



KARAMANOĞLU MEHMETBEY ÜNİVERSİTESİ

Mühendislik ve Doğa

Bilimleri Dergisi



E-ISSN
2687-5071

Cilt/Volume 6
Sayı/Issue 2

KARAMANOĞLU MEHMETBEY ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK VE DOĞA BİLİMLERİ DERGİSİ
KARAMANOĞLU MEHMETBEY UNIVERSITY JOURNAL OF ENGINEERING AND NATURAL SCIENCES

Fen Bilimleri Enstitüsü dergisidir.





KMUJENS

**KARAMANOĞLU MEHMETBEY ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE DOĞA BİLİMLERİ DERGİSİ**

**KARAMANOĞLU MEHMETBEY UNIVERSITY
JOURNAL OF ENGINEERING AND NATURAL
SCIENCES**

**CİLT / VOLUME 6
SAYI / ISSUE 2**

**ARALIK / DECEMBER 2024
KARAMAN**

Dizinler/Indexes

Eurasian Scientific Journal Index (ESJI), Google Scholar, Asos İndeks, Road, Academindex, Asian Science Citation Index (ASCI), Scientific Indexing Services (SIS), Crossref, OpenAlex, Scite

İletişim/Contact

*Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yunus Emre Yerleşkesi 70200 Karaman/Türkiye
Telefon: +90 338 226 2160 Fax: +90 338 226 2150 E-mail: fbeditor@kmu.edu.tr*

Web Adresi: <http://dergipark.org.tr/tr/pub/kmujens>

*Karamanoğlu Mehmetbey University Science and Technology Institute Yunus Emre Campus 70200 Karaman/Turkey
Phone: +90 338 226 2160 Fax: +90 338 226 2150 E-mail: fbeditor@kmu.edu.tr*

Web Address: <http://dergipark.org.tr/en/pub/kmujens>

DERGİ SAHİBİ/JOURNAL OWNER

Prof. Dr. Mehmet GAVGALI
Karamanoğlu Mehmetbey University, Türkiye

İMTİYAZ SAHİBİ/HOLDER OF CONCESSION

Murat MAYDA
Karamanoğlu Mehmetbey University, Türkiye

BAŞ EDİTÖR/EDITOR IN CHIEF

Burak SÜRMEŒ
Karamanoğlu Mehmetbey University, Türkiye

EDİTÖR YARDIMCILARI/CO-EDITORS

Mehmet ŞAHBAZ
Karamanoğlu Mehmetbey University, Türkiye

Sezgin ESER
Karamanoğlu Mehmetbey University, Türkiye

İSTATİSTİK EDİTÖRÜ/STATISTICS EDITOR

Hasan YILDIRIM
Karamanoğlu Mehmetbey University, Türkiye

DİL EDİTÖRÜ/ LANGUAGE EDITOR

Buğrahan EMSEN
Karamanoğlu Mehmetbey University, Türkiye

ALAN EDİTÖRLERİ/FIELD EDITORS

Ahmet İPEK
Karamanoğlu Mehmetbey University, Türkiye

Galip OTURANÇ
Karamanoğlu Mehmetbey University, Türkiye

Bekir GÜNEY
Karamanoğlu Mehmetbey University, Türkiye

Güliz TOZ
Karamanoğlu Mehmetbey University, Türkiye

Ceren BAYRAÇ
Karamanoğlu Mehmetbey University, Türkiye

İbrahim AKTAŞ
Karamanoğlu Mehmetbey University, Türkiye

Cüneyt CESUR
Karamanoğlu Mehmetbey University, Türkiye

Kemal ARMAĞAN
Karamanoğlu Mehmetbey University, Türkiye

Elif YAVUZASLANOĞLU
Karamanoğlu Mehmetbey University, Türkiye

Mehmet Ali TEMİZ
Karamanoğlu Mehmetbey University, Türkiye

Fatma Nur ARSLAN
Karamanoğlu Mehmetbey University, Türkiye

Mehmet Cabir AKKOYUNLU
Karamanoğlu Mehmetbey University, Türkiye

Fuat BAŞÇİFTÇİ
Karamanoğlu Mehmetbey University, Türkiye

Mehmet YERLİKAYA
Karamanoğlu Mehmetbey University, Türkiye

Mustafa ÜNAL
Karamanoğlu Mehmetbey University, Türkiye

Selami BALCI
Karamanoğlu Mehmetbey University, Türkiye

Numan Emre GÜMÜŞ
Karamanoğlu Mehmetbey University, Türkiye

Sümeysra Sultan TİSKE İNAN
Karamanoğlu Mehmetbey University, Türkiye

Osman TUNCA
Karamanoğlu Mehmetbey University, Türkiye

Yunus Emre FIRAT
Karamanoğlu Mehmetbey University, Türkiye

Ömer ÇEÇEN
Karamanoğlu Mehmetbey University, Türkiye

Yusuf DİLAY
Karamanoğlu Mehmetbey University, Türkiye

Sabire YERLİKAYA
Karamanoğlu Mehmetbey University, Türkiye

Yusuf Alparslan ARGUN
Karamanoğlu Mehmetbey University, Türkiye

Said Efe DOST
Karamanoğlu Mehmetbey University, Türkiye

EDİTÖR KURULU/EDITORIAL BOARD

Ali GHOLAMIFARD
Lorestan University, Iran

Marwa Waseem HALMY
Alexandria University, Egypt

Aykut BOSTANCI
Wake Forest University, U.S.A.

Mohsin KHAN
Aligarh Muslim University, India

Arezoo PARAVAR
Shahed University, Iran

Muhammad Usman ANWAR
*National University of Sciences and Technology,
Germany*

Fikret SAYGIN
*Sivas University of Science and Technology,
Türkiye*

Salih SARICAOĞLU
Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Türkiye

Furkan Türker SARICAOĞLU
Bursa Technical University, Türkiye

Shakir ALI
Aligarh Muslim University, India

Magdalena DOBISZEWSKA
Cracow University of Technology, Poland

TEKNİK EDİTÖRLER/TECHNICAL EDITORS

Yasin UZUN
Karamanoğlu Mehmetbey University, Türkiye

Merve GÖRGÜLÜ
Karamanoğlu Mehmetbey University, Türkiye

YAYIN VE MİZANPAJ EDİTÖRLERİ/EDITORIAL AND LAYOUT EDITORS

Sezgin ESER
Karamanoğlu Mehmetbey University, Türkiye

Murat ARI
Karamanoğlu Mehmetbey University, Türkiye

SEKRETARYA/SECRETARIAT

Burak AYIK
Karamanoğlu Mehmetbey University, Türkiye

Yıl/Year:2024
Cilt/Volume: 6 Sayı/Issue:2
İÇİNDEKİLER/CONTENTS

- Length-Weight, Length-Length Relationships and Condition Factor of Picarel, *Spicara smaris* (Linnaeus, 1758) Sampled from Aegean Sea and Black Sea..... 1-8
Melek ÖZPİÇAK, Gülsimay İBİTÜRK
- The Effects of Various Ethanolic Extracts on Some Microbiological Properties of Chicken Sausages9-17
Sabire YERLİKAYA, Hülya ŞEN ARSLAN, Hanife ŞİMŞEK, Nur ÖZKAYA
- Günlük Akarsu Akım Verilerinin Destek Vektör Makinesi ve Dalgacık Dönüşümü ile Modellenmesi..... 18-32
Ulviye ZİYA, Mehmet Ali HINIS
- Complete Rewriting System of Schützenberger – Crossed Product of Monoids 33-40
Eylem GÜZEL KARPUZ, Fatmanur YILDIZ
- The Use of HPLC-DAD Method in Determining the Quality of Honeys: 5-Hydroxymethylfurfural (HMF) Analysis 41-45
Merve ÖZBAY, Fatma Nur ARSLAN, Gazi GÖRÜR
- İş Güvenliği Uzmanlarının Risk Değerlendirme Yöntemlerini Uygulama Performanslarının Araştırılması46-51
Çağlar YAYLALI
- Estimating Wind Speed with ANFIS: A Case Study in Karaman City 52-57
Selim GULHAN, Seda KUL, Selami BALCI, Seyit Alperen ÇELTEK
- Hayvan Derisinin Kusur Tespitinde Makine Öğrenmesi Tekniklerinin Kullanımı – Literatür Taraması.... 58-67
Hasan Onur ATAÇ, Ahmet KAYABAŞI, Muhammet Fatih ASLAN
- Buji Ateşlemeli Motorlarda Yakıt Olarak Etanol Kullanımının Performans ve Emisyonlar Üzerindeki Etkisi... 68-83
Abdullah KAYA

Length-Weight, Length-Length Relationships and Condition Factor of Picarel, *Spicara smaris* (Linnaeus, 1758) Sampled from Aegean Sea and Black Sea

Melek ÖZPİÇAK^{1*}, Gülsimay İBİTÜRK¹

¹ Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Samsun, Türkiye

Alındı/Received: 04/05/2024; Kabul/Accepted: 08/06/2024; Yayın/Published: 09/10/2024

* Corresponding author e-mail: melek.zengin@omu.edu.tr

Abstract

In this study, length-weight relationship (LWR), length-length relationship (LLR), and condition factor (K) of *Spicara smaris* (Linnaeus, 1758) collected from Aegean Sea and Black Sea during 2023-2024 fishing season were determined. A total of 116 samples (Aegean Sea N=56, Black Sea N=50) were obtained from commercial fishermen. The mean (\pm SD) total length and weight of samples varies between 15.47 \pm 0.98 cm, 34.82 \pm 6.45 g, and 12.35 \pm 1.40 cm, 20.01 \pm 8.93 g for Aegean and Black Sea, respectively. The slopes (b values) of the total length-weight regressions indicated (-) negative allometric growth to (+) positive allometric growth in localities. In addition, LLRs were calculated by using the linear regression model. LLRs were also highly significant ($P<0.001$) with coefficient of determination (R^2) ranging from 0.748 to 0.975. The Fulton's condition factor was calculated according to localities and sex, separately, and when the two localities were compared in terms of condition factors, a significant difference was found between them ($F=7.699$, $P=0.007$).

Key Words: Picarel, length-weight relationship, length-weight relationship, condition factor, Türkiye

Ege Denizi ve Karadeniz'den Örneklenen İzmarit, *Spicara smaris* (Linnaeus, 1758)'in Boy-Ağırlık, Boy-Boy İlişkileri ve Kondisyon Faktörü

Öz

Bu çalışmada, 2023-2024 av sezonunda Ege Denizi ve Karadeniz'den örneklenen *Spicara smaris* (Linnaeus, 1758)'in boy-ağırlık ilişkisi (LWR), boy-boy ilişkisi (LLR) ve kondisyon faktörü (K) belirlenmiştir. Toplamda 116 (Ege Denizi N=56, Karadeniz N=50) örnek ticari balıkçılardan temin edilmiştir. Örneklerin ortalama (\pm SD) total boyları ve ağırlıkları Ege ve Karadeniz için sırasıyla 15,47 \pm 0,98 cm, 34,82 \pm 6,45 g ve 12,35 \pm 1,40 cm, 20,01 \pm 8,93 g arasında değişmektedir. Boy-ağırlık regresyonlarının eğimleri (b değerleri), lokalitelerde (-) negatif allometrik büyümeden (+) pozitif allometrik büyümeye kadar değişmiştir. Ayrıca doğrusal regresyon modeli kullanılarak LLR'ler hesaplanmıştır. Ayrıca boy-boy ilişkileri 0,748 ile 0,975 arasında değişen belirleme katsayılarına (R^2) bağlı olarak önemli bulunmuştur ($P<0,001$). Fulton'un kondisyon faktörü lokalitelere ve cinsiyete göre ayrı ayrı hesaplanmış ve iki lokalite kondisyon faktörleri açısından karşılaştırıldığında aralarında anlamlı fark bulunmuştur ($F=7,699$, $P=0,007$).

Anahtar Kelimeler: İzmarit, boy-ağırlık ilişkisi, boy-boy ilişkisi, kondisyon faktörü, Türkiye

Atıf / To cite: Özpiçak M, İbitürk G (2024). Length-Weight, Length-Length Relationships and Condition Factor of Picarel, *Spicara smaris* (Linnaeus, 1758) Sampled from Aegean Sea and Black Sea. Karamanoğlu Mehmetbey University Journal of Engineering and Natural Sciences, 6(2): 1-8.

1. INTRODUCTION

Picarel, *Spicara smaris* (Linnaeus, 1758), a marine and commercial fish species is found in the Mediterranean and Black seas, as well as the Atlantic from Portugal to Morocco and the Canaries. It lives on seagrass beds and muddy bottoms at depths of between 15 and 100 meters. (Tortonese 1986). In addition, it feeds on mainly zooplankton. It is a protogynous hermaphrodite and a total spawner from August to October (Froose and Pauly 2023)

also spawns on detritic sandy bottoms, where the nests are excavated (Tsangridis and Filippousis 1992). During the reproductive stage, picarel entirely exhibits sexual dimorphism (Zei 1949; Tortonese 1975). These actions were the primary causes of the systematic confusion within the family Centrarchidae that lasted until at least 1970. However, male *S. smaris* was classified as a distinct species, while male *S. flexuosa* was occasionally mistaken

for a male *S. smaris* (Pollard and Pinchot 1971; Dulčić et al. 2003). Unfortunately, this confusion occurs in many studies. At this point, it is an undeniable fact that both molecular and morphometry studies should be used together. For this reason, it is very important to identify the species correctly in the studies and to create an effective management plan by calculating the population parameters accordingly.

Fish have a special place among all vertebrates, particularly when considering growth patterns and behaviors. Growth is generally described as a living system's constant rise in quantity over time. The growth performance of organisms is the primary determinant of the economic return in commercial aquaculture facilities (Lugert et al. 2016). Fish growth underlies a wide range of positive or negative impacting factors. In fish, growth mainly depends on feed consumption and quality (Slawski et al. 2011), stocking density (Li et al. 2021); biotic factors such as sex (Imsland and Jonassen 2003) and age (Yılmaz et al. 2015; Lugert et al. 2016; Paladin et al. 2023); food (Weatherley and Gill 1987; Rahman et al. 2008); genetic variation; abiotic factors such as water chemistry, temperature (Abd El-Hack et al. 2022; Crouse et al. 2022), photoperiod (Imsland and Jonassen 2003) and oxygen level (Brett 1979). Overall health and growth indicators for fish could provide comprehensive information on the effects of the aquatic environment (Zapfe and Rakocinski 2008). Studies on population dynamics and species management have been the main applications for these indicators (Ortiz de Zárate and Babcock 2016; Zambrano et al. 2023) to compare different habitat qualities (Brázová et al. 2021).

For stock assessment studies, the associations between fish length-length (LLRs) and length-weight (LWRs) are valuable tools (Froese 2006). Many studies have emphasized the significance of figuring out LWRs and condition factor (K), as it offers details regarding growth trends, health, habitat circumstances, life history, and morphological traits of fish (Schneider et al. 2000; Sinovčić et al. 2004; Froese 2006; Hossain 2010; Giarrizzo et al., 2015; Özpiçak et al., 2017; Jisr et al. 2018; Özpiçak et al. 2018; Saygın et al. 2018; Park et al. 2021; Şalcıoğlu and Sönmez 2022; Ginting and Huang 2023; Şimsek et al., 2024). In addition, season and habitat, as well as gonadal development, sex, food, stomach fullness, health, and preservation techniques, all impact LWR (Froese 2006). However, to comprehend the most popular tools for fisheries data and the rational management of fishing resources, fisheries biologists have to get LWR data (Yedier et al. 2019). In addition, length-weight relationship parameters constitute a very important part of population dynamics studies by estimating the fish's weight from its length, calculating the condition index, and comparing the populations and life processes of the fish in different habitats. Furthermore, the condition factor is a numerical measure of fish health that will impact current and future population success through growth, reproduction, and survival. It also evaluates seasonal trends in each fish's physical condition. (Le Cren 1951; Froese 2006). The condition of a fish reflects recent physical and biological circumstances and fluctuates by

interaction among feeding conditions, parasitic infections, and physiological factors (Le Cren 1951). Furthermore, LLRs are significant because they enable growth studies that compare various fish body length measurements (Moutopoulos and Stergiou 2002). Various length measurements as total length (TL), fork length (FL), and standard length (SL) are also used for comparative growth patterns between taxonomically similar species (Huh et al. 2017; Park et al. 2021), and/or size converting between various body measurements when one of the body parts are damaged during sampling procedures (Froese 2006).

In the literature, there are some studies about LWR, LLR and condition factor of different *Spicara* species (Ismen 1995; Vidalis and Tsimenidis 1996; Dulčić et al. 2000; Dulčić et al. 2003; Karakulak et al. 2006; Çiçek et al. 2007; Kalaycı et al. 2007; Şalcıoğlu and Sonmez 2022). Also, there is no study about the comparisons of LLR, LWR and K of *S. smaris* from different seas of Türkiye. This study aims (i) to provide data of LWR, LLR and K of *S. smaris*, and (ii) compare these relationships between Aegean and Black Sea.

2. MATERIAL AND METHOD

2.1. Sampling and Biological Studies

S. smaris samples were obtained from commercial fishermen from Aegean (N=56) and Black Seas (N=50). Before the laboratory process, all samples were checked for morphologic misidentification based on previous studies in the literature (Minos et al. 2013; Şalcıoğlu et al. 2021).

The total length (TL), fork length (FL) and standard length (SL) of each sample were measured to ± 0.1 cm, and weighted (± 0.01 g) using electronic balance. The gonads were examined by macroscopically.

2.2. LWR, LLR and Condition Factor

In fish, weight (W) is exponentially related to its length (L), according to the potential model:

$$W = aL^b \quad (1)$$

Logarithmic transformation was applied to arrive at a linear relationship in the form of

$$\log W = \log a + b \log TL \quad (2)$$

according to Le Cren (1951) and Ricker (1975). All LLRs of *S. smaris* were computed using linear regression analysis (Zar 1999) and estimated separately according to localities.

In addition, Fulton's condition factor (K) was calculated according to the following formula;

$$K = (W/TL^3) \times 100 \quad (3)$$

(Le Cren 1951).

2.3. Statistical Analysis

The differences in mean values of TL, W and K between the sexes were checked by appropriate tests. Chi-square test was performed to test whether the observed sex ratio between females to males is deviated from the expected ratio of 1:1. In order to ascertain whether there were any appreciable variations in the slopes between the sexes, ANCOVA was employed (Zar 1999). Minitab, Microsoft Excel, and SPSS Statistics version 21.0 were used for the statistical analyses.

3. RESULTS

Table 1. Descriptive statistics of TL and W for picarel (N: number of specimens)

Locality	Variable	N	Mean	SE	SD	Min.	Max.
Aegean Sea	TL	56	15.47	0.913	0.98	13.70	17.60
	W		34.82	0.86	6.45	22.72	48.96
Black Sea	TL	50	12.35	0.20	1.40	9.50	17.50
	W		20.01	1.26	8.93	7.38	64.16

A total of 116 samples (Aegean Sea N=56, Black Sea N=50) were obtained from commercial fishermen. The mean (\pm SD) TL and W of samples varies between 15.47 ± 0.98 cm, 34.82 ± 6.45 g, and 12.35 ± 1.40 cm, 20.01 ± 8.93 g for Aegean and Black Sea, respectively (Table 1). In addition, the sex ratio (female: male) was calculated as 1:0.7 and 0.8:1 for Aegean and Black Sea; these results did not deviate significantly from 1:1 ($\chi^2 = 0.045$; $P > 0.05$). Fish body anatomical changes associated with isometry and allometry are established during ontogeny and continue until sexual maturity.

