerine geçebilecek yeni malzeme arayışları sürmektedir. Özellikle yapı ömrünü tamamlamış ve/veya doğal afetler sonucu gibi sebeplerle oluşan inşaat yıkıntı atıklarının tekrar agregaya olarak kullanılması son yıllarda çalışılan konulardandır. Bu çalışma kapsamında, doğal agregaya yerine inşaat yıkıntı atıklarından elde edilen geri dönüşüm beton agregalarının kullanımı ile ilgili çalışmalar incelenmiş olup, bu inşaat malzemenin sürdürülebilir kaynak olmasının önemi belirtilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Geri Dönüşüm Beton Agregası, İnşaat Yıkıntı Atığı, Seçici Yıkım, Sürdürülebilirlik

RECYCLED CONCRETE AGGREGATE FOR SUSTAINABLE CONSTRUCTION MARKET

Abstract

The creation of new settlements to be created with the increase population in the world ensures construction sector is constantly active. Aggregate is one of the most used building materials in the construction industry. Due to the limited resource of aggregate reserves, the search for new materials to replace this material continues. The reuse of construction debris, which has completed its life and/or due to reasons such as natural disasters, as aggregate is one of the subjects studied in recent years. Within the scope of this study, studies on the use of recycled concrete aggregates obtained from construction debris wastes instead of natural aggregates were examined and the importance of this construction material being a sustainable resource was stated.

Keywords: Recycled Concrete Aggregate, Construction Demolition Waste, Selective Demolition, Sustainability

Sorumlu Yazar: Onur YAVAN, oyavan@klu.edu.tr

1. GİRİŞ

Ülkeler nüfuslarının artmasıyla beraber buldukları bölgelerde yeni yerleşim yerleri oluşturup insanların barınma ihtiyaçlarını karşılamaktadır. Yeni yerleşim yerlerinin oluşması da inşaat sektörünün sürekli olarak hareketli olmasına neden olmaktadır. Gelişmekte olan ülkelerde en çok kullanılan yapı türü betonarme yapılardır. Betonarme yapıların inşası için günümüz teknolojisinde hazır beton tesisleri kurulup hazır beton üretilmektedir.

Avrupa Hazır Beton Birliğinden (ERMCO) alınan 2017 yılı verilerine göre tüm Avrupa Birliği üyesi ülkelerin toplam beton üretim miktarı 235,2 milyon m³ iken, Türkiye tek başına 115,0 milyon m³ beton üretmektedir [1]. Bu üretim miktarı ile Türkiye, AB ülkeleri arasında birinci iken Almanya 51,7 milyon m³ üretim ile ikinci, Fransa 38,7 milyon m³ üretim ile üçüncüdür. Tablo 1’de Türkiye’de üretilen hazır beton miktarı yıl yıl verilmiştir [2].

Tablo 1. Türkiye’de Yıllara Göre Hazırlanan Beton Üretimi [2]

Yıl	Hazır Beton Üretimi (milyon m ³)	Hazır Beton Firma Sayısı	Tesis Sayısı	Yıl	Hazır Beton Üretimi (milyon m ³)	Hazır Beton Firma Sayısı	Tesis Sayısı
1988	1,5	25	30	2012	93,1	540	980
1993	10,0	70	110	2013	102,0	580	1040
1998	26,5	166	341	2014	107,0	580	1040
2003	26,8	238	429	2015	107,0	621	1098
2005	46,3	277	568	2016	109,0	570	1120
2006	70,7	409	718	2017	115,0	540	1184
2007	74,4	477	845	2018	100,0	495	1100
2008	69,6	462	825	2019	77,0	450	900
2009	66,4	467	845	2020	95,0	542	1032
2010	79,7	500	900	2021	105,0	600	1106
2011	90,5	520	945				

2017-2019 yılları arasında üretilen beton miktarı azalmıştır. Dünya çapında etkili olan pandemi etkisiyle inşaat sektörü etkilenmiş ve sektörde beton üretimi azalmıştır. Ancak 2020 yılından itibaren kurulan hazır beton santral sayısı ve buna bağlı olarak üretilen beton miktarı tekrar artmaya başlamıştır. 1988 yılından günümüze kadar üretilen beton miktarı, kurulan tesislerin ve hazır beton firmalarının sayısı genellikle artış göstermiştir.

Beton birim hacim ağırlığının $2,8 \text{ t/m}^3$ olduğu kabul edilirse, 2022 yılında üretilen beton miktarının 294,0 milyon ton olduğu hesaplanabilir. 1 m^3 beton birim ağırlığının, hacimsel olarak %40'ını, ağırlık olarak ise %45'ini iri agrega oluşturmaktadır. Bu veriler dikkate alındığında, 2022 yılı doğal iri agrega tüketiminin 132,3 milyon ton olduğu hesaplanabilmektedir. Agregaların birim hacim ağırlığının ortalama $2,7 \text{ ton/m}^3$ olduğu düşünüldüğünde Türkiye'de sadece beton üretmek için kullanılan agrega üretiminde yaklaşık olarak $49,0 \text{ milyon m}^3$ 'lük bir hacim kapladığı hesaplanabilir. Agrega Üreticileri Birliği Derneği'nin (AGÜB) raporuna göre 2022 yılında Türkiye'de yaklaşık 300 milyon ton agrega üretildiği belirtilmiştir. Bu miktar Türkiye'de yaklaşık 110 milyon m^3 'lük bir doğal taş rezervinin kullanımı demektir [3]. Amerika Birleşik Devletlerinde bir araştırmaya göre 2004 yılında 2,7 milyar ton doğal agrega üretilmiştir [4]. Doğal agrega özgül ağırlığının yaklaşık $2,7 \text{ ton/m}^3$ hesaba katılırsa, bu alanın $1,0 \text{ milyar m}^3$ 'lük bir hacim kapladığı hesaplanabilir. Bu durum, doğal agrega üretimi için geniş bir alanda bulunan doğal çevrenin zarar görmesi anlamına gelmektedir. Ayrıca, bu agrega üretim tesislerinin yaydığı toz emisyonu, gürültü ve görsel kirlilik gibi etkiler de dikkate alınması gereken faktörler arasında yer almaktadır.

Ancak agrega rezervleri sınırlı bir kaynak olduğundan, sürdürülebilir agrega kaynaklarına yönelik araştırmalar son yıllarda artmaktadır. Yenilenebilir agrega kaynakları, geri dönüştürülmüş malzemeler ve alternatif malzemeler gibi çözümler araştırılmaktadır. Bu kapsamda özellikle inşaat yıkıntı atıklarının tekrar kullanılabilirliği ile ilgili çalışmalar sürdürülmektedir.

2. İNŞAAT YIKINTI ATIĞI

İnşaat Yıkıntı Atığı (İYA)'nın ana kaynağı servis ömrü dolan yapıların yıkılmasıdır. Fakat çeşitli faaliyetler sonucunda İYA oluşabilmektedir. Bunlar;

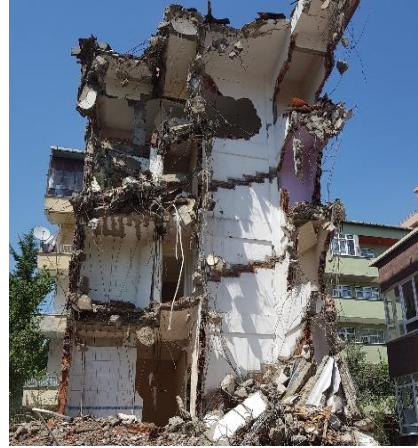
- Şehir bölge imar kanunlarındaki değişiklik sonucu ortaya çıkan yıkımlardan,
- Yeni yapıların inşaatı sırasında meydana gelen atıklardan,
- Ticari beton veya prefabrike tesislerin atıklarından,
- Bilimsel araştırmaların yapıldığı üniversite laboratuvarında meydana gelen atıklardan,
- Ticari laboratuvar atıklarından,

- Deprem, sel vb. doğal afetlerin sonucunda oluşan yıkıntı atıklarından, meydana gelebilmektedir.

İYA bileşenleri ülke ve bölgelerin kullandıkları malzemelere bağlı olarak kompozisyonunda farklılıklar göstermesine rağmen genel olarak iki gruba ayrılmaktadır. Birinci grup seramik malzemeler (tuğla, kiremit vb.), beton, kum, çakıl ve diğer agregalardan oluşurken ikinci grup tahta, cam, plastik, metal, kauçuk ve kağıt gibi malzemelerden oluşmaktadır. Bu malzemelerin düzgün bir şekilde depolanabilmesi ve kullanılabilmesi için seçici yıkım şartnamesi olmalıdır.

Özellikle Türkiye’de 2012’de başlayan kentsel dönüşüm projesi kapsamında 7 milyon yapının değerlendirilmesi ve bunların da birçoğunun da yıkılması gündeme gelmiştir. Şekil 1’de İstanbul’un Fikirtepe, Kartal, Beylikdüzü ve Güngören ilçelerinde kentsel dönüşüm projesi kapsamında yıkılan yapılara örnekler verilmiştir. Bu proje kapsamında yıkılan yapıların tamamından inşaat yıkıntı atıkları ortaya çıkmakta olup günümüzde hafriyat rehabilitasyon sahalarına taşınmaktadır.

Gerek kentsel dönüşüm projesi kapsamında gerek deprem gibi doğal afet sonunda ortaya çıkan, gerekse yaşam ömrünü tamamlayan yapıların tekrar revize edilmesi gerekliliğinden ortaya çıkan bu atıkların geri dönüşüme sokularak kullanılması sürdürülebilirlik kapsamında çok büyük önem arz etmektedir. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü Atık Yönetimi Başkanlığı tarafından; Türkiye’de yıllık ortaya çıkan 45 milyon ton İYA miktarının, 2012 yılında yayımlanan Kentsel Dönüşüm Kanunu ile birlikte ilk 3 yıl boyunca yıllık 10 milyon ton ilave atık oluşacağı dikkate alındığında yıllık 55 milyon ton İYA meydana geleceğini açıklamıştır [5].



Şekil 1. Kentsel Dönüşüm Projesi Kapsamında Yıkılan Yapılara Örnek Fotoğraflar

Depremlerden sonra oluşan yıkıntı atıkları da büyük bir problem oluşturmaktadır. 06.02.2023 tarihinde merkez üssü olan Pazarcık ve Elbistan merkezli Kahramanmaraş Depremlerinde birçok ilimiz etkilenmiştir. THBB, 2022 raporuna göre 04.03.2023 tarihine kadar yapılan incelemelerde 227 bin 27 binanın acil yıkılması gerektiği, ağır hasarlı veya yıkık olduğu belirtilmiştir. Bu yapılardan %96,7 sinin 1999 yılı öncesi yapı olduğu belirtilmiştir. Bu bölgede bulunan bu İYA atıkları günümüzde rehabilitasyon merkezlerine taşınmakta ve kullanılmamaktadır [2].

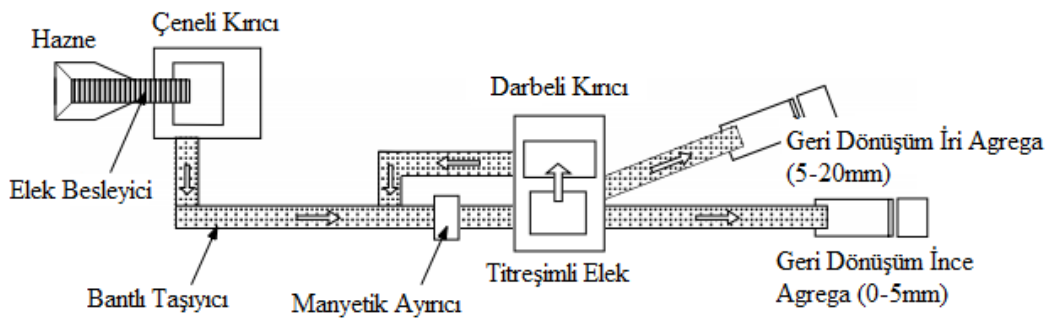
3. GERİ DÖNÜŞÜM BETON AGREGASI VE ÜRETİMİ

RILEM (Reunion Internationale Des Laboratoires D'essais Et De Recherches Sur Les Materiaux Et Les Constructions) komitesi tarafından üç çeşit geri kazanılmış agrega tanımlanmıştır [6-7]. Bunlar;

1. Tip 1: Öncelikle duvar molozlarından elde edilenler (Kargir kalıntılardan elde edilenler, (birim hacim ağırlık, $1,5 \text{ g/cm}^3$),
2. Tip 2: Öncelikle beton molozlarından elde edilenler (Beton kalıntılardan elde edilenler, (birim hacim ağırlık, $2,0 \text{ g/cm}^3$),
3. Tip 3: Doğal agrega (%80) ile geri kazanılmış agreganın (%20) karışımı ile elde edilenler, (birim hacim ağırlık, $2,4 \text{ g/cm}^3$).

Geri dönüşüm beton agregalarının (GDA) üretim süreci doğal agregaların üretimine benzemektedir. Agrega üretiminde kullanılan çeneli veya darbeli kırıcılar geri dönüşüm beton agregası üretiminde de kullanılabilir. Kırıcı haznesine getirilen İYA'lar kırıcı çenesinden geçtikten sonra titreşimli eleklerden geçerek istenilen boyutta depolanabilir. Burada kullanılacak elek açıklıkları üretilmesi planlanan geri dönüşüm beton agregalarının boyutlarına uygun değiştirilebilmektedir.

Genel olarak toplanan inşaat yıkıntı atıkları mekanik bir şekilde parçalanmaktadır. Parçalanma sonrasında farklı boyutlu parçalar elekler kullanılarak istenilen boyutta üretilmekte ve agrega olarak kullanılmaktadır. Eguchi ve ark. (2007) GDA'nın üretiminde kullanılan örnek bir tesisi Şekil 2'deki gibi örneklendirmiştir [8]. İYA'ların geri dönüştürülmesi için günümüzde portatif kırıcılarda bulunmaktadır. Yıkım yapılacak olan bölgede herhangi bir nakliye işi olmadan şantiyede de geri dönüşüm işi yapılabilmektedir.



Şekil 2. Geri dönüşüm agregası için üretim tesisi [8]

4. GERİ DÖNÜŞÜM BETON AGREGASININ KULLANIM ALANLARI

İnşaat atıklarının çoğunluğu geri dönüştürülebilir niteliktedir. Ülkemizde, 2004 yılında yayınlanan Hafriyat Toprağı, İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği [9] kapsamında belirlenen kriterleri sağladıktan sonra, geri dönüştürülen inşaat atıkları doğal malzemelerle birlikte veya ayrı olarak, yeni beton üretiminde, yol, otopark, kaldırım, yürüyüş yolları, drenaj çalışmaları, kanalizasyon boruları ve kablo döşemeleri için dolgu malzemesi olarak kullanılabilir. Ayrıca, alt ve üst yapı inşaatlarında, spor ve oyun tesislerinin yapımında ve diğer dolgu ve rekreasyon çalışmalarında öncelikli olarak değerlendirilebilir.

Beton atıklarının yeniden kullanımı, beton blokların erozyonu önlemek ve dolgu malzemesi olarak kullanmak gibi sınırlı örneklerle sınırlı değildir [10-11]. İnşaat ve yıkıntı atıklarından elde edilen beton, parçalara ayrılarak elekten geçirilerek ince ve iri agrega elde etmek için işlenebilir. Beton atıkları, özellikle bu yöntemle geri dönüştürüldüğünde, GDA olarak kabul değerlendirilebilir [12-13].

İYA'lardan elde edilmiş GDA'lar genellikle diğer inşaatlarda dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır. Jeon vd. çalışması ile beton kaldırımların taban ve taban altlığında %100 geri kazanılmış agregaların kullanılabilirliğini sonucuna göstermiştir [14]. GDA Amerika Birleşik Devletleri ve İngiltere'de geniş bir şekilde kaldırımlarda kullanılmaktadır. Geri kazanılmış agregaların (kaba ve ince agreganın) yol taban malzemesi olarak kullanılmasının doğal yol taban malzemesi ile karşılaştırılabilecek nitelik taşıdığını rapor etmişlerdir [15-16]. Hollanda da kırılan beton atıklarının %95'i yol taban malzemesi olarak kullanılmaktadır [17].

GDA kanalizasyon dolgularında, yol yapım çalışmalarında taban malzemesi olarak çevre düzenlemesi, su kanalları, drenaj malzemesi, dolgu malzemesi ve beton blok üretimi işlerinde kullanılabilir [18]. Bazı araştırmacılar beton agregalarının kullanım alanlarını boyutları ile ilişkilendirerek;

- 80-200 mm beton agregaları; dolgu malzemesi olarak hidrolik işlerinde,
- 0-80 mm beton agregaları; standartları yerine getirmek şartı ile beton imalatında, yol inşaatlarında zemin malzemesi olarak, toprak dolgu malzemesi olarak ve park sahalarında,
- 0-56 mm geri kazanılmış kargir; zemin dolgusu olarak ve sertleşmemiş zemin oluşturmak için park sahalarında,

- Asfalt agregaları; yollar ve park alanları kaplamalarında, yeni asfalt içinde kullanımı şeklinde sınıflandırmışlardır [19-20].

Kianimehr ve ark. geri dönüşüm beton agregaları killi zeminlerde kullanarak, zeminin mukavet ve deformasyon değişimlerini incelemiştir. GBA optimum su muhtevasında killi zeminlere katılmasının maksimum kuru birim hacim ağırlığını düşürdüğü sonucuna varmışlardır. Ayrıca GBA'ların karışımdaki oranının artmasıyla kayma mukavemeti parametrelerinin de arttığını belirtmişlerdir [21].

Bordoloi ve ark. geri dönüşüm beton agregalarının doymun olmayan durumlarda hidro-mekanik özelliklerine bakarak henüz tam anlamıyla açıklanamamış çevre uygulamalarında kullanılabilirliğini çalışmışlardır. GBA'ların gözenekli oluşu ve etrenjit varlığının da su emme yüzdelerinin doğal agregalara göre daha yüksek olduğunu belirtip bu malzemelerin eğimli arazilerde, yol alt tabakalarında, geosentetik donatılı duvarlarda dolgu malzemesi olarak kullanılabilir olduğunu gösteren çalışmaların azlığından bahsedip bu alanlarda boşluk olduğunu belirtmişlerdir [22].

5. GERİ DÖNÜŞÜM BETON AGREGALARIN EKONOMİYE KATKISI

Bir metre küplük betonun üretim maliyeti içerisinde en büyük payı %40 ile çimento tutarken, ikinci sırada %20 ile iri agrega gelmektedir [20]. İnşaat ve yıkıntı atıklarından elde edilen beton atıkları, kırılıp parçalandıktan sonra en çok, iri ve ince agrega olarak kullanılabilir [12-13]. GDA doğal agregalara göre maliyeti daha uygundur [4-23]. Buna göre GDA'nın, yeniden kullanımı ile önemli ölçüde ekonomik kazanç sağlanabilecektir [24].

İYA'lar çöp sahasına atılmak yerine, ikinci bir kullanıcıya satılmak üzere geri dönüşüm için değerlendirildiğinde, çöp depolama alanına gönderme maliyetinde %90 oranında bir düşüş meydana gelebilir. [20]. Atık ayırma ve işleme tesislerinde oluşan istihdam ve geri kazanılmış ürünlerin pazarlanması yöntemi ile İYA'nın geri kazanımı önemli bir ekonomik faaliyet oluşturabilir [23].

Günümüzde petrol fiyatlarının artışı nakliye işlerinin fiyatlarının artmasına sebep olmuştur. Yıkılan yapıların atıkları da rehabilitasyon merkezlerine taşınmaktadır. Nakliye ücretlerinin yanında rehabilitasyon merkezlerine atılan atıkların ton miktarına göre de belediyelere ücretler

ödenmektedir. Bu İYA'ların yerinde beton agrega dönüştürülmesi hem nakliye hem de atık ücretini ortadan kaldıracaktır.

6. SONUÇ

Betonarme yapıların inşası ve yeni yerleşim yerlerinin oluşturulması için dünya genelinde büyük miktarda doğal agrega kullanılmaktadır. Bu durum doğal çevrenin tahrip edilmesine, toz emisyonu, gürültü ve görüntü kirliliği gibi olumsuz etkilere neden olmaktadır. Bu nedenle, sürdürülebilirlik açısından agrega kaynaklarının yönetimi ve alternatif çözümler araştırılması gerekmektedir.

İnşaat yıkıntı atıkları, servis ömrünü tamamlamış veya yıkılan yapıların bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. Bu atıkların büyük bir kısmı geri dönüştürülebilir niteliktedir. Geri dönüşüm beton agregası, inşaat yıkıntularından elde edilen ve yeni beton üretiminde kullanılan bir malzeme olabilir. GDA, alt ve üst yapı inşaatlarında, yol yapımında, drenaj çalışmalarında, geri dolgu malzemesi ve diğer pek çok alanda kullanılabilir.

Geri dönüşüm beton agregasının kullanımı, çevresel etkileri azaltma ve doğal kaynakların korunması açısından önemlidir. Yeniden kullanılan betonlar, çeşitli inşaat projelerinde dolgu malzemesi olarak, yol yapımında, otoparklarda, kaldırımlarda, drenaj çalışmalarında ve daha birçok alanda kullanılabilir. Bu şekilde, inşaat yıkıntı atıkları geri dönüştürülerek sürdürülebilir bir inşaat sektörü desteklenmekte ve çevreye olan olumsuz etkiler azaltılmalıdır.

KAYNAKLAR

[1] ERMCO, European Ready Mixed Concrete Organization Association, Brussels, Belgium, (2016).

[2] Türkiye Hazır Beton Sektörü İstatistikleri, 2022- www.thbb.org

[3] Agrega Üreticileri Birliği, 2022- www.agub.org.tr

[4] Rao, A., Kumar, N., Jha ve Misra, S., (2007). Use of Aggregates from Recycled Construction and Demolition waste in Concrete, Conservation and Recycling, 50, 71-81.

[5] Çevre Şehircilik Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Atık Yönetimi Başkanlığı, 2012, <https://cygm.csb.gov.tr/atik-yonetimi-i-450>

- [6] RILEM TC 121-DRG, (1994). Specifications for Concrete with Recycled Aggregates, *Materials and Structures*, 27, 557-559.
- [7] Oikonomou, N.D., (2005). Recycled Concrete Aggregates, Cement and Concrete Composites, 27, 315–318.
- [8] Eguchi, K., Teranishi K., Nakagome, A., Kishimoto, H., Shinozaki, K., Narikawa, M., (2007). Application of Recycled Coarse Aggregate by Mixture to Concrete Construction, *Construction and Building Materials*, pp 1542-1551.
- [9] Hafriyat Toprağı, İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği, 2004.
- [10] Fonteboa, B.G. ve Abella, F.M., (2008). Concretes with Aggregates from Demolition Waste and Silica Fume/Materials and Mechanical Properties, *Building and Environment*, 43:429-437.
- [11] Topçu, İ.B. ve Şengel, S., (2003). Properties of Concretes Produced with Waste Concrete Aggregate, *Cement and Concrete Research*, 34, 1307-1312.
- [12] Poon, C.S., (2006). Management of Construction and Demolition Waste, *Waste Management*, 27, 159-160.
- [13] Rakshvir, M. ve Barai, S.V., (2006). Studies on Recycled Aggregates-Based Concrete, *Waste Manage Res.*, 24, 225-233.
- [14] Jeon H.Y., Cho S.H., Mok M.S., Park Y.M., Jang J.W., *Polymer Testing, Assessment of Chemical Resistance of Textile Geogrids Manufactured with PET High-Performance Yarn*, 2005.
- [15] Chini, A.R., Kuo, S.S., Armaghani, J.M. ve Duxbury, J.P., (2001). Test of Recycled Concrete Aggregate in Accelerated Test Track, *Journal of Transportation Engineering*, 127:486-492.
- [16] Nataatmadja, A., ve Tan, Y.L., (2001). Resilient Response of Recycled Concrete Road Aggregates, *Journal of Transportation Engineering*, 127:450-453.
- [17] Mulder, E., De Jong, T.P.R. ve Feenstra, L., (2007). Closed Cycle Construction: An Integrated Process for the Separation and Reuse of C&D Waste, *Waste Management*, 27:1408-1415.
- [18] Corinaldesi, V., (2010). Mechanical and Elastic Behaviour of Concretes Made of Recycled-Concrete Coarse Aggregates, *Construction and Building Materials*, 24:1616-1620.
- [19] Kartam, N., Al-Mutairi, N., Al-Ghusain, I. ve Al-Humoud, J., (2004). Environmental Management of Construction and Demolition Waste in Kuwait, *Waste Management*, 24:1049-1059.
- [20] Arioğlu, E., Köylüoğlu, Ö.S. ve Akıllıoğlu, E., (1996). Dünyadaki Geri Kazanılmış Agregat Üretim Politikalarının Gözden Geçirilmesi ve Ülkemiz Açısından İrdelenmesi, I. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, 7-8 Ekim 1996, İstanbul.





[21] Kianimehr M., Shourijeh P.T., Binesh S.M., Mohammadinia A., Arulrajah A., (2019). Utilization of Recycled Concrete Aggregates for Light-Stabilization of Clay Soils, *Construction and Building Materials*, 227 (2019), 116792.

[22] Bordoloi S., Afolayan O. D., Ng C.W.W., (2022). Feasibility of Construction Demolition Waste for Unexplored Geotechnical and Geo-Environmental Applications-A Review, *Construction and Building Materials*, 356 (2022), 129230.

[23] Lennon, M., 2005. *Recycling Construction and Demolition Wastes A Guide for Architects and Contractors*, The Institution Recycling Network.

[24] Demir, İ., 2009. İnşaat Yıkıntı Atıklarının Beton Üretiminde Kullanımı ve Beton Özelliklerine Etkisi, *AKÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 02, 105-114.

DOĞAL GAZIN GÜVENLİ KULLANIMINDA PERİYODİK KONTROLLERİN ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Ramazan KÖSE¹, Ümit ERTURHAN^{2*}

¹Dumlupınar Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, KÜTAHYA

^{2*}Dumlupınar Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Bölümü, KÜTAHYA

Öz

Ülkemizde ilk defa 1853 yılında İstanbul'da kurulan hava gazı fabrikası ile gaz şebekesi sistemleri kurulmaya başlanmış, 1929 yılında Ankara'da kurulan hava gazı fabrikası ile devam etmiştir. Ülkemiz 1988 yılında Ankara'da, 1989 yılında da İstanbul'da ilk defa doğal gaz ile tanışmıştır. Ardından 1992 yılında Bursa, 1993 yılında Adapazarı, 1996 yılında Eskişehir ve Kocaeli şehirlerinde başlayan doğal gaz dağıtımını 2004 yılından sonra EPDK'nın ihaleleri ile ülke genelinde yaygınlaşmaya başlamıştır. Bugün 81 vilayetin tamamında ve 700'den fazla yerleşim bölgesinde doğal gaz dağıtım faaliyetleri yürütülmektedir.

Eskişehir ilinde 1996 yılından bu yana doğal gaz kullanılmaktadır. Aradan geçen 27 süresince tesisatlarda ve gaz yakan cihazlarda eskime, yıpranma ve yorulma meydana gelmiştir. Bu süreçte oluşabilecek yıpranmaların kullanıcıların can ve mal emniyetine zarar vermesini engellemek tesisatların periyodik kontrolü önemli hale gelmiştir. Yapılan bu çalışma ile doğal gaz sızıntısı ve baca problemi gibi ihbarların önemli derecede düşüş gösterdiği ve bunun sonucu olarak doğal gaz kaynaklı kazaların neredeyse sıfıra yaklaştığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Doğal Gaz, Tesisat, Baca, Periyodik Kontrol

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF PERIODIC CONTROLS ON THE SAFE USE OF NATUREL GAS

Abstract

For the first time in our country, gas network systems started to be established with the gas factory established in Istanbul in 1853 and continued with the gas factory established in Ankara in 1929. Our country met with natural gas for the first time in Ankara in 1988 and in Istanbul in 1989. Then, natural gas distribution, which started in Bursa in 1992, Adapazarı in 1993, Eskişehir and Kocaeli in 1996, started to become widespread throughout the country with the tenders of EMRA after 2004. Today, natural gas distribution activities are carried out in all 81 provinces and more than 500 district.

Natural gas has been used in Eskişehir since 1996. During the past 27 years, aging, wear and fatigue have

Sorumlu Yazar: Ümit ERTURHAN, umiterturhan@gmail.com

occurred in installations and gas-burning devices. Periodic control of the installations has become important to prevent the wear and tear that may occur in this process from harming the safety of life and property of the users. With this study, it was observed that the notifications such as natural gas leakage and chimney problems decreased significantly and as a result, natural gas-related accidents approached almost zero.

Key Words: Natural Gas, Installation, Chimney, Periodic Control

1. GİRİŞ

Fosil canlıların milyonlarca yıl boyunca yeraltında yüksek sıcaklık ve basınç altında kalması sonucu oluşan doğalgaz, tamamen doğal bir yakittir. Petrol yataklarının üzerinde ya da gözenekli kaya boşluklarına sıkışmış şekilde yeraltında büyük hacimlerde bulunur.

Doğal gazın bileşiminde Metan (CH_4) (yaklaşık %95'i), Etan (C_2H_6), Propan (C_3H_8), Bütan (C_4H_{10}) vb. hidro karbonlar bulunur. Ayrıca hidrojen sülfür (H_2S), azot (N_2), karbondioksit (CO_2), oksijen (O_2) ve bazen de helyum (He) gazlarına rastlanır. Renksiz ve kokusuz bir gazdır. THT (tetrahidroteofen) ve/veya TBM (tersiyerbetülmerkaptan)'nın belirli oranlarda katılması sonucu doğal gaz, sızıntıların fark edilebilmesi için kokulandırılır. Zehirli bir gaz değildir, ancak yüksek gaz oranında oksijen miktarı olamayacağından boğucu etkisi vardır. Rutubetli kuru bir gazdır. Yoğunluğu yaklaşık $0,64 \text{ kg/m}^3$ olduğundan havadan hafiftir. Yanma hızı 34 cm/sn ve yanma-patlama sınırı % 5–15 gaz/hava oranıdır.[1]

1 m^3 doğalgazın yanması sonucu 8250 kcal/h 'lik ısı açığa çıkar ve yüksek yanma verimine sahip bir gazdır. Uygun koşullarda yanmanın olabilmesi için 1 m^3 doğalgazın 10 m^3 havaya ihtiyacı vardır. Bu reaksiyonda 1 m^3 doğalgaz ve 10 m^3 havadan tam yanma sonucunda 1 m^3 karbondioksit (CO_2), 2 m^3 su buharı (H_2O), ve 8 m^3 azot (N_2) açığa çıkar.

Tam yanmanın olabilmesi için fazla havaya ihtiyaç olduğundan doğalgaz cihazlarının bulunduğu ortamlarda uygun havalandırma düzeneklerinin bulunması gerekir. Bileşiminde kükürt (S) ve kükürtlü bileşenler olmadığından kükürtdioksit (SO_2) gibi zehirli gaz açığa çıkartmaz. Ancak tam yanma sağlanamaz ise karbonmonoksit (CO) oluşur ve bu gaz zehirlenme etkisine sahiptir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1 Doğalgazın Güvenli Kullanımına İlişkin Düzenlemeler

Ülkemizde, doğal gazın güvenli kullanımına ilişkin bir takım düzenlemeler mevcuttur. Bunlar birisi 4646 sayılı Doğal Gaz Kanunu'dur. Bu kanunda doğal gaz iç tesisatlarında uygun olmayan malzeme kullanımı veya izinsiz tadilat gibi durumlar ile tesisat bakımsızlığı sebebiyle oluşacak zararlardan dağıtım şirketinin sorumlu olmadığını ifade eder.[2]

Doğal Gaz Piyasası İç Tesisat Yönetmeliği'ne göre iç tesisatta meydana gelebilecek gaz kaçağı veya kazalara karşı bilgilendirme yapma sorumluluğu dağıtım şirketinde, önlem alma sorumluluğu da kullanıcıdadır.

Doğal Gaz Piyasası Dağıtım ve Müşteri Hizmetleri Yönetmeliği'nde ise kullanıcıdan kaynaklı nedenlerle 3 defa art arda kontrol yapılamaması halinde gaz arzının durdurulması gerektiğini ifade etmektedir.

2.2 Standartlar ve Teknik Düzenlemeler

Doğalgaz tesisatlarının güvenli olarak tesis edilmelerine ve işletilmelerine ilişkin yapılan idari düzenlemelerde açıkça belirtildiği üzere doğal gaz iç tesisatları yürürlükte olan TS, EN, ISO, IEC standartlarından birisine, bu standartlarda yoksa TSE'nin kabul ettiği diğer standartlara uygun olmak zorundadır.

Bu kapsamda iç tesisatların yapımı ve işletilmesiyle ilgili olarak en önemli standart "TS 7363- Doğal gaz - Bina iç tesisatı projelendirme ve uygulama kuralları" standardıdır. Bu standart, bir nevi iç tesisatın anayasası olarak nitelendirilmektedir.

TS 7363 standardı, iç tesisatta güvenli doğal gaz kullanımına ilişkin uyulması gereken kuralları kapsamaktadır. [5]

TS 7363 standardı yıllar içerisinde yaşanan teknolojik gelişmelere ve uygulamalara bağlı olarak gözden geçirilmekte ve güncellenmektedir. Bu kapsamda TS 7363 standardının kronolojik gelişim süreci şöyledir;

İlk Yayınlanma : 18.12.1990

Tadil : 13.04.2006

Tadil : 30.11.2006

Revizyon : 04.12.2008
Revizyon : 09.01.2017
Revizyon : 21.05.2018
Tadil : 30.09.2019

Uluslararası standartlara bakacak olursak; örneğin bir Avrupa ülkesi olan İspanya'nın doğal gaz dağıtım faaliyetlerini yürüten NEDGIA firmasının kullanıcılarına yönelik olarak doğal gazın teknik ve güvenlik kurallarına uygunluğu için tesisatların 5 yılda bir kontrol edilmesi gerektiğini belirtmektedir. Bu kontrolün lisanslı bir tesisat firması veya doğal gaz dağıtım şirketiniz tarafından yapılabileceği ifade edilmekle birlikte gaz tesisatının bakımı, muhafazası ve doğru kullanımı, sahibi veya kullanıcısının sorumluluğunda olduğu ifade edilmektedir. [6]

Benzer şekilde Amerika Birleşik Devletlerinin Alabama, Mississippi ve Missouri eyaletlerinde 1,7 milyon eve ve işletmeye doğal gaz arzı sağlayan SPIRE firması da doğal gazın güvenli kullanımı için yasalar gereği her 3 yılda bir yaptırılması zorunlu olan bu kontrollerin kendi firmaları tarafından yapıldığını ve herhangi bir ücret alınmadığını belirtmektedir. [7]

2.3 İç Tesisatların Projelendirilmesi, Yapımı ve Devreye Alınması

Doğalgaz iç tesisatlarının devreye alınması ve işletilmesi yukarıda detaylarıyla anlatılan idari ve teknik düzenlemelere göre son derece güvenli bir şekilde yapılmaktadır. Bu anlamda ülkemizde düzenlenmiş en iyi piyasalardan birisi olduğu söylenebilir.

İç tesisatlar Sertifika Yönetmeliği hükümlerince sertifika verilen firmalar ve bunlara bağlı olarak çalışan Doğal Gaz İç Tesisat Yetki Belgesi sahibi makina mühendisleri tarafından projelendirilmekte ve Mesleki Yeterlilik Kurumu tarafından yayınlanan meslek standartlarına sahip usta ve kaynakçılar tarafından yapılmaktadır. Yapılan bu tesisatların kontrolü ise ilgili mevzuat hükümleri gereğince doğal gaz dağıtım şirketleri tarafından kendi teknik personeline veya kendi adına çalışan denetim şirketlerince sağlanmaktadır.

Güvenli doğal gaz kullanımının başlangıç noktası olan iç tesisatların projelendirilmesi, yapımı, kontrol ve denetim işlerinin tamamı standart ve mevzuat hükümleri doğrultusunda uzman teknik personeller tarafından yapılmaktadır.

2.4 Doğal Gaz Tesisatlarının Güvenli Kullanımında Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar

Bölüm 2.1’de belirtildiği üzere iç tesisatların ilk devreye alınmasından sonra güvenli bir şekilde kullanılması ve düzenli bakımların yapılması kullanıcının sorumluluğundadır.

Bu kapsamda doğal gaz kullanıcıları iç tesisatların güvenli kullanımı açısından aşağıda belirtilen temel hususlara azami dikkati göstermelidir.

- İlk devreye almanın ardından iç tesisatta herhangi bir şekilde proje dışı tesisat veya mevcut tesisatta değişiklik yapılmamalıdır. Bu kapsamda herhangi bir yakıcı cihaz (ocak, kombi, şofben, kazan vb.) ilave edilemeyeceği gibi yakıcı cihazların yeri de değiştirilemez. Bu tür bir işlem yapılacak ise mutlaka doğal gaz dağıtım şirketinin bilgisi ve gözetimi dâhilinde yapılmalıdır.
- Yakıcı cihazların (kombi, kazan, şofben, ocak vb.) her yıl düzenli olarak bakımları yetkili servislere yaptırılmalıdır. Burada yetkili servis konusu çok önemlidir. Ülkemizde yetkisiz servislerin yaptıkları işlemler birçok kez patlama, zehirlenme ve yangınlara sebep olmuş, sonucunda ölümlü ve yaralanmalı kazalar yaşanmıştır.
- Yakıcı cihazlara ait varsa bacalar her yıl düzenli olarak kontrol ettirilmeli ve gerekiyorsa temizletilmelidir. Özellikle yaz aylarında kullanılmayan bacalar, kuşların yuva yapması suretiyle tıkanabilmektedir. Yanmadan kaynaklı veya dış etkenlerden kaynaklanan sebeplerden dolayı da bacalar her yıl düzenli olarak kontrol ettirilmelidir. Bacalarda yaşanabilecek en küçük bir olumsuzluk insan hayatına mal olabilmektedir. Düzgün çekiş yapmayan bir bacanın da fazla enerji tüketeceğinden kaynaklı yakıt tüketimine de olumsuz etkisi bulunduğu unutulmamalıdır.
- Yakıcı cihazların bulunduğu ortamlardaki havalandırma menfezleri asla kapatılmamalıdır. Yanma için gerekli oksijen bu havalandırmalardan sağlanmaktadır. Ayrıca ortamda zehirli gazların oluşması halinde de bu gazların açık olan havalandırmalardan tahliye edilebileceğini de unutmamak gerekir. Bu nedenle havalandırma menfezleri de hayati önem taşımaktadır.
- Eğer kombi ve şofbenler mutfakta yer alıyor ve bacaya bağlanıyor ise aynı bacaya asla aspiratör bağlanmamalıdır. Aspiratörler içinde fan ile çalıştığı için kombi veya şofben ile aynı bacaya bağlanması durumunda kombi ve şofbenden çıkan zehirli baca gazları evin içine veya ortak bacalarda başka evlerin içine dolarak hayati tehlike oluşturabilmektedir.

2.5 Güvenli Kullanımı İçin Yapılacak Bilgilendirmeler

Doğal gaz tesisatlarının güvenli kullanımı için kullanıcıların sık sık bilgilendirilmesi önem arz etmektedir. Bu husus Doğal Gaz Piyasası İç Tesisat Yönetmeliği'nde tesisatlarda oluşabilecek gaz kaçağı veya kazalara karşı alınması gereken tedbirler konusunda dağıtım şirketini, belirtilen tedbirlerin alınması hususundaki sorumluluğu da kullanıcı sorumluluğuna bırakmıştır.

Bu konuda dağıtım şirketinin sorumluluğunda olan sosyal medya hesaplarında, web sayfasında ve halkın görebileceği tüm basın yayın mecralarında güvenli kullanıma ilişkin bilgilendirmelerin yapılması büyük önem arz etmektedir. Bu hususta ESGAZ A.Ş dağıtım bölgesinde yapılan bazı örnek çalışmalar aşağıdaki Şekil 1, Şekil 2, Şekil 3 ve Şekil 4'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Otobüs duraklarında bilgilendirme görseli



Şekil 2. Broşür olarak dağıtılan bilgilendirme görseli



Şekil 3. Billboardlarda yayınlanan güvenlik görseli



Şekil 4. Futbol maçında saha afişi olarak bilgilendirme görseli

2.6 Periyodik Kontrol Nedir? Periyodik Kontrol Süreci Nasıl Olmalıdır?

Periyodik kontrol; mevcut durumda doğal gaz kullanılan tesisatlarda kullanıcıların güvenliğini sağlamak amacıyla yapılan kontrollerdir.

Yukarıda bahsi geçen yasal düzenlemelerde her ne kadar tesisat bakımsızlığı nedeniyle doğabilecek zararlardan kullanıcı sorumlu olsa da yapılması gerekli bu bakım ve kontroller bazen kullanıcılar tarafından göz ardı edilebiliyor. Bu hususta yapılan bilinçsiz kullanımlar doğal gaz

kullanıcılarının can ve mal emniyetini tehdit edebilmektedir. Bu sebeple de doğal gaz dağıtım şirketlerinin abonelerinin güvenli doğal gaz kullanımını sağlamak amacıyla geriye dönük periyodik kontroller yapılması büyük önem arz etmektedir.

Adres belirleme: Periyodik kontrol yapılacak adreslerin belirlenmesinde en etkin yol kullanıcıların en eskiden yeniye doğru sıralanmasıdır. Bu sıralama işlemi sırasında mevcut adreslerde veya aynı apartman/sitede yeni aboneler var ise aynı adrese tekrar gelerek zaman kaybetmemek adına yeni abonelerde kontrol listesine eskilerle birlikte alınabilir. Adres belirleme ve konumlandırma çalışmaları dağıtım şirketinin adres veri tabanı uygulamaları veya coğrafi bilgi sistemi uygulamaları ile yapılabilmektedir. CBS üzerinde binaların tesisat yapım yılları ve gaz kullanım yılları kontrol edilerek periyodik kontrol yapılacak binaların adresleri belirlenebilir.

Kullanıcıların bilgilendirilmesi: Kontrole gidilecek adresler belirlendikten sonra son kullanıcılar yapılacak kontrol işlemine ilişkin olarak detaylı bir şekilde bildirilmelidir. Bu bilgilendirmede, yapılan kontrollerin son kullanıcıların can ve mal güvenliği için yapıldığı ve yapılan işlemler karşılığında herhangi bir ücret alınmadığı hususları özellikle anlatılmalıdır.

Randevu oluşturma: Kontrole gidilecek abone adreslerine ait randevu oluşturulmalı ve kontrolün yapılacağı gün ve saat dilimi abonelere bildirilmelidir. Bu husus kontrollerin daha etkin ve verimli olabilmesi için önemlidir. İyi yapılmayan bir randevu sistemi abonelerin evde bulunamaması oranını artırarak yapılan kontrollerin verimliliğini düşürebilir.

Periyodik kontrol: Periyodik kontroller dağıtım şirketi tarafından kendi personeliyle veya kendi adına çalışan sertifika sahibi denetim şirketleri aracılığı ile yerine getirilebilir.

Yapılan kontrollerde öncelikli olarak binada kullanımda olan doğal gaz tesisatının projesi ile uyumluluğu kontrol edilmelidir. Daha sonrasında doğal gaz tesisatında sızıntı olup olmadığı sızdırmazlık testi ile veya gaz dedektörü ile kontrol edilmelidir. Bacalı cihazların bulunduğu doğal gaz tesisatlarında, cihazlar çalıştırılarak baca gazı sızıntısı olup olmadığı karbonmonoksit dedektörü ile kontrol edilmelidir.

Yapılan kontrollerde:

- Havalandırma açık mı?
- Hermetik baca çıkışları doğru mu?
- Bacalı cihazlar için baca uygunluk raporu var mı?

- Varsa karbonmonoksit dedektörü çalışıyor mu?
- Doğal gaz tesisatı proje ile uyumlu mu?
- Tesisatta sızıntı var mı?
- Cihaz ile tesisat bağlantıları uygun mu?
- Yakıcı cihazlar ve kapasite bilgileri proje ile uyumlu mu?

Kontroller tamamlanmasının sonra doğal gaz tesisatında varsa eksiklikler kullanıcıya bilgi verilerek, eksikliklerin tamamlanması için bir süre verilir. Bu süre her dağıtım şirketinin kendi süreçleri göz önünde bulundurularak tespit edilebilir. Eğer eksikler can ve mal emniyetini tehlikeye düşürecek kadar önemliyse gaz arzı durdurulur. Eksik olmadığı durumlarda ise tesisatın kullanıma uygun olduğuna dair sonuç uygunluk belgesi verilir.

Aşağıdaki eksikleri bulunan kullanıcılara süre verilir;

- Tesisatın projeye uygun olmaması nedeniyle tadilat proje istenen aboneler
- Bacanın uygun olup olmadığının tespiti için baca uygunluk raporu istenen aboneler
- Tesisatta revizyon yapılması gereken aboneler

Aşağıdaki eksikleri bulunan kullanıcıların gaz arzı durdurulur;

- 3 defa kontrole gidilip evde kontrol yapılamayan veya evde olmayan kullanıcılar
- Tesisatında gaz sızıntısı veya bacasında karbonmonoksit sızıntısı olan aboneler
- Verilen süre içerisinde gerekli işlemleri yaptırmayan kullanıcılar

3. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

3.1 Periyodik Kontrollerin Güvenli Doğal Gaz Kullanımına Etkisi

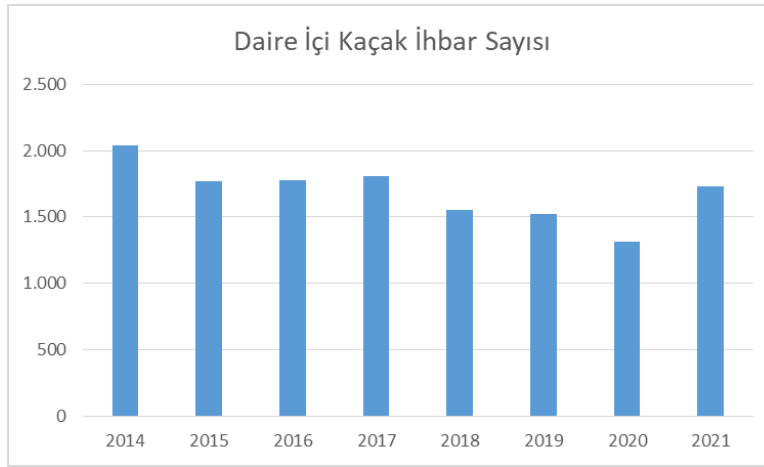
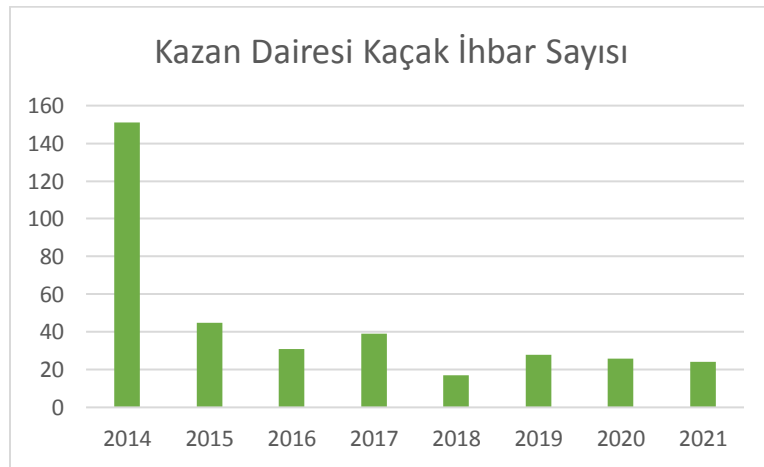
Doğal gaz dağıtım şirketlerinde periyodik kontrolün güvenli doğal gaz kullanımına etkisini irdelemek amacıyla Eskişehir ilinde doğal gaz dağıtım faaliyetlerini gerçekleştiren ESGAZ Eskişehir Şehir İçi Doğal Gaz Dağıtım A.Ş.'nin verileri incelenmiştir. ESGAZ doğal gaz iç tesisatlarında periyodik kontrol faaliyetlerine 2016 yılında başlamıştır.

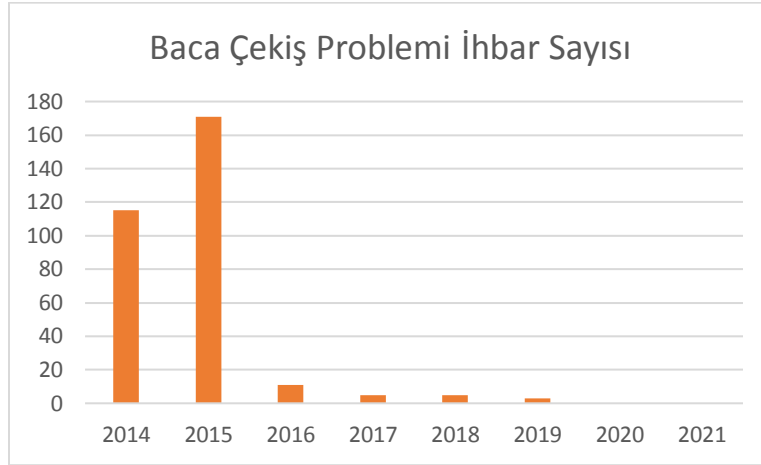
Bu çalışmada iç tesisat kaynaklı daire içi doğal gaz kaçağı ihbar sayıları, kazan dairelerinde meydana gelen doğal gaz kaçağı ihbar sayıları ve baca çekiş problemi ihbar sayıları birlikte yıllara göre karşılaştırmalı Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Yıllara göre 187 acil çağrı merkezine gelen ihbar sayıları

İhbar Türü/Yıl	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Daire İç Kaçak İhbar Sayısı	2.042	1.767	1.778	1.810	1.555	1.523	1.313	1.728
Kazan Dairesi Kaçak İhbar Sayısı	151	45	31	39	17	28	26	24
Baca Çekiş Problemi İhbar Sayısı	115	171	11	5	5	3	0	0

2016 yılından bu yana devam eden çalışmanın sonuçlarına göre 187 hattına gelen daire içi ve kazan dairesi doğal gaz kaçağı ihbarları ile baca çekiş problemi şikâyetlerinde önemli derecede bir düşüş göze çarpmaktadır. Özellikle baca çekiş problemi ihbarları son yıllarda sıfırlanmıştır. Bu iyileşme can ve mal emniyeti açısından büyük önem taşımaktadır.

**Şekil 5.** Daire içi sızıntı ihbar sayısı**Şekil 6.** Kazan dairesi sızıntı ihbar sayısı



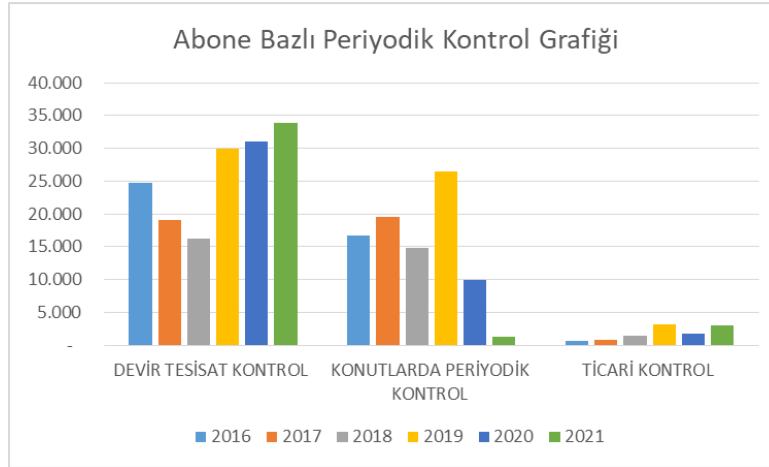
Şekil 7. Baca çekiş problemi ihbar sayısı

ESGAZ tarafından 2016 yılında başlatılan konut periyodik tesisat kontrollerinde 2022 yılına kadar 120.929 adet kontrol işlemi gerçekleştirilmiş olup 53.549 adet tesisat uygun bulunmuş, 36.214 kontrolde aboneye eksiklerini gidermesi için süre verilmiş, 25.964 adet kontrolde aboneler evde bulunmadığı için tesisatları kontrol edilememiş ve 5.202 adet abonenin de doğal gaz arzı güvenlik sebebiyle (gaz kaçağı tespit edilmesi, abonelerin 3. kez evde bulunmaması, eksiklerin giderilmemesi vb. sebeplerle) durdurulmuştur.

ESGAZ, devam eden süreçte her on yılda bir defa tüm tesisatların periyodik olarak kontrol edilmesi planlamaktadır.

Tablo 2. Yıllara göre kontrol sayıları

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Toplam
Devir Tesisat Kontrol	24.690	19.054	16.180	29.939	31.082	33.913	154.858
Konutlarda Periyodik Kontrol	16.648	19.492	14.765	26.529	9.920	1.201	88.555
Ticari Kontrol	646	797	1.424	3.209	1.685	3.003	10.764
Toplam Kontrol	41.984	39.343	32.369	59.677	42.687	38.117	254.177



Şekil 8. Abone bazlı tesisat kontrol grafiği

4. SONUÇLAR

Her çalışan ekipmanın ihtiyacı olduğu gibi tesisatlarımızın da düzenli olarak kontrol ve bakıma ihtiyacı vardır. Özellikle bu kontrol ve bakımlar doğal gaz tesisatlarında hayati önem taşımaktadır. Doğal gaz tesisatlarında yapılacak kontroller ve bakımlar ile abonelerin can ve mal emniyetini en üst seviyeye çıkarılması amaçlanmaktadır. Ayrıca bu kontroller ile doğal gaz kaynaklı olumsuzlukların yaşanmasını engellemek, doğal gazın daha verimli kullanımını sağlamak, baca gazı sızıntılarından oluşabilecek zehirlenmelerin önüne geçebilmek hedeflenmektedir.

ESGAZ bünyesinde bugüne kadar yapılan periyodik kontroller ile;

- Kapatılan veya uygun olmayan havalandırmalar açılmış,
- Standartlara uygun olmayan bacalar standartlara uygun hale getirilmiş veya hermetik baca sistemine geçilmiş,
- Karbonmonoksit dedektörü çalışmayan veya cihazında baca sensörü olmayan kullanıcılara bilgi verilerek çalışmayan dedektörler veya baca sensörleri çalışır hale getirilmiş,
- Yakıcı cihazların standartlara uygun olmayan tesisata bağlantı fleksleri- uygun hale getirilmiş,
- Korozyona maruz kalan tesisatlar boyatılarak olası kaçak riskine karşı önlem alınmış,
- Proje dışı yapılan tesisatlar yeniden projelendirilerek standartlara uygun hale getirilmiştir.

Bu çalışmada doğal gaz tesisatlarında periyodik kontrollerin önemi detaylı olarak anlatılmış olup, yapılan bu çalışmanın tüm şehirlerde yapılması hayati önem taşımaktadır. Periyodik kontrollerin doğal gaz kullanılan tüm şehirlerde yapılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Anonim 1, Teknik Elemanlar İçin Temel Doğal Gaz Kitapçığı, Esgaz Yayınları.
- [2] Türk Standardı TS EN ISO 5167-2 (Nisan 2006). Türk Standartları Enstitüsü, Erişim tarihi 10.05.2023
- [3] Anonim 2, 1. 4646 sayılı Doğal Gaz Piyasası Kanunu, Erişim Tarihi:03.09.2022, Erişim Linki: <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-0-65/kanunlar>
- [4] Anonim 3, 2. EPDK Doğal Gaz Piyasası İç Tesisat Yönetmeliği, Erişim Tarihi:04.09.2022, Erişim Linki: <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-17/yonetmelikler>
- [5] Anonim 4, 3. EPDK Doğalgaz Piyasası Dağıtım ve Müşteri Hizmetleri Yönetmeliği, Erişim Tarihi:04.09.2022, Erişim Linki: <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-17/yonetmelikler>
- [6] TS 7363 “Doğal Gaz- Bina İç Tesisatı Projelendirme ve Uygulama Kuralları”, 2017
- [7] Anonim 2,2. Periodic Inspection, Erişim Tarihi:30.06.2023, Erişim Linki: <https://www.nedgia.es/clientes/en/periodic-inspection-natural-gas-revision/what-does-it-consistof/#:~:text=Your%20natural%20gas%20installation%20must,with%20technical%20and%20safety%20requirements.>
- [8] Anonim 2,2. Safety Inspections, Erişim Tarihi:30.06.2023, Erişim Linki: <https://www.spireenergy.com/safety-inspections>

DERİN ZEMİN KARIŞTIRMA YÖNTEMİYLE İYİLEŞTİRİLEN ORGANİK ZEMİNLERİN DAYINIMI

Hossein ZORİYEH ALİGHOLİ^{1*} , İlknur BOZBEY¹ 

¹ İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

Öz

Derin karıştırma yöntemi bağlayıcı ilave edilerek zeminin mukavemet, permeabilite ve sıkışma gibi özelliklerinin iyileştirilmesi için kullanılan yöntemlerden birisidir. Organik zeminlerin su muhtevası, pH, organik yüzdesi ve içerdiği organik maddeler nedeniyle bu iyileştirme işlemi daha da zorlaşmaktadır. Bu çalışmada zemin derin karıştırma yönteminin organik zeminlerde uygulanabilirliğini ve ona etki eden parametreleri değerlendirmek amacıyla literatürde yer alan on beş ayrı çalışma incelenmiş ve toplamda 224 veri elde edilmiştir. Bu veriler su muhtevası, kullanılan bağlayıcı çeşidi, dozaj ve içerdikleri organik yüzdesi açısından serbest basınç mukavemetiyle olan ilişkileri incelenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda su muhtevası ve organik yüzdesinin artması mukavemet değerlerinde azalmaya ve kullanılan bağlayıcı miktarının artması mukavemet değerlerinin artmasına sebep olmuştur. Sonuç olarak doğru koşullar sağlandığı zaman inorganik zeminlerde olduğu gibi organik zeminlerde de derin karıştırma yöntemi için FHWA tarafından sunulan değerlere ulaşmanın mümkün olduğu görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Derin Karıştırma Yöntemi, Organik Zeminler, Zemin İyileştirme, Serbest Basınç Mukavemeti

STRENGTH OF ORGANIC SOILS IMPROVED BY DEEP SOIL MIXING METHOD

Abstract

Deep mixing method is one of the methods used to improve the properties of soil such as strength, permeability and compressibility by adding binder. The improvement process becomes more challenging when dealing with organic soils due to their water content, pH, organic content, and presence of organic matter. This study aims to evaluate the applicability of the deep soil mixing method in organic soils and assess the parameters that influence it. A total of 224 data points were obtained from fifteen individual studies to analyse the relationships between the data, including water content, type of binder used, dosage applied, and their respective organic percentages, with the unconfined compressive strength. As a result of the study, the increase in water content and organic percentage caused a decrease in the strength values, and

Sorumlu Yazar: Hossein ZORİYEH ALİGHOLİ, hzoriyehaligholi@ogr.iuc.edu.tr

the increase in the amount of binder used led to an increase in the strength values. As a result, when the right conditions are met, it is possible to reach the values offered by FHWA for the deep mixing method in organic soils as well as inorganic soils.