3.1. LWRs and LLRs for *S. smarís*

There is no difference in TL and W between male and female individuals in both locations (Independent samples t test, $P > 0.05$). Additionally, there is no difference in total length ($F = 3.851$, $P = 0.520$) and weight ($F = 0.698$, $P = 0.405$)

between Aegean and Black Seas. The LWRs for *S. smarís* according to localities were shown in Figure 1 and Figure 2. The LWRs were significantly important ($P < 0.001$, $R^2 > 0.83$). The growth type of LWR was changed between (-) allometry to (+) allometry in picarel according to results of this study (Table 2).

Table 2. Growth types and LWR parameters for *S. smarís*

Locality	Sex	a	b	R ²	95% Confidence Interval	Growth Type
Aegean Sea	♀	0.015	2.827	0.900	1.963-2.611	(-) Allometry
	♂	0.016	2.807	0.881	2.343-3.397	Isometry
	♀+♂	0.013	2.870	0.863	2.579-3.111	Isometry
Black Sea	♀	0.004	3.420	0.986	3.138-3.697	(+) Allometry
	♂	0.005	3.303	0.891	2.861-3.745	Isometry
	♀+♂	0.004	3.365	0.963	3.138-3.591	(+) Allometry

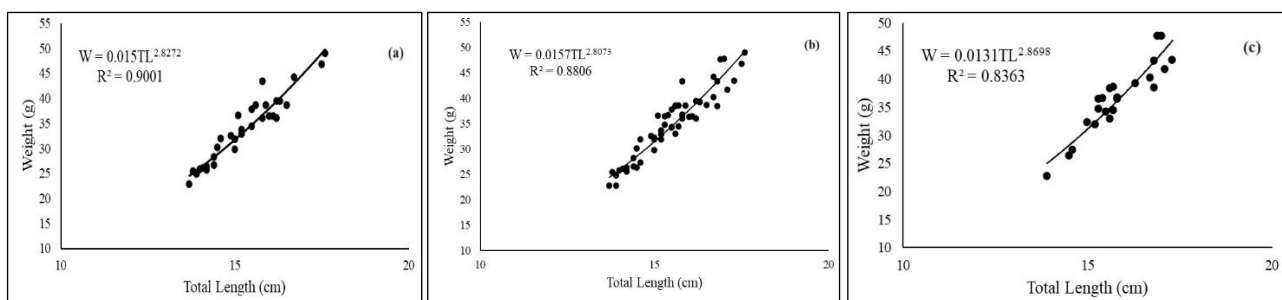


Figure 1. LWRs for *S. smarís*; (a) female, (b) male, (c) whole population from Aegean Sea

Additionally, in two locations, the slopes of LWRs for both sexes were not found to be statistically significant. (ANCOVA, $P > 0.05$).

To calculate LLRs, the linear regression model was utilized. LLRs were also highly significant ($P < 0.001$) with ranging from 0.748 to 0.975 (Table 3). All of the relationships were found significant according to locations ($P < 0.001$). According to analysis, there was no significant difference in condition factor between sexes in both localities (Independent samples t-test, $P > 0.05$). However, when the two localities were compared in terms of condition factors, a significant difference was found between them ($F = 7.699$, $P = 0.007$).

Table 3. Length-weight relationships and growth type in different *Spicara* species

Locality	a	b	R ²	P
Aegean Sea	1.265	0.839	0.922	<0.001
	0.697	0.844	0.889	<0.001
	2.262	0.676	0.748	<0.001
Black Sea	0.618	0.966	0.958	<0.001
	0.715	0.838	0.975	<0.001
	0.059	0.822	0.959	<0.001

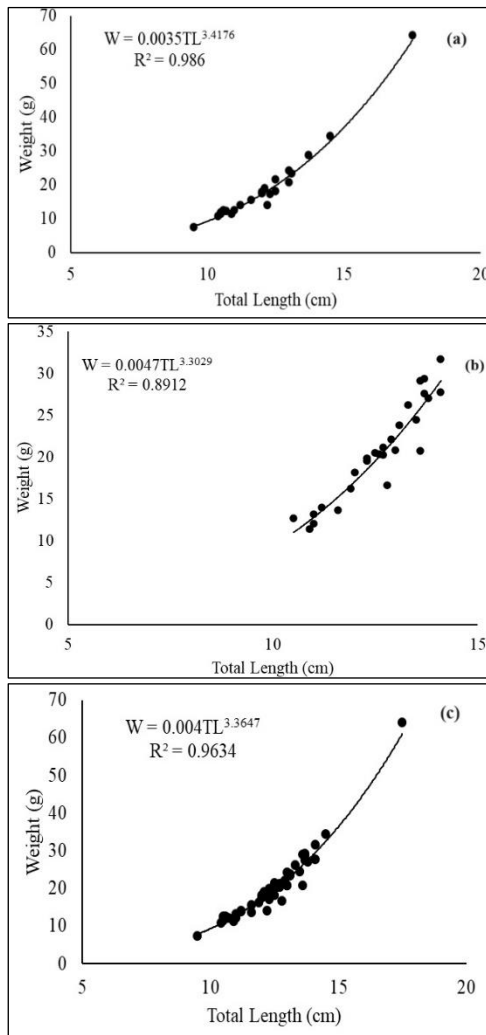


Figure 2. LWRs for *S. smarís*; (a) female, (b) male, (c) whole population from Black Sea

3.2. Fulton's Condition Factor

The Fulton's condition factor for *S. smarís* is shown in Table 4.

Table 4. Condition factor values of *S. smarís* according to localities.

Locality	Sex	Mean	SE	SD	Min.	Max.
Aegean Sea	♀	0.938	0.010	0.057	0.847	1.099
	♂	0.923	0.013	0.061	0.811	1.017
	♀+♂	0.932	0.008	0.059	0.811	1.099
Black Sea	♀	1.004	0.020	0.096	0.775	1.197
	♂	1.008	0.018	0.093	0.793	1.157
	♀+♂	1.006	0.013	0.093	0.775	1.197

4. DISCUSSION AND CONCLUSION

This work provides LWR, LLR, and K for *S. smarís* from Aegean and Black Seas in Türkiye. The LWRs are affected by a series of factors including season, habitat, gonad maturity, sex, diet, stomach fullness, health and preservation techniques (Tesch 1971; Bagenal and Tesch 1978). Furthermore, the physiological parameters of the sea, such as salinity and temperature, as well as the quality of the water and food sources, affect the regional variance in fish growth (Moutopoulos and Stergiou 2002; Gerritsen and McGrath 2007; Şalcıoğlu and Sönmez 2022).

According to results of present study, both LWR and LLRs were found significantly important in both localities ($P < 0.001$). The regression coefficient values obtained from both LWRs and LLRs are high ($R^2 > 0.83$). When the literature was examined, studies were found examining the length-weight relationships and growth types of different *Spicara* species (Table 5).

Table 3. Length-weight relationships and growth type in different *Spicara* species

Locality	Species	<i>a</i>	<i>b</i>	R^2	Growth Type	Reference
Greece (Aegean Sea)	<i>S. maena</i>	0.00008	2.663	0.90	-	Petrakis and Stergiou (1995)
Greece (Aegean Sea)	<i>S. maena</i>	0.01040	3.096	0.88	-	Moutopoulos and Stergiou (2002)
Croatia	<i>S. smarís</i>	0.0122	2.955	0.99	Isometric	Dulčić et al. (2003)
Mediterranean Sea	<i>S. smarís</i>	0.01975	2.695	0.97	Isometric	Valle et al. (2003)
Northern Aegean Sea-Türkiye	<i>S. smarís</i>	0.0138	2.877	0.72	Isometric	Karakulak et al. (2006)
Turkey	<i>S. maena</i>	0.0076	3.137	0.98	(+) Allometric	Çiçek et al. (2007)
Black Sea-Türkiye		0.0063	3.1504	0.96	(+) Allometric	Kalaycı et al. (2007)
Central Aegean Sea	<i>S. smarís</i>	0.0137	2.962	0.96	Isometric	Özaydın et al. (2007)
Eastern Black Sea-Türkiye	<i>S. smarís</i>	0.009	3.008	0.86	Isometric	Ak et al. (2009)
Aegean Sea- Türkiye	<i>S. maena</i>	0.011	3.020	0.96	-	Soykan et al. (2010)
Central Aegean Sea	<i>S. smarís</i>	0.00001	2.88	0.96	(-) Allometric	Kapiris and Klaoudatos (2011)
Central Aegean Sea	<i>S. flexuosum</i>	0.000005	3.13	0.97	(+) Allometric	Kapiris and Klaoudatos (2011)
Northern Aegean Sea (Türkiye)	<i>S. maena</i>	0.002	3.34	0.94	(+) Allometric	Cengiz and Paruğ (2021)
Black Sea-Türkiye	<i>S. flexuosum</i>	0.0118	2.972	0.94	(-) Allometric	Dalğıç et al. (2021)
Black Sea-Türkiye	<i>S. flexuosum</i>	0.0694	2.297	0.96	(-) Allometric	Şalcıoğlu and Sönmez (2022)
Black Sea-Türkiye	<i>S. smarís</i>	0.004	3.365	0.963	(+) Allometric	Present study
Black Sea-Türkiye	<i>S. smarís</i>	0.013	2.870	0.863	Isometric	Present study

It was observed that the results obtained from this study were similar to the literature, on the other hand, some differences were observed, too (Table 5). The differences in b values could be results of these factors. Our results showed that the b values for the LWRs varied from two to four, as demonstrated by Tesch (1971). Associated with these results, the Aegean Sea, semi-enclosed basin of the eastern Mediterranean Sea, is a region of special interest for the Mediterranean oceanographic community, as one of the dense-water formation sites of the Mediterranean, driving its thermohaline circulation (Zervakis et al. 2004). Nonetheless, the largest land-locked inland sea in the world is the Black Sea. It receives drainage from nearly one-third of continental Europe. In the past 30 years, the ecosystem of the Black Sea has been severely degraded by waterborne trash from 17 different countries. The subhalocline waters of the Black Sea are anoxic due to natural sources. The Black Sea has historically provided food supplies, a scenic environment for travel and recreation, and even a place to dispose of garbage, including nuclear wastes, all while serving humankind well despite this natural shortcoming (Bakan and Büyükgüngör 2000). These structural differences observed between seas have caused the fish living in them to exhibit different characteristics.

In addition, the sex ratio were calculated as 1:0.7 and 0.8:1 for Aegean and Black Sea, these results did not deviate significantly from 1:1 ($\chi^2 = 0.045$; $P > 0.05$). The sex ratio (F:M) of *Spicara smaris* was reported as 1.59:1 (Şahin and Genç, 1999), 1:4.1 (Dulčić et al. 2000), and 4:1 (Kalaycı et al. 2007). The likely reason for the differences in reported sex ratios of the species could be as a result of protogynous hermaphroditism, sampling size or season.

LLRs are also beneficial for conversion when compared to values found in the literature, data on growth patterns, and ultimately, fish biomass estimation (Aburto-Oropeza et al. 2011). Additionally, LLRs give more details, especially with respect to growth pattern and will be beneficial for fishery management and fish biology studies. Karachle and Stergiou (2008) investigated LLRs of *S.smaris* from North Aegean Sea and found highly significant relationships

REFERENCES

- Abd El-Hack ME, El-Saadony MT, Nader MM, Salem H M, El-Tahan AM, Soliman SM, Khafaga AF (2022). Effect of environmental factors on growth performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). International Journal of Biometeorology, 66(11): 2183-2194.
- Aburto-Oropeza O, Erisman B, Galland GR, Mascarenas-Osorio I, Sala E, Ezcurra E (2011). Large recovery of fish biomass in a no-take marine reserve. Public Library of Science, 2011(6): e23601.
- Ak O, Kutlu S, Aydın İ (2009). Length-weight relationship for 16 fish species from the Eastern Black Sea, Türkiye. Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Science, 9(1): 125-126.
- Bagenal TB, Tesch FW (1978). Age and growth. Methods for Assessment of Fish Production in freshwaters (ed. Bagenal, T.B.), Blackwell Science Publication, Oxford, pp: 101-136.
- Bakan G, Büyükgüngör H (2000). The Black Sea. Marine Pollution Bulletin, 41(1-6): 24-43.
- Brázová T, Miklisová D, Barčák D, Uhrovič D, Šalamún P, Orosová M, Oros M (2021). Hazardous pollutants in the environment: Fish host-parasite interactions and bioaccumulation of polychlorinated biphenyls. Environmental Pollution, 2021(291): 118-175.
- Brett JR (1979). Environmental factors and growth. Fish Physiology, 599-675.
- Cengiz Ö, Paruğ Ş (2021). Growth Parameters of Blotched Picarel (*Spicara maena* Linnaeus, 1758) From Saros Bay (Northern Aegean Sea, Turkey). Acta Natura et Scientia, 2(1): 40-48.

($R^2 > 0.99$, $P < 0.001$). In this study, LLRs were significantly important for two localities, too ($P < 0.001$) and coefficient of determination (R^2) ranged from 0.74 to 0.97.

Additionally, K is a crucial factor that determines whether any fish are healthy or not (Yılmaz and Sakallı, 2020). Numerous factors influence the condition factor, including as age, season, habitat, and reproductive time (Williams 2000), too. In this study, mean K were calculated as 0.932 ± 0.008 and 1.006 ± 0.013 for Aegean Sea and Black Sea, respectively. (Table 4). As opposed to males, females have high condition factors for both localities (Table 4). It is observed in this study, K could be influenced by gonadal maturity. Şahin and Genç (1999) were calculated K between 0.696-1.229 for female and 0.721-1.439 for male. However, the weight of the fish will be higher during the spawning season. For this reason, it is possible that the condition factor, which shows the relationship between the weight and length of the fish, is higher during the spawning season due to gonad development (Yaşar and Genç 1999). The differences encountered in the studies should be evaluated by taking this situation into consideration.

In conclusion, *Spicara smaris* is a marine and commercial fish species. Therefore, it is very important to create correct management plans for economically important fish species. In conclusion, present study has provided basic information on the LWR, LLR, and K of picarel that would be useful for fishery biologists/managers to impose adequate regulations for sustainable fishery management in the Aegean Sea and Black Sea.

CONFLICT OF INTEREST

There is no conflict of interest between the authors.

THANKS

The authors are deeply grateful to TUBITAK (2209 A-Project ID: 1919B012301490). This study was supported by TUBITAK (2209 A-Project ID: 1919B012301490).

- Crouse C, Davidson J, Good C (2022). The effects of two water temperature regimes on Atlantic salmon (*Salmo salar*) growth performance and maturation in freshwater recirculating aquaculture systems. *Aquaculture*, 553, 738063.
- Çiçek E, Avşar D, Yeldan H, Manaşırılı M (2007). Population characteristics and growth of *Spicara maena* (Linnaeus, 1758) inhabiting in Babadillimani Bight (northeastern Mediterranean-Turkey). *International Journal of Natural and Engineering Sciences*, 2007(1): 15-18.
- Dalgıç G, Ergün İO, Onay H, Ceylan Y (2021). Determination of some biological characteristics and population parameters of the blotched picarel (*Spicara flexuosa* Rafinesque, 1810) distributed in the Eastern Black Sea (Rize-Hopa). *Marine Science and Technology Bulletin*, 10(2): 142-153.
- Dulčić J, Kraljević M., Grbec B, Cetinić P (2000). Age, growth and mortality of blotched picarel *Spicara maena* L. (Pisces: Centranchidae) in the eastern central Adriatic. *Fisheries Research*, 48(1): 69-78.
- Dulčić J, Pallaoro A, Cetinić P, Kraljević M, Soldo A, Jardas I (2003). Age, growth and mortality of picarel, *Spicara smaris* L. (Pisces: Centranchidae), from the eastern Adriatic (Croatian coast). *Journal of Applied Ichthyology*, 19: 10-14.
- Froese R, Pauly D. Editors (2023). FishBase. World Wide Web electronic publication. www.fishbase.org, version (10/2023).
- Froese R (2006). Cube law, condition factor and weight-length relationships: History, meta-analysis and recommendations. *Journal of Applied Ichthyology*, 22(4): 241–253.
- Gerritsen HD, McGrath D (2007). Significant differences in the length–weight relationships of neighbouring stocks can result in biased biomass estimates: examples of haddock (*Melanogrammus aeglefinus*, L.) and whiting (*Merlangius merlangus*, L.). *Fisheries Research*, 85: 106–111.
- Giarrizzo T, de Sena Oliveira RR, Costa Andrade M, Pedrosa Gonçalves A, Barbosa TAP, Martins AR, Melo de Sousa L (2015). Length–weight and length–length relationships for 135 fish species from the Xingu River (Amazon Basin, Brazil). *Journal of Applied Ichthyology*, 31(2): 415-424.
- Ginting KP, Huang WB (2023). Length– Length and Length– Weight Relationships of Pacific Saury, *Cololabis saira* (Scomberesocidae), in the Northwestern Pacific Ocean. *Journal of Ichthyology*, 63(5): 924-929.
- Hossain MY (2010). Morphometric relationships of length-weight and length-length of four Cyprinid small indigenous fish species from the Padma River (NW Bangladesh). *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 10(1): 131-134.
- Huh SH, Jeong JM, Park JM (2017). Length–weight and length–length relationships for six commercial fishes from southern Korean waters. *Journal of Applied Ichthyology*, 33(3): 649–651.
- Imsland AK, Jonassen TM (2003). Growth and age at first maturity in turbot and halibut reared under different photoperiods. *Aquaculture International*, 11: 463-475.
- Ismen A (1995). Growth, mortality and yield per recruit model of picarel (*Spicara smaris* L.) on the eastern Turkish Black Sea coast. *Fisheries Research*, 22(3-4): 299-308.
- Jisr N, Younes G, Sukhn C, El-Dakdouki MH (2018). Length-weight relationships and relative condition factor of fish inhabiting the marine area of the Eastern Mediterranean city, Tripolitanon. Egypt. *Journal of Aquatic Research*, 44(4): 299-305.
- Kalaycı F, Samsun N, Bilgin S, Samsun O (2007). Length-weight relationship of 10 fish species caught by bottom trawl and midwater trawl from the Middle Black Sea, Turkey. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 7(1).
- Karachle PK, Stergiou KI (2008). Length–length and length–weight relationships of several fish species from the North Aegean Sea (Greece). *Journal of Biological Research-Thessaloniki*, 10: 149-157.
- Karakulak FS, Erk H, Bilgin B (2006). Length–weight relationships for 47 coastal fish species from the northern Aegean Sea, Turkey. *Journal of Applied Ichthyology*, 22(4): 274-278.
- Kapiris K, Klaoudatos D (2011). Length-weight relationships for 21 fish species caught in the Argolikos Gulf (central Aegean Sea, eastern Mediterranean). *Turkish Journal of Zoology*, 35(5): 717-723.
- Le Cren ED, (1951). The length-weight relationship and seasonal cycle in gonad weight and condition in the perch (*Perca fluviatilis*). *Journal of Animal Ecology*, 201–219.
- Li L, Shen Y, Yang W, Xu X, Li J (2021). Effect of different stocking densities on fish growth performance: A meta-analysis. *Aquaculture*, 544, 737152.
- Lugert V, Thaller G, Tetens J, Schulz C, Krieter JA (2016). Review on fish growth calculation: multiple functions in fish production and their specific application. *Reviews in Aquaculture*, 8(1): 30-42.