Keywords: Deep Mixing Method, Organic Soils, Soil Improvement, Unconfined Compressive Strength.

1. GİRİŞ

Nüfus artışı ve akabinde yaşanan iskan alanlarının büyümesi nedeniyle, gün geçtikçe sorunlu zeminler üzerinde yapılan inşaatların sayısında büyük bir artış görülmektedir. Bu zeminler üzerindeki yapıların temellerinin yönetmeliklere uygun olacak şekilde taşıma gücü, oturma ve sıvılaşma gibi kriterlerin birini veya birkaçını sağlayamadığı durumlarda zemin iyileştirmesi yapılmaktadır. Zemin iyileştirme yöntemleri zeminin özelliklerine ve istenilen amaca uygun olarak derin ve yüzeysel olarak iki ana gruba ayrılabilir. Derin karıştırma yöntemi isminden belli olduğu gibi derin iyileştirme grubunda yer almaktadır.

Derin karıştırma yöntemi, çeşitli bağlayıcılar kullanılarak zeminin yerinde iyileştirilmesi işlemidir. Bu yöntem son yıllarda ülkemizde de yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. Kuru ve ıslak karıştırma olmak üzere iki çeşidi bulunan derin karıştırma yönteminin, kara ve deniz yapılarında birçok uygulama alanı mevcuttur. Bu yöntemde amaç zeminlerin sıkışabilirliğini azaltmak ve mukavemetini artırmaktır. Derin karıştırma ile elde edilen iyileştirilmiş zemin özellikleri; tabii zeminin ve bağlayıcının özelliklerine, kür süresine ve yükleme durumuna bağlıdır. Derin karıştırma teknolojilerini uygulamak için kesici bıçaklar, tekerlekler, tijler, katlanır kollar, dönen miller, bıçaklar ve augerler gibi özel karıştırma araçları bulunan, zemini kazmaya gerek kalmadan stabilize edici maddeler ile karıştırabilen çeşitli arazi ekipmanları kullanılmaktadır. Derin karıştırma yöntemi, 1970'lerde Japonya'da derin katkı stabilizasyonu olarak geliştirilmiştir ve İsveç'te aynı dönemde geliştirilen kireç kazıklarıyla prensipte aynı teknolojiye sahiptir [1]. Derin karıştırma yönteminde, yumuşak zeminin sıkıştırma olmaksızın katkı maddesi ile yerinde stabilize edilir. Derin karıştırma yöntemi (DKY) genellikle yumuşak killer ve organik zeminlerin stabilitesi, oturmaların azaltılması, kazı desteği ve sızıntı kontrolü gibi çeşitli amaçlarla uygulanmaktadır. Bu yöntemin tipik uygulama alanları dolgu stabilitesi, dolgu oturmasını azaltma, yapı temelleri, köprü kenar ayağı, şev stabilitesi, destekli kazılar ve sıvılaşma azaltması olarak sıralanabilir [2]. Bu

yöntemde çimento, kireç veya uçucu kül gibi farklı katkı maddeleri zemine enjekte edilir. Bu kolonların özellikleri, zemin çeşidi ve özellikleri, katkı maddesinin türü ve miktarı, kürlenme koşulları, yükleme koşulları, karışım koşulları ve yapım süreci gibi birçok faktöre bağlıdır [1, 3, 4].

Bu çalışmada organik zeminlerin derin karıştırma yöntemiyle iyileştirilmesini ve ona etki eden parametreleri araştırmak amacıyla çeşitli özelliklere sahip zeminler ve bağlayıcıları kapsayan bir veri tabanı oluşturulmuştur [5]. Veri tabanında yer alan çeşitli faktörler, elde edilen dayanım ile ilişkilendirilmiştir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

2.1. Derin Karıştırma Yöntemi

Derin karıştırma yönteminde, yumuşak zemin sıkıştırılmadan bağlayıcı ile yerinde stabilize edilir. Bu yöntem kuru ve ıslak olarak iki farklı şekilde uygulanmaktadır. Kuru bağlayıcının pnömomatik olarak zemine ilave edildiği tekniklere kuru derin karıştırma yöntemi denir. Kuru yöntem, her bir shaftın ucundaki karıştırma bıçakları ile dikey döner shaftlardan oluşan mekanik karıştırmayı kullanır. Penetrasyon ve/veya geri çekme aşamasında, zemine bağlayıcı enjekte edilir. Karıştırma bıçakları yatay düzlemde dönerek zemini ve bağlayıcıyı karıştırır. Her işlemde zeminde bir stabilize zemin kolonu inşa edilir. Kuru yöntem için iki ana teknik, Japon DJM'si ve İskandinav kuru yöntemidir [1].

Bağlayıcı su bulamacının zemine pompalandığı tekniklere genel olarak ıslak derin karıştırma yöntemi denir. Islak yöntem çeşitlidir ve piyasada sürekli olarak yeni teknikler ortaya çıkmaktadır. Teknikler başlangıçta derin karıştırma için geliştirilmiştir ve yukarıda belirtilen kuru yöntemle aynı temel mekanizmayı paylaşır. Ekipman, her shaftın alt kısmında keskin uçlu, bıçaklar veya paletlerle donatılmış tek ila sekiz dikey döner shafta sahiptir [6].

2.1. Derin Karıştırma Yöntemine Etki Eden Parametreler

Stabilize edilmiş zeminin iyileştirme oranı bir dizi faktörden etkilenir, çünkü temel dayanım artış mekanizması zemin ile bağlayıcı arasındaki kimyasal reaksiyonla yakından ilişkilidir. Bu faktörler aşağıda sunulmuştur:

- Bağlayıcının özellikleri
 1. Bağlayıcı türü
 2. Kalite
 3. Karışım suyu ve katkı maddeleri
- Zeminin özellikleri ve durumu
 1. Zeminin fiziksel kimyasal ve mineralojik
 2. Organik içerik
 3. pH
 4. Su muhtevası
- Karıştırma koşulları
 1. Karıştırma derecesi
 2. Karıştırma/yeniden karıştırma zamanlaması
 3. Bağlayıcı miktarı
- Kürlenme koşulları.
 1. Sıcaklık
 2. Kür süresi
 3. Nem
 4. Sınırlayıcı basınç
 5. Islatma ve kurutma/dondurma ve çözme, vb [7].

Görüldüğü gibi derin karıştırma iyileştirmesinde dayanıklılığı etkileyen çok sayıda faktör bulunmaktadır. Organik içeriğe sahip zeminlerde, iyileştirme elde etmek daha zordur, bu nedenle etkili faktörlerin önceden bilinmesi, tasarım aşamasında güvenilir tahminler yapabilmek bakımından büyük önem taşır. Bu çalışma kapsamında incelenen veritabanından elde edilen bilgiler ışığında, 28 günlük mukavemet değerlerinin, değişik parametrelere ne seviyede bağlı olduğu incelenmiştir.

3. YÖNTEM

Yapılan bu çalışmada derin zemin karıştırma yönteminin organik zeminlerin iyileştirmesinde olan etkisi ele alınmıştır. Bu amaçla on beş makaleden elde edilen 224 adet veri kullanılarak zeminin organik yüzdesi, doğal su muhtevası, bağlayıcı çeşidi ve dozajının etkisinin, mukavemet değerleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Serbest basınç mukavemeti, laboratuvarında stabilize edilmiş zemin

numunelerinin dayanımı için en çok kullanılan laboratuvar deneyidir. Kullanılan mukavemet değerleri 28 günlük numunelere aittir. Kullanılan çalışmaların özeti Tablo 1’de verilmiştir. Çalışmalara ait detaylar aşağıda sunulmuştur.

Kanty ve diğ. (2017), yüzün üzerinde basınç testi yapmıştır. Numuneler %950 su muhtevasında ve %40-45 arasında organik zemin içeren zeminler kullanılarak hazırlanmıştır. İyileştirme için CEM II ve CEM III çimento 300-400 kg/m³ dozajında kullanılarak laboratuvar koşullarında karıştırılarak saklanmıştır [8].

Kanty ve diğ. (2019), diğ. bir çalışmada organik zemin-çimento örneklerine ait laboratuvar testlerinin sonuçlarını sunmuştur. Toplamda yüz elliden fazla serbest basınç deneyi yapılmıştır. Deneyler için % 47,7 su muhtevası ve % 6,5 organik içeren zeminin CEM III çimentosuyla 123 ile 200 kg/m³ arasında çeşitli dozajlarla iyileştirme yapılan numuneler kullanılmıştır. Sonuçlar, organik zeminlerde DSM kuru kolonları tasarlamamanın önemli bir riskle bağlantılı olabileceğine ve özel önlemler gerektirdiğine açıkça işaret etmektedir [9].

Karpsisz ve diğ. (2018), düşük miktarda organik (%5,5) içeren ve %38,5 su muhtevası olan zemin üzerinde toplamda yüz elliden fazla serbest basınç deneyi gerçekleştirmiştir. Numuneler için CEM I ve CEM II çimento 250 ile 400 kg/m³ arasında çeşitli dozajlarla kullanılmıştır. Deney sonuçlarına göre zamana ve çimento miktarına bağlı olarak zemin-çimento sertliği ve basınç dayanımındaki artmıştır [10].

Jendrysik ve diğ. (2019), %6,6 organik içeriğe ve %46,8 su muhtevası olan organik zemin üzerinde 172 kg/m³ dozajında CEM III çimento kullanarak kurur derin karıştırma yöntemiyle iyileştirme yapmıştır. Bu çalışmada araştırmacı deney sonuçlarını numerik çalışma sonuçlarıyla karşılaştırmıştır [11].

Kiecana ve diğ. (2018), kuru yöntemle karıştırılmış bir organik zemin bileşeninin laboratuvar testinin sonuçlarını sunmaktadır. Kullanılan zemin %46,8 su muhtevasına ve %8,4 organik içeriğe sahiptir ve iyileştirme için CEM III çimento 123 ile 230 kg/m³ dozajında kullanılmıştır. Sonuçlara dayalı olarak, zemin-çimento için optimal kalite kontrol süresi ve metodolojisi önermiştir [12].

Dehghanbanadaki ve diğ. (2019), bu çalışmada, doğal dolgu maddesi ve çimento ile stabilize edilmiş turba zeminin serbest basınç dayanımını (UCS) tahmin etmek için farklı doğal dolgu ve çimento karışım dozajlarında 271 numune test edilerek deneysel veriler elde edilmiştir. Kullanılan

zemin % 495 su muhtevasına ve %91 organik içeriğe sahip bir zemindir. İyileştirme için CEM III çimento, kireç, Alçı ve F tipi uçucu kul 25 ile 400 kg/m³ arasında dozajlarla kullanılmıştır [13].

Baker (2015), değişik organik yüzdelere sahip olan zeminler üzerinde derin karıştırma yöntemiyle yaptığı iyileştirme için CEM II ve CEM II+%50 cüruf karışımını 200 ile 400 kg/m³ dozajlarında kullanmıştır. Yapılan çalışma sonucunda bağlayıcı oranın ve kür süresinin artması serbest mukavemet değerinin artmasına sebep olmuştur [14].

Kido ve diğ. (2009), %66 organik içeriği ve %550 su muhtevasına sahip olan zemin üzerinde yaptığı çalışmada Yüksek fırın cürufu içeren çimentoyu 371, 556 ve 742 bağlayıcı kg/m³ dozajlarında bağlayıcı olarak kullanmıştır. Bu çalışmada kürlenme koşulları ve bağlayıcı değişimlerinin etkisini araştırmıştır [15].

Tang ve diğ. (2011), esas olarak orijinal zeminlerin dokularını ve özelliklerini değiştirmek için turbalar için 3, 5, 7, 14, 140 ve organik zeminler için 5, 10, 30 aralığında su çimento oranı ile 9 ile 366 kg/m³ dozajlarında CEM II çimento kullanılarak ön karıştırma aşamasında zemine çimento eklenmiştir. Bulamaç halindeki karışımlar polivinil klorür (pvc) tüpe dökülerek oda sıcaklığında 7, 14 ve 28 gün kürlendikten sonra serbest basınç deneyi uygulanmıştır [16].

Hebib ve Farrell (2003), iki çeşit değişik organik yüzdesi ve su muhtevasına sahip olan zeminler üzerinde yaptığı çalışmada dört farklı bağlayıcıyı değişik dozajlarda kullanmıştır. Çalışma turbanın mühendislik özelliklerinin bazı bağlayıcılarla karıştırıldığında önemli ölçüde iyileştiğini, ancak iyileştirme derecelerinin benzer organik içeriğe sahip iki turba için belirgin şekilde farklı olduğunu gösterdi [17].

Martinez ve Al-Tabbaa (2005), üç değişik su muhtevasında %94 organik içeren zeminler üzerinde değişik dozajlarda CEM II çimento kullanarak yaptığı çalışmada işlenebilir ve daha dayanıklı bir turba-çimento karışımı elde etmek için gerekli olan bağlayıcı (çimento) miktarı ve su/çimento oranı ve bunların optimum değerleri hakkında araştırma yapmıştır. Bu gözlemler serbest basınç mukavemet ve elastisite modülü değerlerine dayanmaktadır [18].

Rahmi ve diğ. (2018), çimento ile stabilize edilmiş turba zeminin mukavemeti üzerinde su katkı maddesi (w/c) oranı uygulamasını araştırmıştır. %1210, %803 ve %380 olmak üzere farklı nem içeriklerindeki turba zemine, w/c oranı 2,0; 2,5; 3,0; 3,5 ve 4,0 olacak şekilde çimento ile stabilize edilmiştir. Numuneler 28 ve 56 gün hava kürüne tabi tutulduktan sonra serbest basınç mukavemet

(UCS) testi yapılmıştır. Sonuç, w/c oranının azalması (çimento dozajının artması) ve kür süresinin ve turba nem içeriğinin artmasıyla UCS değerlerinde bir artış olduğunu göstermektedir. Aynı w/c oranındaki düşük nem içeriğine sahip numuneye kıyasla, daha yüksek nem içeriğine sahip numunede bulunan daha yüksek mukavemet, w/c oranı kullanan çimento stabilize turbanın karışım tasarımının farklı turba doğal nem içerikleri altında farklı olması gerektiğini gösterir. Elde edilen sonuçtan, birçok çalışmada çimento-toprak reaksiyonunu engelleyeceği varsayılan humik asidin turba toprağında bulunmasına rağmen çimento hidroliz reaksiyonunun meydana geldiği de bulunmuştur [19].

Kolay ve Romali (2007), tarafından yapılan diğer bir çalışmada, Sarawak'tan toplanan % 550 su muhtevasına ve %51 organik içeriğe sahip olan zemin uçucu kül, kireç ve çimento ile ve 14 ile 280 kg/m³ dozajlarında iyileştirilmiştir. Çalışma sonucunda test edilen zemin numunesi için çimento en uygun stabilizatördür, bunu uçucu kül ve kireç takip etmiştir [20].

Harris ve diğ. (2009), on iki değişik yerden alınan ve % 0,5 ile 6,1 organik içeriğe sahip olan zeminler üzerinde yaptığı kapsamlı çalışmada kireç ve CEM I çimentoyu bağlayıcı olarak değişik dozajlarda kullanmıştır. Test sonuçları, organik içeriğin doğal (stabilize edilmemiş) ve stabilize edilmiş zeminlerin temel ve mühendislik özellikleri üzerindeki etkilerini değerlendirmek için ve optimum katkı miktarının belirlenmesi için kullanılmıştır [21].

JGS (Japonya Geoteknik Derneği) (2005), yaptığı bir çalışmada değişik su muhtevasına ve organik yüzdesine sahip olan on adet zemini iyileştirme amacıyla incelemiştir. Bu zeminler % 54 ile % 295 arasında su muhtevasına ve %2,7 ile %25,2 organik içeriğe sahip olan zeminlerdir. Bağlayıcı olarak da CEM I ve CEM II çimento değişik dozajlarda ıslak yöntemiyle kullanılmıştır [22].

Tablo 1. Veri Tabanı İçin Kullanılan Makalelerin Özeti

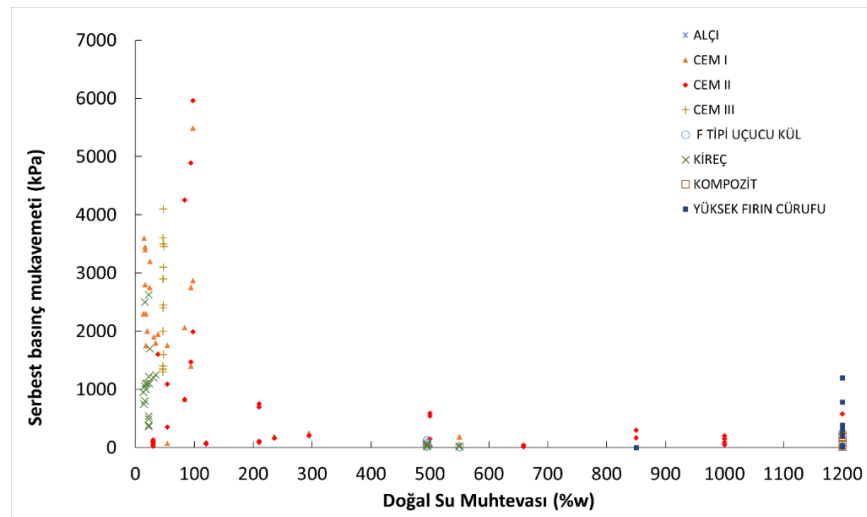
No	Kaynak	Zemin	w%	Organik içerik	Bağlayıcı	Dozaj Kg/m ³	Metot
1	Kanty ve diğ, 2017 [8]	Organik	950	40-45	CEM II, CEM III	300-400	Islak
2	Kanty ve diğ, 2019 [9]	Organik	47,7	6,5	CEM III	123-200	Kuru
3	Karpisz ve diğ, 2018 [10]	Organik	38,5	5,5	CEM I- CEM II	250-400	Islak
4	Jendrysik ve diğ, 2019 [11]	Organik	48,8	6,6	CEM III	172	Kuru
5	Kiecana ve diğ, 2018 [12]	Organik	46,8	8,4	CEM III	120-230	Kuru
6	Dehghanbanadaki ve diğ, 2019 [13]	Turba	495	91	CEM III Kireç Alçı F tipi uçucu kul	100-400 25-160	Kuru
7	Baker, 2015 [14]	Organik	30	4-66	CEM II CEM II + %50 cüruf	200-400	Kuru
8	Kido ve diğ, 2009 [15]	Turba	550	66	Yüksek fırın cürufu çimentosu	371 556 742	Kuru
9	Tang ve diğ, 2011 [16]	Turba	659 120	98,5 63	CEM II	9-366	Islak
10	Hebib ve Farrell, 2003 [17]	Turba	1200 850	98,5 96	Çimento +(PFA)+ Kireç CEM II Yüksek fırın cürufu çimento	150 200 250	Kuru
11	Martinez ve Al-Tabbaa, 2005 [18]	Turba	210 500 1000	94	CEM II	100-500	Islak
12	Rahmi ve diğ, 2018 [19]	Turba	1210 804 380	96,8	CEM II	211-472	Islak
13	Kolay ve Romali, 2007 [20]	Organik	550	51	CEM I Kireç F tipi uçucu kul	14-280	Islak
14	Harris ve diğ, 2009 [21]	Organik	13,5- 34	0,5-6,1	CEM I Kireç	40-144	Kuru
15	JGS, 2005 [22]	Organik	54- 295	2,7-25,2	CEM I CEM II	50-250	Islak

4. BULGULAR

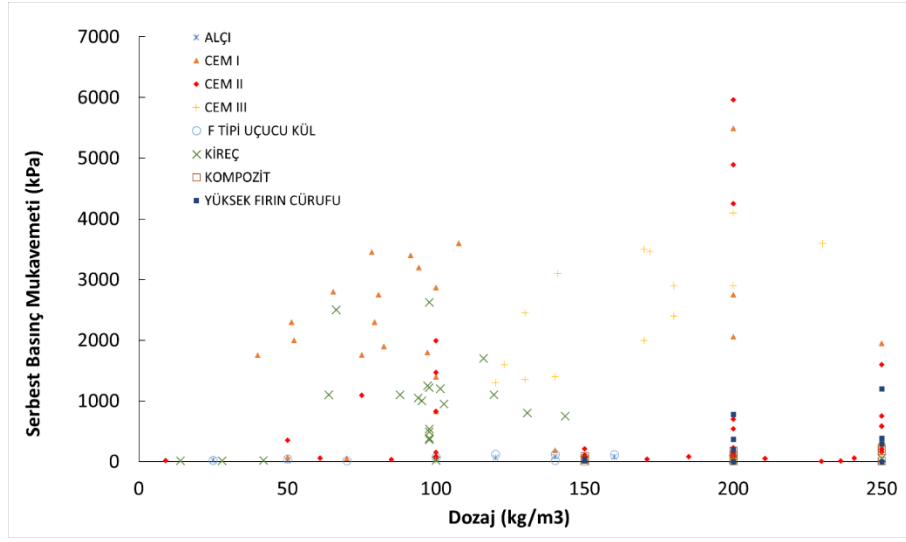
4.1. 250 kg/m³ Altında Dozaj Kullanımı İçin Genel Değerlendirmeler

Bu bölümde çeşitli bağlayıcılardan 250 kg/m³ dozaj kullanılması durumunda, elde edilen 28 günlük mukavemet değerlerinin doğal su muhtevası, kullanılan dozaj ve organik yüzdesine karşı olan değişimi Şekil 1'den, Şekil 3'e kadar sunulmuştur. Bu grafiklere dayanarak aşağıdaki değerlendirmeler yapılmaktadır.

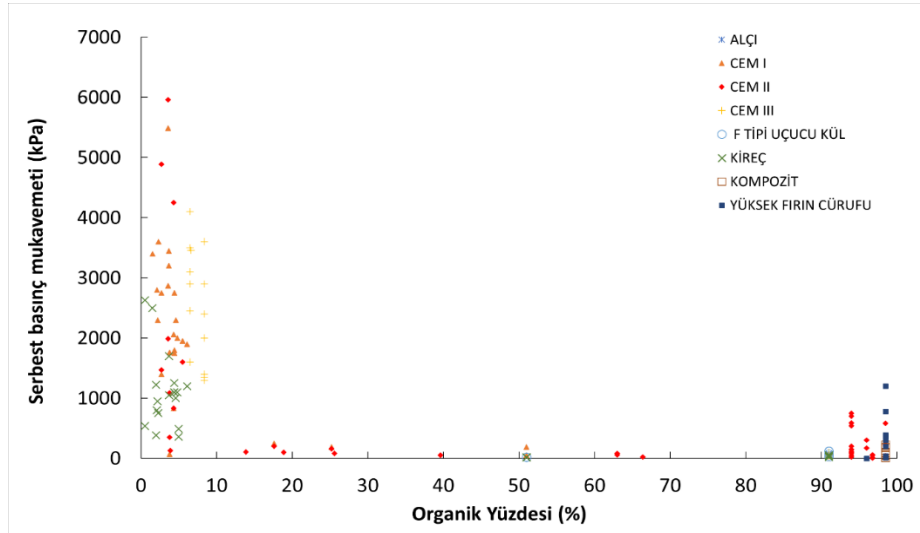
- Organik içeriğe sahip iyileştirilmiş zeminlerde farklı seviyelerde serbest basınç mukavemet değerleri elde edilmektedir.
- En önemli etkenlerden birisi doğal su muhtevasıdır. Yüksek su muhtevaları ile 1000 kPa'dan daha yüksek dayanım sağlanması mümkün görünmemektedir. Su muhtevası %100 üzerine çıktığı zaman bağlayıcının ve dozajın miktarı önemli olmamaktadır.
- Daha düşük organik içerik, daha yüksek dayanım ile sonuçlanmaktadır.
- %10 organik yüzdesi olması kritik bir değer olarak gözükmemektedir, bu değerden sonraki dozaj artışlarının da mukavemet değerlerinin iyileşmesine etkisi oldukça azdır.
- Çimento, organik zemin ile karıştırıldığında diğer bağlayıcılara göre sürekli olarak daha yüksek mukavemet değerleri üretmektedir. Çimento-kireç ve çimento-PFA ve diğer bağlayıcılar daha düşük dayanımlar sağlar.



Şekil 1. 250 kg/m³ ve Altı Dozajlar İçin Ulaşılan Serbest Basınç Mukavemetinin Doğal Su Muhtevası ile İlişkisi

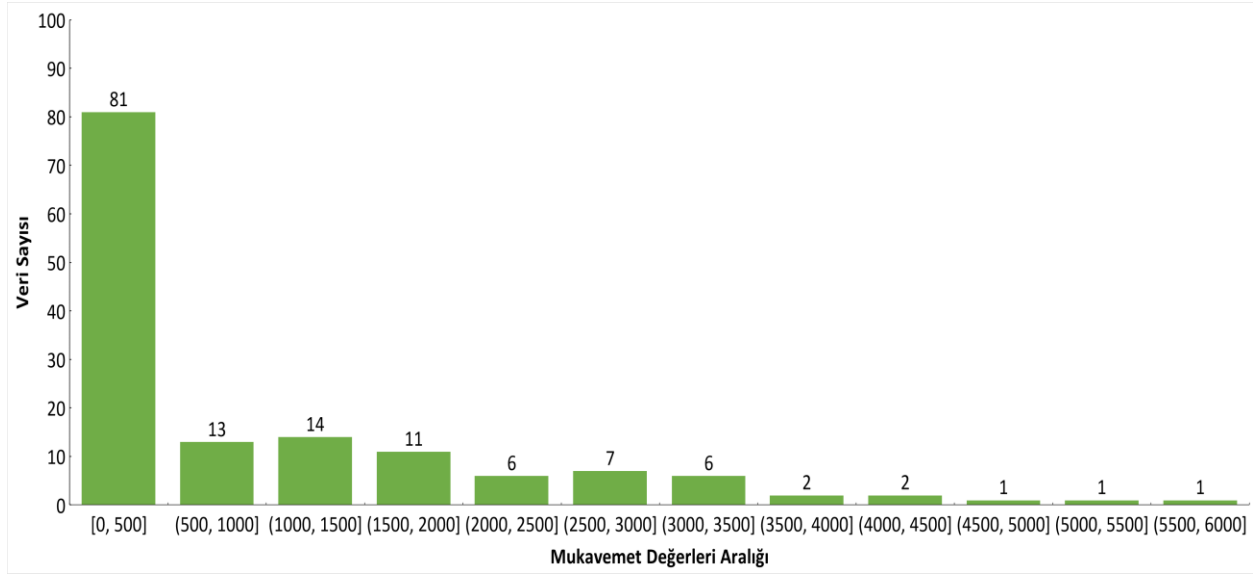


Şekil 2. 250 kg/m³ ve Altı Dozajlar İçin Ulaşılan Serbest Basınç Mukavemetinin Kullanılan Dozaj ile İlişkisi



Şekil 3. 250 kg/m³ ve Altı Dozajlar İçin Ulaşılan Serbest Basınç Mukavemetinin Organik Yüzdesi ile İlişkisi

Mukavemet değerlerinin istatistikî bakımdan dağılımı da incelenmiştir. Mukavemet değerlerinin dağılımına bakıldığı zaman, genel olarak mukavemet değerleri 1000 kPa altında ve 500 kPa bölgesinde yoğunlaştığı görülmektedir.

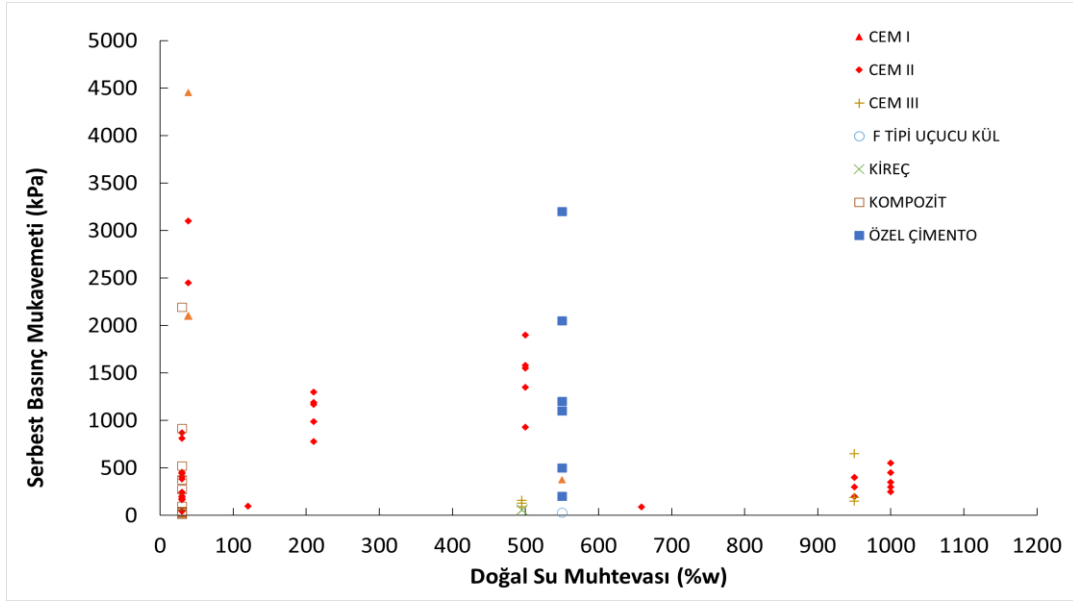


Şekil 4. 250 kg/m³ ve Altı Dozajlar İçin Mukavemet Değerlerinin Dağılım Aralıkları

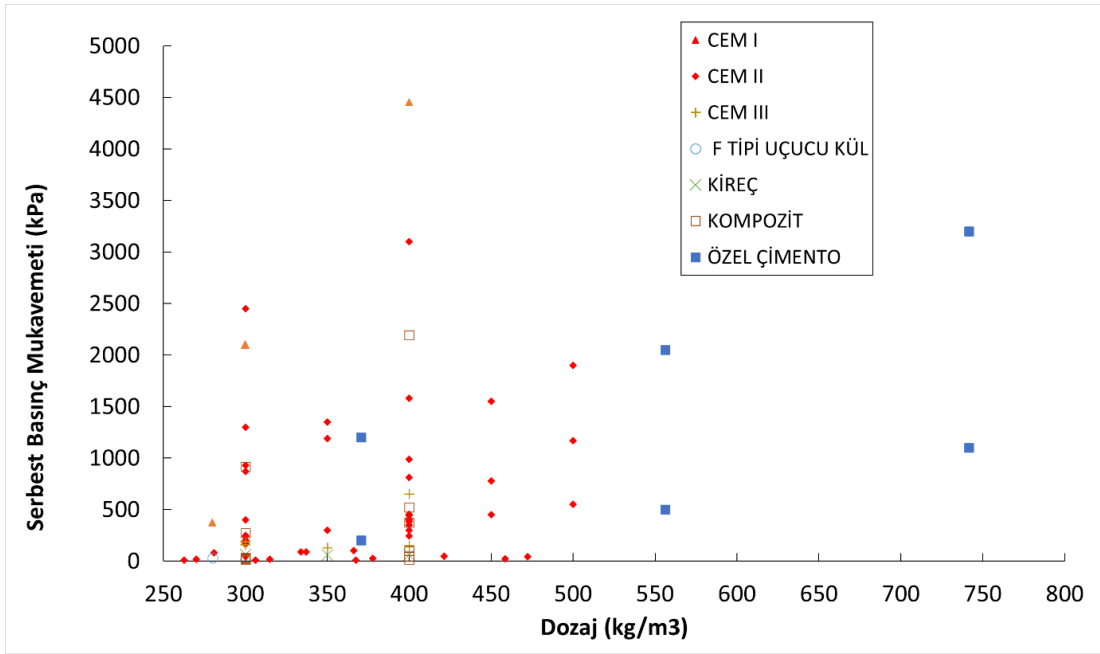
4.2. 250 kg/m³ Üstü Dozajlar

Çeşitli bağlayıcıların 250 kg/m³ dozajının üstünde kullanıldığı veriler, Şekil 5'ten Şekil 7'ye kadar sunulmuştur.

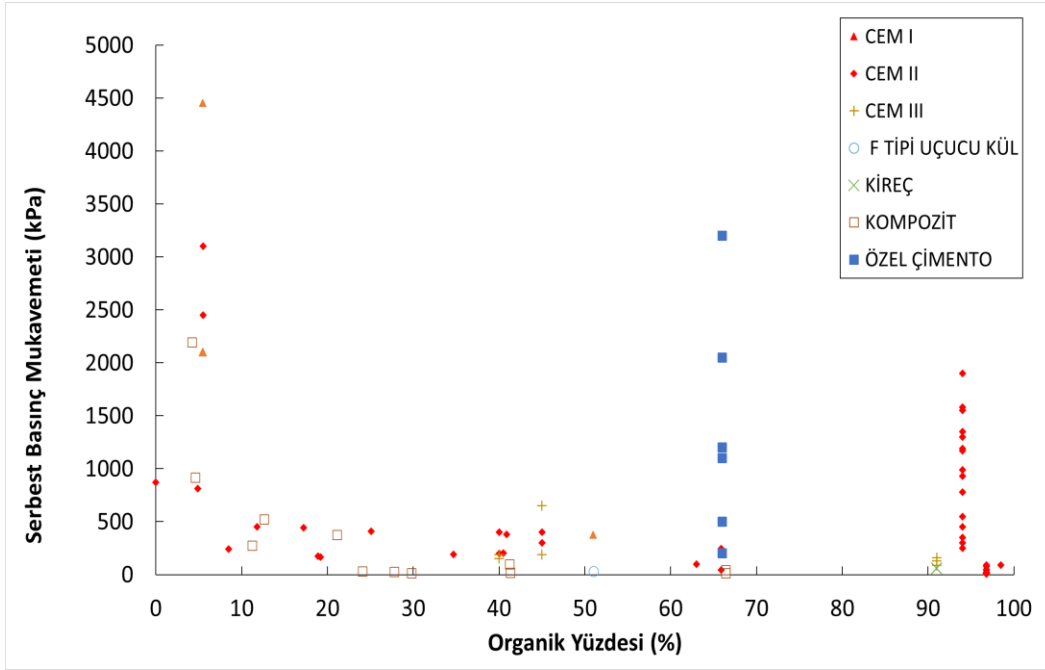
- Stabilize zeminin mukavemet değerleri genel olarak 500 ila 2500 kPa arasında değişmektedir. Daha yüksek ve daha düşük değerler de mevcuttur.
- Özel çimentoların kullanılması, yüksek su muhtevasına ve organik yüzdesi yüksek olan zeminlerde bile yüksek mukavemet değerlerine sebep olmaktadır.
- Normal çimento çeşitleri ve özel çimentolar organik zemini ile karıştırıldığında diğer bağlayıcılara göre daha yüksek mukavemet değerleri üretir.
- Organik yüzdesi %10 üzerine çıktığı zaman yüksek mukavemet değerinin elde edilmesi için ya dozajın çok artması gerekmektedir veya özel çimento kullanılmalıdır.



Şekil 5. 250 kg/m³ ve Üstü Dozajlar İçin Serbest Basınç Mukavemetinin Su Muhtevası ile İlişkisi

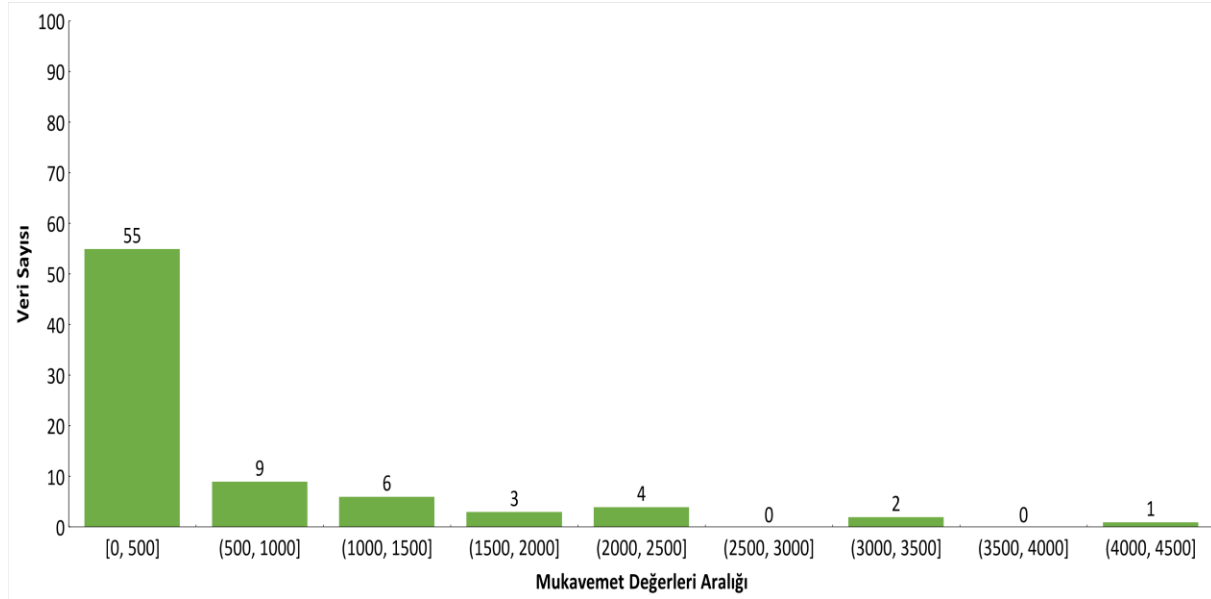


Şekil 6. 250 kg/m³ ve Üstü Dozajlar İçin Serbest Basınç Mukavemetinin Kullanılan Dozaj ile İlişkisi



Şekil 7. 250 kg/m³ ve Üstü Dozajlar İçin Serbest Basınç Mukavemetinin Organik Yüzdesi ile İlişkisi

Mukavemet değerleri dağılımına bakıldığında, değerlerin bir önceki grupta olduğu gibi 500 kPa ve altında olduğu görülmektedir.

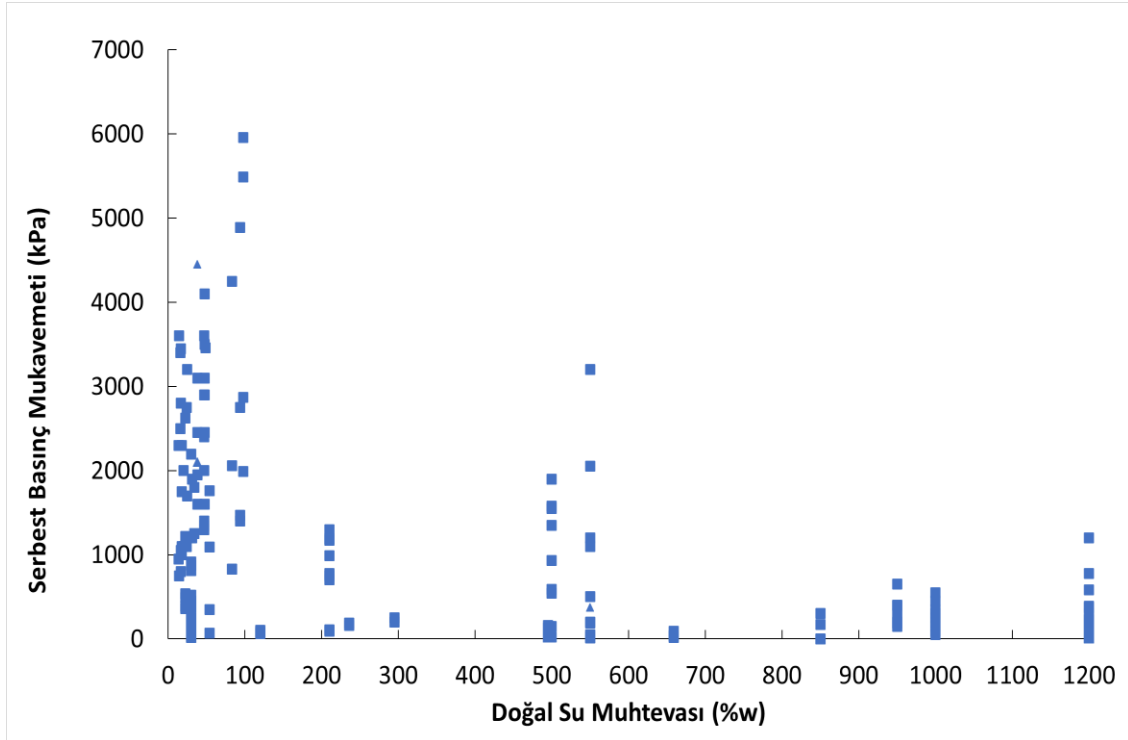


Şekil 8. 250 kg/m³ ve Üstü Dozajlar İçin Mukavemet Değerlerinin Dağılım Aralıkları

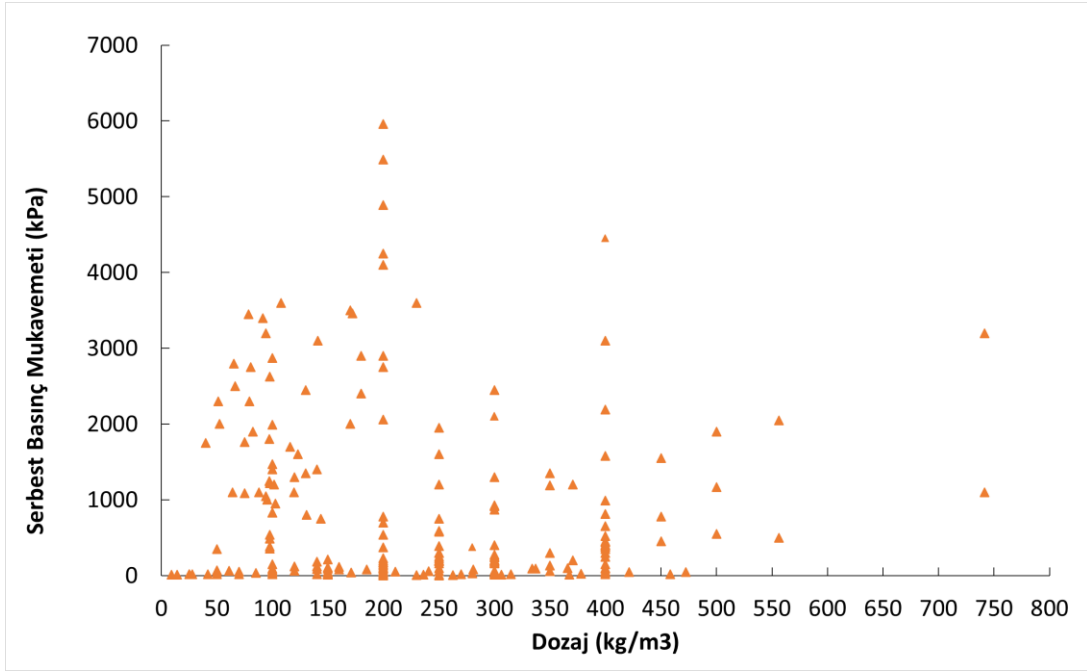
4.3. Genel Değerlendirme

Tüm verilerin işlendiği Şekil 9 ile Şekil 12 incelendiğinde,

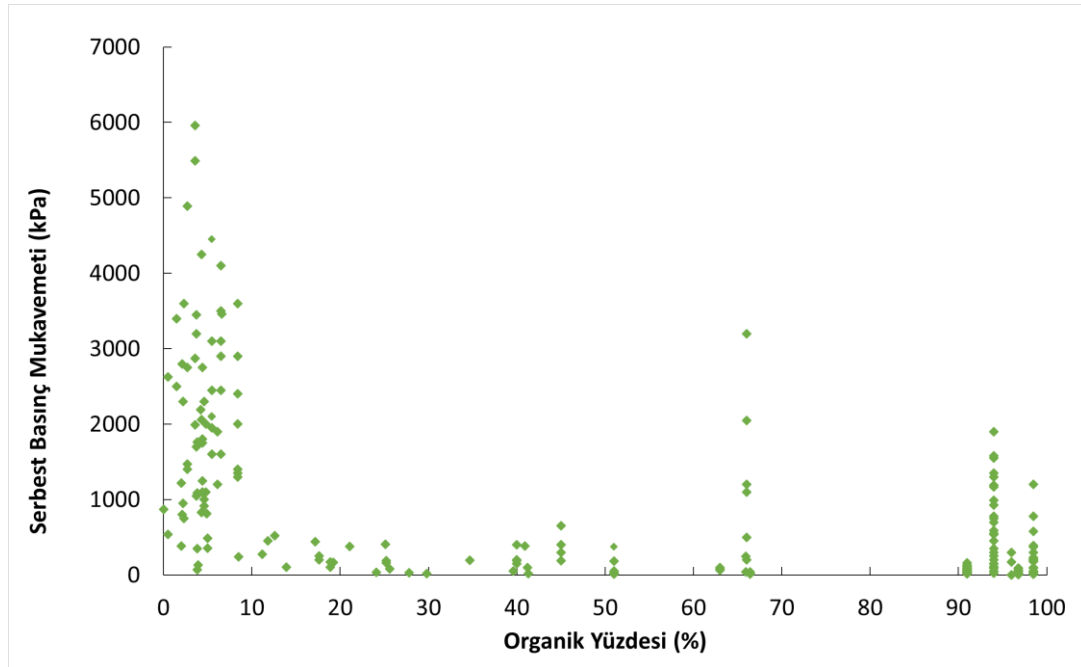
- Yüksek su muhtevası değerlerinde bile doğru dozaj ve bağlayıcı kullanıldığı zaman maksimum 1000-2000 kPa seviyelerinde mukavemet değerlerine ulaşmak mümkündür.
- Genel olarak %10 organik içerik değeri kritik değerdir ve bu değer üzerine sahip olan zeminlerde yüksek mukavemet değerine ulaşmak için özel karışım koşulları gerekmektedir.
- 500 kg/m³ dozajının üzerinde kullanılan bağlayıcılar çok nadir olarak kullanılmıştır ve mukavemet üzerinde etkisi çok fazla değildir.
- 500 kg/m³ dozajının altında olan karışımlarda, sahada olduğu gibi 200 ile 400 kg/m³ dozajları en çok kullanılan dozajlardır ve bu değerler %10'luk kritik organik yüzdesinin altında olduğu zaman yüksek mukavemet değerlerini sağlayabilir.
- Mukavemet değerleri Şekil 12'de görüldüğü üzere genel olarak 1500 kPa altında kalmaktadır.



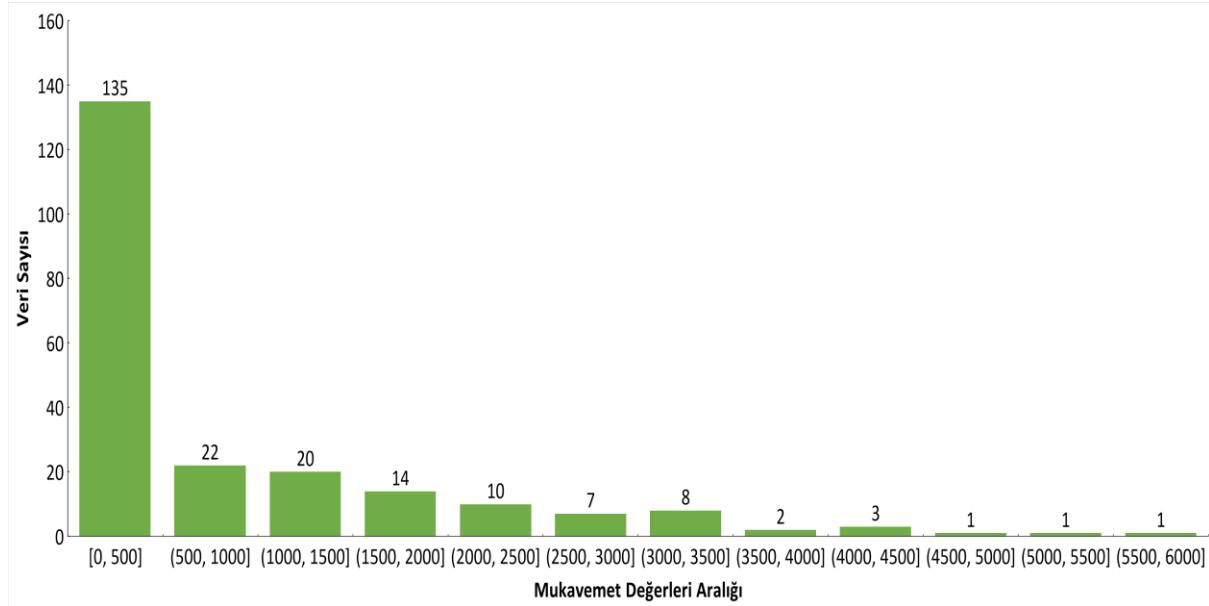
Şekil 9. Tüm Değerler İçin Serbest Basınç Mukavemetinin Su Muhtevası ile İlişkisi



Şekil 10. Tüm Değerler İçin Serbest Basınç Mukavemetinin Kullanılan Dozaj ile İlişkisi



Şekil 11. Tüm Değerler İçin Serbest Basınç Mukavemetinin Organik Yüzdesi ile İlişkisi



Şekil 12. Tüm Veritabanı için Mukavemet Değerlerinin Dağılım Aralıkları

5. SONUÇ

Organik zeminler, düşük mukavemetleri, yüksek su muhtevaları ve organik içerikleri açısından sorunludur. Derin karıştırma yöntemi, zeminin mukavemet ve oturma gibi özellikleri iyileştirmekle birlikte günümüzde kullanılan geleneksel “kaz ve değiştir” yöntemlerine alternatif bir yaklaşım sunar.

Şekil 2 ve Şekil 3 bakıldığı zaman, organik yüzdesinin çok küçük olması ($\%7 > OC$) halinde kireç kullanılmamanın mukavemet üzerinde olan etkisi kabul edilir düzeydedir ama Şekil 6 ve Şekil 7’ de görüldüğü gibi organik yüzdesinin artması halinde kireç dozajının artmasının bile mukavemet üzerinde etkili olmadığını göstermektedir.

Sunulan sonuçlara bakıldığı zaman, derin karıştırma yönteminde en iyi sonuçlar yaygın olarak kullanılan CEM I ve CEM II çimento ile elde edilmiştir.

Sahada derin karıştırma yönteminde yaygın olarak uygulanan dozajlarda ($400 >$), düşük organik yüzdesine sahip olan zeminlerde istenilen sonuçları elde etmek mümkündür ama organik yüzdesi arttığı zaman Şekil 3 ve Şekil 7’ de görüldüğü gibi mukavemet değerleri genel olarak 1000 kPa’ın altında kalmaktadır.

Şekil 1 ve Şekil 5’te görüldüğü gibi düşük su muhtevaları için yüksek mukavemetler elde etmek mümkündür ama zeminin su muhtevası artıkça yüksek mukavemet değerler elde etmek sadece yüksek dozajlarda özel çimento kullanarak mümkündür.

FHWA (2013) inorganik zeminler için verdiği grafiğe bakıldığı zaman derin karıştırma yöntemi sonrası elde edilen mukavemet değerleri 650 ile 2600 kPa olduğu görülmektedir. Bu çalışma sonucunda Şekil 12’de görüldüğü gibi belli koşullar sağlandığı zaman organik zeminler için de bu değerleri elde etmek mümkündür.

Sonuç olarak laboratuvarında yapılan bu çalışmalardan elde edilen bilgilere bakıldığında, farklı zemin tipleri ve koşullarına göre kullanılan bağlayıcı ve dozajının çok etkili olduğunu görülmektedir, bu yüzden tasarım aşamasında geleneksel tasarım yapılmadan önce araziden alınan zemin üzerinde farklı bağlayıcı tipleri ve dozajları ile deney yapılması ve ulaşılabilecek mukavemet değerlerinin belirlenmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Kitazume, M, & Terashi, M. (2012). The Deep Mixing Method, Tokyo: CRC Press.
- [2] M. Terashi, (2009). Current Practice and Future Perspective of Quality Assurance and Quality Control for Deep-Mixed Ground, Deep Mixing Symposium, Okinawa.
- [3] Porbaha, A, Tanaka, H., and Kobayashi, M. (1998). State of the art in deep mixing technology, Journal of ISSMGE, cilt 2, no. 3, pp. 125-139.
- [4] Kitazume, M. and Maruyama, K. (2005). Collapse failure of group column type deep mixing improved ground under embankment, International Conference on Deep Mixing – Best Practice and Recent Advance, 245-254.
- [5] H. Zoriyeh Aligholi, Organik zeminlerin derin karıştırma yöntemi ile iyileştirilmesi, İstanbul Cerrahpaşa Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.
- [6] C. D. I. o. Technology (2002). The Deep Mixing Method–Principle, Design and Construction, A.A. Balkema Publishers.
- [7] M. Terashi (1997). Theme Lecture: Deep Mixing Method Brief State of the Art, 14th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering.

- [8] Piotr Kanty et al (2017). Some Remarks on Practical Aspects of Laboratory Testing of Deep Soil Mixing Composites Achieved in Organic Soils, IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.
- [9] Kanty, P., Kiecana, M., & Prokopowicz, P. (2019). Some remarks on statistic approach to strength testing of soil-cement composites, E3S Web of Conferences.
- [10] Karpisz, I., Pyda, J., Cichy, L., & Sobala, D. (2018). Study of the effect of cement amount on the soil-cement sample strength, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.
- [11] Jendrysik, K., Pachnicz, M., & Dudziński, P. (2019). Parameters of the constitutive model of geomaterials formed with the use of DSM dry technology, E3S Web of Conferences.
- [12] Kiecana, M., Kanty, P., & Łużyńska, K. (2018). Optimal control time evaluation for dry DSM soil-cement composites, MATEC Web of Conferences.
- [13] Dehghanbanadaki, A., Khari, M., Arefnia, A., Ahmad, K., & Motamedi, S. (2019). A study on UCS of stabilized peat with natural filler: a computational estimation approach, KSCE Journal of Civil Engineering, cilt 23, pp. 160-1572.
- [14] S. D. Baker (2015). Laboratory Evaluation of Organic Soil Mixing., South Florida: University of South Florida.
- [15] Kido, Y., Nishimoto, S., Hayashi, H., & Hashimoto, H (2009). Effects of curing temperatures on the strength of cement-treated peat, Proceedings of International Symposium on Deep Mixing and Admixture Stabilization.
- [16] Tang, B. L., Bakar, I., & Chan, C. M. (2011). Reutilization of organic and peat soils by deep cement mixing, World Academy of Science, Engineering and Technology, cilt 50, pp. 674-679.
- [17] Hebib, S., & Farrell, E. R. (2003). Some experiences on the stabilization of Irish peats, Canadian geotechnical journal, cilt 1, no. 40, pp. 107-120.
- [18] Hernandez-Martinez, F. G., & Al-Tabbaa, A. (2005). Mechanical properties of stabilised peat based on laboratory testing, 16th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering.
- [19] Rahmi, A., Taib, S. N. L., & Sahdi, F. (2018). Investigation of the application of various water additive ratios on unconfined compressive strength of cement-stabilized amorphous peat at different natural moisture contents, Advances in Civil Engineering.



- [20] Kolay, P. K., & Romali, N. S. B. (2007). Stabilization Of Organic Soil By Using Different Types Of Stabilizer, International Conference on Civil Engineering in the New Millennium: Opportunities and Challenges , Shibpur, India.
- [21] Harris, P., Harvey, O., Puppala, A. J., Sebesta, S., Chikyala, S. R., & Saride, S., (2009). Mitigating the effects of organics in stabilized soils, FHWA/TX, Texas. Dept. of Transportation.
- [22] J. G. S. Standard, (2005). Practice for Making and Curing, International Conference on Deep Mixing.
- [23] Hernandez-Martinez, F. G., Al-Tabbaa, A., Medina-Cetina, Z., & Yousefpour, N. (2021). Stiffness and strength of stabilized organic soils—part i/ii: Experimental database and statistical description for machine learning modelling, Geosciences, cilt 6, no. 11, p. 243.