- Minos G, Imsiridou A, Katselis G (2013). Use of morphological differences for the identification of two picarel species *Spicara flexuosa* and *Spicara maena* (Pisces: Centranchidae). *Mediterranean and Marine Science*, 14: 26-31.
- Moutopoulos DK, Stergiou KI (2002). Length-weight and length-length relationships of fish species from the Aegean Sea (Greece). *Journal of Applied Ichthyology*, 18: 200-203.
- Ortiz de Zárate V, Babcock EA (2016). Estimating individual growth variability in albacore (*Thunnus alalunga*) from the North Atlantic stock: Aging for assessment purposes. *Fisheries Research*, 180: 54-66.
- Özaydın O, Uçkun D, Akalın S, Leblebici S, Tosunoğlu Z (2007). Length weight relationships of fishes captured from Izmir Bay, Central Aegean Sea. *Journal of Applied Ichthyology*, 23:695-696.
- Özpiçak M, Saygın S, Polat N (2017). The length-weight and length-length relationships of bluefish, *Pomatomus saltatrix* (Linnaeus, 1766) from Samsun (middle Black Sea region). *Natural and Engineering Science (NEScience)*, 2(3): 28-36.
- Özpiçak M, Saygın S, Hançer E, Aydın A, Yılmaz S, Polat N (2018). Length-weight and length-length relationships of chub (*Squalius cephalus*, L., 1758) inhabiting a few inland waters of the Middle Black Sea Region. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 35 (2): 175-179.
- Paladin A, Ugrin N, Matic-Skoko S, Dragičević B, Dulčić J (2023). Age, Growth, and Validation of Otolith Morphometrics as Predictors of Age in the Blackspot Seabream, *Pagellus bogaraveo*, (Brunnich, 1768.) from the Eastern Adriatic Sea. *Fishes*, 8(6): 301.
- Park JM, Almamari D, Rabee S, Jawad LA (2021). Length-Weight and Length-Length Relationships, and Seasonal Condition Factors of Blueline Snapper, *Lutjanus coeruleolineatus* (Rüppell, 1838) from Salalah Coast, Sultanate of Oman. *Thalassas: An International Journal of Marine Sciences*, 37(2): 775-780.
- Petrakis G, Stergiou KI (1995). Weight-length relationships for 33 fish species in Greek waters. *Fisheries research*, 21(3-4): 465-469.
- Pollard DA, Pinchot P (1971). The systematic status of the Mediterranean Centranchidae fishes of the genus *Spicara*, and in particular *S. chryselis* (Val.) as indicated by electrophoresis studies of their eye-lens proteins. *Journal of Fish Biology*, 3: 59-72.
- Rahman MM, Nagelkerke LA, Verdegem MC, Wahab MA, Verreth JA (2008). Relationships among water quality, food resources, fish diet and fish growth in polyculture ponds: a multivariate approach. *Aquaculture*, 275(1-4): 108-115.
- Ricker WE (1975). Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. *Bulletin of the Fisheries Research Board of Canada*, Bulletin 191, Ottawa.
- Saygın S, Özpiçak M, Aydın A, Hançer E, Yılmaz S, Polat N (2018). Length-weight and length-length relationships of the European bitterling, *Rhodeus amarus* (Bloch, 1782) inhabiting inland waters of Samsun Province. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 20(2): 201-210.
- Schneider JC, Laarman PW, Gowing H (2000). Length-weight relationships, *Manual of Fisheries Survey Methods II: With Periodic Updates*, Fish. Spec. Rept., Schneider J.C., Ed., Michigan Department of Natural Resources, 25: 1-18.
- Sinović G, Franičević M, Zorica B, Čikeš-Keč V (2004). Length-weight and length-length relationships for 10 pelagic fish species from the Adriatic Sea (Croatia). *Journal of Applied Ichthyology*, 20(2): 156-158.
- Slawski H, Adem H, Tressel RP, Wysujack K, Koops U, Wuertz S, Schulz C (2011). Replacement of fish meal with rapeseed protein concentrate in diets fed to wels catfish (*Silurus glanis* L.). *Aquaculture Nutrition*, 17: 605-612.
- Soykan O, İlkyaz AT, Metin G, Kinacıgil HT (2010). Growth and reproduction of blotched picarel (*Spicara maena* Linnaeus, 1758) in the central Aegean Sea, Turkey. *Turkish Journal of Zoology*, 34(4): 453-459.
- Şahin T, Genç Y (1999). Some biological characteristics of picarel (*Spicara smaris*, Linnaeus 1758) in the Eastern Black Sea Coast of Turkey. *Turkish Journal of Zoology*, 23(5): 149-156.
- Şimsek C, Polat N, Saygın S, Özpiçak M, Yılmaz S (2024). Length-weight and length-length relationships of *Squalius* sp. Populations living in freshwaters of Samsun (Turkiye). *Acta Biologica Turcica*, 37(1-J5):1-9.
- Şalcıoğlu AŞ, Sonmez AY (2022). Length-weight relationships and relative condition factor of *Spicara flexuosum* (Rafinesque, 1810) inhabiting the Black Sea and the Turkish Straits System. *Marine Science and Technology Bulletin*, 11(3): 271-279.
- Şalcıoğlu A, Gubili C, Krey G, Sakinan S, Bilgin R (2021). Molecular characterization and phylogeography of Mediterranean picarels (*Spicara flexuosa*, *S. maena* and *S. smaris*) along the coasts of Turkey and the Eastern Mediterranean. *Regional Studies and Marine Science*, 45: 101836.
- Tesch FW (1971). Age and growth In: *Methods for assessment of fish production in freshwaters*. W.E. Ricker (Ed). Blackwell Scientific Publications, Oxford, 99-130.

- Tortonese E (1986). Centrarchidae. In: Whitehead P.J.P, Bauchot M.L., Hureau J.C., Nielsen J., Tortonese E. (Eds.), Fishes of the North-eastern Atlantic and Mediterranean Paris: UNESCO. II, 908–911.
- Tortonese E (1975). Osteichthyes (Pesci Ossei). Vol. II. Fauna d'Italia, 11th edn. Calderini, Bologna, 636.
- Tsangridis A, Filippousis (1992). N. Growth pattern of picarel, *Spicara smaris* (L.) (Centrarchidae), a protogynous species. *Cybiu*, 16(3): 233-243.
- Valle C, Bayle JT, Ramos AA (2003). Weight–length relationships for selected fish species of the western Mediterranean Sea. *Journal of Applied Ichthyology*, 19: 261-262.
- Vidalis K, Tsimenidis N (1996). Age determination and growth of picarel (*Spicara smaris*) from the Cretan continental shelf (Greece). *Fisheries Research*, 28(4): 395-421.
- Weatherley AH, Gill HS (1987) Growth increases produced by bovine growth hormone in grass pickerel, *Esox americanus vermiculatus* (Le Sueur), and the underlying dynamics of muscle fiber growth. *Aquaculture*, 65: 55-66.
- Williams JE (2000). The coefficient of condition of fish. *Manual of fisheries survey methods II: with periodic updates*.
- Şahin T, Genç Y (1999). Some biological characteristics of picarel (*Spicara smaris*, Linnaeus 1758) in the Eastern Black Sea Coast of Turkey. *Turkish Journal of Zoology*, 23(5): 149-156.
- Yedier S, Konaş S, Bostancı D (2019). Condition factor, length-length and length-weight relationships for *Pagellus acarne* inhabiting the Sea of Marmara. *Journal of Anatolian and Environmental Animal Science*, 4(2): 82-88.
- Yılmaz S, Sakallı MM (2020). Length-weight relationship and condition factor of Aksu goby, *Ponticola turani* (Kovačić and Engin, 2008) from Terme Stream (Turkey). *Acta Aquatica Turcica*, 16(3): 353-359.
- Yılmaz S, Yazıcıoğlu O and Polat N (2015). Age, growth and reproductive period of white bream, *Blicca bjoerkna* (L., 1758) in Lake Ladik, Turkey. *LIMNOFISH*, 1: 9-18.
- Zambrano MJ, Bonifacio AF, Brito JM, Rautenberg GE, Hued AC (2023). Length–Weight relationships and body condition indices of a South American bioindicator, the Native Neotropical Fish Species, *Cnesterodon decemmaculatus* (Poeciliidae). *Journal of Ichthyology*, 63(5): 930-936.
- Zapfe GA, Rakocinski CF (2008). Coherent growth and diet patterns in juvenile spot (*Leiostomus xanthurus* Lacepede) reflect effects of hydrology on access to shoreline habitat. *Fisheries Research*, 91: 107–111.
- Zar JH (1999). *Biostatistical analysis*. Prentice-Hall.
- Zei M (1949). Typical sex reversal in Teleosts, *Proceedings of the Zoological Society*, 119: 1920–1971.
- Zervakis V, Georgopoulos D, Karageorgis AP, Theocharis A (2004). On the response of the Aegean Sea to climatic variability: a review. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 24: 1845-1858.

The Effects of Various Ethanolic Extracts on Some Microbiological Properties of Chicken Sausages

Sabire YERLİKAYA^{1*} , Hülya ŞEN ARSLAN¹ , Hanife ŞİMŞEK¹ , Nur ÖZKAYA¹ 

¹Karamanoğlu Mehmetbey University, Engineering Faculty, Food Engineering Department, Karaman, TURKEY

Alındı/Received: 22/05/2024; Kabul/Accepted: 20/07/2024; Yayın/Published: 29/11/2024

* Corresponding author e-mail :sabirebattal@kmu.edu.tr

Abstract

In this study, the antimicrobial effects of different levels (0%, 5%, 10%) of ethanolic extract of propolis (EEP), sage (EES), lavender (EEL), yarrow (EEY), and St. John's Wort (EEC) on total psychrotroph aerobic bacteria (TPAB), total coliform and fecal coliform, yeast-mold in chicken sausage were investigated. The sausages were divided into seven groups. The first and second groups were the control samples. The surface of second control group of chicken sausage was sprayed with only ethyl alcohol (70%). The third, fourth, fifth, sixth, and seventh groups were sprayed with EEP, EES, EEC, EEY, and EEL at two levels, respectively: 5%, and 10%. Prior to each treatment, sausages were left to be stored at +4°C for ten days. All extracts significantly ($P<0.05$) reduced the numbers of total psychrotroph aerobic bacteria (TPAB), total coliform and fecal coliform, and yeast mold compared with control samples. 10% EEP reduced the TPAB count to 6.61 log cfu/g compared to the control (8.82 log cfu/g). 5% EEC showed the least antimicrobial effect (33.03 log cfu/g) on coliform bacteria. The antimicrobial effect of 5% EEY (1.21 log cfu/g) and 5% EEP (0.61 log cfu/g) were determined higher than 10% EEY (16.14 log cfu/g) and 10% EEP (3.87 log cfu/g) on coliform bacteria, respectively. Yeast-mold number in chicken sausages reached 10.5 log cfu/g on the 10th day of storage. EEP decreased the population more efficiently than the other extracts and ethanol treatments. The results indicate EEP, EEL, EES, EEY, and EEC as antimicrobial agents might be used to reduce the number of microorganisms in sausages.

Key Words: Propolis, sage, lavender, St. John's Wort, yarrow

Çeşitli Etanol Ekstraktlarının Tavuk Sosislerinin Bazı Mikrobiyolojik Özellikleri Üzerine Etkileri

Öz

Bu çalışmada farklı düzeylerde (%0, %5, %10) propolis (EEP), adaçayı (EES), lavanta (EEL), civanperçemi (EEY) ve sarı kantaron (EEC) etanolik ekstraktlarının antimikrobiyal etkileri araştırılmıştır. Tavuk sosisinde toplam psikrotrof aerobik bakteri (TPAB), toplam koliform ve fekal koliform, maya-küf analizleri gerçekleştirilmiştir. Sosisler 7 gruba ayrılmış olup birinci ve ikinci grup kontrol örnekleri olarak işaretlenmiştir. İkinci kontrol grubu tavuk sosisinin yüzeyine sadece etil alkol (%70) püskürtülmüştür. Üçüncü, dördüncü, beşinci, altıncı ve yedinci gruplara sırasıyla %5, %10 olmak üzere iki düzeyde EEP, EES, EEC, EEY ve EEL püskürtülmüştür. Her uygulamadan önce sosisler +4°C'de 10 gün süreyle depoya bırakılmıştır. Tüm ekstraktlar, kontrol örnekleriyle karşılaştırıldığında toplam psikrotrof aerobik bakteri (TPAB), toplam koliform ve fekal koliformu, maya-küf sayılarını önemli ölçüde azaltmıştır ($P<0.05$). %10 EEP'nin, kontrole (8,82 log kob/g) kıyasla TPAB sayısını 6,61 log kob/g'a düşürdüğü tespit edilmiştir. %5 EEC, koliform bakteriler üzerinde en az antimikrobiyal etkiyi (33,03 log kob/g) göstermiştir. Koliform bakteriler üzerinde %5 EEY (1,21 log kob/g) ve %5 EEP'nin (0,61 log kob/g) antimikrobiyal etkisinin %10 EEY (16,14 log kob/g) ve %10 EEP'den (3,87 log kob/g) daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Tavuk sosislerinde maya-küf sayısı depolamanın 10. gününde 10,5 log kob/g'a ulaşmıştır. EEP'nin, popülasyonu diğer ekstraktlara ve etanol muamelelerine göre daha etkili şekilde azalttığı tespit edilmiştir. Sonuçlar, antimikrobiyal ajan olarak EEP, EEL, EES, EEY ve EEC'nin sosislerdeki mikroorganizma sayısını azaltmak için kullanılabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Propolis, adaçayı, lavanta, sarı kantaron, civanperçemi

Atf / To cite: Yerlikaya S, Şen Arslan H, Şimşek H, Özkaya N (2024). The effects of various ethanolic extracts on some microbiological properties of chicken sausages. Karamanoğlu Mehmetbey University Journal of Engineering and Natural Sciences, 6(2): 9-17.

1. INTRODUCTION

Nowadays, the number of consumers researching the components of the products they buy is increasing. Conscious consumers have turned to foods that do not contain chemical preservatives. For this purpose, various herbal and livestock (especially beekeeping) products have been used. By using the antimicrobial and antioxidant properties of these products, the shelf life of foods is tried to be increased naturally (Lopez and Belloso 2008; Seçkin et al. 2010).

Pathogenic microorganisms such as *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella spp*, *Listeria monocytogenes*, *Enterococcus spp.* and *Clostridium perfringens* are encountered in the analyzes performed in emulsified meat products due to reasons such as unhygienic production, storage in bad conditions, and non-compliance with the cold chain (Elmalı et al. 2005; Güner et al. 2012). Especially meat products pose a risk due to their nature as with all food products. Food safety rules must be followed at all stages, such as production, processing, packaging, storage, and distribution (Tosun and Demirbaş 2012).

Salvia officinalis L. is a medicinal sage species officially accepted for use in Europe. This species are widely grown in Turkey, too. Its essential oils are known to have an antimicrobial effect (Riahi et al. 2013). According to studies, lavender and sage have high antioxidant and antimicrobial properties due to the phenolic compounds they contain. These plants' oils have antimicrobial properties (Moon et al. 2006).

Yarrow (*Achillea millefolium*) is a plant that is widely distributed in the northern hemisphere and Turkey. Some *Achillea species have been found to have antispasmodic, anti-inflammatory, and antimicrobial properties.* These pharmacological properties are believed to result from flavonoid and phenolcarbonic acid complexes. The antimicrobial effect of yarrow on the microorganisms *Bacillus cereus*, *Enterococcus faecalis*, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Proteus mirabilis*, *Salmonella typhimurium*, *Citrobacter freundii*, *Candida albicans*, and *Aspergillus fumigatus* was examined by Kazemi (2015). Kazemi (2015) found that fungi were more susceptible than bacteria and that yarrow showed higher antibacterial activity compared to the antibiotics tested (ampicillin and fluconazole). It has been found by many researchers that essential oils obtained from various *Achillea species have antifungal, antibacterial and antimicrobial effects* (Tuberoso et al. 2005; Filippi et al. 2006; Kordalı et al. 2009; Demirci et al. 2011).

Salvia officinalis L. is a type of medicinal sage that is officially accepted in Europe. This species grows widely in Turkey and is used for medicinal purposes. Medicinal sage (*Salvia officinalis L.*), known as the Mediterranean plant, belongs to the Labiatae family and contains essential oil. Since many species of the *Salvia* genus are medicinal plants used in the treatment of various diseases from ancient times to the present day, they have been studied by various researchers in terms of their chemical

components and the substances they carry. According to research data, sage species are important in terms of the flavonoids and essential oils and components they contain. Sage also has a disinfectant effect (Jazo et al. 2023).

Flavonoids, triterpenoids, and 2-hydroxycinnamic acid esters have been identified in the leaves of lavender species. The major flavonoid components in the leaves are flavone glycosides. These are simple flavone glycosides, flavone C-glycosides, 6-hydroxyflavone 7-glycosides, and 8-hydroxyflavone 7-8 glycosides. It has been reported that 0.7% of the weight of the dry leaves of *L. angustifolia* and 1.0-1.9% of the dried leaves of *L. latifolia* are ursolic acid and are found together with 0.5% oleanolic acid. Rosmarinic acid, chlorogenic acid, and caffeic acid were found from 2-Hydroxycinnamic acid esters (El-Feky and Aboulthana 2016)

Lavender flowers contain 1-3% essential oil. 60-65% of lavender essential oil consists of monoterpene alcohols, 20-45% of which is linalool, and 25-46% is linalyl acetate. Other terpenoids include 1,8 cineole, terpinen-4-ol, lavandulyl acetate, α -terpineol, camphor, limonene, geraniol and β -caryophyllene, and the non-terpenoid 3-octanone (Moon et al. 2006).

St. John's wort, known as *Hypericum perforatum L.*, is in the Clusiaceae family. It is naturally distributed in Western Europe, Asia, and North Africa (Walker et al. 2001). It is also found in Australia, New Zealand, South Africa, and other warm regions of the world (Campbell and Delfosse 1984). *H. perforatum L.* grows naturally in Turkey, at altitudes from sea level to 2500 m and in temperate conditions (Davis 1982).