HARDALIYE ÜRETİM SÜRECİ VE SÜRECİ ETKİLEYEN FAKTÖRLERİN KALİTE ÜZERİNE ETKİLERİ

Selda LEYLAK ÇAŞKURLU*¹ 

Kırklareli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırklareli

Öz

Kırklareli ilinde coğrafi işaretle tescillenmiş Hardaliye içeceği, bölge için hem kültürel ve bağcılık tarihi hem de yetiştirilen üzümlerin alternatif bir gıdaya işlenmesi açısından önem taşımaktadır. Günümüzde hardaliye üretiminin geleneksel yöntemlerle endüstriyel ve teknolojik üretim tesislerinde yapılırken üretim kalitesini etkileyen faktörlerin göz önüne alınması sürdürülebilirlik ve ürün kalitesinin standardizasyonu açısından önem taşımaktadır. Bu çalışmada hardaliyenin üretim kalitesini belirleyen faktörler; hammadde ve üretim olarak iki temel başlıkta incelenmiştir. Hardaliyeye işlenecek üzüm çeşitlerinin, ürünün karakteristiğine uygun ve yüksek kalitede yetiştirilmiş üzümlerden seçilmesi duysal özellikleri ve kaliteyi olumlu yönde etkileyecektir. Üzümlerin özenle işlenerek, kontrollü fermentasyon sürecine tabi tutulması ve daha sonra yüksek randımanda sıkım işlemi yapılması hardaliyenin kalite özelliklerini etkileyerek, hardaliyenin koyu yakut renginde, tatlımsı, hafif yakıcı ve damakta meyve aromaları taşıyan, kendine has kokusunda duysal kalite özelliklerine sahip olmasını sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler: Hardaliye, Üzüm, Üretim Süreci, Üretim Faktörleri

HARDALIYE PRODUCTION PROCESS AND EFFECTS OF PRODUCTION FACTORS ON QUALITY

Abstract

Hardaliye, which is registered with a geographical indication in Kırklareli province, is important for the region both in terms of its cultural and viticulture history and in terms of processing the grapes grown into an alternative food. Today, while hardaliye production is carried out in industrial and technological production facilities with traditional methods, it is important to consider the factors affecting the production quality in terms of sustainability and standardization of product quality. In this study, the factors determining the production quality of hardaliye; examined under two main headings as raw material and production. The selection of grape varieties to be processed into Hardaliye from grapes grown in high quality and suitable for the characteristics of the product will positively affect the sensory characteristics and quality. Carefully processing the grapes, subjecting them to a controlled fermentation process and then squeezing at high

Sorumlu Yazar: Selda LEYLAK ÇAŞKURLU, seldaleylak@gmail.com

efficiency will affect the quality characteristics of hardaliye and will ensure that hardaliye has sensory quality characteristics in its unique odor, with a dark ruby color, sweetish, slightly burning and fruit aromas on the palate.

Keywords: Hardaliye, Grape, Production Process, Production Factors

1. GİRİŞ

Mevsiminde toplanan gıdaların bir sonraki hasat zamanına kadar tüketilebilir nitelikte olması amacıyla geçmişten günümüze uzanan birçok gıda koruma ve saklama yöntemleri bulunmaktadır. İnsanlar, teknolojinin ve gıda üretim metotlarının henüz bu kadar gelişmediği yıllarda geleneksel ve edimsel yollarla ürettikleri meyve, sebze ve tahıl gibi gıda ürünlerini hemen tüketemeyip bir süreliğine de olsa saklama ihtiyacı duymuşlardır. Üzüm çoğaltmanın ve üretmenin zor olmadığı, besleyicilik ve aromatik özellikleri yüksek, dünyada ve Türkiye’de tarımsal faaliyetler alanında geniş bir yere sahip olan ve farklı şekillerde değerlendirilebilen meyvelerin başında gelir. Üzüm hasat edildikten sonra; pekmez, sirke, pestil, şarap, kuru üzüm ve hardaliye yapımında kullanılabilir [1].

Hardaliye, yeterli olgunluğa erişmiş üzümlerin hasat edildikten sonra; öğütülmüş siyah hardal tohumu, kurutulmuş vişne yaprağı ve koruyucular (sodyum benzoat ve potasyum sorbat) ile birlikte sıra sıra dizilerek, laktik asit fermentasyonu ile üretilen, alkolsüz bir içecektir [2]. Hardaliye, üzümün besleyici değerlerinin yanında fermentasyon teknolojisi ile üretilen bir içecek olması sebebi ile sağlık açısından oldukça faydalı bir gıdadır [3].

Geçmişte bağcılık kültürünün fazlaca görüldüğü Trakya Bölgesi’nde uzun yıllardır hardaliye üretildiği bilinmektedir. Atatürk 1930 yılında Kırklareli’ne yaptığı ziyaret sırasında hardaliyeyi çok beğenerek milli içecek olmasını dile getirmiştir. Trakya bölgesinde yıllardır ürettiği hardaliye son yıllarda gıda üretim tesislerinde endüstriyel ve teknolojik olarak da üretilmektedir. Bölgede bu içeceğin üretiminin tekrar yaygınlaşması ve önem kazanmasının ardından 2017 yılında Mahreç İşareti ile Kırklareli’nde tescillenmiştir [4].

Hardaliyenin üretim kalitesini etkileyen başlıca faktörler; kalite kriterlerini sağlamak adına özenle yetiştirilmiş, işlenecek ürüne uygun bileşen miktarlarına sahip üzümün sağlanması ve üzümlerin üretim tekniğine uygun olarak işlenmesi ile başlayan kontrollü fermentasyon sürecidir.

2. HARDALIYE ÜRETİMİNDE KULLANILAN HAMMADDELERİN ÜRÜNÜN KALİTESİ ÜZERİNE ETKİLERİ

Hardaliye üretiminin hammaddeleri; üzüm, hardal tohumu, vişne yaprağı ve koruyuculardır. Dolayısıyla bu bileşenler ürünün kalitesini doğrudan etkilemektedir.

2.1 Üzüm

2.1.1 Üzümün Özellikleri

Hardaliye üretimi sırasında tüm süreç doğru şekilde uygulansa dahi, kullanılan üzümler uygun özellikte değilse, son üründe beklenen kalite ve duyu özelliklerin sağlanması mümkün olmayabilir. Günümüzde koyu kırmızı hardaliyelerin yanı sıra farklı renklerde hardaliye üretiminin olduğu bilinmektedir. Beyaz üzümler ile beyaz hardaliye üretilebilirken, kırmızı üzümlerin maserasyon sürelerinin kısa tutulması ile açık pembe renklerde hardaliye üretilebilmektedir. Ancak kırmızı üzümün içerdiği fenolik bileşiklerin hardaliyeye kazandırdığı renk, koku, tat gibi karakteristik özellikler nedeniyle, hardaliye denildiğinde akla ilk olarak siyah üzümde gelen koyu yakut kırmızısı renkte bir içecek gelmektedir. Hardaliyenin tanenli, gövdeli, beklenen aroma profilini taşıması ve koyu renk tonlarında olması için Cabernet sauvignon, Merlot, Syrah gibi küçük taneli ve yüksek kabuk oranına sahip üzümler tercih edilmektedir. Şekil 1’de bu özelliklere sahip bir üzüm çeşidi olan Cabernet sauvignon görülmektedir. Erken hasat edilen üzümlerin olgunlaşma süresi tamamlanmadığından düşük şeker miktarı ve dengesiz asit oranına sahiptir. Bu tip üzümlerde olan ham ve yavan tat hardal tohumu yakıcılığı ile birleştiğinde hardaliye içiminde duyu kaliteyi olumsuz etkileyebilmektedir. Koyu renkli, olgun, küçük taneli, kalın kabuklu



Şekil 1. Cabernet sauvignon, Kırklareli.

üzümler ile üretilen hardaliyede ise; üzüm çeşidinin kendine has gelişmiş aromaları, tanenli ve gövdeli etki görülmesine neden olmaktadır.

2.1.2. Bağcılık

Hardaliye üretiminde kalite etmenleri bağda başlamaktadır. İşlenecek üzümlerin; iklim, bölge, toprak özelliklerinin uygun olduğu ve insan etkisindeki işlemlerin doğru uygulandığı bir bağdan seçilmiş olması ve bu seçilen bağın yıl boyunca özenle bakılarak, gerekli kültürel işlemlerinin doğru şekilde yapılmış olması gerekmektedir.

Özellikle bağcılıkta, üzüm ya da üzümde elde edilen ürünlerde görülen farklılıkların etkilerini ifade edebilmek amacıyla, “Terroir (teruar)” ifadesi kullanılmaktadır. Fransızca bir kelime olan terroir, toprak, iklim ve topografik özelliklerin, insan etkisi ile birlikte bağcılığa ve ürün kalitesine etkisini tanımlar. Dolayısıyla; bağın konumu ve toprak özellikleri, sıcaklık ortalamaları, güneşlenme süresi ve açısı, yağış miktarı ve dağılımı, nem, rüzgar, yükseklik gibi parametreler teruar özelliklerini belirlemektedir [5]. Toprak, yaşayan ve değişen bir sistemdir. Toprağın taşlı, kireçli, killi, kumlu, volkanik vb. özelliklerde olması kök uzunluğunu etkileyebilmektedir. Taşlı toprak yapısı; toprağa düşen suyun drenajını, toprağın su tutmasını, ısı iletkenliği ile toprağın sıcak ya da soğuk olmasını, köklerin yerleşimini ve farklı katmanlardaki minerallere erişimini etkileyebilmektedir [6]. Bağın destek sistemine alınarak terbiye edilmiş olması; üzüm gelişimi ve kültürel işlemlerin uygulanabilmesi için önemlidir. Şekil 2’de baş ve ara direkleri olan, tel sistemine alınarak destek sistemine alınmış bağ örnekleri görülmektedir.



Şekil 2. Telli sistem uygulanmış bağ görüntüleri

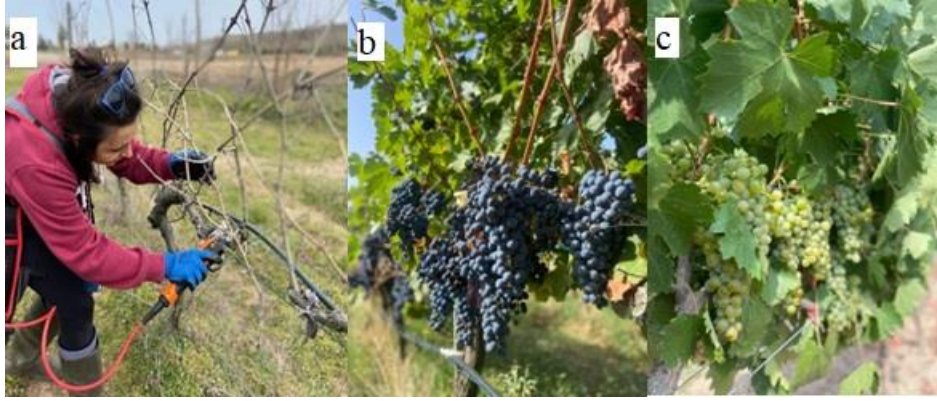
Bağda kültürel olarak uygulanan ve kalite üzerine önemli etkileri olan; toprak işleme, kış budaması ve yaz budamaları yapılmaktadır. Bağ toprağının işlenmesi; havalandırma, gerekli durumlarda gübreleme ve ot mücadelesi gibi asmanın ve üzümün senelik gelişimini etkileyen ilk faktörlerdir. Kış budaması; prensipte asmanın yapraklarının dökülmesi ile gözlerinin uyanmaya başlamasından hemen önceki aralıklarda yapılabilmektedir. Asma gücünü sürgünlerine verdiğinde daha az üzüm gelişirken, çok üzüm verdiğinde de sürgün gelişimi azalacağından; sürgün gelişimi ile üzüm randımanı arasında ters orantı görülmektedir. Bu nedenle budama kararı asmanın geçmiş yıldaki gelişim hızı takibine göre verilmesi gerekmektedir. Kış budaması ile; asmanın kök, gövde, kol gibi organlarının gelişimi desteklenebilirken, asmaya hem taşıyabileceği hem de eşit ve yeterli besleyebileceği kadar üzüm salkımı üretmesi sağlanır [7]. Şekil 3(a)'da görülen kış budaması ile eşit ve yüksek kalitede üzüm üretimi amaçlanır.

Yaz budaması (yeşil budama); salkımda kalite kriterlerini geliştirmeyi, asmanın hava almasını, güneşlenmesini, boyuna büyümeden odunlaşmasını sağlamak amacıyla asmanın yapraklı olduğu dönemde yapılan uygulamalardır. Bu uygulamada; sürgün seyreltme, tepe alma, yan dalların alınması, salkım seyreltme, yaprak alma gibi işlemler yapılmaktadır [8]. Yaz budaması uygulamaları ile asmanın üzüm yükü dengelenerek, salkımların ve tanelerin optimum düzeyde gelişmeleri hedeflenmektedir. Sürgün seyreltme ile obur ve fazla dalların asmadan uzaklaştırılması sağlanmakta, tepe ve yan dalların alınması işlemi ile büyüme ucu baskı altına alınarak besinin salkımlara ulaşması hedeflenmektedir. Salkım seyreltme ile asmanın besleyebileceği miktarda

salkım oluşumu desteklenmekte, yaprak alma ile de üzümlerin güneşlenmesi ve havalanarak hastalıklardan korunması sağlanmaktadır. Şekil 3(b, c)'de yaz budaması ile yaprakları alınarak güneşlenmeye açılmış üzüm salkımları görülmektedir.

Asmaya yeterli besleyebileceği kadar salkım üretmesi için uygulanan işlemler sonrasında üzümün bileşen miktarına bağlı kalitesini belirleyecek kritik hasat zamanı kararı verilmektedir. Hasat zamanında şeker miktarı ve asitliği gelişmekte olan üzümler için kontrollü hasat ile üzümün olgunluk derecesi belirlenebilmektedir.

Üzümlerin çeşitlerine göre iklim, bölge, toprak özellikleri ve kültürel işlemler farklılıklar göstermektedir. Bununla birlikte; bağda yapılan tüm uygulamalar üzümün şeker, asit ve tanen miktarını, aromatik profilini, polifenolik vb. birçok gelişim özelliğini olumlu ya da olumsuz etkileyebilmektedir [9].



Şekil 3. Kış budaması(a), yaz budaması ile güneşlenmeye açılmış üzüm salkımları (b, c)

Üzümün bileşimindeki parametrelerin doğru oranlarda olması, hardaliyenin istenen aromatik ve tatlımsı lezzete olmasını dolayısıyla kalite kriterlerini belirlemektedir. Özetle kalite özelliklerini sağlaması adına hardaliyeye işlenecek üzümlerin; küçük taneli, kalın kabuklu üzüm çeşitlerinden seçilmesi ve bu üzümlerin bağda doğru kültürel işlemler ile özenle yetiştirilmiş olması oldukça önemlidir.

2.2 Hardal Tohumu

Türk Gıda Kodeksi Baharat Tebliği'nde (Tebliğ No: 2022/7) hardal; *Brassica nigra* (L.) K.Koch, *Brassica juncea* (L.) Czern., *Sinapis alba* L. (*Brassicaceae*) türlerine ait bitkilerin tohumları veya öğütülmüş hali olarak tanımlanmaktadır (TGK).

Geleneksel yöntemlerde hardaliye üretiminde alkolik fermentasyonu önlemek ve bir miktar keskin boğaz yakısı oluşturmak için siyah hardal tohumu öğütülerek kullanılmaktadırlar. Siyah hardal tohumunun alkol oluşumunu beyaz hardal tohumundan daha çok önlediği ve hardaliyeye daha fazla aromatik özellik kazandırdığı bildirilmiştir. Tohum halindeki siyah hardalda bulunan ve alkol fermentasyonunu önleyen izotiyosiyanatlar glukozinolatların enzimatik hidrolizi ile ortaya çıkmaktadırlar [10]. Kullanılan hardal tohumları; yabancı madde içermemeli ve en fazla %50 oranında kırılmalıdır [4]. Hardal tohumlarının yağ içeriği nedeni ile kırılma sırasında kullanılan metodun seçiminde sıcaklık artırılarak ürüne zarar vermemesine dikkat edilmektedir.

2.3 Vişne Yaprağı

Vişne yaprakları hardaliyeye aromatik özellikler kazandırırken, üretim sırasında da katmanlı ve sıra sıra dizim prensibine katkı sağlamaktadır. Vişne yaprakları toplandıktan sonra yıkanarak ve



Şekil 4. Hardaliye üretimi hazırlanan vişne yaprakları

ufalanmayacak şekilde kurutularak hardaliye üretimine dahil edilmektedir. Hardaliye üretiminde kullanılan yıkanmış vişne yapraklarının bir örneği Şekil 4’de görülmektedir.

2.4 Koruyucular

Türk Gıda Kodeksi Gıda Katkı Maddeleri Yönetmeliği’nde (Resmî Gazete Tarihi: 30.06.2013 Resmî Gazete Sayısı: 28693) koruyucular; “Gıdaları, mikroorganizmaların sebep olduğu bozulmalara ve/veya patojen mikroorganizmaların gelişmelerine karşı koruyarak raf ömürlerinin

uzatılmasını sağlayan maddeler” olarak tanımlanmaktadır. Hardaliyenin endüstriyel üretiminde, miktarı değişkenlik gösteren ve üzümün mikroflorasında doğal olarak bulunan *Saccharomyces cerevisiae* ve yabani maya gibi mikroorganizmaların alkol fermentasyonunu başlatmasını baskılamada siyah hardal tohumunun tek başına yeterli kalmaması durumuna karşı koruyucu olarak sodyum benzoat (E211) ve potasyum sorbat (E202) kullanılmaktadır.

3. HARDALIYE ÜRETİMİ VE KALİTE ÜZERİNE ETKİLERİ

Hardaliye üretiminde geleneksel yöntemlerde fermentasyon süreci üzüm üzerinde bulunan doğal mikrofloradaki mikroorganizmalar ile gerçekleşmektedir. Bir diğer fermentasyon tekniğinde ise; ürün önce pastörize edilip ardından starter kültür ilavesi ile fermentasyonda kontrollü bir ortam oluşturulabilmektedir. Isıl işlem uygulaması ve starter kültür ilavesi ile kontrollü ortamda gerçekleşen fermentasyon sürecinde alkolik fermentasyon görülme ihtimali azalsa da hardaliye üretiminin kalitesi olumsuz etkilenebilmektedir. Coşkun ve ark. (2012) farklı yöntemler kullanılarak üretilen hardaliyelerin bazı özelliklerinde depolama sonunda meydana gelen değişimler üzerine yaptıkları çalışmada, hardaliyeyi geleneksel yöntem ve pastörizasyon sonrası starter kültür ilavesi ile ürettiklerinde; ısıl işlem uygulanan üretim sürecinin hardaliyede önemli farklar yaratarak, duyuşal özelliklerini olumsuz yönde ve önemli derecede etkilediğini tespit etmişlerdir [11]. Bu nedenle geleneksel yöntemlerde olduğu gibi üzümün üzerinde bulunan mikrofloranın korunarak doğal fermentasyon sürecinin işlemesi son ürün duyuşal özelliklerinin korunması açısından faydalı olacaktır.

3.1 Üretim Prosesi

Kırklareli hardaliyesi üretiminde Türk Patent ve Marka Kurumu tarafından verilen limitlere göre; hardalın %0,5-1; vişne yaprağının %0.02, sorbatların 300 ppm, benzoatların 150 ppm, sorbat ve benzoatlarının birlikte kullanılması durumunda ise toplam 250 ppm olması gerekmektedir.

- Ölçüm ve analizleri yapılarak hasat kararı verilmiş üzümler, üzerlerinde bulunan doğal floradaki mikroorganizmaların fermentasyon faaliyetlerini başlatmamaları için mümkünse havanın sıcak olmadığı sabah ya da akşam saatlerinde toplanarak, bekletilmeden işleme alınmalıdır. Kırklareli’nde yapılan bir hasat örneği Şekil 5’de verilmektedir.



Şekil 5. Üzüm hasadı

- İlk olarak salkımların ayrılması için banta dökülen üzümlerin içerisinde varsa; yapraklar, yabancı cisimler, farklı üzüm çeşitlerine ait, olgunlaşmamış ve hastalıklı salkımlar ayrılmaktadır. Şekil 6’da salkımlarının ayıklanması için üzüm hattının salkım ayıklama bandına dökülmüş üzümlerin bir örneği görülmektedir. Üzüm çeşidinin genel yapısından farklılık gösteren salkımlar son ürünün aromatik kalitesinde ve renginde istenmeyen gelişimlere neden olabilmektedir.



Şekil 6. Üzüm hattında salkım ayıklama süreci

- İstenmeyen salkımlardan ayıklanarak seçilmiş üzümler, saplarından ayrılmak üzere salkım ayırma makinasına aktarılırlar. Şekil 7’de salkım ayırma makinası ve taneleri alınmış üzüm sapları görülmektedir. Salkım ayırma makinasının hızı; üzüm tanelerinin parçalanmayacağı ancak salkımlarından tam olarak ayrılacağı hızda olmalıdır. Üzüm tanelerinin parçalanması ya da saplarından kopmaması şıra verimini düşürebilmektedir.



Şekil 7. Üzüm hattında tanelerin salkımlarından ayrılması

- Saplarından ayrılmış üzüm taneleri; kopmayan üzüm tane sapları, bağdan gelen dal ve yaprak gibi yabancı cisimler, olgunlaşmamış tanelerinden ayrılmak üzere tane ayıklama bandına alınırlar (Şekil 8).



Şekil 8. Üzüm hattında tanelerin ayıklanması.

- Saplarından ayıklanmış sağlıklı üzüm taneleri çatlatılmak üzere kırıcı helezona düşerler. Şekil 9’da içe dönen iki silindir arasından geçerek çatlayan üzüm tanelerinin bir örneği görülmektedir.



Şekil 9. Sağlıklı tanelerin dönen kırıcı arasında geçerek çatlatılması

- Fermentasyon kabının çap/yükseklik oranına göre hesaplanan miktarlarda üzüm, öğütülmüş siyah hardal tohumu, koruyucular ve yıkanıp kurutulmuş vişne yaprakları sıra ile dizilirler.
- Dizim sırası bozulmadan, tankın hacmine göre belirlenmiş sıra sayısı ve miktar ile tepe boşluğu kalacak seviyeye kadar fermentasyon kabı doldurulur.
- Fermentasyon kabının hava ile teması kesilecek şekilde kapakları kapatılır ve oda sıcaklığında, yaklaşık 14-21 gün sürecek laktik asit fermentasyonuna bırakılır.
- Fermentasyon süresince günlük olarak fermentasyon kabının devir musluğundan alınan serbest şıra yine fermentasyon kabının üzerinden geri beslenerek karıştırma yapılır. Bu karıştırma işlemi fermentasyon hızını olumlu etkilerken, hava boşluğunda biriken gazın da fermentasyon kabından dışarı atılmasını sağlar.

- Fermentasyon sürecinin sonlanmasının ardından ara ürün sıkılarak suyunun ayrılması amacı ile sıkım makinasına gönderilir. Hardaliyenin sıkım sürecinde tüm suyunun ürüne geçmesini sağlayacak sıkım parametrelerinin oluşturulması hem randıman hem de hardaliyenin aromatik kalitesi için önemlidir. Şekil 10’da fermentasyonu tamamlanmış hardaliyenin sıkılmak üzere hidrolik sıkıma alınması ve basınç altında akan suyu görülmektedir.



Şekil 10. Fermentasyonu tamamlanmış hardaliyenin hidrolik presse alınarak sıkım sürecinin başlatılması

- Üzüm kabukları, çekirdekleri ve vişne yapraklarından ayrılmış olan hardaliye az miktarda da olsa devam edecek gaz çıkışının tamamlanmasını beklemek üzere dinlenme tankına alınır.
- Dinlenme sürecinin ardından hardaliye aktarılarak dibe çöken tortusundan ayrılır.
- Kaba filtre kağıdı ile filtrasyonunun ardından dolum hattına alınarak şişeleme, etiketleme ve depolama süreçleri başlatılır.

3.2 Üretimde Kullanılan Teçhizatlar

Hardaliye endüstriyel üretimde paslanmaz tanklarda üretilirken, çoğu geleneksel yöntemde ve yüksek kalite endüstriyel üretimde meşe fiçiler kullanılmaktadır. Meşe ağacı kabuğunun kullanıldığı gıda üretim ekipmanları, bu ağacın özelliğine bağlı olarak gıdaya kendine has aroma

ve koku katarak duyuşsal özelliklerini güçlendirmektedir. Hardaliye fermentasyonunda, fermentasyon kabının mevcut kapak ve vanalarına ek olarak devir musluğuna da sahip olması gerekmektedir.

Üzüm işleme hattında seçme ve ayırma işlemleri sarsak bantlarda yapılmaktadır. Üzümü tanelerine ayırmak amacıyla salkım ayırma makinaları kullanılmaktadır. Salkım ayırma makinasının varlığı ve çalışma verimliliği, ürünün içine üzüm sapı kaçırmamak için önemlidir. Çünkü üzüm salkımı fermentasyon sürecine dahil olduğunda üründe acımsı bir tat oluşmasına neden olabilir.

Tanelerin kırıldığı helezonun silindir aralığının, farklı boyutlardaki üzüm tanelerine göre ayarlanabilir olması gerekmektedir. Kırıcının aralığının geniş kalması durumunda üzüm tanesi çatlatılamazken, dar kalması durumunda da tane çatlamak yerine ezilmiş olmaktadır. Tanenin çatlatılarak tanka alınması; maserasyon, fermentasyon ve aroma açısından önem taşımaktadır.

Fermentasyonu tamamlanmış hardaliyenin sıkılarak kabuk ve çekirdeğinden ayrılma işlemi farklı prensiplerde çalışan preslerde yapılabilmektedir. Pres seçiminde, pressin basınç-süre kombinasyonlarının iyi yapılarak; üzüm tanesinin suyunu yüksek randımanla alınması gerekmektedir. Tamamlanan pres sonrası arda kalan ürünün; çok sert, kuru, sadece kabuk ve çekirdekten ibaret olması pres randımanını göstermektedir.

Hardaliye üretiminde kullanılan tüm ekipmanların; gıdaya uygun malzemelerden seçilmesi gerekmektedir. Üretim tesisinin ve ekipmanların temizliği, hijyen ve sanitasyon kurallarına uygun olarak yapılmalıdır. Temizlenen ekipmanlar bol su ile durularak kalıntı kalmadığından emin olunmalıdır. Kritik kontrol noktaları, kalite sistemleri dikkate alınarak ve gerekli kalite kontrol analizlerinin yapılmasından sonra; Türk Gıda Kodeksi Gıda ile Temas Eden Madde ve Malzemeler Yönetmeliği'ne uygun ambalajlanarak Türk Gıda Kodeksi Etiketleme Yönetmeliği'ne uygun bir şekilde etiketlenerek tüketiciye sunulmalıdır.

4. TARTIŞMA

Hardaliyenin üretim kalitesini etkileyen faktörler bağlarda başlamaktadır. Kaliteli ve işlenecek ürün karakteristiğine uygun hammadde seçimi hardaliye üretiminde oldukça önem taşımaktadır. Çeşidine uygun topraklarda, asmanın besleyebileceği ve eşit kalitede geliştirdiği sağlıklı

salkımların doğru zamanda hasat edilerek üzümün kimyasal içeriğinin dikkate alınması ile hammadde kalitesi önemli ölçüde sağlanabilmektedir.

Hardaliyenin üretiminde, işleme ve fermentasyon prosesinin doğru uygulanmasının yanı sıra üretim kalitesi; hardaliyenin tat, renk, gövdeli yapı gibi duyuşal özelliklerini etkileyecek üretim hassasiyetleri söz konusudur. Üzümlerin özenle ayıklanarak işlenmesi, fermentasyonun kontrol altında yapılması ve yüksek randımanlı sıkma işleminin üretimden kaliteli bir ürün almanın önemli noktalarıdır.

Kırklareli'nin tarihinden ve kültüründen gelen bağcılık ve hardaliye üretimi son yıllarda giderek önem kazanmaktadır. Geleneksel üretim yöntemlerinin teknoloji ve bilimsel çalışmalarla desteklenmesi, hem damağa daha fazla hitap eden hardaliyenin üretilmesi hem de sağlık açısından oldukça faydalı olan bu ürünün katma değeri ve üretim verimi yüksek bir şekilde elde edilmesine katkı sunabilir. Bu alanda yapılacak bilimsel çalışmalarla hardaliye üretiminde kalite kriterleri geliştirilerek üretimde standardizasyon ve sürdürülebilirlik sağlanmasına etkin fayda sağlanabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Ö. GÜRBÜZ, Hardaliye Üretiminde Kullanılan Antimikrobiyal Maddelerin Fermentasyon Üzerine Etkileri, Edirne: Trakya Üniversitesi, 2018.
- [2] S. M. BAYINDIR ve S. ÖNÇEL, Gastronomide Kültürel Miras Bakış Açısıyla Kırklareli Hardaliyesi'nin Geleneksel Üretiminin Değerlendirilmesi, Eskişehir: Kırklareli Üniversitesi, 2019.
- [3] F. COŞKUN, A Traditional Turkish Fermented Non-Alcoholic Grape-Based Beverage, "Hardaliye", Tekirdağ: Namık Kemal Üniversitesi, 2017.
- [4] TÜRK PATENT, « Patent ve Marka Kurumu,» 2017. [Çevrimiçi]. Available: <https://www.turkpatent.gov.tr/>.
- [5] R. İ. GAZİOĞLU ŞENSOY, E. Ö. BAŞ ve Y. YILMAZ, Yüksek Rakım Bağcılığı: Van İli Örneği, Van, 2019, pp. 375-388.
- [6] E. BAHAR, İ. KORKUTAL ve H. ÖNER, Bağcılıkta Terroir Unsurları, 2018.
- [7] İ. YÜKSEL ve F. ATEŞ, Bağcılıkta Budama ve Terbiye Sistemleri.
- [8] A. SABIR, H. BİLİR ve S. TANGOLAR, Bazı Yaz Budaması Uygulamalarının Çekirdeksiz Üzümlerde Verim ve Kalite Üzerine Etkileri, 2010.
- [9] T. BEKAR, Şaraplık Üzüm Kalitesi Üzerine Yetiştiriciliğin Etkileri, 2016.
- [10] F. COŞKUN ve M. ARICI, Hardaliyenin Bazı Özellikleri Üzerine Farklı Hardal, 2011, pp. 6-11.



- [11] F. COŞKUN, M. ARICI, G. ÇELİK YURT ve M. GÜLCÜ, Farklı Yöntemler Kullanılarak Üretilen Hardalilerin Bazı Özelliklerinde Depolama Sonunda Meydana Gelen Değişmeler, cilt 9, 2012, pp. 62-67.

TEMEL İNCE FİLM ÜRETİM TEKNİKLERİNE BİR BAKIŞ

Erdal KARAKUŞ^{1*}, Mümin Mehmet KOÇ^{1,2}

^{1*}*Department of Physics, Faculty of Arts and Science, Kırklareli University, Kırklareli, Türkiye*

²*Department of Medical Service and Techniques School of Health Service, Kırklareli University, Kırklareli, Türkiye*

Öz

Malzeme bilimi ve teknolojilerinin gelişmesi daha kaliteli, sağlam ve dayanıklı malzemelerin üretilmesine imkân sağlamıştır. Bu gelişmelerin temelinde ince filmlerin yaygın olarak kullanılması ve ince film üretim teknolojilerinin gelişmesi etkili olmuştur. İnce film üretim teknikleri akademik araştırmalarda, teknolojik uygulamalarda ve birçok endüstriyel faaliyette yaygın olarak kullanılmaktadır. Hazırladığımız çalışmamızda temel ince film üretim teknikleri incelenmiş, ince film üretiminde kullanılan her bir temel tekniğin sahip olduğu avantajlar ve dezavantajlar tartışılmış ve ince filmlerin potansiyel uygulama alanlarına değinilmiştir.

Anahtar Kelimeler: İnce Filmler, Fiziksel Buhar Kaplama, Kimyasal Buhar Kaplama, DC Sıçratma, Elektrodepozisyon

A GLIMPSE TO THE ESSENTIAL THIN FILM PRODUCTION TECHNIQUES

Abstract

Advancements in materials science and technologies enable us to produce more durable, stronger materials of high quality. Developments in thin film technologies play an important role in achieving such an advancement. Thin films are commonly used in research, technological applications, and various industrial activities. In this work, essential thin film production techniques were investigated; the advantages and disadvantages of each essential technique were discussed, and potential industrial and technological applications were mentioned.

Keywords: Thin Films; Physical Vapour Deposition; Chemical Vapour Deposition; DC Sputtering; Electrodeposition

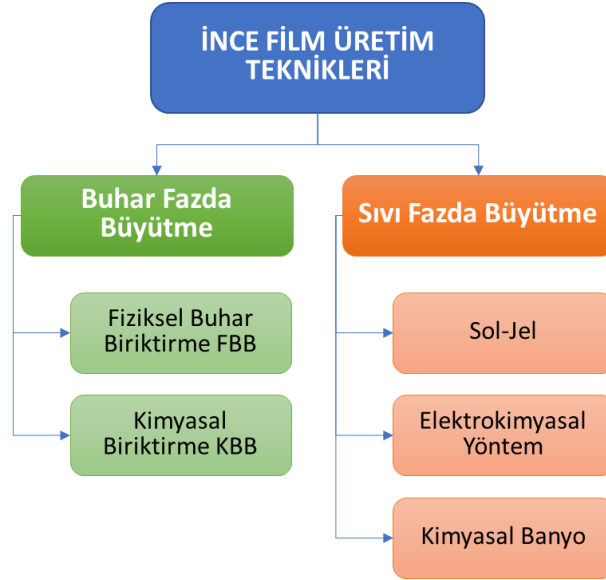
Sorumlu Yazar: Erdal KARAKUŞ, phyerka@hotmail.com

1. GİRİŞ

Malzeme biliminin gelişmesi ve malzeme biliminde aktif olarak kullanılan teknikler günümüz modern teknolojilerinin lokomotifini oluşturmaktadır [1]. Birçok değişik teknik ve yöntem farklı teknolojilerde kendine uygulama alanı bulmaktadır. Bunların içerisinde en önemli uygulamaların başında ince film uygulamaları ve teknolojileri gelmektedir [2,3]. İnce filmler, ekranlardan koruyucu kaplamalara, güneş filmlerinden aydınlatma teknolojilere, katlanabilir elektronik cihazlardan optik ve optoelektronik sektörüne, sensör teknolojilerinden havacılık sanayiine kadar birçok alanda kullanılmaktadır [4,7-12-14]. Farklı uygulamalar ve teknolojiler için farklı ince film tipleri ve teknolojileri geliştirilmektedir. Organik ve polimer ince filmler, daha çok koruma ya da organik elektronik uygulamalarında kullanılırken metalik ince filmlerin uygulama alanları nispetten daha geniştir. İnce filmler günümüz teknolojisinde kullanılan birçok cihazın ve uygulamanın temelini oluşturmaktadırlar. Bu filmler sürtünme, korozyon, sıcaklık gibi dış etkilere karşı kaplandığı yüzeyleri ve malzemeleri korurken aynı zamanda teknolojik uygulamada da kullanılmaktadır [8–11]. İnce filmlerin geçmişi oldukça eskiye dayanmaktadır. Öncelikle, insanlar cam vb. gibi malzemelere renk vermek ve dekoratif amaçlarla ince filmlerden yararlanmışlardır [12]. İnce filmler, önceleri metal temelli tuzların sıvı içerisinde çözülmesi ve yüzeylere daldırma, döndürme, püskürtme vb. basit tekniklerin uygulanması ile kullanılmıştır. Teknolojinin gelişmesi ile farklı tekniklerin geliştirilmesine imkân sağlamıştır[13]. Gelişen tekniklerin temelinde yüksek vakum ortamları altında ince film üretilmesi yatmaktadır [14,15]. Bu yöntemde kaplama yapılan ortam çok temizdir, iyi kalitede film üretilmektedir ve bu tekniklerle üretilen filmlerde kontaminasyon (kirlilik) oldukça düşüktür. Ancak yüksek vakum ortamı bazı dezavantajları da beraberinde getirmektedir; vakum sistemleri oldukça pahalı sistemlerdir ve bu sistemleri verimli bir şekilde işletebilmek yüksek derecede uzmanlık gerektirmektedir. Bu sistemlerin yanı sıra yine sıvı içerisinde kaplama yapılmasına imkân veren elektroliz temelli teknikler de bilimsel araştırmalarda ve endüstriyel uygulamalarda sıklıkla kullanılmaktadır.

Hazırladığımız teknik notta, günümüzde endüstriyel uygulamalarda ve bilimsel araştırmalarda sıklıkla kullanılan temel ince film kaplama teknikleri incelenmiştir. İncelememizde; tekniklerin avantaj ve dezavantajları tartışılmış, tekniklerin temel prensipleri incelenmiş, endüstriyel uygulamalarına da değinilmiştir.

2. MATERYAL VE METOD



Şekil 1. İnce film üretim teknikleri.

2.1 Buhar fazda Büyütme

2.1.1. Fiziksel Buhar Biriktirme

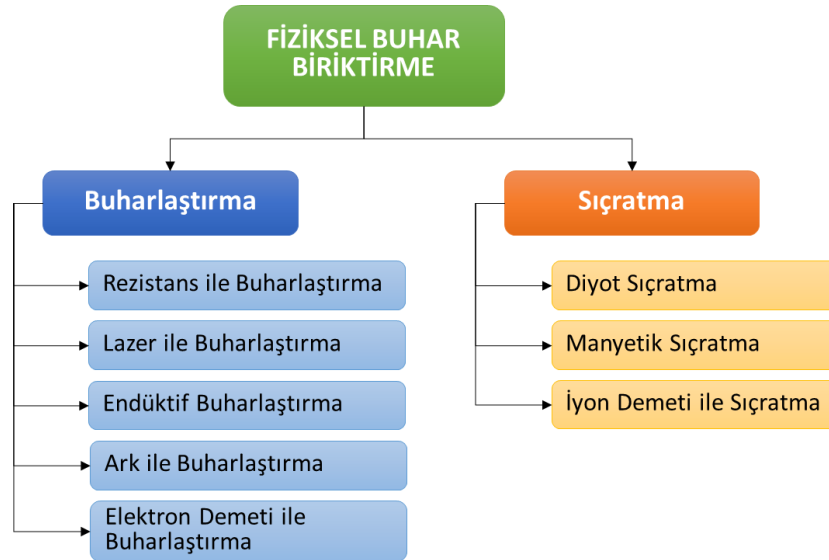
Fiziksel buhar biriktirme (physical vapour deposition) yöntemi en yaygın kullanılan buhar biriktirme yöntemlerindedir. Tarihi 19. Yüzyılın başlarına kadar dayanmaktadır. Bu yöntem genel olarak bilimsel araştırmalarda ya da yüksek teknoloji gerektiren uygulamalarda sıklıkla kullanılmasına rağmen endüstriyel birçok alanda da kendine uygulama alanı bulur. Bu yöntemde temel olarak üretilen ince filmin kaynağı fiziksel yöntemler kullanılarak buharlaştırılmaktadır. Sıçratma teknikleri de bu yönteme bağlı teknikler olarak görülmektedir [16]. Bu aşamada genelde termal ve sıçratma temelli kaynaklar kullanılmakla birlikte, alternatif buharlaştırma kaynakları da görülmektedir. Bu yöntemin etkinliğinin artması için yüksek ya da ultra yüksek vakum ortamları tercih edilmektedir. Bunun 2 temel nedeni vardır;

I-Vakum ortamında basıncın çok düşük olmasından dolayı ortamda bulunan serbest haldeki parçacık sayısı azdır; dolayısıyla termal temelli buharlaşma yöntemleri çok daha düşük sıcaklıklarda ve daha az enerji gerekerek gerçekleşebilmektedir. Bunun temel nedenlerinden biri de parçacık yüzeyine çarpan serbest molekül oranının azalmasıdır. Maddenin yüzeyine daha az molekül çarpması maddenin enerji kaybetmesini engellemektedir. Dolayısıyla ısıtma esnasında

enerji kaybına uğramamaktadır. Atomlar ve moleküller özellikle gaz fazda oldukları ortamda hareket ederken sürekli birbiri ile çarpışırlar. Atomların ya da moleküllerin çarpışmadan hareket edebileceği ortalama rotaya ortalama serbest yol (mean free path) denmektedir. Basıncın yüksek olduğu ortamda atomlarda atomların ya da moleküllerin aldığı ortalama serbest yol kısalmakta, basıncın düşük olduğu özellikle yüksek vakum ortamlarında ortalama serbest yol uzamaktadır. Bu da durum da atomların ya da moleküllerin enerjilerini kaybetmemesine etki etmektedir. Bu durum nanoparçacık ve ince film oluşum sürecinde oldukça etkilidir.

II- Yüksek vakum ve ultra yüksek vakum ortamlarında serbest halde ortamda dolaşan molekül sayısı oldukça azdır. Bu durum, kaplama sırasında bir kirliliğin (kontaminasyon) oluşma ihtimalini minimize etmektedir.

Bahsedilen sistemler endüstride birçok uygulamada kullanılmaktadır; bunlar kısaca yarı iletkenler, mikroelektronikler, tıp, antimikrobiyal malzeme teknolojileri, korozyona ve oksidasyona dayanıklı malzemeler, güneş pilleri ve fotodedektör teknolojileri, aşınma dirençli yüzeyler vb. şeklinde sıralanabilir. Temel fiziksel buharlaştırma teknolojileri ve uygulamaları Şekil-2 de gösterilmektedir.



Şekil 2. Fiziksel buharlaştırma yönteminin kapsamını oluşturan ince film üretim teknikleri

2.1.1.1 Buharlaştırma Temelli Yöntemler

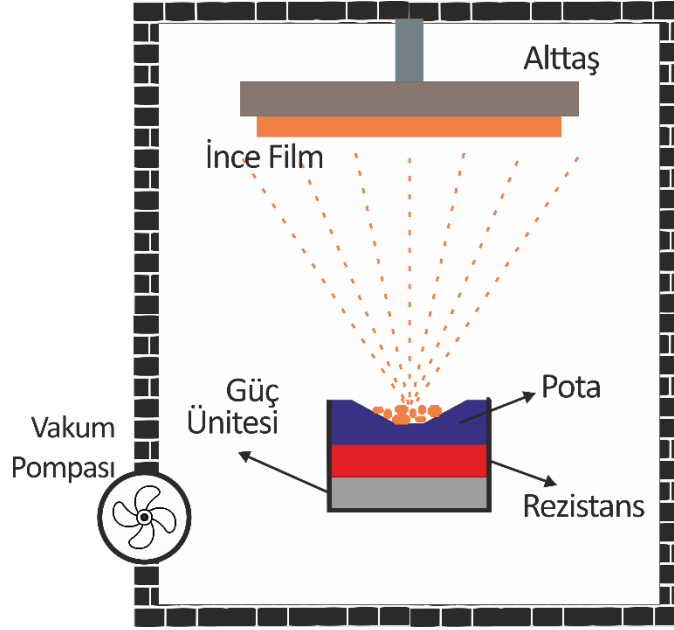
Bu tekniğin temelinde katı, sıvı ve gaz olarak bilinen maddenin temel halleri gibi fiziksel özellikleri göz önünde bulundurulur. Bu teknikte maddeler buhar fazına geçirilerek hedeflenen yüzeye ya da altına (taban malzemesi) uygulanır. Uygulama için malzemeler farklı şekillerde buharlaştırma işlemine tabi tutulur. İnert (soy) gaz olarak argon gazı sıklıkla kullanılır. İnert gazlar oksidasyon, kirlenme ve diğer kimyasal etkileşimleri önler. Bu işlem için aşağıdaki yöntemler uygulanabilir.

2.1.1.1.1. Rezistans ile Buharlaştırma

Buharlaştırılacak madde genelde wolfram (tungsten) ya da alüminyum esaslı seramikten oluşturulmuş paslanmaya ve yüksek sıcaklığa dayanıklı potanın içerisine konur. Potalar rezistansın şekline ve cihazın fiziksel özelliklerine göre farklı tasarımlar gösterebilmektedir. Tasarıma bağlı olarak bazı potalar dar uzun silindirik şekilde iken bazı potalar daha geniş ve yayvan yapıda olabilir. Potalar yüksek sıcaklığa karşı dayanıklı olup kendileri dışarıdan bir ısı uygulandığında erime ya da buharlaşma gibi bir eğilimde bulunmazlar. Bu sebeple kaplama esnasında potanın içerisinde bulunan alüminyum atomları kaplama yapılmak istenen ince filmin yapısına karışmazlar. Bu potanın etrafına ya da alt kısmına rezistanslar yerleştirilir. Bu rezistanslara düşük vakum altında bir akım uygulandığında potanın içerisinde bulunan kaplama işleminde kullanılacak malzeme önce sıvı daha sonra gaz fazına geçerek bir buhar oluşturur. Burada dikkat edilmesi gereken husus, oluşturulan buharlaşmanın düzenli bir şekilde ve sabit akı ile istenen yüzeye ulaşmasıdır. Bu durum kristal kalınlık monitörlerinden (XTM- crystal thickness monitor) takip edilmelidir. Bu monitörler yüzeye ulaşan ve çarpan serbest buhar halindeki molekülleri ölçmeye yardımcı olur. Buharlaşma işlemi sırasında kaplama yapılacak yüzeyin önüne konarak yüzeye çarpan moleküllerin sayısını ya da dakikada yüzeye kaplanabilen kaplama kalınlığının ölçmesine yardımcı olur. Kristal kalınlık monitörlerinde quartz kristaller kullanılır. Bu kristallerin özel bir titreşim frekansı vardır. Bu kristallerin üzerine atom ya da moleküller çarptığında üzerinde bir film oluşturur bu filmin kalınlığına göre kristalin titreşim frekansında bir değişim olur ve bu frekans farkı ile film kalınlığı ya da yüzeye çarpan her bir atom ya da molekül ölçülür. Buharlaştırma işleminde bazı maddeler (alüminyum, çinko vs gibi) hızlı bir şekilde buharlaştığından sürekli bir akı sağlayamaz. Bu nedenle buharlaşma işlemi süresince buharlaşma akısının takip edilmesi önem arz eder.

Avantajlar: Hızlıdır, basittir, diğer buharlaştırma yöntemlerine göre düşük maliyetlidir, vakum ortamında gerçekleştirildiği için alternatif ince film kaplama yöntemlerine göre temiz film elde edilmesine imkân verir.

Dezavantajlar: Rezistansla buharlaştırma yönteminin yapısı sebebiyle buharlaşan moleküller iyonlaşamazlar. Bu nedenle iyonize yöntemlere göre yüzeyde tutunma oranları azdır.



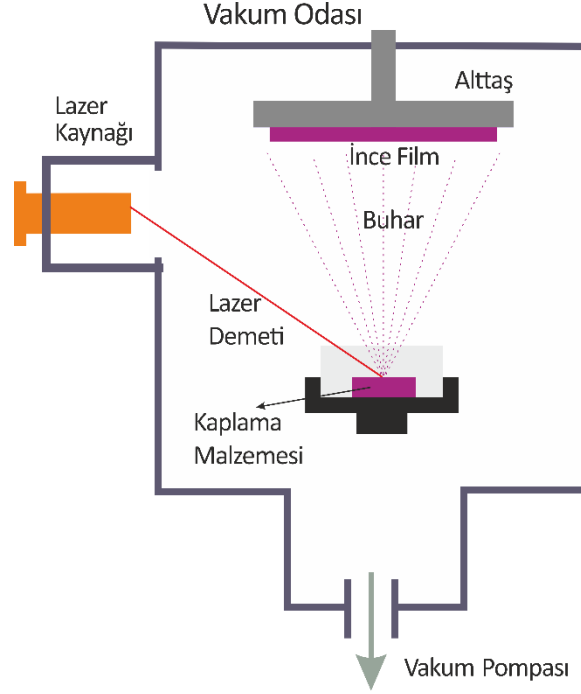
Şekil 3. Rezistans ile buharlaştırma yönteminin şematik gösterimi

2.1.1.1.2. Lazer Buharlaştırma

Bu yöntemde buharlaştırma işlemi güçlü bir lazer ile sağlanır [17]. Genellikle Nd:YAG tipi lazerler kullanılır. İşlem genelde vakum ortamında gerçekleştirilir. Buharlaştırılmak istenen malzeme bir platform üzerine yerleştirilerek lazer malzemenin üzerine yönlendirilir. Lazer etkisi ile malzeme buharlaştırılarak kaplama yapılmak istenen yüzeye yönlendirilir. İşlem, vakum ortamında yürütülürse buharlaştırma çok daha hızlı ve verimli şekilde gerçekleştirilebilir [17].

Avantajlar: Lazeri soğurabilen cisimler hızlı ve verimli bir şekilde buharlaştırılabilir. Kısmen düşük bir enerji harcanır.

Dezavantajlar: Genellikle ergime sıcaklığı düşük materyallerde kullanılan bir sistemdir. Lazerin buharlaştırma kontrolü oldukça düşüktür. Sıklıkla buharlaştırılmak istenen materyal ile birlikte malzemenin bulunduğu platformda da buharlaşma görülür. Bu durum istenmeyen maddelerin de buharlaşmasını sağlar ve ince film üzerinde kirliliğe neden olur.



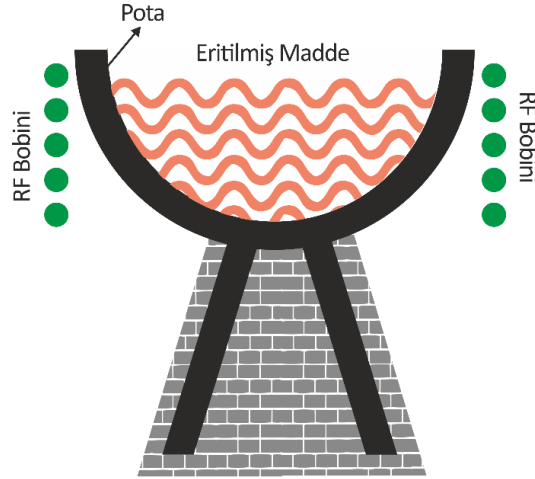
Şekil 4. Lazer ile buharlaştırma yönteminin şematik gösterimi

2.1.1.1.3. Endüktif Buharlaştırma

Bahsi geçen buharlaştırma yönteminde ısı kaynağı olarak etrafı bobinlerle sarılmış olan bir pota mevcuttur. Soğutma işlemi için bu bobinlerin etrafına sarılmış su boruları kullanılır. Bobinlere uygulanan elektrik akımı sayesinde (indüksiyon akımı, RF akımı) potanın çevresinde bulunan malzemeyi indükler ve malzemenin sıcaklığı artarak buharlaştırma için gereken ısı oluşturulabilir. Böylece kaplanacak malzemenin buharlaşması sağlanır.

Avantajlar: Kullanılan ısıtma sistemi doğrudan malzemeyi ısıttığı için ayrıca potanın ısıtılmasına gerek yoktur.

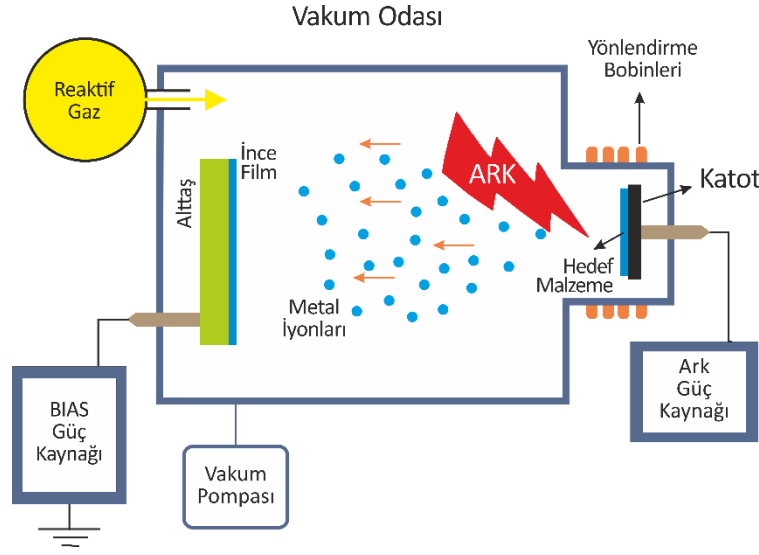
Dezavantajlar: Bu işlemle 2100°C'ye kadar ergime sıcaklığına sahip malzemeler buharlaştırılabilir. Buharlaştırma işlemi sırasında indüksiyondan faydalandığı için ısıtma işleminde kullanılan enerjinin çok küçük bir kısmı indükleme işleminde harcanır. Enerjinin büyük bir kısmı bobinlerde atıl ısıya dönüştüğü için bu yöntemin verimliliği düşüktür. Ayrıca bobinler çok uzun ömürlü değildir. Dolayısıyla bu işlem oldukça yüksek maliyetli olduğu için uygulamada bir dezavantaj teşkil etmektedir.



Şekil 5. İndüksiyon ile buharlaştırma yönteminin şematik gösterimi

2.1.1.1.4. Ark ile Buharlaştırma

Bu yöntemin temeli güç kaynakları tarafından üretilmiş arklar ile malzeme üretilmesine dayanır [18]. Sistem temel olarak vakum ortamında gerçekleşir. Katoda ve anoda ayrı ayrı güç kaynakları tarafından yüksek akım uygulanır. Akımın uygulandığı anoda kaplanmak istenen malzeme yerleştirilir. Anot ve katot arasında oluşan gerilim sayesinde katot ve anot arasında bir ark oluşur. Bu ark, katottan anoda doğru kopan malzemelerin gönderilmesine imkân verir. Aynı zamanda ortama reaktif bir gazın da verilmesi ile birlikte arkın etkisi artırılabilir. Şekil 5'te gösterilen sisteme 10-50V arasında gerilim uygulanabilir; ancak bu esnada katot yüzeyine 40-300 A gibi çok yüksek oranda akım uygulanır. Ark oluştuğu anda ince film kaynağı olan katot yüzeyinde, sıcaklık 2000-2500°C ye kadar çıkabilir [18].



Şekil 6. Ark ile buharlaştırma yönteminin şematik gösterimi

Avantajlar: Kaplama işlemi yapıldıktan sonra alttaşlara ya da kaplama yapılan yüzeylere ekstra bir tavlama işlemi yapılmasına gerek yoktur. Çünkü işlem sırasında katottan kopan elektronlar iyonizedir ve bu durum yüksek kalitede film oluşmasına yardımcı olur. Bu işlem sırasında kaplama hızlı olur çünkü malzeme akısı çok yüksektir.

Dezavantajlar: Akımda oluşabilecek kararsızlıklar yüzünden homojen olmayan filmler üretilebilir. Yine üretim esnasında kaplanmak istenen alttaş üzerinde yoğun bölgeler ve damlacıklar oluşabilir. Kararlılık olmamasından dolayı hedeflenen bölgeden farklı bölgelere kaplama yapılabilir.

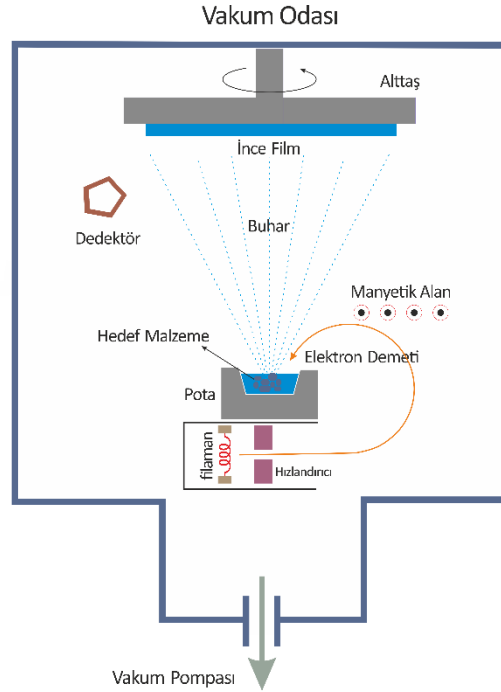
2.1.1.1.5. Elektron Demeti ile Buharlaştırma

Bu yöntemde diğer yöntemlere benzer olarak kaynağın buharlaştırılması prensibine dayanır. Yöntemde elektron demetleri malzemenin buharlaştırılmasından sorumludur. Bu sistem yüksek vakum ya da ultra yüksek vakum gibi ortamlarda tercih edilebilir. Bir elektron kaynağından çıkan elektronlar bir manyetik alan ile yönlendirilerek buharlaştırılmak istenen yüzeye çarptırılır. Çarpan bu elektronlar enerjilerini bu yüzeye bırakır. Elektronlarla bombardıman işlemi hem yüzeyin sıcaklığını artırır, hem de belirli miktardaki malzemenin yüzeyden kazınmasına yardımcı olur. Bu bombardıman işlemi sırasında yüzey sıcaklığı 3000-3500°C ye kadar çıkabilir. Vakum odasına kaplama yapılacak maddelerle birlikte, sistemle reaksiyona girmeyecek soy gazların verilmesi

reaksiyonu hızlandırabilir. Sistemde, genellikle elektron kaynağı olarak filaman ip elektron tabancası kullanılabilir.

Avantajlar: İyi kalitede film oluşturur. İşlem vakum ortamında gerçekleştiği için filmlerde kirlilik oluşmaz.

Dezavantajlar: Yüzey sıcaklığı yüksek seviyelere çıkabilir. Buharlaşma akısının kontrolü kolay değildir. Çok karmaşık sistemler olduğu için pahalı ve bozulmaya yatkındır.