In many studies, It is stated that *Hypericum perforatum L.* contains 0.1-0.3% dianthron (hypericin, pseudohypericin, and hypericin-like substances), flavonoids, 3% hyperforin, 0.2-1% essential oil and tannin substances (Wichtl 1986; Berger et al. 1996; Bomme 1997; Wagner 1980).

The whole extract and some identified phytochemicals from some *Hypericum species exhibit numerous pharmacological properties, ranging from wound healing and antiseptics to antiviral, anti-inflammatory, antitumoral, and apoptosis-inducing activities.* In recent studies, St. John's Wort; antioxidant, antifungal, antimicrobial and cytotoxic activities have been confirmed (Çakır et al. 2005; Hosseinzadeh et al. 2005).

Del Monte et al. (2015) by St. John's Wort *Bacillus cereus*, an enterotoxigenic strain of *E. coli*; Its effect on *Staphylococcus aureus* and *P. aeruginosa* was examined. It was concluded that the antimicrobial effect of St. John's wort is proportional to the total amount of phenolic substances contained in St. John's wort.

It has been supported by many studies that various active substances found in most *Hypericum species have antimicrobial activity* (Bombardelli and Morazzoni 1995; Dall'Agnol et al. 2003).

The chemical structure of propolis differs depending on the plant origin from which it was obtained. Propolis contains 45-55% resin, 23-35% waxes and fatty acids, 10% essential oils, 5% pollen and 5% other organic substances and minerals (Scazzocchio et al. 2006). It was reported that wax content of propolis was between 11.2-29.3%, in a study conducted with propolis and honeycomb wax samples. Monoesters formed the largest fractions (62.1–86.6%) in both types of wax. Hydrocarbons (6.9-24.7%) followed monoesters (Polat and Koçan 2006). Various effects, such as antioxidant and antimicrobial, of propolis provide the opportunity to be used in the field of food technology. Propolis' antimicrobial activity is one of the most widely known and most important properties. Antimicrobial effects of propolis on different bacteria, fungi, viruses etc. have been studied in different investigations, in different years (Dıġrak et al. 1995; Salomão et al. 2004).

In this study, some antimicrobiological properties of ethanolic extracts of sage (*Salvia officinalis L.*) (EES), lavender (*Lavandula angustifolia Mill*) (EEL), yarrow (*Achillea millefolium*) (EEY), St. John's Wort (*Hypericum perforatum*) (EEC) and propolis (EEP) sprayed on all of the surface of the chicken sausages were investigated during refrigeration conditions.

2. MATERIAL AND METHOD

2.1. Material

The raw chicken sausage samples were used in this research. Samples were bought from markets in Karaman; sage, lavender, yarrow and St. John's Wort were obtained from Rasayana organic products company located in Konya; propolis was collected from Pertek district of Tunceli. All materials were brought to Karamanoġlu Mehmetbey University, Faculty of Engineering and Food Engineering Department laboratory under aseptic conditions. Sausages were provided on the day of analysis. Plants and propolis extracts were prepared 1 day before analysis and stored at +4°C until analysis.

2.2. Methods

Ethanol was chosen as the organic solvent (due to the high dissolution of propolis in ethanol). In addition, the present study used ethanolic extracts of sage, lavender, yarrow, and St. John's Wort. The insolubility or little dissolution of propolis in water was also effective in the choice of ethanol as the solvent. The analyzes were carried out in two replicates and two parallel.

2.2.1. Preparation of Ethanolic Propolis Extract (EEP)

For 5% EEP, 5 g of propolis was resolved in 95 ml of 70% ethyl alcohol; for the extract of 10% EEP, 10 g of propolis was resolved in 90 ml of 70% ethyl alcohol. The solution was left in a closed container in a light-free environment for one week. The solution was shaken twice a day. Solution was filtered through Whatman no: one filter paper at the end of the period, placed in sterile bottles, and

stored at +4°C until used for analysis (maximum 3 days before analyses) (Lu et al. 2005).

2.2.2. Preparation of Ethanolic Extracts of Sage (EES), Lavander (EEL), Yarrow (EEY) and St. John's Wort (EEC)

Classical method was preferred as extraction method. For 5% ethanolic extract of each material, 10 g of plant in 95 ml of 70% ethyl alcohol; for 10% ethanolic extract, 20 g of plant in 90 ml of 70% ethyl alcohol were kept in shaking water bath by shaking at 65°C for 1 hour. The extracts taken from the water bath were filtered through coarse filter paper and collected into the flask. The remaining part of the filter paper was put back in volumetric bottles and 95 ml of 70% ethanol for 5% and 90 ml of 70% ethyl alcohol for 10% was added and extracted at 65°C for 1 hour. Each extract was filtered and transferred to the flask. The extracts obtained were stored at -18°C until used in research, up to 3 days (Şen Arslan and Çam 2022).

2.2.3. Preparation of Sausages for Microbiological Analysis

Raw chicken sausages used in the study were divided into 4 groups. The first and second groups were prepared as control samples (has no any extract). The first control sample was prepared without treatment with any of the ethanolic extracts of sage, lavender, yarrow, St. John's Wort and propolis. The second control group was sprayed with only ethanol (70%). In the third and fourth groups, 2 different levels (5% and 10%) of extracts (sage, lavender, yarrow, St. John's Wort and propolis) were added as spraying (2 ml per sample) to the both surface of the samples. For this purpose, 10 ± 0.5 g sausage sample was weighed into sterile stomacher bags for each group. Then they were stored at +4°C for 10 days. Total psychrotroph aerobic bacteria (TPAB), total coliform and fecal coliform, yeast-mold analysis were performed on 0, 2, 4, 6, 8 and 10 days of storage.

2.2.4. Microbiological Analysis

2.2.4.1. Total Psychrotroph Aerobic Bacteria (TPAB)

Sausage samples were added to 90 mL of sterile peptone water. Then, samples homogenised in a stomacher for 1 min. Decimal dilutions were prepared using sterile peptone water (0.1%, w/v) and the total psychrotrophic viable cells were counted by the spread plate method. Plate count agar (PCA; Merck, Darmstadt, Germany) was used as a medium and incubated aerobically at 4°C for 10 days for the enumeration (AOAC 2000).

2.2.4.2. Total Coliform and Fecal Coliform

The analysis were carried out using the most probable number (MNP-3 tube) method. In MNP method, 3 Lauryl Sulphate Tryptose Broth (LSTB) (Merck, Germany) tubes were used. 1 mL of sample dilutions was added to LSTB. The tubes were left for incubation at 37°C for 24-48 hours. After incubation, gas positive tubes were found out and the number of coliform bacteria was calculated using the MNP table. In order to prove the probability test results,

Brilliant Green Bile Broth (Merck, Germany) medium containing Durham tube from all gas positive tubes were inoculated with a loop. After incubating at 37°C for 24-48 hours; the number of proven coliform bacteria in 1 mL of the first dilution was determined using the MNP table. This value was multiplied by the dilution factor of the initial dilution and the number of proven coliform bacteria per 1 gram of sample was calculated. In order to count the fecal coliforms, LSTB tubes, which gave positive results in total coliform analysis, were inoculated with *Escherichia coli* (EC) Broth with a Durham tube. Then they were incubated at 45°C for 24-48 hours. The tubes with gas formation were determined, using the MNP table, the possible number of fecal bacteria in 1 mL of the first dilution was determined. This value was multiplied by the first dilution factor and the number of probable fecal coliform bacteria in 1 gram of food was found out (Feng et al. 1998).

2.2.4.3. Yeast- Mold

For the yeast-mold count, the sterilized Potato Dextrose Agar (PDA) medium supplemented with 10% tartaric acid (Merck, Germany) was used. 0.1 mL of the prepared dilutions was transferred to petri dishes. Then the petri dishes were incubated at 28°C for 4-5 days. All colonies that developed at the end of incubation were counted and expressed as yeast-mold (Halkman 2005).

2.2.5. Statistical Analysis

Results were statistically analyzed using SPSS 22 (IBM Corp., Armonk, New York, USA) program. Sample averages were compared by applying one-way and two-way ANOVA. The 95% confidence interval was studied.

3. RESULTS and DISCUSSION

The effect of extracts (Table 1) and storage time (Table 2) were found to be statistically significant ($P < 0.05$) on the TPAB, coliform and yeast-mold. Table 1 shows the effects of ethanolic extracts on mean TPAB, coliform and yeast-mold.

3.1. Total Psychrotroph Aerobic Bacteria (TPAB)

TPAB count of sausages (control) was found as 8.82 log cfu/g, ethanol showed the least antimicrobial effect (8.31 log cfu/g). 10% EEP showed the highest inhibitory effect as 6.61 log cfu/g. If extracts are ranked from the most antimicrobial activity to the lowest, it can be represented as EEP, EES, EEC, EEL and EEY. The inhibitory effect of 5% EES (7.74 log cfu/g) and 5% EEC (7.83 log cfu/g) were determined higher than 10% EES (7.95 log cfu/g) and 10% EEC (7.90 log cfu/g), respectively. The antimicrobial effect of 10% concentrations of other extracts was found to be higher than 5% concentrations. TPAB was high in all samples (except 10% EEP). 10% EEP in agreement with Turkish Food Codex Microbiological Criteria, *i.e.* $< 5.10^6$ CFU/g (Food Codex 2011).

Table 1. Effects of EES, EEL, EEY, EEC and EEP on TPAB, coliform and yeast-mold count log cfu/g.

Factor	TPAB	Coliform	Yeast-Mold
Sausage	8,82±0,55 ^a	33,73±0,02 ^a	8,55±0,19 ^a
Ethanol	8,31±0,36 ^{ab}	13,37±0,01 ^c	6,99±0,23 ^c
EES 5%	7,74±0,33 ^c	19,37±0,02 ^b	6,89±0,29 ^c
EES 10%	7,95±0,14 ^b	14,89±0,02 ^c	6,55±0,89 ^{cd}
EEL 5%	8,05±0,14 ^b	11,04±0,02 ^c	7,65±0,58 ^b
EEL 10%	7,94±0,12 ^b	2,14±0,02 ^d	7,01±0,62 ^b
EEY 5%	8,18±0,26 ^{ab}	1,21±0,01 ^d	7,53±0,36 ^b
EEY 10%	7,83±0,51 ^{bc}	16,14±0,21 ^{bc}	7,67±0,32 ^b
EEC 5%	7,83±0,19 ^{bc}	33,03±0,23 ^a	7,66±0,57 ^b
EEC 10%	7,90±0,74 ^b	32,83±0,45 ^a	7,32±0,62 ^{bc}
EEP 5%	7,47±0,32 ^d	0,61±0,01 ^e	6,88±0,45 ^c
EEP 10%	6,61±0,43 ^c	3,87±0,02 ^d	5,60±0,42 ^d

* indicates a significant difference between means ($p < 0.05$), (EES; ethanolic extract of sage, EEL; ethanolic extract of lavender, EEY; ethanolic extract of yarrow, EEC; ethanolic extract of St. John's Wort, EEP; ethanolic extract of propolis)

Table 2 shows the count of TPAB, coliform and yeast-mold of first control group (please check which group is it, I understand first control group, S) of chicken sausage. According to the Table 2 the count of TPAB increased during storage. TPAB in the sausage samples was found as 5.98 log cfu/g on 0. day. After 10 days of storage, the level of TPAB in the control sausages reached 11.37 log cfu/g. The treatment of sausage samples with all extracts reduced the levels of TPAB during storage period compared to the control sausages.

Table 2. Effects of only storage days (without samples) on mean TPAB, coliform and yeast-mold log cfu/g.

Storage (day)	TPAB	Coliform	Yeast-Mold
0	5,98±0,03 ^{c*}	6,50±0,02 ^b	4,83±0,03 ^d
2	6,44±0,03 ^c	6,43±0,01 ^b	6,22±0,005 ^c
4	7,60±0,04 ^c	9,59±0,00 ^a	5,65±0,03 ^c
6	8,86±0,31 ^b	4,50±0,01 ^d	7,95±0,03 ^b
8	9,06±0,04 ^b	1,07±0,00 ^d	8,01±0,04 ^b
10	11,37±0,03 ^a	6,04±0,01 ^{bc}	10,50±0,03 ^a

* indicates a significant difference between means ($p < 0.05$)

Figure 1 shows 10% EEC had the highest antimicrobial effect on TPAB as 4.52 log cfu/g on 4.day. 10% EEP showed the highest antimicrobial effect (7.88 log cfu/g) when the TPAB in the control sample reached 13.42 log cfu/g on the last day of storage. In various studies, it has been stated that the addition of 2% EEP (Viera et al. 2016) and 3-7% EEP (Payandan et al. 2017) additions to sausages have an antimicrobial effect on psychrophilic bacteria. Many studies have reported that EES, EEY, EEL, EEC and EEP has an antimicrobial effect (Ayar et al. 2002; Bakkaloğlu and Arıcı 2019; Çalışkan 2019; Da Silva et al. 2018; Ekiz 2016; Monroy et al. 2017; Yılmaz and Ergün 2012; Yerlikaya 2021). However, there are also studies in which the inhibitory activity of EEP is higher than the others (Candan and Bağdatlı 2018; Yerlikaya and Şen Arslan 2022). It is thought the phenolic compounds it contains cause the high antimicrobial activity of propolis. Vasinauskienė et al. (2006) stated EEY has inhibitory effect against *Pseudomonas spp.* and *Bacillus spp.* as psychrotroph aerobic bacteria.

Yerlikaya et al. (2021) reported 5% and 10% EEY has antibacterial activity on *Bacillus cereus* as TPAB.

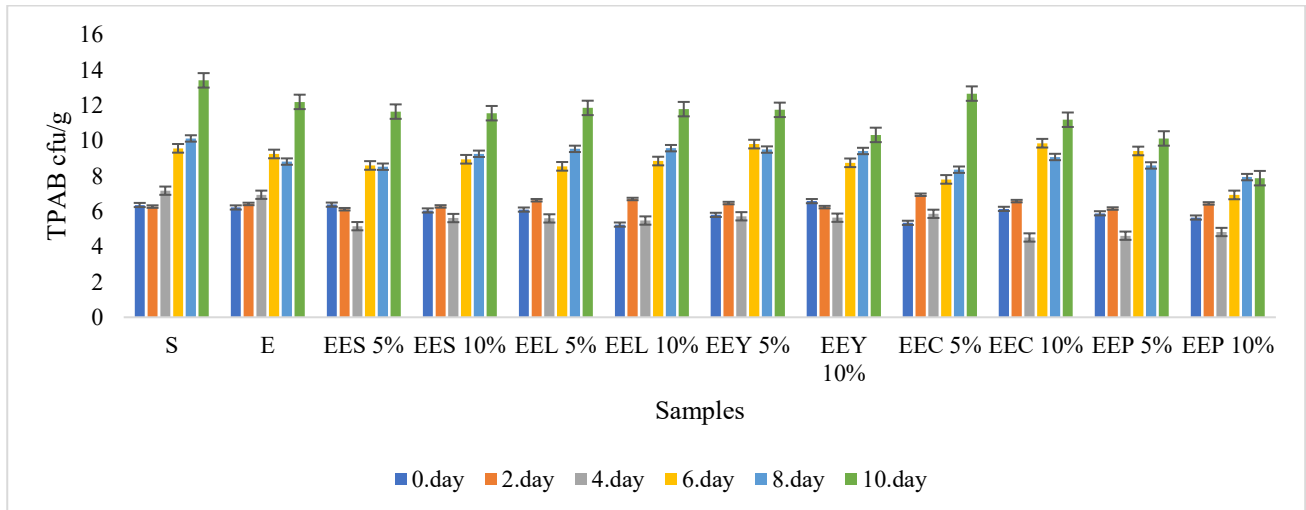


Figure 1. Inhibitory effect of extracts on TPAB depend on storage time.

3.2. Total Coliform and Fecal Coliform

The coliform count of sausages was found as 33.73 log cfu/g, and 5% EEC showed the least antimicrobial effect (33.03 log cfu/g). 5% EEP showed the highest inhibitory effect as 0.61 log cfu/g. If extracts are ranked from the most antimicrobial activity to the lowest, it can be represented as EEP, EEL, EEY, EES and EEC. The inhibitory effect of 5% EEY (1.21 log cfu/g) and 5% EEP (0.61 log cfu/g) were determined higher than 10% EEY (16.14 log cfu/g) and 10% EEP (3.87 log cfu/g), respectively. The antimicrobial effect of 10% concentrations of other extracts was found to be higher than 5% concentrations (Table 1). Table 2 shows that there is a fluctuation in the storage process. Coliform was found

as 6.50 log cfu/g on 0.day of storage; this number decreased 1.07 log cfu/g on 8.day of the storage. Containing coliform bacteria, which is accepted as a hygiene indicator, make think insufficient heat and time applications during the cooking of the products, or the possibility of exposure to a secondary contamination of the products. Figure 2 shows 10% EEP had the highest antimicrobial effect on coliform as 0 log cfu/g in all storage days except 0.day. While the number of coliform bacteria in the control samples increased continuously during storage, it was determined that ethanol and ethanolic extract additions decreased this number. EES had the least antimicrobial effect on coliform bacteria. 10% concentration of all extracts showed more effect than 5% concentration.

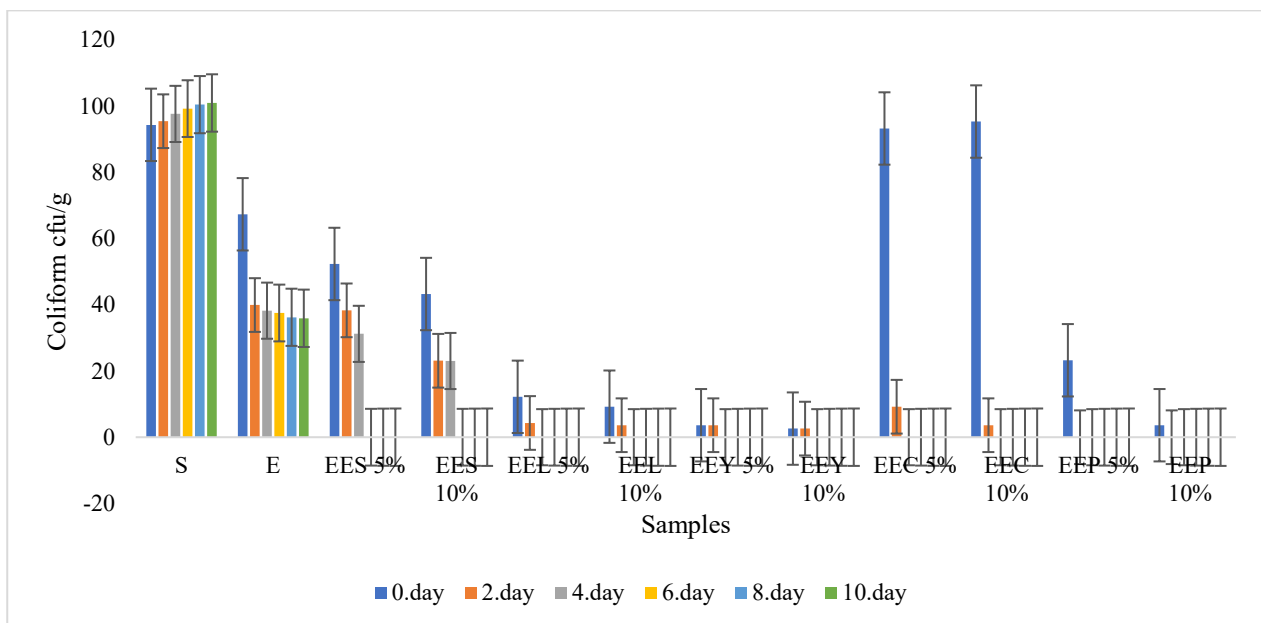


Figure 2. Inhibitory effect of extracts on coliform depend on storage time.

Viere et al. (2016) reported that 2% EEP has no inhibitory effect on total coliform bacteria in sausages. In the current

study, 5% EEP showed a full antimicrobial effect on the 2. day of storage. Yerlikaya and Şen Arslan (2022) stated

EEP has more antibacterial effect on *E.coli* (a member of coliform bacteria) than EES and EEL. They also reported as *E.coli* concentration increased, antimicrobial effect of EEL is higher than that of EES. Sariçoban and Yerlikaya (2015) determined different concentration of propolis has antibacterial effect on *E.coli*. İlkimen and Gülbandilar (2018) reported EEL has higher antibacterial effect than EES on *E.coli* (as a coliform), as in this study. Serpi et al. (2012) indicated EEL has inhibitory activity on some pathogen microorganisms. Haşimi et al. (2015) and Nostro et al. (2000) determined different plants' ethanolic extracts have antimicrobial activity *E.coli*, as coliform bacteria.

3.3. Yeast-Mold

While the yeast-mold count of sausages was found as 8.55 log cfu/g, 10% EEY showed the least antifungal effect (7.67 log cfu/g). 10% EEP showed the highest inhibitory effect as 5.60 log cfu/g. If extracts are ranked from the most antifungal activity to the lowest, it can be represented as EEP, EES, EEL, EEC and EEY. The inhibitory effect of 5% EEY (7.53 log was determined higher than 10% EEY (7.67 log cfu/g). The antifungal effect of 10% concentrations of other extracts was found to be higher than 5% concentrations (Table 1).

Table 2 shows, the count of yeast-mold count increased during storage (except for 4.day). 0.day of storage, the count of yeast-mold was found as 4.83 log cfu/g; this number reached 10.50 log cfu/g on 10.day of the storage. It was determined that 10% EEP showed the most antifungal activity on all storage days (Figure 3). 10% EEP reduced yeast-mold count to 8.2 log cfu/g when S (control) count was 12.49 log cfu/g at the end of storage. The yeast-mold concentration increased on the 10th day of storage in all treatments. On 0th day of storage, there was 5.92 log cfu/g yeast-mold in the S sample; 10% EEP (4.12 log cfu/g) showed the highest antifungal effect.

EEP decreased the population more efficient than the other extracts and ethanol treatments. Inhibitory activity by phenolic and other substances of propolis can be thought to be the cause of this situation. The higher inhibitory activity of propolis than the other extracts may be related to the flavanols, flavones, flavanones and isoflavones in its composition (Hema'ndez and Bernal 1990; Sforcin et al. 2000). Compared to ethanol (negative control), it is thought the inhibitory activity of propolis is due to other substances, not just ethanol in propolis.

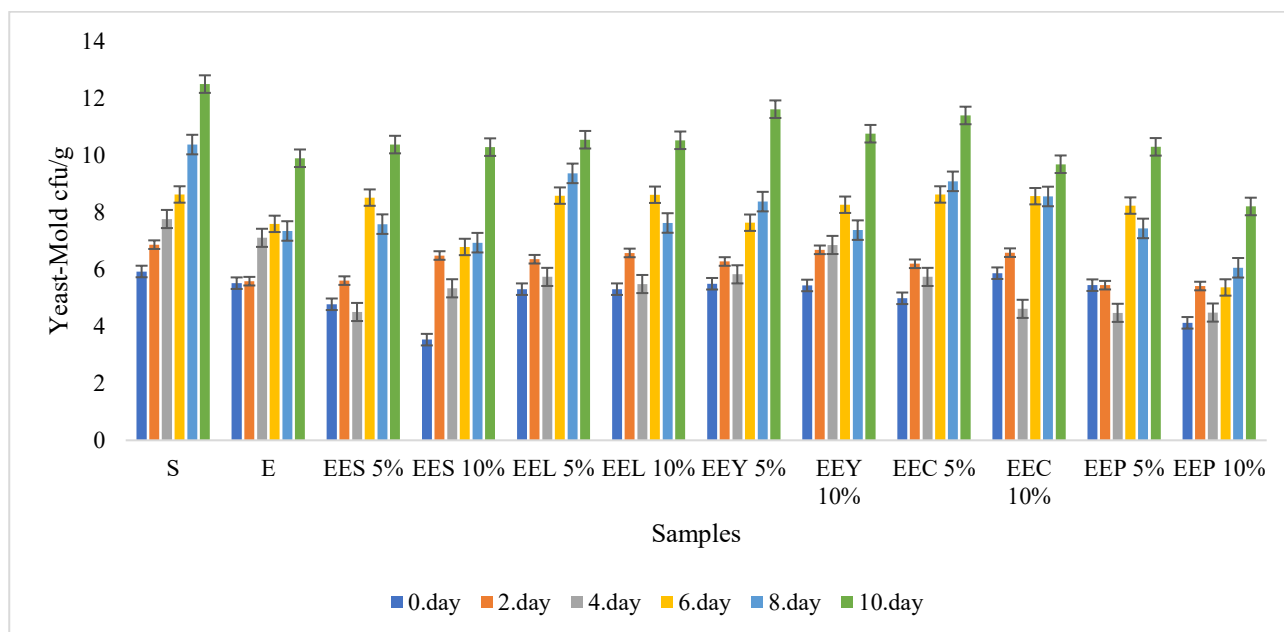


Figure 3. Inhibitory effect of extracts on yeast-mold depend on storage time.

Kujumgiev et al. (1999) stated that propolis collected from different geographical regions has antifungal activity. Bruni et al. (2003) stated that the antimicrobial effect of sage on yeast-mold is due to the phenols, aldehydes and ketones it contains.

4. CONCLUSION

Problems such as the inadequacy of the sausage production methods with modern technologies, the incorrect or insufficient application of heat treatment during production, and the poor microbiological quality of the raw materials used can cause the microbiological

quality of the sausages to threaten public health. For this reason, serious microbiological problems may be encountered during storage in sausages. Various techniques are used to avoid these problems. One of them is to add natural additives without using chemical preservatives. In this study, various plant and propolis extracts were used as a natural method. It has been determined that all the extracts (EES, EEY, EEL, EEC and EEP) can be used in the storage of sausages for the inhibition of TPAB, coliform bacteria and yeast-mold. In particular, the antimicrobial effect of propolis was found to be higher than the others.

CONFLICT OF INTEREST

No conflict of interest was declared by the authors.

THANKS

Financial support (scientific research project) was provided by Karamanoğlu Mehmetbey University (Project no: 08-M-19), Turkey

REFERENCES

- AOAC (2000). Official Methods of Analysis (18th ed.). Arlington, VA, Association of Official Analytical Chemists.
- Ayar A, Özcan M, Akgül A (2002). The effect of thyme and sage extracts on microbiological quality of butter. *Anadolu Journal of Agricultural Sciences*, 17(2): 45–49.
- Bakkaloğlu Z, Arici M (2019). Effects of propolis extraction with different solvents on total phenolic content, antioxidant capacity and antimicrobial activity. *Akademik Food*, 17(4): 538-545.
- Berger K, Buckard W, Büter B, Schaffner W (1996). Züchterische bearbeitung von arzneipflanzen mit dem ziel einer optimierung der inhaltst off produktion. *Z.F.Arznei-und Gewürzpflanzen*, 1: 33–36.
- Bombardelli E, Morazzoni P (1995). *Hypericum perforatum*. *Fitoterapia*, 66: 43–58.
- Bomme U (1997). Produktionstechnologie von Johanniskraut (*Hypericum perforatum* L.). *Z. F. Arznei-und Gewürzpflanzen*, 2: 127–134.
- Bruni R, Medici A, Andreotti E, Fantin C, Muzzoli M, Dehesa M (2003). Chemical composition and biological activities of Ishpingo essential oil, a traditional Ecuadorian spice of *Ocotea quixos* (Lam) Kosterm. (Lauraceae) flower calices. *Food Chemistry*, 85(3): 415-421.
- Çakır A, Kordali S, Zengin H, Izumi S, Hirata T (2004). Composition and antifungal activity of essential oils isolated from *Hypericum hyssopifolium* and *Hypericum heterophyllum*. *Flavour and Fragrance Journal*, 19(1): 62-68.
- Çalışkan Z (2019). Effect of lavender essential oils on sensory, chemical and microbiological quality of meatballs with *Escherichia coli* O157:H7. Master theses, Burdur Mehmet Akif Ersoy University.
- Campbell MH, Delfosse ES (1984). The biology of Australian weeds 13. *Hypericum perforatum* L.. *Journal of The Australian Institute of Agricultural Science*, 50: 63-73.
- Candan T, Bağdatlı A (2018). Edible film and coating applications in food products el-cezeri. *Journal of Science and Engineering*, 5(2): 645-655.
- Da Silva, C, Prasniewski A, Calegari, M, De Lima V, Oldoni TL (2018). Determination of total phenolic compounds and antioxidant activity of ethanolic extracts of propolis using ATR–FT-IR spectroscopy and chemometrics. *Food Analytical Methods*, 11(7): 2013-2021.
- Dall’Agnol R, Ferraz A, Bernardi AP, Albring D, Nör C, Sarmento L, Lamb L, Hass M, von Poser G, Schapoval EES (2003). Antimicrobial activity of some *Hypericum* species. *Phytomedicine*, 10: 511–516.
- Davis PH (1982). *Flora of Turkey and The East Aegean Islands*. Edinburgh University Press, Vol. 7., Edinburgh.
- Del Monte D, De Martino L, Marandino A, Fratianni F, Nazzaro F, De Feo V (2015). Phenolic content, antimicrobial and antioxidant activities of *Hypericum perforatum* L.. *Industrial Crops and Products*, 74: 342–347.
- Demirci F, Kiyani HT, Demirci B, Baser KHC (2011). The in vivo angiogenic evaluation of *Achillea biebersteinii* Afan. and *Achillea teretifolia* Wild. essential oils. *Planta Medica*. 77(12): 1391.
- Diğrak M, Yılmaz Ö, Çelik S, Yıldız S (1995). Propolisteki yağ asitleri ve antimikrobiyal etkisi üzerinde in vitro araştırmalar. *Gıda*, 20(4): 249-255.
- Ekiz T (2016). The effect of some natural antimicrobial substances and potassium sorbate superficial application on the heat-treated sucuks quality characteristics. Master thesis, Afyon Kocatepe University.
- El-Feky, AM, Aboulthana WM (2016). Phytochemical and biochemical studies of sage (*Salvia officinalis* L.). *Pharmaceutical and Biosciences Journal*, 4: 56.
- Elmalı M, Ulukanlı Z, Yaman H (2005). Kars'da satışa sunulan emülsifiye tipi et ürünlerinin mikrobiyolojik kalitesi. *rciyes Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 2(19): 15-21.
- Feng NK, Zhi JC, Chun NL, Che MT (1998). Scavenger and antioxidant properties of prenylflavones isolated from *Artocarpus heterophyllus*. *Free Radical Biology and Medicine*, 25: 160-168.
- Filippi JJ, Lanfranchi DA, Prado S, Baldovini N, Meierhenrich UJ (2006). Composition, enantiomeric distribution, and antibacterial activity of the essential oil of *Achillea ligustica* All. from Corsica. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54: 6308–6313.

- Güner A, Atasever M, Aydemir AA (2012). Yeni ortaya çıkan ve önem kazanan gıda kaynaklı bakteriyel patojenler. Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi, 18(5):889-898.
- Halkman AK (2005). Merck gıda mikrobiyolojisi uygulamaları. Ed. AK Halkman. Başak Matbaacılık Ltd. Şti.
- Haşimi N, Kizil S, Tolun V (2015). An investigation on antimicrobial activities of fennel and sage essential oils. Journal of Life Sciences, 5(2): 227-235.
- Hema'ndez NMR, Bemal KC (1990). Efecto antibio' tico del propo' leo frente a cepas de Staphylococcus aureus origen clinic humano. Revista Cubana de Farmacia, 24: 45-50.
- Hosseinzadeh H, Reza Karimi G, Rakhshanizadeh M (2005). Anticonvulsant effect of Hypericum perforatum: role of nitric oxide. Journal of Ethnopharmacology, 98(8): 207-208.
- İlkimen H, Gülbandılar A (2018). Investigation of antimicrobial effects of lavender, sage tea, thyme and chamomile. Journal of Turkish Society of Microbiology, 48(4):241-246.
- Jazo Z, Glumac M, Pastar V, Bectic S, Radan M, Carev I (2023). Chemical composition and biological activity of Salvia officinalis L. essential oil. Plants, 12:1794.
- Kazemi M (2015). Chemical composition and antimicrobial, antioxidant activities and anti-inflammatory potential of Achillea millefolium L., Anethum graveolens L., and Carum copticum L. essential oils. Journal of Herbal Medicine 5: 217-222.
- Kordali S, Cakir A, Akcin TA, Mete E, Akcin A, Aydin T (2009). Antifungal and herbicidal properties of essential oils and n-hexane extracts of Achillea gypsicola Hub-Mor. and Achillea biebersteinii Afan. (Asteraceae). Industrial Crops and Products, 29: 562-570.
- Kujumgiev A, Tsvetkova I, Serkedjieva Y, Bankova V, Christov R, Popov S (1999). Antibacterial, antifungal and antiviral activity of propolis of different geographic origin. Journal of Ethnopharmacology, 64: 235-240.
- Lopez AS, Belloso OM (2008). Use of nisin and other bacteriocins for preservation of production in a Lactobacillus RN 78 strain isolated from a dairy sample in Iran. Medical Journal of Islamic World Academy of Sciences, 16(1): 19-24.
- Lu LC, Chen YW, Chou CC (2005). Antibacterial activity of propolis against Staphylococcus aureus. International Journal of Food Microbiology, 102(2): 213-220.
- Monroy YM, Rodrigues R.A, Rodrigues MV, Sant'ana AS, Silva BS, Cabral FA (2017). Brazilian green propolis extracts obtained by conventional processes and by processes at high pressure with supercritical carbon dioxide, ethanol and water. The Journal of Supercritical Fluids, 130: 189-197.
- Moon T, Wilkinson JM, Cavanagh HM (2006). Antiparasitic activity of two Lavandula essential oils against Giardia duodenalis, Trichomonas vaginalis and Hexamita inflata. Parasitology Research, 99(6): 722-728.
- Nostro A, Germanò MP, D'angelo V, Marino A, Cannatelli MA (2000). Extraction methods and bioautography for evaluation of medicinal plant antimicrobial activity. Lett Appl Microbiology, 30(5): 379-84.
- Payandan E, Sayyed-Alangi SZ, Shamloofar M, Koohsari H (2017). Study of chemical composition and efficacy of different extracts of Iranian propolis on the microbiological and sensory parameters of minced Cyprinus carpio meat at 4°C storage. Journal of Aquatic Food Product Technology, 26: 593-603.
- Polat G, Koçan D (2006). Propolis ve antimikrobiyal etkisi. Türkiye 9. Gıda Kongresi Bolu, Türkiye.
- Regulation on Turkish Food Codex (2011). Microbiological criteria. Law of authorization: 5996 Ankara, Turkey: Official Gazette of Turkey.
- Riahi L, Elferchichi M, Ghazghazi H, Jebali J, Ziadi S, Aouadhi C (2013). Phytochemistry, antioxidant and antimicrobial activities of the essential oils of Mentha rotundifolia L. in Tunisia. Industrial Crops and Products 49: 883-889.
- Salomão K, Dantas AP, Borba CM, Campos LC, Machado DG, Aquino Neto FR, Castro SL (2004). Chemical composition and microbicidal activity of extracts from Brazilian and Bulgarian propolis. Letters in Applied Microbiology, 38(2): 87-92.
- Sarıçoban C, Yerlikaya S (2015). Inhibitory effects of ethanolic extracts of propolis at different concentrations against S. aureus and E. coli 0157:H7. Fleischwirtschaft International, 4: 56-61.
- Scazzocchio F, D'Auria FD, Alessandrini D, Pantanella F (2006). Multifactorial aspects of antimicrobial activity of propolis. Microbiological Research, 161(4): 327-33.
- Seçkin AK, Tosun H, Aritürk R (2010). Biyokorumanın süt endüstrisinde kullanım olanakları. Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi, 5(3): 36-46.

- Şen Arslan H, Çam M (2022). Antidiabetic and antioxidant properties of nine medicinal and aromatic plants extracts: Inhibition of key enzymes linked to type-2 diabetes. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies*, 28(1): 27-34.
- Serpi M, Özdemir ZÖ, Salman Y (2012). Investigation of the antibacterial effects of some plant extracts on *Propionibacterium acnes*. *KSU Journal of Natural Sciences*, 15(1).
- Sforcin JM, Fernandes JRA, Lopes C, Bankova V, Funari SRC (2000). Seasonal effect on Brazilian propolis antibacterial activity. *Journal of Ethnopharmacology*, 73: 243–249.
- Tosun D, Demirbaş N (2012). Türkiye'de kırmızı et ve et ürünleri sanayiinde gıda güvenliği sorunları ve öneriler. *Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 26(1): 93-101.
- Tuberoso CIG, Kowalczyk A, Coroneo V, Russo MT, Dessi S, Cabras P (2005). Chemical composition and antioxidant, antimicrobial, and antifungal activities of the essential oil of *Achillea ligustica* All. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(26): 10148–10153.
- Vasinauskiene M, Radusiene J, ZitiKaite I, Surviliene E (2006). Antibacterial activities of essential oils from aromatic and medicinal plants against growth of phytopathogenic bacteria. *Agronomy Research*, 4: 437-440.
- Viera VB, Piovesan N, Moro KIB, Rodrigues AS, Scapin G (2016). Preparation and microbiological analysis of Tuscan sausage with added propolis extract. *Food Science and Technology*, 36: 37-41.
- Wagner N (1980). *Pharmazeutische biologie 2. drogen und ihre inhalstoffe*. Gustav Fischer Verlag Stuttgart, New York.
- Walker L, Sirvent T, Gibson D, Vance N (2001). Regional differences in hypericin and pseudohypericin concentrations and five morphological traits among *Hypericum perforatum* plants in the Northwestern United States. *Canadian Journal of Botany*, 79 (10): 1248-1251.
- Wichtl M (1986). *Hypericum perforatum* L. das johanniskraut. *Z. F. Phytotherapie*, 3: 87–90.
- Yerlikaya S (2021). *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 inhibition with propolis in pasteurized and UHT milks. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies*, 27(3): 342-344.
- Yerlikaya S, Pinar Karaarslan G, Şen Arslan H (2021). Inhibitory effects of ethanolic yarrow extracts against *Bacillus cereus* ATCC 11778. *Proceeding of the 5. International GAP Food Agriculture and Veterinary Sciences Kongress, İstanbul, Turkey*.
- Yerlikaya S, Şen Arslan H (2022). Effects of ethanolic extracts on pathogens inoculated onto chicken sausages. *Fleischwirtschaft*, 5: 76-80.
- Yilmaz S, Ergün S (2012). Effects of medicinal herb extracts on egg hatching of the angelfish (*Pterophyllum scalare*). *Journal of the Faculty of Veterinary Medicine, Kafkas University*, 18(2): 185-189.