Şekil 7. Elektron demeti ile buharlaştırma yönteminin şematik gösterimi

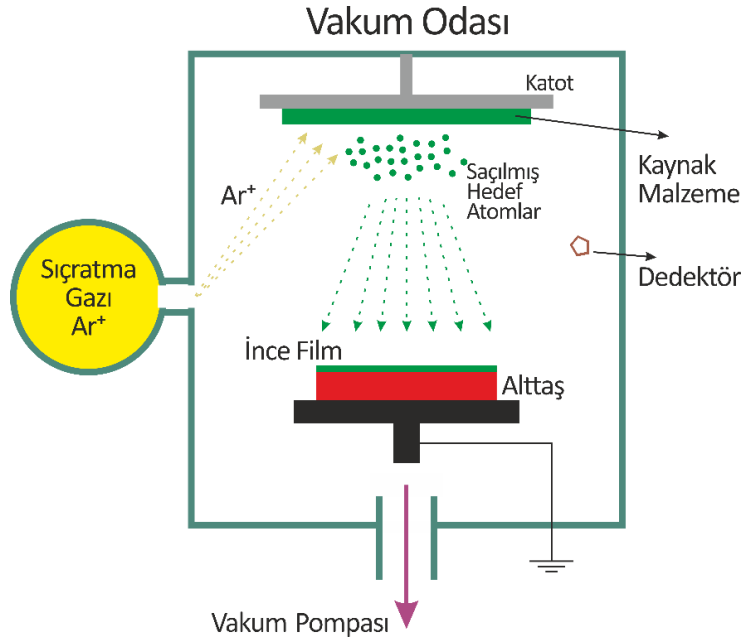
2.1.1.2 Sıçratma Yöntemi

Sıçratma yöntemi temel olarak plazma yardımı ile malzemenin hedeften sökülüp (kazınıp) kaplama yapılacak yüzeye sıçratılması prensibine dayanmaktadır. Bu yöntemin temel prensipleri yakın zamanda aydınlatılsa da yöntemin kökeni 19. yy. a kadar dayanmaktadır. Grove, bu yöntemi 1852’de doğru akım deşarj tüpünü kullanarak gerçekleştirmiştir [19]. Grove, deşarj tüpü içindeki katodun üzerine yüksek enerjili iyonlar fırlatarak katottan kopan tanecikleri tüpün içinde biriktirmiştir. Günümüzde küçük ölçüde kaplama yapan sistemler olduğu gibi daha büyük boyutlarda kaplamaların yapılmasına imkân veren sistemler de geliştirilmiştir. Bu işlem sırasında hızlandırılmış küçük boyutlardaki plazma veya iyonlar (iyon tabancası) kullanılır. Vakum odasına

argon gazı konularak plazma üretildiğinde, kaplamada kullanılacak kaynak malzeme ile çarpışmak üzere argon iyonları oluşturulur. Argon iyonları gibi yüksek enerjili tanecikler biriktirme malzemesine göre daha yüksek enerji seviyelerine sahiptir. Bu nedenle kaynak malzeme parçalanarak taban malzemesine yapışır. Kaynak malzemenin yüzeyindeki atomlar, bu küçük taneciklerle bombardıman edilerek atomların katı yüzeyinden koparılıp fırlatılması sağlanır. Daha sonra kopan bu atomlar buharlaştırılarak alttaş üzerinde biriktirilir.

Bu nedenle sıçratma yöntemi; iyonize gaz tanecikleri ile bombardıman edildikten sonra kaynak malzemedan düşen atomları kullanarak taban malzemesini kaplama işlemidir.

Sıçratma prosesi günümüzde halen; yüzey aşındırma, yüzey arındırma, ince film kaplama ve yüzeyleri analiz etme işlemlerinde sıklıkla kullanılmaktadır. İleri teknoloji gerektiren birçok optik ve optoelektronik cihaz, güneş pilleri, fotodedektörler, sensörler, kameralar, görüntüleme cihazları bu yöntem kullanılarak üretilmektedir.



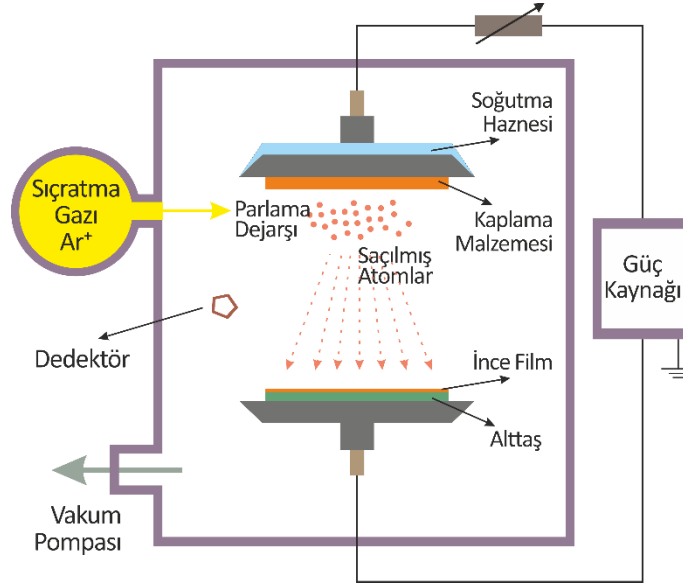
Şekil 8. Sıçratma yönteminin şematik gösterimi

Avantajları: Bu yöntemle sabit buharlaşma hızı ve sabit akı ile kaplama yapılabilir. Kaplama süreci oldukça stabildir. İşlem hem yüksek vakum ortamında hem de ortamda soy gaz varken gerçekleştirildiği için üretilen filmler oldukça temizdir. Kirlilik oldukça azdır.

Dezavantajlar: Enerji kaybı yüksektir. Enerjinin büyük kısmı kaplama için değil, sistemi aktif hale getirmeye yarayan manyetik alan kaynağı için kullanılır. Kaplama hızı oldukça düşüktür. Kaplama işleminden önce yüzeye özel bir işlem uygulamak gerekebilir.

2.1.1.2.1 Diyot Sıçratma

Düzenek kabaca biri anot ve diğeri katot olmak üzere iki düzlemsel plakanın karşılıklı yerleştirilmesiyle oluşturulur. Sistem yüksek vakum ortamında çalıştırılır. Anoda ve katoda yüksek gerilim uygulanır. Bu gerilimi oluşturmak için doğru akım (DC) güç kaynağı kullanılır. Bu gerilim genellikle kilovolt (kV) düzeyindedir. Gerilim uygulandığı esnada ortama argon gibi bir soy gaz verilir. Soy gaz, gerilimin etkisi ile iyonize olmaya başlar. İyonize olan gazlar kapalı sistemin içerisinde hareket eder ve katottan moleküller kopararak anoda yani ince film yapılacak yüzeye doğru molekülleri taşır. Bu esnada plazma ışması/plazma deşarjı denen “glow discharge” olayı gözlenir. Bu işlem sırasında katot çok ısınır. Aşırı ısınmayı önlemek için katot soğuk su sistemi ile soğutulur. Kaplama malzemesi yalıtkan (cam veya silikon monoksit gibi) ise plazma deşarjı oluşturabilmek için radyo frekans (RF) destekli sıçratma sistemleri kullanılır.



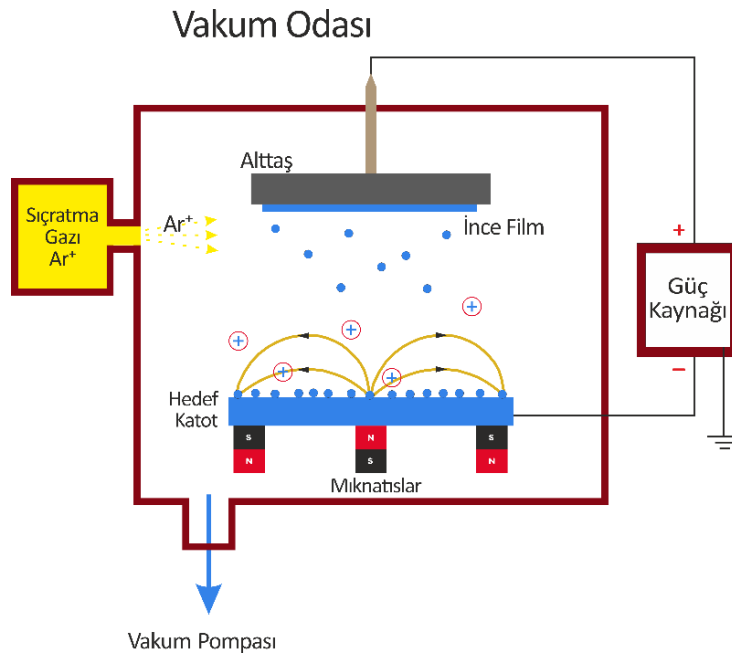
Şekil 9. Diyot sıçratma yönteminin şematik gösterimi

Avantajlar: Kullanımı kolaydır, iyi kalitede film üretilebilir, filmlerde kirlilik minimumdur.

Dezavantajlar: Sıçratma akısı çok düşüktür, ince filmler yüzeye yavaş depolanır. Kaplama yapılacak malzemede aşırı ısınma görülebilir bu da sistemin zarar görmesine neden olabilir.

2.1.1.2.2 Manyetik Sıçratma

Bu yöntem temel olarak diyot sıçratma tekniğine benzer. Diyot sıçratma tekniğinden farklı olarak sıçratma kalitesinin artırılması amacıyla, kaplanacak malzemenin alt kısmına mıknatısların yerleştirilmesi ilkesine dayanır [20]. Mıknatıslar sayesinde iyonize olan moleküller daha hızlı bir şekilde tabana yönlenererek kaplamanın kalitesi artırılabilir. Tabanda bulunan mıknatısların birbirine ters olacak şekilde yerleştirilmesiyle, yüzey üzerinde elektriksel alan ve manyetik alan birbirine dik bir şekilde oluşturulur ve yüzey üzerinde halkalar şeklinde bir alan elde edilir. Bu durum yüzeyden sıçrayan ikincil iyonların ve elektronların tuzaklanmasını sağlar. Bu sayede, yüzey üzerinde oluşacak akı kaybı minimize edilerek daha çok molekülün kaplama yapılacak yüzey üzerinde hapsedilmesine yardımcı olur. Böylece, sıçrayarak yüzeyden kaçan iyonlar engellenebilir ve kaplama hızı artırılabilir. Bu sistem sayesinde düşük basınçta ve düşük voltajda kaplama yapılabilir.



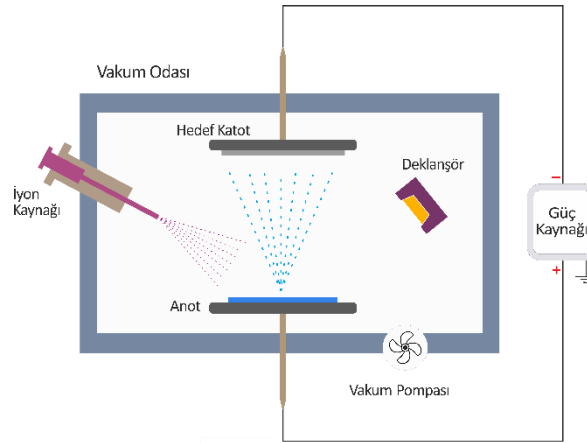
Şekil 10. Manyetik sıçratma yönteminin şematik gösterimi

Avantajlar: Kullanımı kolaydır, iyi kalitede film üretilebilir, filmlerde kirlilik minimum seviyededir, düşük sıcaklıklarda film üretilebilir.

Dezavantajlar: Kaplamada kullanılan hedef malzeme (target) üzerinde deformasyonlar görülebilir.

2.1.1.2.3 İyon Demeti ile Sıçratma

İyon demeti sıçratma tekniği temel olarak kaplama yapılacak malzemenin vakum ortamda iyon bombardımanına tutulması ile gerçekleştirilir. Böylece malzemenin yüzeyinden moleküller, iyonlar vasıtası ile kazınır. Hızlandırılmış yüklü iyonlar, ağır ve hızlı olduklarından yüzey üzerinde bulunan malzemeyi kolaylıkla kazıyabilir. Bu moleküller taban malzemesi üzerine yönlendirilirse yüzey üzerinde bir ince film tabakası oluşturabilir. İyonla kazıma işlemi, kaplama işleminin yanı sıra; geçirimli elektron mikroskobu numunesi hazırlanmasında, yüzey üzerinden kirlerin temizlenmesinde, paslı yüzeylerin paslarından arındırılması gibi farklı işlemlerde tercih edilmektedir.



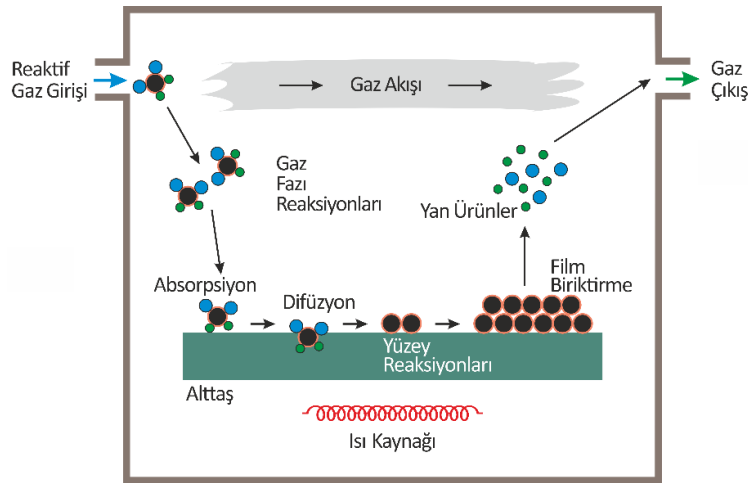
Şekil 11. İyon demeti ile sıçratma yönteminin şematik gösterimi

Avantajları: İyon demeti hassas bir şekilde odaklanabilir. Sıçratma hızı, enerji ve akım yoğunluğu gibi parametreler optimum koşullarda ayarlanabilir. Hem iletken hem de yalıtkan kaynak ya da taban malzemesi kullanılabilir. Düşük sıcaklıklarda iyi yapışma sağlar.

Dezavantajları: Yüksek gaz basınçlarında çalışma gerekliliğinin yanı sıra, iyon demeti çapının (~1 cm) küçük olması biriktirme hızını düşürecek şekilde işlemi etkiler. Ayrıca, büyük yüzey alanına sahip malzemeler üzerine aynı kalınlıkta filmler oluşturulamamaktadır.

2.1.2. Kimyasal Buhar Biriktirme

Kapalı bir ortamda ısı, elektrik akımı ya da yüksek gerilim ile uyarılmış malzeme üzerinden geçirilen reaktif bir gazın kimyasal reaksiyonu sonucu oluşan buhar kullanılarak gerçekleştirilen bir ince film üretim tekniğidir [21]. Elde edilen buhar fazındaki malzeme hedeflenen alttaş üzerinde biriktirilir ve ince film oluşum süreci başlar. İşlem sıklıkla yüksek sıcaklık altında gerçekleştirilir. Kimyasal buharlaştırma tekniği genellikle vakum ortamında gerçekleştirilir. Kaplama yapılacak yüzey özel bir işlemle temizlenerek kaplama işlemine hazırlanır. Kimyasal buhar biriktirme işlemi, magnetron sıçratma vb. gibi teknikler ile üretilmesi zor olan silikon dioksit (SiO_2), tungsten karbür (WC), Titanyum Nitrür, Alüminyum oksit ve karbon temelli filmlerin üretilmesinde sıklıkla kullanılır. Kimyasal buhar biriktirme yöntemi; optik ve optoelektronik malzemeler, nano makineler, mikro işlemciler, yarı iletken cihazlar, fotovoltaikler ve güneş pilleri, sensörler, görüntüleme elemanları, havacılık ve otomotiv sektörü gibi değişik alanlarda kullanılabilir.



Şekil 12. Kimyasal buhar biriktirme yönteminin şematik gösterimi

Avantajları: Daha yüksek kapasitede birikim oranı sağlar. Daha kalın film tabakalarının üretilmesine imkân verir. Homojen kaplamalar elde edilebilir. Daha düşük basınçlarda gerçekleştirildiği için güvenlidir.

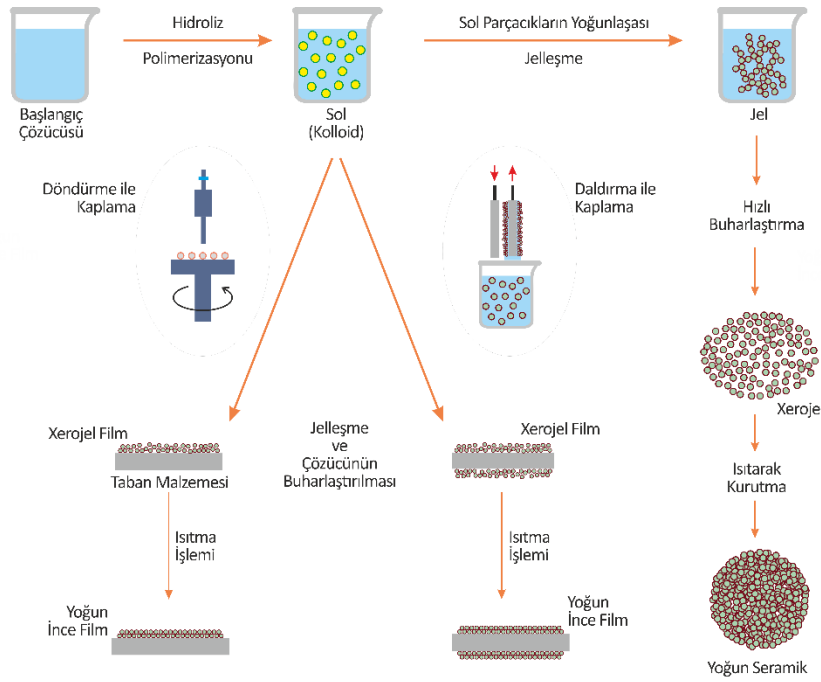
Dezavantajları: Çok yüksek sıcaklıklarda çalışmayı gerektirmektedir, pahalı bir sistemdir.

2.2 Sıvı Fazda Büyütme

Sıvı fazda büyütme teknikleri sol-jel, elektrokimyasal yöntem ve kimyasal banyo olmak üzere 3 gruba ayrılır. Bu teknikler aşağıda detaylı olarak incelenmiştir.

2.2.1. Sol - Jel Yöntemi

Sol-jel yöntemi her ne kadar ince film üretmek için temel yöntemler arasında geçse de yöntemin kendisi direkt olarak ince film üretimde kullanılmamaktadır [22]. Sol-jel yöntemi genelde kaplama yapılacak sıvının üretilmesi sürecine verilen isimdir. Sol (solution-çözelti) ve jel kelimelerinin bir araya gelmesinden oluşur. “Sol” olarak bilinen kolloidal süspansiyon oluşturulur; sıvı malzeme hazırlanırken genelde sıvı içerisinde metal tuzları asit, alkol vb. çözücüler yardımıyla çözülür. Polimerleşme ve jelleşme süreci çözeltideki bileşenlerin kısmen veya tamamen katılaşmasına neden olur. Çözücünün ortam koşullarında buharlaştırılması ile elde edilen jelle “kserojel” (xerogel) denir. Daha sonra kserojel, kaplanmak istenen yüzey üzerine ısıtma işlemi ile kaplanır ve böylece ince film tabakası oluşur. Burada temel mantık, sıvı fazda olan bir maddenin katı faza geçiş yapması ilkesine dayanmaktadır. Bu yüzden sıvı fazdan katı faza geçiş kontrol gerektirmektedir. Eğer bu süreç kontrol edilemezse, sıvı içerisinde çökelmeler başlayabilir. Bu yöntemle polimer temelli malzemelerden iyi kalitede ince film üretmek mümkündür. Film kalitesinin artırılması için başlamadan önce yüzey üzerine özel bir işlem yapılmasına ihtiyaç duyulabilir.



Şekil 13. Sol-jel yönteminin şematik gösterimi

Avantajlar: Bu yöntem oldukça basit ve ucuzdur. Homojen ve eşit kalınlıkta ince filmler elde edilebilir. Fazla enerjiye ve kompleks sistemlere ihtiyaç duymaz. Gözenekli (porous) filmler kolaylıkla üretilebilir. Kaplanacak yüzeyin şekli çok önemli değildir.

Dezavantajlar: Film kalitesi uygulama tipine göre farklılık göstermekle birlikte, verim düşüklüğü gözlemlenebilir ve kullanılan kimyasallar sağlığa zararlı olabilir. Film kalitesini arttırmak adına filmler üretildikten sonra parlatma, cilalama ya da tavlama işlemi gerektirebilir. Film kalınlığının kontrolü zordur.

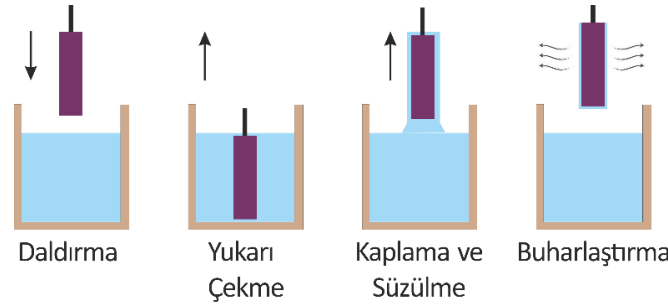
Sol-jel sisteminin uygulanmasında 3 temel teknik kullanılmaktadır; bunlar daldırma yöntemi, döndürme (spin) kaplama yöntemi ve spreyleme yöntemleridir.

2.2.1.1. Daldırma Yöntemi (Dip Coating)

Daldırma yöntemi hızlı bir şekilde düz olmayan yüzeylerin de kaplanmasına imkân veren bir yöntemdir. Elektronik, otomotiv, havacılık, inşaat, enerji ve gıda sektörlerinde sıklıkla kullanılır. Bu yöntemde hazırlanan çözelti içerisine kaplanmak istenen cisim, kontrollü bir hızda daldırılıp yukarı çekilerek çözeltinin bu cismin yüzeyini kaplaması sağlanır. Kaplama işleminin ardından fazla sıvı, malzemenin kenarlarından süzülerek (drenaj) uzaklaşır. Daha sonra sırasıyla

buharlaştırma ya da tavlama işlemleri uygulanabilir. Film kalitesinin artırılması adına tavlama işlemi sıklıkla uygulanmaktadır. Tavlama, özellikle metalik kaplamaların kristal yapısının sağlamlaştırılması amacıyla kaplama yapılan cisim ya da yüzeye dışarıdan ısı uygulanır. Bu işlem genelde fırın vs. gibi bir ortamda gerçekleştirilir. Bu işlemler sonucunda kaplama yapılmak istenen yüzey üzerinde film tabakası oluşur. Daldırma işleminin adımları şu şekildedir:

- a) Daldırma
- b) Yukarı çekme
- c) Süzülme
- d) Buharlaştırma
- e) Tavlama (opsiyonel)



Şekil 14. Daldırma ile kaplama yönteminin şematik gösterimi

Avantajlar: Yöntem oldukça hızlı ve homojen şekilde kaplama yapılmasına imkân verir. Üretilen kaplama eşit kalınlıktadır. Büyük ve düz olmayan yüzeylere başarılı bir şekilde kaplama yapılabilir. Verimliliği yüksek, uygulama maliyeti düşüktür.

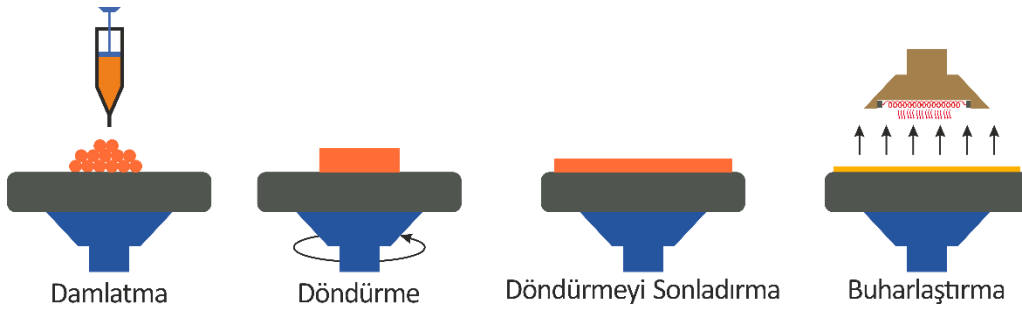
Dezavantajlar: Fazla malzeme gerektirir, süzülme vs. gibi işlemler sırasında malzeme kaybı yaşanabilir. Filmin kalınlığı daldırma hızına bağlı olduğundan kontrol etmek kolay değildir.

2.2.1.2 Döndürme ile Kaplama (Spin Coating)

Spin kaplama işlemi, temel olarak bir yüzeyin döndürülmesi prensibi kullanılarak malzemelerin yüzey üzerine kaplanması işlemidir [23]. Bu sebeple belirli bir hızda döndürülebilecek kadar küçük malzemelerin kaplanması için uygundur. Büyük yüzey alanına sahip malzemelerin bu yöntemle kaplanması pek uygun değildir. Çünkü, büyük cisimler belirli bir hızın üzerinde döndürüldüklerinde hem malzemenin kendisi hem de uygulayıcılar zarar görebilir. Bu süreç şu şekilde uygulanabilir:

- a) Damlatma
- b) Döndürme
- c) Döndürmeyi sonlandırma
- d) Buharlaştırma
- e) Tavlama (opsiyonel)

Damlatma işlemi, temel olarak kaplama sıvısının ya da sol-jel çözeltinin kaplama yapılacak alanın ortasına damlatılması ile gerçekleştirilir. Bu işlemden sonra, yüzey hızlı bir şekilde döndürülür ve sıvının yüzey üzerine dağılarak ince bir film halinde tüm yüzeye yayılması ve yüzeyi kaplaması sağlanır. Genellikle bu sürecin ardından sıvının buharlaşması beklenir. İstenilen film kalınlığına bağlı olarak baştan itibaren bu döngü tekrar edilebilir. Kaplama işlemi tamamlandığında tavlama işlemi uygulanabilir. Film kalitesinin artırılması adına tavlama işlemi sıklıkla uygulanmaktadır. Tavlama özellikle metalik kaplamaların kristal yapısının sağlamlaştırılması adına kaplama yapılan cisim ya da yüzeye dışarıdan sıcak uygulanır. Bu işlem genelde fırın vb. bir ortamda gerçekleştirilir. Bu işlemler sonucunda kaplama yapılmak istenen yüzey üzerinde film tabakası oluşur. Döndürme hızı, sıvının viskozitesi, damlatılan sıvının hacmi ve kaplanacak yüzeyin alanı film kalınlığının belirlenmesinde önemli parametrelerdir.



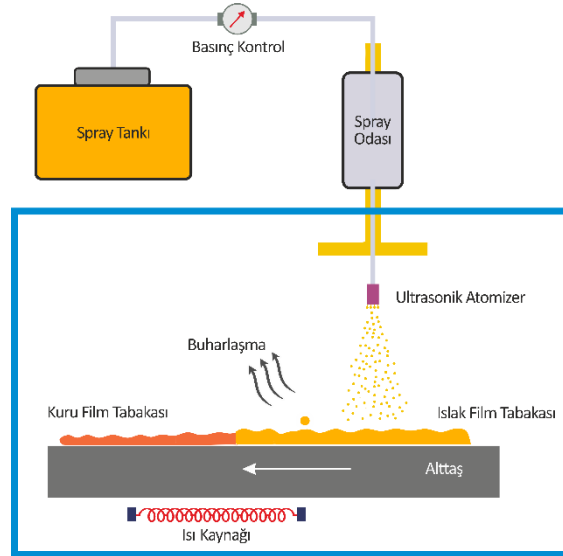
Şekil 15. Döndürme ile kaplama yönteminin şematik gösterimi

Avantajlar: Düşük maliyetlidir. Kaplama oldukça hızlı bir şekilde gerçekleştirilir ve basit bir yöntemdir.

Dezavantajlar: Film kalitesi çok yüksek değildir. Kalınlık kontrolü düşüktür. Malzemelerin etrafa saçılmasına ve kaplama yapılan ortamın kirlenmesine neden olur.

2.2.1.3 Spreyleme/Püskürtme ile Kaplama

Spreyleme ya da püskürtme yöntemi olarak bilinen yöntem, sıvıların kaplanacak yüzeyin üzerine hava, azot gazı ya da soy gazlar yardımı ile püskürtülmesi esasına dayanır. Elektronik, otomotiv, havacılık, inşaat, enerji ve gıda sektörlerinde sıklıkla kullanılır. Bu yöntem günlük hayatta kullandığımız spreyleyiciler ve püskürtücüler göz önüne alınarak geliştirilmiştir. Oldukça ucuz, hızlı, basit ve kullanışlı bir tekniktir. Sistem vakum ortamına ihtiyaç duymamaktadır ve oldukça ekonomiktir. Püskürtme miktarı doğru ayarlanır ve yeterince sıcak bir yüzeye uygulanırsa hızla ince film elde edilebilir. Kullanılan sıvının viskozitesi, püskürtücünün gücü ve uygulama süresi, ince filmin kalitesinin ve kalınlığının belirlenmesinde etkilidir. Film kalitesinin artırılması adına tavlama işlemi sıklıkla uygulanmaktadır. Tavlama özellikle metalik kaplamaların kristal yapısının sağlamlaştırılması adına kaplama yapılan cisim ya da yüzeye dışarıdan ısı uygulanır. Bu işlem genelde fırın vb. bir ortamda gerçekleştirilir. Bu işlemler sonucunda kaplama yapılmak istenen yüzey üzerinde film tabakası oluşur.