Günlük Akarsu Akım Verilerinin Destek Vektör Makinesi ve Dalgacık Dönüşümü ile Modellenmesi: Çoruh Havzası Büyükdere Çayı Örneği

Ulviye ZİYA¹, Mehmet Ali HİNİS^{1*}

¹ Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Aksaray, Türkiye

Alındı/Received: 02/05/2024; Kabul/Accepted: 25/07/2024; Yayın/Published: 29/11/2024

! Makale birinci yazarın yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

* Sorumlu yazar e-posta: mhinis@aksaray.edu.tr

Öz

Günlük akarsu akımlarının tahmini su yapılarının işletilmesi, kontrolü ve yönetimi için önemlidir. Kısa süreli akım değerlerinin tahmini birçok parametreye bağlı ve değişkenlik gösteren zor bir görevdir. Günlük, haftalık gibi kısa süreli akış tahminleri, bir havzadaki belirli bir rezervuarın önümüzdeki kısa zaman boyunca akışını tahmin etmek için kullanılır. Bu tahminler, mevcut su kaynaklarının optimum kullanımı için rezervuarda depolamasının aktif olarak düzenlenmesini gerektiren hidroelektrik güç planlaması ve taşkın azaltmayı planlamak için kullanılır. Bu sebeple gerek akarsu yapılarının yönetiminde rezervuarda ne kadar su biriktirileceği veya bırakılacağı belirlenmesinde gerekse üretilecek enerji miktarının belirlenmesinde kısa süreli akım tahminlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sebeple kısa süreli akımlar için en uygun tahminin yapılabilmesi su yapılarının yönetiminde hayati öneme sahiptir. Bu çalışmada günlük akım verilerinin kısa süreli akım tahminlerinde son yıllarda geliştirilmiş ve sıklıkla tercih edilen makine öğrenmesi yöntemlerinden birisi olan Destek Vektörleri Makineleri (DVM) incelenmiştir. Çoruh havzasında bulunan Büyükdere Çayına ait 1981-2009 yılları arasında ölçülmüş 10168 adet günlük akım verileri kullanılarak bu yöntem ile geliştirilen modeller sonuçlarının iyileştirilmesi için dalgacık dönüşümü kullanılarak hibrit modeller elde edilmiş ve günlük akım verileri için en uygun modeller araştırılmıştır. Geliştirilen modeller arasında 1,2 ve 5 günlük geciktirilmiş akım verilerin kullanılarak geliştirilen Dalgacık dönüşümlü DVM (WDVM04) modeli çeşitli istatistik kriterleri (R:0.998; NSE:0.996; KGE:0.993; PI:0.039; RMSE:0.304 ve MAPE:0.056) kullanılarak en iyi model olarak bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Destek vektörleri makineleri, günlük akarsu akımı, dalgacık dönüşümü

Estimation of Daily Stream Flow Data Using Support Vector Machines and Wavelet Transform Model

Abstract

Estimating daily stream flows is significant for water structure operation, control, and management. Estimating short-term current values is difficult, depending on many parameters and variables. Short-term flow forecasts, such as daily, weekly, etc., are used to predict the flow of a particular reservoir in a basin over the next short period. These forecasts are used to plan hydroelectric power planning and flood mitigation, which requires active regulation of reservoir storage for optimal use of available water resources. For this reason, short-term flow forecasts are needed to determine how much water will be accumulated or left in the reservoir to manage river structures and to determine the amount of energy to be produced. Consequently, making the most appropriate prediction for short-term flows is vital in managing water structures. Support Vector Machines (SVM), one of the frequently preferred machine learning methods developed in recent years for short-term flow forecasting using daily flow data, were examined in this study. Hybrid models were obtained using wavelet transform to improve the results of the models developed with this method, using 10168 daily flow data of Büyükdere Stream in the Çoruh basin, measured between 1981 and 2009, and the most suitable models for daily flow data were investigated. Among the developed models, the Wavelet Transform SVM (WDVM04) model, developed using 1, 2, and 5-days lagged flow data, was used using various statistical criteria (R: 0.998; NSE: 0.996; KGE: 0.993; PI: 0.039; RMSE: 0.304 and MAPE: 0.056) was found to be the best model.

Key Words: Support vector machines, daily stream flow, wavelet transform

Atf / To cite : Ziya U, Hınıs MA (2024). Günlük Akarsu Akım Verilerinin Destek Vektör Makinesi ve Dalgacık Dönüşümü ile Modellenmesi: Çoruh Havzası Büyükdere Çayı Örneği. Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Dergisi, 6(2): 18-32.

1. GİRİŞ

Su kaynakları mühendisliği plan ve projelendirme çalışmalarında kullanılan en önemli veriler arasında akarsu akımları, yeraltı su seviyeleri, yağış, akış, sızma ve buharlaşma değerleri sayılabilir. Bu verilerin sağlıklı şekilde elde edilmesi, eksik olan verilerin tamamlanması ve geleceğe yönelik tahmin yapılması planlamanın sağlıklı yapılabilmesi için en önemli aşamadır. Taşkın ve kurak zamanlar ve bu zamanlardaki akım tahminleri büyük ve küçük hidrolik yapıların tasarımında ve yönetiminde önemlidir. Akım tahminlerinde uzun süreli ve kısa süreli akımların tahmin edilmesi planlama açısından kısa süreli ve uzun süreli planlamaların kolaylaştırılmasına ve su yapılarının tasarımına ışık tutacaktır.

Büyük debi, yüksek su seviyesi ve büyük hızlar ile karakterize edilen taşkın değerinin bilinmesi hidrolik yapılar için önemlidir. Aynı zamanda su yapılarının yönetilmesi esnasında gelecekte meydana gelecek olan büyük akım değerlerinin önceden kestirilmesi halinde depolama hacminin önceden tahmin edilip gerekli hazırlıkların yapılması için yeterli zaman kazanmak mümkündür. Özellikle baraj, bağlama ve su kuvveti tesislerinde taşkın debilerinin bilinmesi büyük önem taşır (Erkek ve Ağralıoğlu 1993). Hidrolik yapıların tasarımında akışların gelecekteki olası değerleri kullanılmaktadır. Rastgele değişken olan yağışlar sonucu oluşan akışların gelecekteki değerlerini önceden tam olarak kestirmek mümkün olamamakla beraber bu değişkenin gelecekteki durumu yapay sinir ağları ve türevleri olan çeşitli makine öğrenmesi yöntemleri ile yaklaşık olarak belirlenebilmektedir. Hidrolik yapıların tasarım ve işletilmesinde, debi tahminlerinde ve havzalarda yerleşke kurmaktan taşkın tahliyesine kadar uzanan ilgi alanlarında tahmin modelleri kullanmak zorunlu hale gelmiştir. Günlük akarsu akımlarının tahmini su yapılarının işletilmesi, kontrolü ve yönetimi için oldukça önemlidir. Kısa süreli akım değerlerinin tahmini birçok parametreye bağlı olarak değişkenlik gösteren zor bir konudur. Akış tahmin modellerinin doğruluğu ve becerisi, su kaynakları yönetimi kararları üzerinde doğrudan etkiye sahiptir. Su kaynakları yöneticilerine ve politika yapıcılara daha iyi ve bilinçli karar vermede yardımcı olmak için çeşitli istatistiksel ve kavramsal akış tahmin modelleri geliştirilmiştir. Regresyona dayalı modeller de dahil olmak üzere istatistiksel teknikler aşırı derecede basittir ve analizden önce değişkenler arasında işlevsel bir biçimde sınırlıdır. Kavramsal hidrolojik modeller, bir havzadaki akarsu akışını daha iyi simüle edebilir çünkü matematiksel formülasyon yoluyla hidrolojik döngünün çeşitli süreçlerini hesaba katarlar. Ancak son yıllarda geliştirilen çeşitli makine öğrenmesi yöntemleri ile daha uygun sonuçlar almak mümkün olmaktadır. Yapay zeka yöntemleri ve Makine Öğrenmesi yöntemleri; yüksek boyutlu verilerin daha düşük boyutlara indirgenmesi, kümeleme ve sınıflandırma analizleri gibi çok değişkenli veri incelenmesinde kullanılan istatistiksel yöntemlere alternatif olarak son yıllarda kullanılmaktadır (Liu ve Weisberg 2005). Akım verilerinin tahmin edilmesinde kullanılan yöntemler arasında yapay sinir ağlarına ilave olarak uzman sistemler ve son yıllarda giderek popülerlik

kazanan makine öğrenmesi yöntemleri sayılabilir. Bu yöntemler uygulanırken uzun dönem tahminlerinde (aylık, yıllık) daha iyi sonuçlar elde edilirken kısa dönem tahminlerinde (günlük, saatlik) aynı başarı elde edilememektedir.

Deo ve ark. (2017) üç farklı algoritmayla Çoklu Uyarlanabilir Regresyon Eğrileri (MARS), En küçük kareler Destek Vektör Makineleri (LSSVM), M5 Karar ağaçlarını kuraklık analizleri üzerinde uygulamışlardır. Faizollahzadeh Ardabili ve ark. (2019) Rastgele Orman yönteminin hidrolojik modellemede etkin bir biçimde kullanılabileceğini göstermişlerdir.

Son yıllarda çeşitli yapay zeka tekniklerinin kuraklık tahminlerindeki kullanımına değinen Mokhtarzad ve ark. (2017), ANN, ANIFS ve SVM yöntemleri ile Bojnourd (İran) bölgesinde bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışma Normalleştirilmiş Yağış İndisi (SPI) ile kuraklık analizi yapmış ve analiz sonuçlarını modellemiştir. 1984 – 2012 yılları arasında yağış verisini kullanarak SPI'ı 3 aylık zaman periyodunda modellemiştir. Mohamadi ve ark. (2020) ANFIS, MLP, Radyal Tabanlı Yapay Sinir Ağları (RBFNN) ve SVM algoritmalarından yararlanarak kuraklık modellemesi yapmış ve su kaynaklarının etkili yönetilmesinde son derece önemli olduğunu göstermiştir.

Choubin ve ark. (2016) aylık ortalama yağış verisini kullanarak Kuraklık analizi yapmış ve analiz için veri madenciliğinde yer alan Çok Katmanlı Algılayıcı (MLP), ANFIS ve Karar Ağaçları (MP5) yöntemlerinden yararlanmıştır. MLP ile yapılan analizlerin diğerlerinden daha iyi olduğu sonucuna ulaşmıştır. Ghorbani ve ark. (2016) akarsu akımı tahmininde MLP, RBFNN ve SVM yöntemlerini karşılaştırarak, MLP'nin diğer modellere göre daha iyi tahmin etme kabiliyetine sahip olduğunu ortaya koydular.

Günlük akım tahmininde son yıllarda kullanılan baskın yaklaşım, makine öğrenimi ve regresyon algoritmalarının uygulanmasıdır. Doğrusal modellerin (çoğunlukla zaman serisi modelleri) aylık ve yıllık olan daha büyük zaman ölçeklerinde daha rekabetçi olduğu bulunmuştur (Papacharalampous ve ark. 2018). Regresyon algoritmaları, belirli bir zamandaki bağımlı değişken akışını bir dizi seçilmiş öngörücü değişkenin (örneğin, geçmiş akış akış değerleri, geçmiş yağış değerleri ve geçmiş sıcaklık değerleri) fonksiyonu olarak modeller; son iki tür bilgi topluca "dışsal tahmin değişkenleri" olarak adlandırılır. Makine öğrenimi durumunda, bu işlev algoritmik bir yaklaşımla doğrudan verilerden öğrenilir. Günlük akış tahminine yönelik mevcut yaklaşımların çoğunlukla tek bir makine öğrenimi algoritmasının uygulanmasına dayanmaktadır.

Mevcut çalışmanın sonuçları, hidrolojik uygulamalar alanında günlük akış tahmini için kullanılabileceği gibi zaman serisi modellerinin görece performansının anlaşılmasını da geliştirecek sonuçlar içermektedir. Hidroloji bilimi uygulamalarında makine öğrenimi uygulamalarının daha iyi anlaşılmasını kolaylaştırarak sonuçlar sunulmuştur.

Bu çalışmada son yıllarda en çok kullanılan makine öğrenmesi yöntemleri arasında yer alan Destek Vektör Makineleri (DVM) kullanılarak baraj ve bağlama gibi önemli su yapılarının yönetilmesinde önemli yer alan günlük akarsu akımlarının modellenmesi ve akım değerlerinin ileriye yönelik tahmin edilmesinde yardımcı olacak bir model ortaya koymak amaçlanmıştır. DVM yöntemi ile hesaplanan modeli iyileştirmek için dalgacık dönüşümü kullanılmış ve model sonuçları çeşitli istatistik kriterler ile karşılaştırılarak en uygun model belirlenmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Çalışma Alanı ve Veri

Bu çalışmada Çoruh havzasında bulunan Büyükdere Çayına ait 1981-2009 yılları arasında ölçülmüş 10168 adet günlük akım verileri kullanılmıştır. Büyükdere Çayının coğrafi konumu Şekil 1'de gösterilmektedir. Büyükdere Çayı Bayburt ilinin önemli su kaynağı olan Çoruh ırmağına dökülmektedir. Bölgede Karadeniz iklimi ile Doğu Anadolu iklimi arasında, karasal özellikleri ağır basan bir geçiş iklimi mevcuttur. Bayburt'ta tüm yıllara ait ortalama yağış 433,4 mm olup en yüksek sıcaklık 36,2⁰ C ve en düşük sıcaklık -26,2⁰ C olarak görülmüş ve ortalama sıcaklık 7,0⁰ C derecedir (Anonim 2024).

Bu amaç doğrultusunda, Çoruh havzasında bulunan Büyükdere Çayına ait 1981-2009 yılları arasında ölçülmüş 10168 adet günlük akım verileri eksiksiz olarak kullanılmıştır. Bu verilere ait modeller oluşturulup sonuçları değerlendirilmiştir. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü'nden elde edilen günlük akım verileri Şekil 2'de verilmiştir. Verilerin %70'lik kısmı eğitim aşamasında, %30'luk kısmı ise test aşamasında kullanılmıştır. Kullanılan verilerin temel istatistiksel özetleri tablo 1'de verilmiştir. Bu çalışmada günlük akımları tahmin edebilmek için pek çok model oluşturulmuş ve bu oluşturulan modeller arasında en iyi sonuç veren yedi farklı model seçilmiştir. Çalışmada kullanılmak üzere geliştirilen Modeller tablo 2'de verilmiştir. Buna göre t gözlenen akış ve tahmin verisi zamanını, t-1; 1 günlük, t-2; 2 günlük, t-3; 3 günlük geçmişe yönelik ötele zamanını temsil etmektedir. Bu modeller üç farklı DVM eğitim (Lineer, Polinom ve Gauss) fonksiyonları kullanarak hesaplanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Daha sonra Dalgacık Dönüşümü kullanılarak yine aynı yöntemler ile oluşturulan modeller hesaplanmış ve modeller birbirleri ile karşılaştırılarak sonuçları yorumlanmıştır.

Tablo 1. Verilen temel istatistik değerleri

	Tüm Veri	Eğitim Verisi	Test Verisi
Ortalama	3.851	3.848	3.860
St.Sapma	5.144	5.222	4.957
Varyasyon Katsayısı	1.336	1.357	1.284
Çarpıklık	2.577	2.735	2.138
Maks	70.476	70.476	30.610
Min	0.118	0.118	0.183

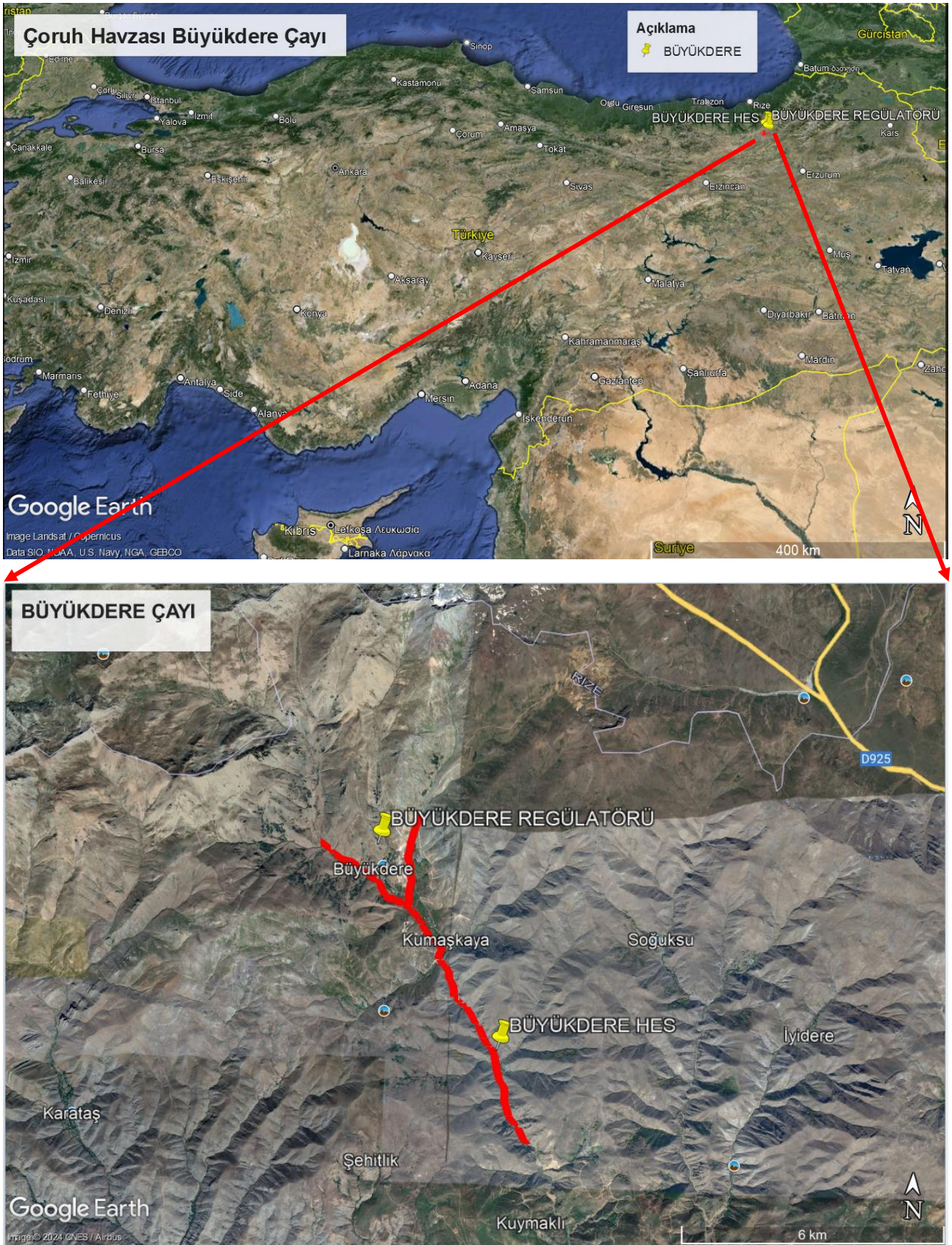
Tablo 2. Çalışmada kullanılan modeller

Modeller	Girdi	Çıktı
M01	Q_{t-1}	Q_t
M02	Q_{t-1}, Q_{t-2}	Q_t
M03	$Q_{t-1}, Q_{t-2}, Q_{t-3}$	Q_t
M04	$Q_{t-1}, Q_{t-2}, Q_{t-5}$	Q_t
M05	$Q_{t-1}, Q_{t-2}, Q_{t-6}$	Q_t
M06	$Q_{t-1}, Q_{t-2}, Q_{t-11}$	Q_t
M07	$Q_{t-1}, Q_{t-2}, Q_{t-30}$	Q_t

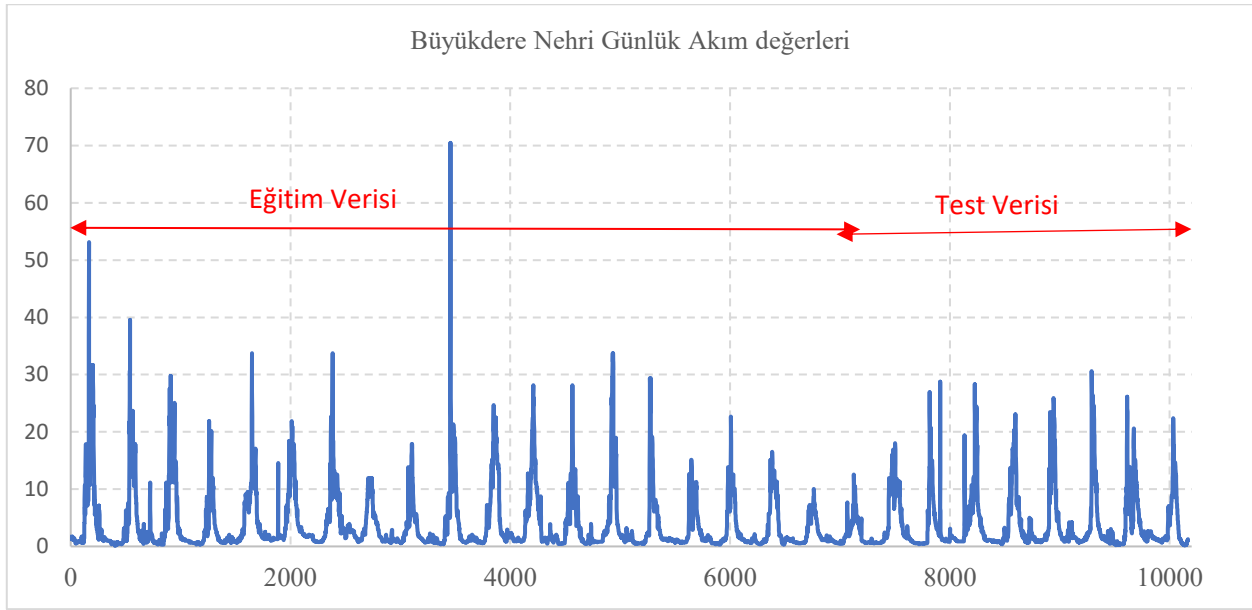
2.2. Destek Vektörleri Makinesi (DVM)

DVM modelleri başlangıçta doğrusal olarak ayrılabilir nesne sınıflarının sınıflandırılması için geliştirilmiştir. DVM'nin çalışma prensibi iki sınıfı birbirinden ayırabilen en uygun karar fonksiyonunun tahmin edilmesidir. İki ayrı sınıftan doğrusal olarak ayrılabilir nesnelere oluşan iki boyutlu bir düzlemde bunları mükemmel şekilde ayıran bir sınıflandırıcı bulmak amaçlanmıştır. Bu nesnelere sınıflandırmak için SVM, maksimum marj üreten bir hiperdüzlem bulmaya çalışır (Vapnik 1995). Bu hiperdüzlem ile SVM, her sınıfın en yakın veri noktası arasındaki mesafeyi maksimuma çıkarır. Her iki sınıfın hiperdüzlemlerinin üzerine düşen nesnelere destek vektörleri olarak adlandırılır. Destek vektörleri en önemli eğitim noktalarıdır. Destek vektörleri Hiperdüzlemi tanımlar ve karar yüzeyinin optimum konumunun belirlenmesinde doğrudan etkiye sahiptir (Raghavendra ve Deka 2014). Gerçek zamanlı problemlerde, verileri uzayda bölen, ayırıcı bir hiperdüzlemi tam olarak belirlemek mümkün değildir ve ayrıca bazı durumlarda eğri bir karar sınırı elde edilebilir. Dolayısıyla SVM, ayrılamayan sınıflar için bir sınıflandırıcı olarak da kullanılabilir. Bu gibi durumlarda, orijinal girdi uzayı, özellik fonksiyonları adı verilen doğrusal olmayan fonksiyonlar kullanılarak her zaman daha yüksek boyutlu bir özellik uzayına (Hilbert uzayı) eşlenebilir. Özellik uzayı yüksek boyutlu olmasına rağmen, hiperdüzlemin sınıflandırılması için doğrudan özellik fonksiyonlarını kullanmak pratikte mümkün değildir. Bu gibi durumlarda, özellik fonksiyonları tarafından oluşturulan doğrusal olmayan haritalandırma, çekirdek (kernel) adı verilen özel doğrusal olmayan fonksiyonlar kullanılarak yapılabilir.

Çekirdek fonksiyonlarının seçimi daha iyi bir genelleme yapılmasını sağlar. Çekirdek fonksiyonu kullanılarak SVM'lerde doğrusal olmayan sınırlar oluşturulabilir ve böylece problem daha iyi tanımlanıp çözülebilir. Bu amaçla kullanılabilecek oldukça fazla sayıda çekirdek vardır. Bunlar arasında doğrusal, polinom, gauss fonksiyonları sayılabilir. Doğrusal olmayan çekirdekler (nonlineer kernel) sayesinde, SVM'ye karmaşık ayırıcı hiperdüzlemleri modelleme yeteneği verir.



Şekil 1. Büyükdere Çayının Coğrafi Konumu



Şekil 2. Büyükdere Nehri Günlük Akım değerleri

DVM veri seti üzerinde ortalama hata karesini minimize ederek türetilen ampirik risk minimizasyonu prensibinden ziyade, istatistiksel öğrenme teorisindeki yapısal risk minimizasyonu niteliğinde çalışmasıdır. Gerçek dünyada karşımıza çıkan problemlerin çoğu doğrusal olarak ayırabilen verilere sahip değildir. Bu durumda giriş verileri klasik yöntemle çözülmeyebilir. Böyle problemlerde ise doğrusal olmayan sınıflandırma yöntemi kullanılmaktadır (Cristianini ve Shawe-Taylor 2000).

Hidrolojik analizlerde pek çok parametre doğrusal olmama eğilimindedir. Bu sebeple doğrusal olmayan problemleri çözmek amacıyla girdi değişkenlerini daha yüksek boyutlu bir özellik uzayına dönüştürmek için doğrusal olmayan bir eşleme fonksiyonunun tanıtılmasıdır. Bu nedenle bu çalışmada akış tahmini için doğrusal olmayan destek vektör regresyonunu uygulanmıştır.

Drucker ve ark. (1997) tarafından önerilen destek vektör regresyonu (DVR) regresyon için kullanılan bir Destek vektör makinesi modelidir. DVR, yüksek boyutlu bir özellik uzayında doğrusal fonksiyonun bir hipotez uzayını kullanır ve yapısal risk minimizasyonu ilkesine göre eğitilir (Wu ve ark. 2019). DVR'de karar fonksiyonu aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$f(x)=w \cdot \phi(x)+b \quad (1)$$

Burada $f(x)$: regresyon fonksiyonu, x : girdi vektörü, w ve b fonksiyonun parametreleridir. $\phi(x)$ ise doğrusal olmayan haritalandırma fonksiyonudur. Amaç optimum değerlerin bulunmasıdır. Bu amaca aşağıdaki optimizasyon denkleminin çözülmesi ile ulaşılabilir:

$$\min_{w,b,\xi,\xi^*} \frac{1}{2} w^2 + C \sum_{i=1}^n (\xi_i + \xi_i^*) \quad (2)$$

Aşağıdaki şartları sağlamalıdır:

$$y_i - (w \cdot \phi(x_i) + b) \leq \varepsilon + \xi_i \quad (3.a)$$

$$(w \cdot \phi(x_i) + b) - y_i \leq \varepsilon + \xi_i^* \quad (3.b)$$

$$\xi_i, \xi_i^* \geq 0 \quad i=1, \dots, n$$

Burada ξ_i ve ξ_i^* esnek değişkenler, C : sabit ceza katsayısı, ε : marjin değeridir. Denklem 3'te sağ taraf modelin genelleştirilmesini, sağ taraf ise ampirik riski temsil etmektedir. Bu iki değer minimumda tutulması ile DVR çözüme ulaşmaktadır.

Doğrusal olmayan DVR, Lagranj çarpanları ile gösterilebilir.

$$\min_{a,a^*} \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{i=1}^n (a_i - a_i^*) (a_j - a_j^*) K + \varepsilon \sum_{i=1}^n (a_i + a_i^*) - \sum_{i=1}^n y_i (a_i - a_i^*) \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^n y_i (a_i - a_i^*) = 0 \quad (5)$$

$0 \leq a_i, a_i^* \leq C, i=1, \dots, n$; a_i ve a_i^* : Lagranj çarpanları; K : Kernel fonksiyonudur.

$$K=K(i,j)=\phi(x_i)T\phi(x_j) \quad (6)$$

Yaygın olarak kullanılan kernel fonksiyonları;

Doğrusal Kernel:

$$K(i,j)=x_i \cdot x_j \quad (7)$$

Gauss Kernel:

$$K(i,j)=\exp(-\gamma|x_i-x_j|^2) \quad (8)$$

Polinom Kernel:

$$K(i,j)=(\gamma(x_i \cdot x_j)+r)^d \quad (9)$$

Burada; γ : Yapısal parametre; d : polinom derecesi; r : kalıntı terimidir.

2.2. Dalgacık Dönüşümü

Dalgacık (wavelet) dönüşümü, gözlemsel elde edilen büyük veri kümelerinden (tarihsel kayıtlar, zaman serileri vb.) önemsiz ve potansiyel olarak yararlı bilgi veya bilginin çıkarılmasında uygulanabilir. Sınıflandırma veya tahmin sorunlarını çözmek için kullanılabilen dalgacık dönüşümü, bir sinyalin zaman-frekans alanındaki davranışı hakkında bilgi sağlayabilen çoklu çözünürlüklü bir analizdir (Saraiva ve ark. 2021). Dalgacık dönüşümünün

istatistik analizlere göre bir avantajı, sinyali ayırtmak için tek bir pencere tekniği yerine farklı pencere boyutları analizini gerçekleştirmesidir.

Hidrolojik zaman serisi modellemede dalgacık dönüşümünün uygulamalarında hidrolojik serilerin çok-zamanlı ölçeklerinin belirlenmesi ve anlaşılması, mevsimselliklerin ve eğilimlerin tanımlanmasında kullanılabilir. Bu nedenle, dalgacık dönüşümünün durağan olmayan sinyalleri farklı zamansal ölçeklerde (seviyelerde) alt sinyallere ayırma yeteneği, hidrolojik süreçlerin daha iyi yorumlanmasında yardımcı olmaktadır (Nurani 2014). Dalgacık dönüşümü, sinyali sırasıyla düşük ve yüksek çözünürlüklü bileşenlere ayırmak için dar ve geniş pencere analizini kullanır. İkinci avantaj ise hidro-meteorolojik zaman serilerinin çoğunlukla durağan olmaması nedeniyle bu serilerde dalgacık dönüşümünün İstatistik analizinden daha başarılı bir araç olarak değerlendirilmesidir (Partal ve Kişi 2007). Dalgacık dönüşümü avantajlarından biri de düşük frekanslar için geniş, yüksek frekanslar için dar olacak şekilde değişen pencere boyutlarının olmasıdır.

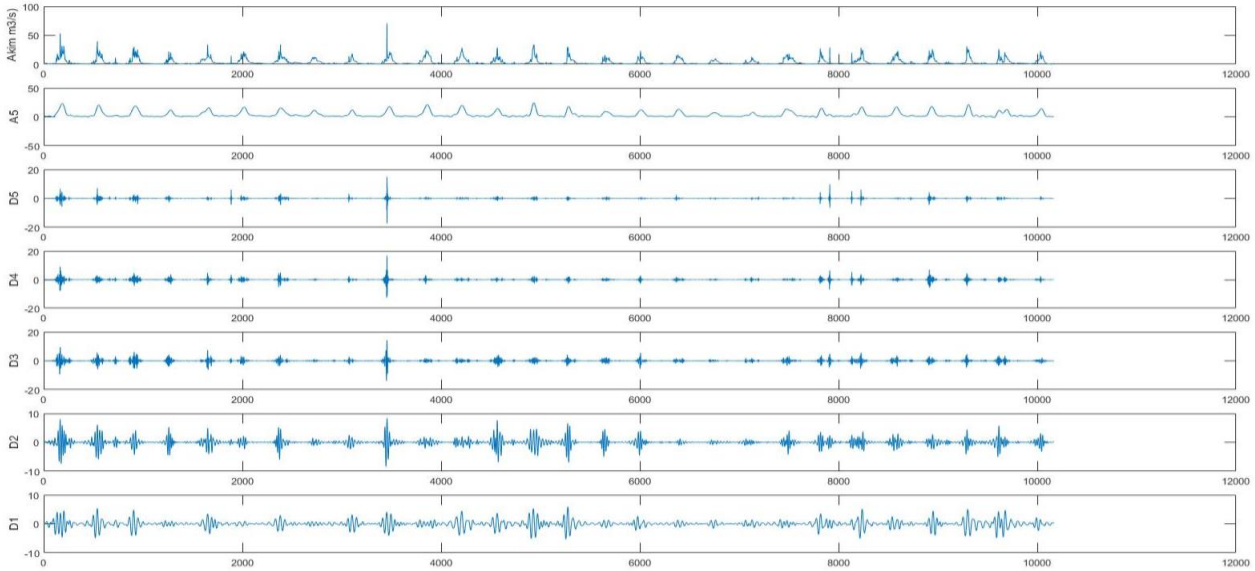
Böylece, bütün frekans aralıklarında uygun değer zaman-frekans çözünürlüğü sağlanabilmektedir (Ersöz ve Özşen 2011).

Dalgacık dönüşümünde kullanılan ana dalgacık fonksiyonu ölçek parametresi ve konum parametresine bağlı olarak Denklem 10'da verilmiştir.

$$\Psi_{a,b}(t) = |a|^{-1/2} \Psi\left(\frac{t-a}{b}\right) \quad (10)$$

Burada, a ve b ölçek parametresi, t zamandır. Dalgacık fonksiyonu $\Psi(t)$ ana fonksiyonunun "a" kadar ölçeklendirilip "b" kadar zaman ekseninde ötelenmesi ile elde edilir (Başakın 2019).

Daubechies dalgacık fonksiyonu gözlem verisindeki sinyal bileşenlerinin hassas şekilde çıkarılması mümkün kıldığından Daubechies dalgacık ailesi (db) literatürde sıklıkla kullanılmaktadır. Bu çalışmada daubechies 45 (db45) dalgacık fonksiyonu ile 5 seviye dalgacık dönüşümü kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan günlük akım verileri ve 5 seviyede db45 dalgacık dönüşümü sonucu elde edilen yaklaşık ve detaylı serileri Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3. Çalışmada kullanılan günlük akım verilerinin Daubechies 45 (db45) dalgacık dönüşümü ile ayrıştırılmış serileri

2.4. Model Performans başarı ölçütleri

MATLAB programı üzerinde geliştirilen modellerin performansı çeşitli istatistiksel değerlendirme kriterleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Bu çalışmada Korelasyon, Nash-Sutcliffe verimlilik katsayısı (NSE), Kling-Gupta verimlilik katsayısı (KGE), Performans Indisi (PI), Karekök ortalama karesel hata (RMSE) ve Ortalama mutlak yüzde hata (MAPE) kriterleri kullanılmıştır. R, NSE ve KGE kriterleri için mükemmel değer 1'e yakın olan değerler olurken, PI, RMSE ve MAPE kriterleri için mükemmel değer 0'a yakın değerlerdir. Bu değerlerden uzaklaşılması mükemmellikten uzaklaşıldığını göstermektedir.

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N (X_{i(Göz)} - \bar{X}_{i(Göz)}) \times (X_{i(Hesap)} - \bar{X}_{i(Hesap)})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (X_{i(Göz)} - \bar{X}_{i(Göz)})^2} \times \sqrt{\sum_{i=1}^N (X_{i(Hesap)} - \bar{X}_{i(Hesap)})^2}} \quad (11)$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (X_{i(Göz)} - X_{i(Hesap)})^2}{\sum_{i=1}^N (X_{i(Göz)} - \bar{X}_{i(Göz)})^2} \quad (12)$$

$$PI = \frac{\frac{RMSE}{\bar{X}_{i(Göz)}}}{1+r} \quad (13)$$

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \times \sum_{i=1}^N (X_{i(Göz)} - X_{i(Hesap)})^2 \right]^{1/2} \quad (14)$$

$$MAPE = \frac{1}{N} \times \sum_{i=1}^N \frac{|X_{i(Göz)} - X_{i(Hesap)}|}{|X_{i(Göz)}|} \quad (15)$$

$$K - G = 1 - [(R - 1)^2 + (\alpha - 1)^2 + (\beta - 1)^2]^{1/2} \quad (16)$$

$$\alpha = \frac{\sigma_{Hesap}}{\sigma_{Göz}} \quad (17)$$

$$\beta = \frac{\bar{X}_{i(Hesap)}}{\bar{X}_{i(Göz)}} \quad (18)$$

$$PI = \frac{RMSE}{\frac{\bar{x}(Göz)}{1+r}} \quad (19)$$

3. BULGULAR

Bu çalışmada günlük akım verileri Destek vektör makinelerinin üç farklı Kernel yöntemi kullanılarak modellenmiştir. Günlük akım verilerinin farklı zaman gecikmeleri ile oluşturulan ve tablo 2’de verilen yedi farklı model ilk önce dalgacık analizi ile ayrıştırılmadan ve daha sonra dalgacık analizi ile ayrıştırılarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar arasında dalgacık analizi ile dönüştürülmemiş olanlar tablo 3’de, dalgacık dönüşümü ile elde edilen modellerin sonuçları ise tablo 4’de verilmiştir.