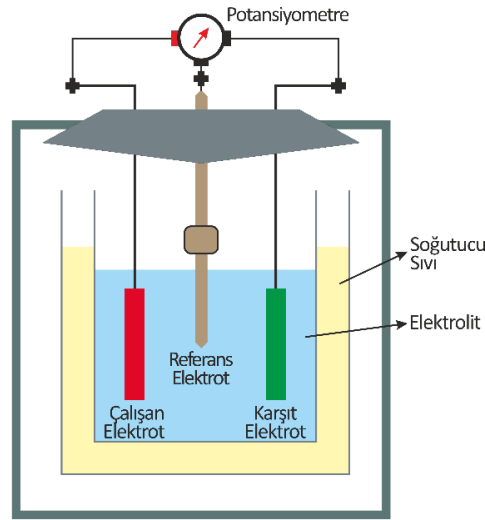
Şekil 16. Spreyleme/püskürtme ile kaplama yönteminin şematik gösterimi

Avantajlar: Basit, hızlı, ekonomik bir yöntemdir. Kompleks sistemlere ve vakum ortamlarına ihtiyaç duymaz. Farklı şekillerdeki yüzeylerin kaplanmasına imkân verir. Otonom sistemler bu işlemi kolaylıkla uygulayabilirler.

Dezavantajlar: Kaplama kalınlığının kontrolü ve optimizasyonu zordur. Elde edilen filmler tavlama gibi işlemler gerektirebilir.

2.2.2. Elektrokimyasal Yöntem

Elektrokimyasal yöntem ya da elektroliz yöntemi endüstride en sık kullanılan ve oldukça kaliteli filmler elde etme imkânı veren bir yöntemdir [24]. Kaplama malzemesi çözelti içerisinde bulunan bir yüzeye kolaylıkla kaplanabilir. Bu yöntem büyük boyutlu ve farklı geometrik şekilli malzemelerin homojen ve hızlı bir şekilde yüksek kalitede ince film ile kaplanmasına imkân verir. Dışarıdan uygulanan akımın ya da voltajın türüne göre “potansiyel kontrollü elektroliz” ve “akım kontrollü elektroliz” olmak üzere farklı yöntemler bulunmaktadır. Bu yöntemler kendi içerisinde farklı avantaj ya da dezavantajlara sahiptir. Örneğin; uygulama esnasında farklı potansiyeller için farklı reaksiyon mekanizmaları geliyorsa potansiyel kontrollü elektroliz bu açıdan başarılı bir yöntem olabilir. Uygulanan gerilim, çözelti pH’ı, akım, çözelti hacmi, elektrot tipleri, elektrolit sıvısına katılan madde türleri, elektrolit sıcaklığı gibi etkenler kaplamanın hızını, film kalitesini ve film kalınlığını etkiler. Kısaca sistem, içerisinde tuzlar çözülmüş bir çözeltide iki farklı elektrot yerleştirilerek bu elektrotlara bir potansiyel uygulanması ile çalışır. Elektrotlara gerilim uygulandığında, elektrotlardan birinin üzerinden malzemeler iyon halde kopmaya ve çözeltiye karışmaya başlarken, diğer elektrota da kaplama yapılmak istenen malzeme sabitlenir. Çözeltinin içerisinde karışan iyonlar, elektrik alan etkisi ile diğer elektrota giderek yapışır ve böylece istenilen yüzey üzerinde ince film oluşumu başlatılmış olur. Ayrıca, elektrolit içerisinde serbest halde bulunan iyonlar da bu işlem sırasında karşı elektrota doğru hareket ederek ince filmin içerisine karışabilir.



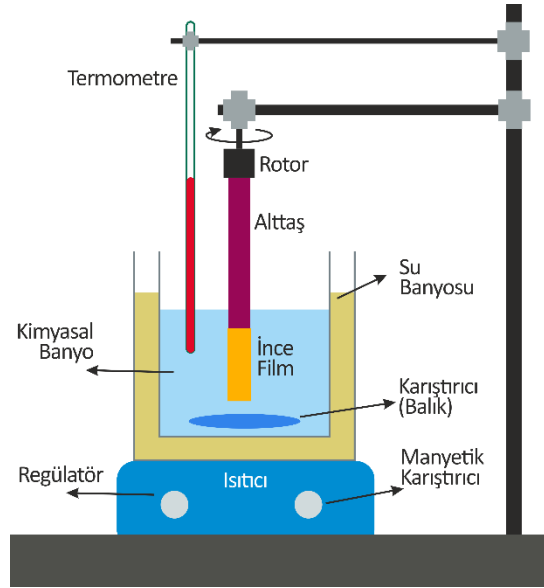
Şekil 17. Elektroliz ile kaplama yönteminin şematik gösterimi

Avantajlar: Düşük maliyetlidir, yüksek saflıkta ince filmler üretilmesine imkân verir, malzeme çeşitliliği fazladır ve farklı materyaller aynı sistem ile kaplanabilir.

Dezavantajlar: İnce film kalınlık kontrolü çok azdır, her malzeme için uygun olmayabilir. Özellikle karbon temelli ve yalıtkan malzemeleri bu yöntem ile kaplamak çok zordur.

2.2.3. Kimyasal Banyo

Kimyasal banyo yöntemi, temel olarak daldırma yöntemine benzer. Bu yöntem daldırma yönteminden farklı olarak kaplama yapılmak istenen malzemenin daldırılan sıvı ile reaksiyona girmesine imkân verir. Kaplama işlemi sırasında çözelti sürekli karıştırılarak çözeltinin homojen bir yapıda kalması sağlanır. Böylece kaplama işlemi sırasında homojen filmler oluşturulur. pH, çözelti sıcaklığı, çözelti yoğunluğu, çözelti hacmi gibi parametreler ince film kalınlığını ve kalitesini etkiler. Elektronik, otomotiv, havacılık, inşaat, enerji ve gıda sektörlerinde sıklıkla kullanılır.



Şekil 18. Kimyasal banyo yönteminin şematik gösterimi

Avantajlar: Ucuz, basit ve pratik bir yöntemdir. Geniş yüzeyleri kaplamak için uygundur. Hızlı bir yöntemdir ve düşük sıcaklıklarda da gerçekleştirilebilir.

Dezavantajlar: Film kalınlığı kontrol edilemez. İnce filmlerde kirlilik görülebilir ve kaplama homojen olmayabilir.

3. SONUÇ

Yayınımızda, endüstride ve bilimsel araştırmalarda sıklıkla kullanılan temel ince film üretim teknikleri tartışıldı. İnce film üretiminde kullanılan her bir temel tekniğin sahip olduğu avantajlar ve dezavantajlar ortaya konuldu. İnce filmlerin potansiyel uygulama alanlarına değinildi. Çalışmanın, temel ince film yöntemleri hakkında bilgi sahibi olmak isteyen kişiler için uygun olduğu düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] W. F. Smith (1986), Principles of Materials Science and Engineering, McGraw Hill Book Co., New York.
- [2] A. Goswami, Thin Film Fundamentals (New Age International, New Delhi, n.d.).
- [3] L. Vossen J and W. Kern (1991), Thin Film Processes II , 1st ed., Academic Press, San Diego.
- [4] S. Zhang and D. Zhao (2013), Aerospace Materials Handbook , 1st ed., CRC Press, Florida.
- [5] P. Louda, J. Achiev. Mater. 24, 50 (2007).
- [6] N. Aslan, M. Ş. Kurt, and M. Mehmet Koç (2022), Opt. Mater. (Amst). 126, 112229.
- [7] F. Yakuphanoglu and W. A. Farooq (2011), Synth. Met. 161, 379.
- [8] N. Aslan, B. Aksakal, B. Dikici, and Z. A. Sinirlioglu (2022), J. Mater. Sci. 57, 16858.
- [9] J. I. Ahuir-Torres (2023), J. Mater. Electron. DEVICES 1, 33.
- [10] J. I. Ahuir-Torres and M. C. Sharp (2022), Lasers Manuf. Mater. Process. 9, 454.
- [11] N. Yamamoto, H. Makino, T. Yamada, Y. Hirashima, H. Iwaoka, T. Ito, A. Ujihara, H. Hokari, H. Morita, and T. Yamamoto (2010), J. Electrochem. Soc. 157, J13.
- [12] S. Niyomsoan, W. Grant, D. L. Olson, and B. Mishra (2002), Thin Solid Films 415, 187.
- [13] H. Frey (2015) in Handb. Thin-Film Technol., Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 1–3.
- [14] L. Smardz, U. Köbler, and W. Zinn (1991), Vacuum 42, 283.
- [15] C. Shi, Z. Chen, G. Shi, R. Sun, X. Zhan, and X. Shen, (2012), Thin Solid Films 520, 4898.
- [16] K. Reichelt and X. Jiang, (1990), Thin Solid Films 191, 91.
- [17] J. A. Greer (2013), J. Phys. D. Appl. Phys. 47, 034005.



- [18] J. Vyskočil and J. Musil (1990), *Surf. Coatings Technol.* 43–44, 299.
- [19] G. Bräuer, B. Szyszka, M. Vergöhl, and R. Bandorf (2010), *Vacuum* 84, 1354.
- [20] T. K. Subramanyam, B. Srinivasulu Naidu, and S. Uthanna (2001), *Appl. Surf. Sci.* 169–170, 529.
- [21] J. O. Carlsson and P. M. Martin (2010), in *Handb. Depos. Technol. Film. Coatings Sci. Appl. Technol.*, William Andrew Publishing, pp. 314–363.
- [22] D. H. Chen and X. R. He (2011), *Mater. Res. Bull.* 36, 1369.
- [23] R. G. Larson and T. J. Rehg (1997), in *Liq. Film Coat.*, Springer, Dordrecht, pp. 709–734.
- [24] G. Oskam, J. G. Long, A. Natarajan, and P. C. Searson, J.(1998), *Phys. D. Appl. Phys.* 31, 1927.

KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK ve FEN BİLİMLERİ DERGİSİ
KIRKLARELİ UNIVERSITY JOURNAL of ENGINEERING and SCIENCE

Kırklareli Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisinde fen ve mühendislik alanında özgün araştırma makaleleri, derlemeler, kısa makaleler, teknik not, vaka takdimleri, kitap eleştirileri ve bilimsel nitelikli editöre mektuplar yayınlanır. Dergi Aralık ve Haziran aylarında olmak üzere yılda iki kez yayınlanır. Yayınlanmak üzere gönderilen eserlerin başka bir yerde yayınlanmamış veya yayınlanmak üzere gönderilmemiş olması gerekmektedir. Derginin yayın dili Türkçe ve İngilizcedir. Dergide yayınlanacak eserlerin her türlü sorumluluğu yazar/larına aittir. Makaleler, <http://dergipark.ulakbim.gov.tr> adresine gönderilmelidir. Makalenin hakem incelemesi için kabul edilmesi durumunda, Telif Hakkı Devir Formu tüm yazarlarca imzalanarak editörlüğe gönderilmelidir. Dergiye gönderilen makaleler, öncelikle Dergi Yayın Kurulu tarafından bilimsel içerik ve şekil bakımından ön incelemeye tabii tutulur. Dergi Yayın Kurulu, yayınlanabilecek nitelikte bulmadığı veya yazım kurallarına uygun hazırlanmayan makaleleri hakemlere göndermeden red kararı verme hakkına sahiptir. Değerlendirmeye alınabilecek olan makaleler, incelenmek üzere iki ayrı hakeme gönderir. Dergi Yayın Kurulu, hakem raporlarını dikkate alarak makalelerin yayınlanmak üzere kabul edilip edilmemesine karar verir.

Yazım Kuralları / Instructions

- 1.** Yazı tümüyle (metin, tablolar, denklemler, çizimler) bilgisayarda düzenlenmeli ve baskıya hazır biçimde teslim edilmelidir. Yazı, A4 (210 x 297 mm) boyutlu kâğıda, Word ortamında, 12 punto (ana başlık 14 punto) Times New Roman font kullanılarak, bir buçuk aralıkla ve her iki yana yaslı olarak yazılmalı, kâğıdın tüm kenarlarından 25 mm boşluk bırakılmalıdır.
- 2.** Çizimler ve tablolarla birlikte, makaleler 25 sayfadan, teknik notlar 6 sayfadan daha uzun olmamalıdır.
- 3.** Yazı, elektronik ortamda (CD veya e-posta eki) dergi e-posta adresine veya dergi yazışma adresine gönderilmelidir.
- 4.** Metin yalın bir dil ve anlatımla yazılmalı, Türkçe yazım kurallarına uygun olmalı, üçüncü tekil şahıs ve edilgen fiiller kullanılmalı, devrik cümleler içermemelidir.
- 5.** Bölümler (i) özet ve anahtar kelimeler, (ii) abstract and keywords (İngilizce başlık, özet ve anahtar kelimeler), (iii) ana metin (giriş, materyal ve metod, sonuçlar vb.), (iv) semboller, (v) teşekkür (gerekliyse) ve (vi) kaynaklar sırası içinde düzenlenmelidir.
- 6.** Başlık kısa ve açık olmalı, içeriği yansıtabilmelidir. Başlık büyük harfle ortalanarak yazılmalıdır.
- 7.** Yazar/ların adları kısaltmasız, başlığın altına yan yana, soyadlar büyük harfle ortalanarak 11 punto boyutunda yazılmalıdır. Yazar isimlerinden sonra virgül ve adres belirtmek için üst simge olarak rakam kullanılmalıdır. Yazışmaların yapılacağı sorumlu yazar isminde mutlaka üst simge yıldız (*) sembolü olmalıdır. Adres/ler tam yazılmalı, kısaltma yapılmamalıdır. Sorumlu yazarın e-mail adresi dipnot olarak bulunmalıdır. Yazar adları yazılırken herhangi bir akademik unvan belirtilmemelidir.
- 8.** Özet (ve Abstract) çalışmanın amacını, kapsamını, yöntemini ve ulaşılan sonuçları kısaca tanımlamalı ve 200 kelimeyi aşmamalıdır. En az üç tane anahtar kelime verilmelidir. Anahtar kelimeler, zorunlu olmadıkça başlıktakilerin tekrarı olmamalıdır. Başlık, Özet ve İngilizce başlıklı Abstract birinci sayfaya sığdırılmalı, birinci sayfanın altında on satır boş bırakılmalı ve ana metin ikinci sayfadan başlatılmalıdır.
- 9.** Bölüm ve alt bölüm başlıkları numaralanmalıdır (TS1212).
- 10.** Semboller uluslararası kullanıma uygun seçilmeli; her bir sembol ve varsa kısaltmalar ilk kullanıldığı yerde tanımlanmalı, ayrıca metnin sonunda (Kaynaklardan önce) tüm semboller alfabetik sıra ile (önce Latin, sonra Yunan alfabesi) listelenmelidir.
- 11.** Matematiksel ifadeler (denklemler) Word ortamında "Equation Editör" kullanılarak yazılmalıdır. Metin içerisinde geçen denklemler numaralanmalı ve bu numaralar satır sonunda parantez içinde gösterilmelidir.

12. Tablo dışında kalan fotoğraf, resim, çizim ve grafik gibi gösterimler “Şekil” olarak verilmelidir. Resim, şekil ve grafikler net ve ofset baskı tekniğine uygun olmalıdır. Her tablo ve şeklin metin içindeki yeri belirtilmelidir. Tüm tablo ve şekiller makale boyunca sırasıyla numaralandırılmalı (Tablo 1., Tablo 2., Şekil 1., Şekil 2. gibi) başlık ve açıklama içermelidir. Grafik ve şekiller basılı sayfa boyutları dikkate alınarak çizilmelidir. Şekillerin sıra numaraları ve başlıkları şeklin altına, tabloların ki ise tablonun üstüne yazılmalıdır.

13. Yazılarda yalnızca SI birimleri kullanılmalıdır.

14. Teşekkür olabildiğince kısa olmalı, çalışmaya katkısı ve desteği bulunan kişi ve kuruluşlar belirtilmelidir.

15. Dergimize yayınlanmak üzere gönderilen makaleler benzerlik kontrol programı ile kontrol edilecektir. Benzerlik raporu ilgili yayın danışma kurulu üyesine kontrol etmesi için gönderilecektir. Benzerlik raporu sonucu yüksek çıkan makaleler için yazardan düzenleme talep edilir.

16. Kaynaklar metinde köşeli parantez ([]) içinde numaralanmalı ve kaynaklar listesinde metin içinde veriliş sırasına uygun biçimde belirtilmelidir. Yayınlanmamış bilgiler kaynak olarak verilmemelidir. Ancak tamamlanmış ve jüriden geçmiş tezler ve DOI numarası olan makaleler kaynak olarak verilebilir.

Kaynaklarda şu bilgiler verilmelidir:

Kaynak makale ise: Yazarın soyadı, adının baş harfi, diğer yazarlar, makalenin tam başlığı, derginin adı, cilt, sayı, başlama ve bitiş sayfaları, basıldığı yıl.

Örnek: [1] Naghdi, P. M., Kalnins, A., On Vibrations of Elastic Spherical Shells. J. Appl. Mech., C 29, S 65-72, 1962.

Kaynak kitap ise: Yazarın soyadı, adının baş harfi, diğer yazarlar, kitabın adı, cilt numarası, varsa editörü, yayınlandığı yer, yayınlandığı yıl.

Örnek: [2] Kraus. H., Thin Elastic Shells, New York. Wiley, 1967.

Kaynak bildiri ise: Yazarın soyadı, adının baş harfi, diğer yazarlar, bildirinin adı, konferansın adı, yapıldığı yer, başlama ve bitiş sayfaları, yıl.

Örnek: [3] Cappleman. O., Communication in the Studio, FIDE'98 International Conference on First Year Architectural Design Education Proceedings, Faculty of Architecture İstanbul Technical University, Cilt V, S 48-54, 1998

Kaynak tez ise: Yazarın soyadı, adının baş harfi, tezin adı, derecesi, sunulduğu kurum, başlama ve bitiş sayfaları, yıl.

Örnek: [4] Özşahin. B., Yalıtım Kalıplı Donatılı Beton Duvarlı Binaların Yapımsal ve Ekonomik Uygulanabilirliği, Doktora Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, S 5-9, 2011

Kaynak rapor ise: Yazarın soyadı, adının baş harfi, diğer yazarlar, raporun adı, türü, numarası, kuruluşun adı, yayınlandığı yer, yıl.

Örnek: [5] Makarewicz. J.C., Lewis. T., Bertram. P., Epilimnetic Phytoplankton and Zooplankton Biomass and Species Composition in Lake Michigan, 1983-1982, IL EPA 905-R-95-009, U.S EPA Great Lakes Natioanl Program, Chicago, 1995

Kaynak internet ise: Eğer bir bilgi herhangi bir internet sayfasından alınmış ise (internetten alınan ve dergilerde yayınlanan çalışmalar hariç)

Yazarın soyadı, adının baş harfi, diğer yazarlar, çalışmanın adı, internet sitesinin adı ve adresi, internet sitesine erişim tarihi

Örnek: [6] Pieper. C. M., Introduction to Activity Based Costing, ATechnical Bulletin From ABC Technologies, www.abctech.com 1998, Erişim tarihi: 12.10.2014

KIRKLARELİ UNIVERSITY JOURNAL of ENGINEERING and SCIENCE
KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK ve FEN BİLİMLERİ DERGİSİ

Kirklareli University Journal of Engineering and Science welcome materials for publications as original research papers, short communications, technical notes, case reports, book/software reviews and scientific letter to editors. Kirklareli University Journal of Engineering and Science is published two issues per year in June and December. Manuscripts submitted to the journal are only accepted if they have not been or will not be published and should not be under review elsewhere. Manuscript's language is English and Turkish. All responsibility of the studies belongs to the authors. Studies should be prepared in accordance with international scientific ethics rules. Studies must be sent to <http://dergipark.ulakbim.gov.tr>.

For the studies accepted for publication in our journal, copyright transfer form signed must be sent to the journal editorial. Papers are firstly checked for their suitability for technical and journal's style. The manuscripts that do not suit journal's standards or not suitable correspond to the scope journal are refused with unexplained reason. Manuscripts that are found suitable for peer review will be assigned to two expert reviewers. The final decision to accept or reject a manuscript will be made by the Editorial Boards. After review process, the Editorial Boards will inform the authors of acceptance, rejection or necessity of revision of the manuscript.

Instructions / Yazım Kuralları

- 1.** Text (tables, equations, figures, pictures etc.) should be prepared using Microsoft Word Processor with Times New Roman font and 12 point (The title 14 point) size. Manuscripts should be written with 1,5 line spacing on A4 (210 x 297 mm) sized typing paper with 25 mm all margins.
- 2.** The maximum number of pages for original research papers (including tables, figures and references) should be 25 and for the technical notes should be 6 respectively.
- 3.** Paper should be sent online by the journal web site or should be posted CD by journal correspondence address.
- 4.** Text should be written in plain language and narrative, it should be free from any spelling or grammatical errors and the third person singular passive verb should be used.
- 5.** The parts should be in order to (i) Turkish abstract and key words, (ii) English abstract and key words, (iii) main text (Introduction, Material and Methods, Results, Discussions etc.), (iv) symbols, (v) acknowledgements and (vi) references.
- 6.** The title suitable for the content should be clear, as short as possible and centered on the page with the capital letters.
- 7.** All Authors full names should be written as lower case 11 font size in the middle and surname of the authors should be written capital letters. After authors name and surnames, authors' addresses should be stated with superscript numbers (e.g. 1, 2, 3). Corresponding author's full name should be marked with an asterisk (*). All authors' addresses must be typed with lower case 11 font in the center. The corresponding author's contact address and e-mail address should be given. Names of institutions and cities each authors also must be stated. Authors' name and surname should not indicated any academic title.
- 8.** A brief, informative English and Turkish abstract, not exceeding 200 words, should be typed in 12 font size. Immediately following the abstract, authors should provide at least 3 English and Turkish keywords or phrases that reflect content of the article. The key words should not repeat of the title as possible.
- 9.** Section and sub-section title should be numbered (TS1212).
- 10.** In general, the recommendations of the SI units should be followed. Symbols, formulas and equations should be written with great care, capitals and lower case letters being distinguished where necessary. Unusual symbols employed for the first time should be defined by name in the left-hand margin. Abbreviations require definition when first used.

- 11.** Mathematical expressions should be written by an equation editor (Word format). Each equation in text should be numbered and numbers should be shown in parentheses at the end of the line.
- 12.** The drawings, photos and graphs except the tables should be given as "Figure" in manuscript. Electronically submitted figures and graphs are preferred *.jpg or *.tiff formats. Do not give magnification on scales in the figure titles; instead draw bar scales directly on the figures. All the tables and figures must be referred in the text. The numbers and headings of figures must be written below the figure. The numbers and headings of tables should be written the top of the table.
- 13.** SI (System International d'Unités) units should be used.
- 14.** The acknowledgement in the manuscript should be short as possible and it should be indicated if any support is given to work by an institution or a person.
- 15.** Manuscripts submitted for publication in our journal are checked a similarity control software. Similarity report will be sent on the advisory board to be checked. If the similarity control program report results as high similarity, manuscripts are sent back to authors for them to make necessary changes.
- 16.** Literature references are to be numbered consecutively in square brackets. The list of references should be given at the end of the paper in order of their first appearance in the text. Unpublished data should not be used as references. But MSc and PhD thesis, accepted by jury and the manuscripts not published yet if accepted for publication with DOI numbers can be use as references.

References should be provided with the following information:

If the reference is a journal paper: Author surname, first name initial(s), title of the paper, journal name, volume number, pages, year.

Example: [1] Naghdi, P. M., Kalnins, A., On Vibrations of Elastic Spherical Shells. J. Appl. Mech., C 29, S 65-72, 1962

If the reference is a book: Author surname, first name initial(s), title of the book, volume number, editor(s) (if provided), place of print , page interval, year.

Example: [2] Kraus. H., Thin Elastic Shells, New York. Wiley, 1967.

If the reference is a congress presentation: Author surname, first name initial(s), title of the presentation, name of the congress, seminar or conference, place, page interval, year.

Example: [3] Cappleman. O., Communication in the Studio, FIDE'98 International Conference on First Year Architectural Design Education Proceedings, Faculty of Architecture İstanbul Technical University, Cilt V, S 48-54, 1998

If the reference is a printed thesis: Author surname, first name initial(s), title of the thesis, thesis type (MSc. or Ph.D), institute submitted, place, page interval, year.

Example: [4] Özşahin. B., Yalıtım Kalıplı Donatılı Beton Duvarlı Binaların Yapımsal ve Ekonomik Uygulanabilirliği, Ph.D, Trakya University Graduate School of Natural and Applied Sciences, P 5-9, 2011

If the reference is a source publication: Author surname, first name initial(s), report name, name of the organization (if the report is prepared by an organization), report number (if applicable), place, page interval, year.

Example: [5] Makarewicz. J.C., Lewis. T., Bertram. P., Epilimnetic Phytoplankton and Zooplankton Biomass and Species Composition in Lake Michigan, 1983-1982, IL EPA 905-R-95-009, U.S EPA Great Lakes Natioanl Program, Chicago, 1995

For Electronic Encyclopedia and books: Author surname, first name initial(s), title of the paper, journal name, website name and web address, date of access

Example: [6] Pieper. C. M., Introduction to Activity Based Costing, A Technical Bulletin From ABC Technologies, www.abctech.com 1998, 12.10.2014



MÜHENDİSLİK ve FEN BİLİMLERİ DERGİSİ
JOURNAL of ENGINEERING and SCIENCE
http://fbdergi.klu.edu.tr

TELİF HAKLARI DEVİR FORMU

Makale Adı:

Yazarların Ad/ları:

Biz aşağıda imzaları bulunan yazarlar, sunduğumuz makalenin orijinal olduğunu; başka bir yerde yayınlanmak üzere verilmediğini, daha önce yayınlamadığını, eğer, tümüyle ya da bir bölümü yayınlandı ise yukarıda adı geçen dergide yayınlanabilmesi için gerekli her türlü iznin alındığını ve orijinal telif hakkı devir formu ile birlikte Kırklareli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi Editörlüğü'ne gönderildiğini garanti ederiz.

Makalenin telif haklarından feragat etmeyi kabul ederek sorumluluğu üstlenir ve imza ederiz.

Bu vesileyle makalenin telif hakkı Kırklareli Üniversitesi'ne devredilmiştir. Kırklareli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi Editörlüğü makalenin yayınlanabilmesi konusunda yetkili kılınmıştır. Bununla birlikte yazar/ların aşağıdaki hakları saklıdır:

1. Telif Hakkın dışında kalan patent vb. bütün tescil edilmiş haklar.
2. Yazarın gelecekteki yapacağı kitap ve dersler gibi çalışmalarında; makalenin tümü veya bir bölümünü ücret ödemeksizin kullanma hakkı.
3. Makaleyi satmamak koşulu ile kendi amaçları için çoğaltma hakkı.

Yazar Adı: Tarih:/...../..... İmza:

Yazar Adı: Tarih:/...../..... İmza:

Yazar Adı: Tarih:/...../..... İmza:

Yazar Adı: Tarih:/...../..... İmza:

Yazar Adı: Tarih:/...../..... İmza:

Yazar Adı: Tarih:/...../..... İmza:

(Yazar isimleri makaledeki sıraya göre yazılacak ve Telif Hakları Devir Formu tüm yazarlar tarafından imzalanacaktır.)

Makaleyi Gönderen Sorumlu Yazar:

Adı -Soyadı:

Yazışma Adresi:

Telefon: ()

Fax: ()

E-posta:

Bu form makale hakem incelemesi için dergi editörlüğüne kabul edildikten sonra doldurulup imzalandıktan sonra basılı 2 nüsha halinde "Kırklareli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kavaklı Yerleşkesi Değirmencik Yolu Üzeri Kavaklı/ Kırklareli" adresine gönderilmelidir.



JOURNAL of ENGINEERING and SCIENCE
MÜHENDİSLİK ve FEN BİLİMLERİ DERGİSİ
http://fbedergi.klu.edu.tr

COPYRIGHT TRANSFER FORM

Manuscript Title:

Full names of all authors:

The undersigned authors, we guarantee that our submitted manuscript is original work; it has not been published and is not being submitted or considered for publication elsewhere, if, in whole or part of publication of the magazine was published for the above-mentioned receipt of all necessary permits and was sent to Editorial Office of Kırklareli University Journal of Engineering and Science with copyright transfer form.

We agree to waive the right to assume the responsibility of the copyright of the article and thank signature. This article is hereby transferred to the copy right of Kırklareli University. Kırklareli University Journal of Engineering and Science Editor of the publication the article is authorized. However, the authors reverse the following rights:

1. All proprietary rights Copyrights outside, such as patents.
2. to use, free of charge, all parts of this article for the authors' future works in books, lectures.
3. the right to reproduce the article for their own purposes provided the copies are not offered for sale.

Author Name: Date:/...../..... Signature:

Author Name: Date:/...../..... Signature:

Author Name: Date:/...../..... Signature:

Author Name: Date:/...../..... Signature:

Author Name: Date:/...../..... Signature:

Author Name: Date:/...../..... Signature:

(The authors will be written in the order of to appear on manuscript and copyright transfer form should be signed by all authors)

Corresponding Author's:

Name-Surname:

Address:

Phone: ()

Fax: ()

E-mail:

Please, fill in this form after your manuscript accepted by journal editorial for referee review, sign and sent two copies published form to address: "Kırklareli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kavaklı Yerleşkesi Değirmencik Yolu Üzeri Kavaklı/ Kırklareli"