Dalgacık dönüşümü öncesi kurulan model sonuçlarını gösteren tablo 3 incelendiğinde; eğitim serisi için bütün modellerde Korelasyon, NSE, PI ve RMSE kriterlerine göre en iyi sonuçlar Polinom kernel fonksiyonundan elde edilirken, KGE kriterine göre ise en iyi sonuçlar lineer kernel fonksiyonu ile hesaplanan DVM modellerinden elde edilmiştir. Test serisi sonuçları incelendiğinde Korelasyon, NSE, PI ve RMSE kriterlerine göre yedi adet modelin dört adedinde lineer, iki adet gauss ve bir adet polinom kernel fonksiyonu ile elde edilen modellerin en iyi model olduğu, KGE kriterine göre ise tamamında lineer kernel fonksiyonlu DVM modelinin en iyi model olduğu bulunmuştur.

Dalgacık dönüşümü öncesi eğitim ve test serisi modelleri incelendiğinde; eğitim serisi verileri için bütün modellerde polinom fonksiyonlu DVM modelinin Korelasyon, NSE, PI ve RMSE kriterleri için en uygun model olduğu, KGE ve MAPE kriterleri için lineer fonksiyonlu DVM modellerinin en uygun model olduğu görülmüştür. Eğitim veri setinde en uygun model Korelasyon ve NSE kriterlerine göre (0.979; 0.958; 0.141) M03 olurken, KGE’ye göre (0.968) M04 ve M05 modelleri, RMSE için (1.078) M06 ve MAPE için (0.082) M02 olmuştur. Test veri seti incelendiğinde farklı istatistiksel kriterler için Lineer, Polinom ve Gauss fonksiyon tabanlı DVM modelleri ön plana çıkmaktadır. M04, M05, M06 ve M07 modellerinde lineer fonksiyonlu DVM modelleri en iyi sonuçları verirken, M01 modelinde polinom, M02 ve M03 modelleri için Gauss fonksiyon tabanlı DVM modelleri en iyi sonuçları vermiştir. Bu modeller arasında en iyi bulunan model ise; Korelasyon ve NSE, PI ve RMSE kriterlerine göre (0.977; 0.955; 0.137; 1.047) Gauss tabanlı M02 modeli; KGE (0.972) göre lineer tabanlı M02, M04 ve M05 modelleri; MAPE kriterine göre (0.081) lineer tabanlı M01 modelleri en iyi model olarak bulunmuştur.

Modellerin iyileştirilmesi için dalgacık ayrıştırması dönüşümü uygulanmış ve yeni kurulan modeller incelenmiştir. Dalgacık dönüşümü sonrası kurulan modellerde ise gerek eğitim serisi gerekse test serisinin bütün modellerinde lineer tabanlı DVM modellerinin en uygun sonuçları verdiği görülmüştür. Eğitim serisi modelleri arasında ise WDVM (dalgacık dönüşümlü destek vektör makinesi) WM04 modeli kriterlerin çoğunluğuna göre en uygun model olarak bulunmuştur (R: 0.998; NSE:0.995; PI: 0.046; RMSE:0.356). KGE ve MAPE

kriterlerine göre ise DVM_WM03 modeli (KGE:0.996; MAPE:0.042) en iyi model olarak görülmüştür. Dalgacık dönüşümü sonrası elde edilen modellerin test serisi incelendiğinde kriterlerin çoğunluğuna göre WM04 modeli (R:0.998, NSE:0.996; PI: 0.039; RMSE:0.304) en iyi model olarak bulunmuştur. KGE ve MAPE kriterlerine göre ise M03 modeli (KGE: 0.995; MAPE: 0.051) en iyi model olarak görülmektedir.

Dalgacık dönüşümü öncesi elde edilen en iyi modeller arasında olan M02 ve M04 modellerinin gözlem verisi ile karşılaştırılması Şekil 4’de, dalgacık dönüşümü sonrası elde edilen en iyi modeller olan WM03 ve WM04 modellerinin gözlem verisi ile karşılaştırılması ise Şekil 5’de verilmiştir. Dalgacık dönüşümü öncesi ve sonrasında NSE kriterine göre M04 modelinde % 4.9, M03 modelinde % 4.6 ve M05 modelinde % 4.6 oranında iyileşme görülmüştür.

Model sonuçlarının dalgacık dönüşümü öncesi ve dalgacık dönüşümü sonrası elde edilen model sonuçlarının saçılım grafiklerinin karşılaştırılması Şekil 6’da verilmiştir. Şekil 6’nın üst satırında dalgacık dönüşümü öncesi elde edilen model sonuçları, Şekil 6’nın alt satırında ise dalgacık dönüşümü sonrası elde edilen model sonuçlarının saçılım grafikleri verilmiştir. Saçılım grafikleri incelendiğinde bütün dalgacık dönüşümü sonrası elde edilen model sonuçlarının dalgacık dönüşümü olmadan elde edilen sonuçlardan daha üstün olduğu görülmektedir. Dalgacık dönüşümü ile elde edilen sonuçlar incelendiğinde WM01 modelinde diğer modellere göre en az iyileşme olduğu görülmüştür. WM01 modeli dışındaki diğer dalgacık modelleri saçılma grafiklerinin 45^olik eğime (1:1 çizgisine) oldukça yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. Diğer bir anlatımla, dalgacık dönüşümü sonrası kurulan modellerde - WM01 modeli hariç- gözlem değerlerine oldukça yakın sonuçlar elde edilmiştir. Bu modeller arasında WM03 ve WM04 modelleri doğru denklemleri olarak en iyi sonuç vermiş görünmekte olsa da WM01 haricindeki bütün modeller performans açısından gözlem değerlerine oldukça yakın sonuçlar verdiği görülmektedir. Hangi modelin daha iyi performans gösterdiğini belirleyebilmek için Taylor grafiği ve Violin (Keman) grafiği kullanılmıştır. Bütün modellerin Taylor grafiği ile karşılaştırılması Şekil 7’de verilmiş olup en uygun bulunan modellerin dağılımlarının karşılaştırılması Violin (Keman) grafiği olarak Şekil 8’de verilmiştir.

Taylor grafiği (Şekil 7) incelendiğinde dalgacık dönüşümü öncesi kurulan modellerin grafiğin üst kısmında grup halinde kümelendiği ve birbirine oldukça yakın sonuç verdiği, dalgacık dönüşümü sonrası kurulan modellerin gözlem değerine daha yakın bir pozisyonda gruplandığı görülmüştür. Büyütülerek daha detaylı incelendiğinde WM04 ve WM03 modellerinin gözlem değerlerine en yakın olduğu ve WM04 modelinin gözlem değerine daha yakın olduğundan daha iyi bir model olduğu görülmüştür. Bu modelleri ise üçüncü sırada en iyi model olarak WM05 modeli izlemektedir. Bu modellere ait NSE; KGE; PI; RMSE ve MAPE değerlerine sırasıyla bakıldığında: WM04 (0.996; 0.993; 0.039; 0.304 ve 0.056); WM03 (0.996; 0.995; 0.042; 0.321 ve 0.051) ve WM05 (0.994; 0.993; 0.048; 0.368 ve 0.065) olarak tespit edilmiştir. Burada KG

kriteri haricindeki diğer kriterler birbirleri ile uyumlu olarak modellerin sırasını iyi bir şekilde tespit etmiştir. Ancak KGE kriteri M03 modelini M05 modeline göre daha uygun olarak göstermiş fakat bu durum Taylor diyagramında teyid edilmemiştir. Dolayısı ile KGE kriterini kullanırken, diğer istatistiksel kriterler ile onaylamak gerekmektedir.

Dalgacık dönüşümü sonrası elde edilen modeller dalgacık dönüşümsüz modellere göre daha iyi sonuç verdiğinden

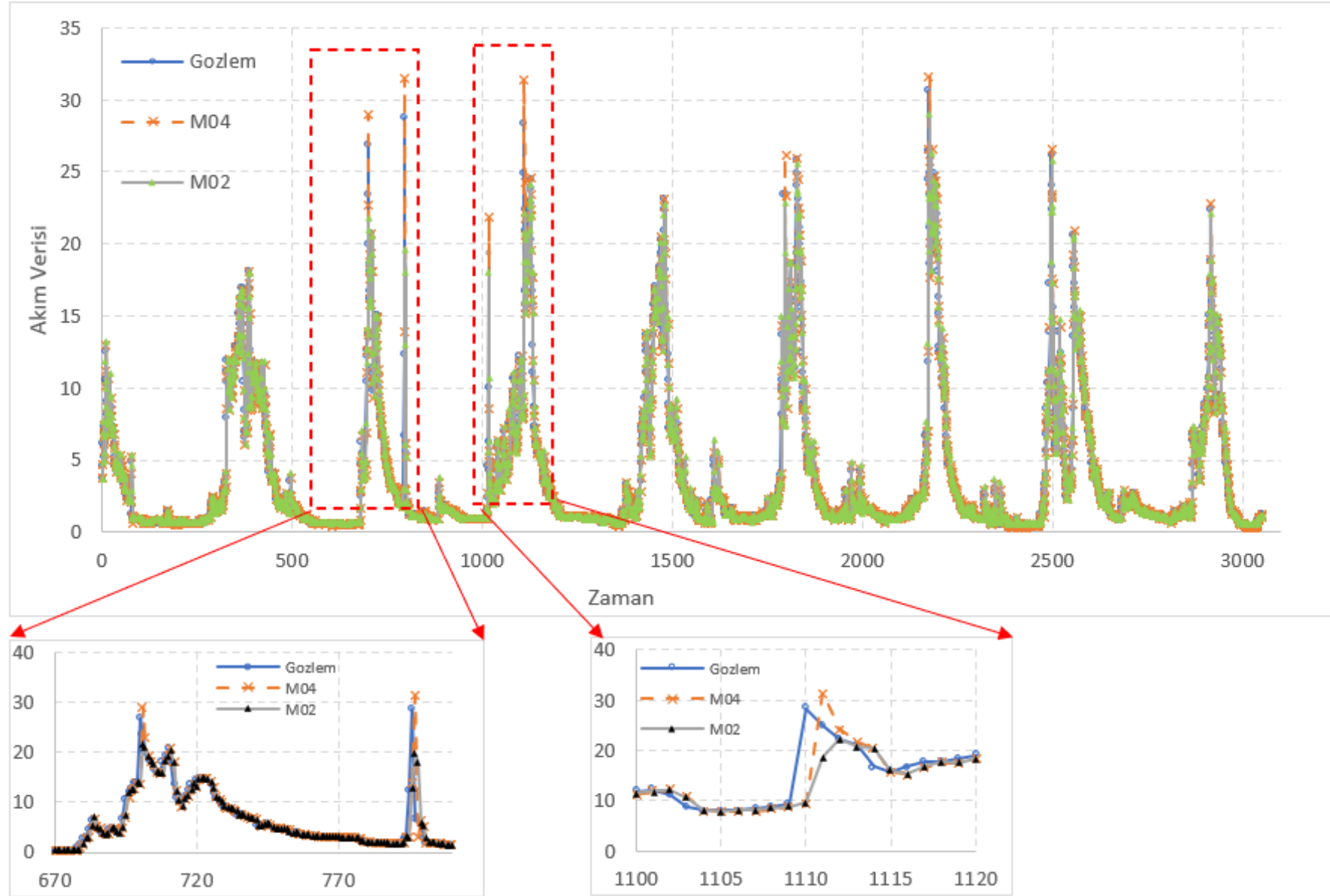
Şekil 8’de dalgacık sonrası elde edilen modellere ait Violin (keman) grafikleri verilmiştir. Şekil 8 incelendiğinde dalgacık dönüşümü sonrası model sonuçlarının gözlem verisi ile çok yakın aritmetik ortalama ve medyan verisine sahip olduğu; tahmin edilen verilerin dağılımının gözlem verilerinin dağılımına oldukça benzer olduğu; ancak maksimum değer tahmininde hiç birisinin maksimum gözlem değerine (30.61) ulaşmadığı görülmüştür.

Tablo 3. Dalgacık dönüşümü öncesi Test ve Eğitim setlerinde akım verilerinin tahmin edilen değerleri

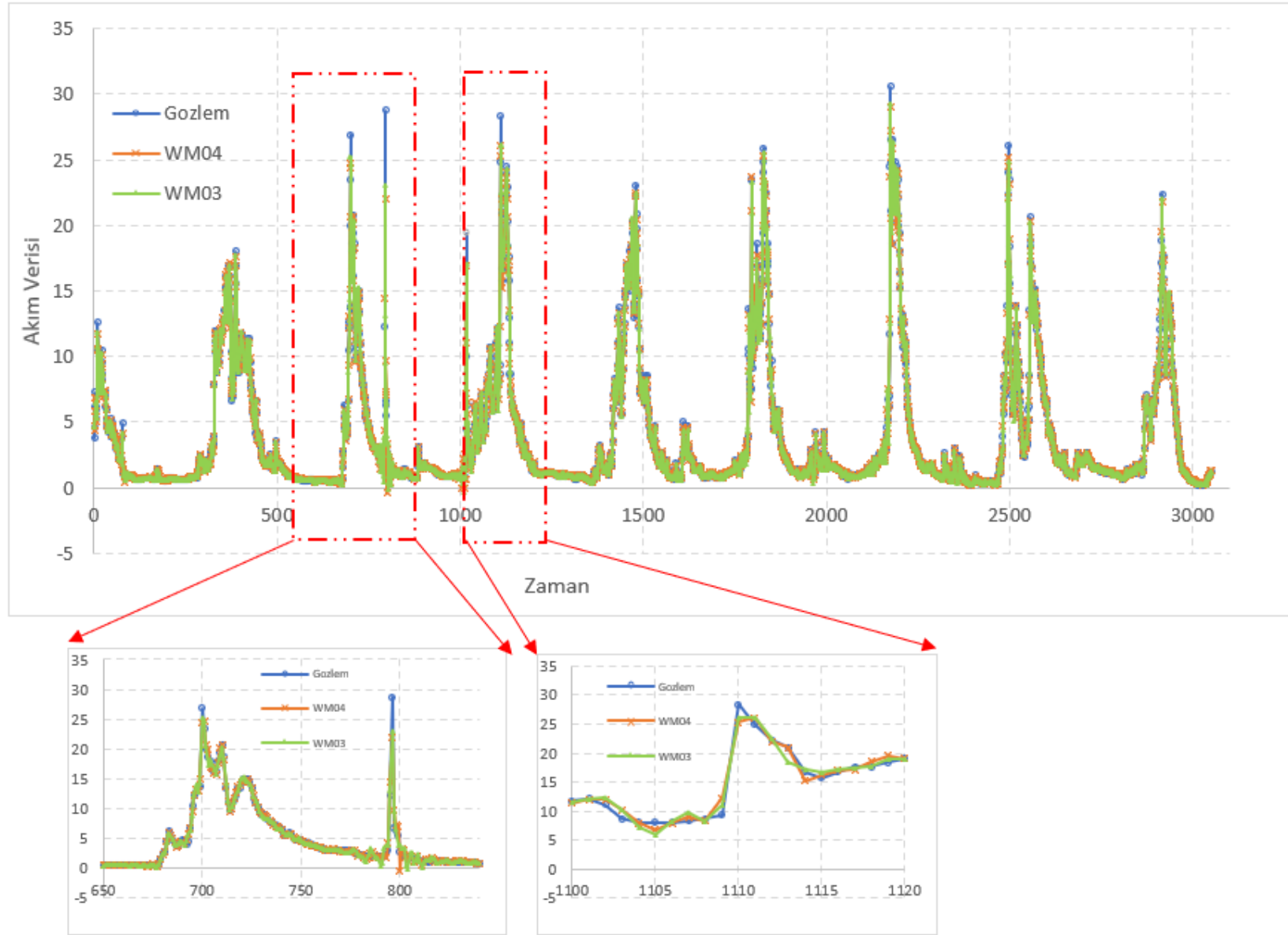
MODEL	YÖNTEM	TEST SETİ						EĞİTİM SETİ						
		DVM	Korelasyon	NSE	KGE	PI	RMSE	MAPE	Korelasyon	NSE	KGE	PI	RMSE	MAPE
M01	Linear		0.974	0.949	0.966	0.146	1.114	0.081	0.969	0.939	0.961	0.170	1.290	0.077
	Polinom		0.975	0.950	0.962	0.145	1.109	0.113	0.974	0.949	0.945	0.156	1.185	0.107
	Gauss		0.974	0.949	0.961	0.146	1.116	0.143	0.970	0.941	0.938	0.168	1.272	0.129
M02	Linear		0.975	0.950	0.972	0.146	1.111	0.085	0.970	0.940	0.967	0.170	1.285	0.082
	Polinom		0.970	0.939	0.962	0.161	1.220	0.084	0.978	0.957	0.951	0.143	1.085	0.084
	Gauss		0.977	0.955	0.968	0.137	1.047	0.125	0.971	0.943	0.946	0.164	1.242	0.111
M03	Linear		0.975	0.950	0.970	0.146	1.111	0.106	0.969	0.940	0.966	0.169	1.284	0.102
	Polinom		0.968	0.935	0.950	0.167	1.266	0.189	0.979	0.958	0.950	0.141	1.073	0.182
	Gauss		0.976	0.952	0.963	0.143	1.088	0.132	0.971	0.943	0.940	0.164	1.246	0.115
M04	Linear		0.975	0.949	0.972	0.146	1.114	0.094	0.969	0.939	0.968	0.170	1.287	0.091
	Polinom		0.965	0.924	0.898	0.180	1.364	0.359	0.979	0.953	0.900	0.148	1.128	0.348
	Gauss		0.974	0.949	0.959	0.147	1.117	0.139	0.971	0.942	0.933	0.166	1.259	0.118
M05	Linear		0.975	0.950	0.972	0.146	1.111	0.093	0.970	0.940	0.968	0.169	1.284	0.090
	Polinom		0.966	0.932	0.953	0.171	1.295	0.117	0.979	0.957	0.950	0.143	1.087	0.117
	Gauss		0.974	0.950	0.965	0.146	1.114	0.135	0.971	0.943	0.934	0.165	1.252	0.114
M06	Linear		0.975	0.950	0.970	0.146	1.110	0.107	0.969	0.940	0.966	0.169	1.283	0.103
	Polinom		0.969	0.938	0.961	0.162	1.234	0.149	0.979	0.957	0.954	0.142	1.078	0.143
	Gauss		0.974	0.948	0.959	0.148	1.128	0.132	0.971	0.942	0.935	0.166	1.260	0.110
M07	Linear		0.975	0.950	0.971	0.146	1.110	0.107	0.969	0.940	0.967	0.169	1.283	0.103
	Polinom		0.970	0.938	0.948	0.162	1.230	0.134	0.979	0.956	0.942	0.143	1.092	0.134
	Gauss		0.975	0.950	0.958	0.146	1.110	0.133	0.970	0.940	0.932	0.169	1.282	0.113

Tablo 4. Dalgacık dönüşümü sonrası Test ve Eğitim setlerinde akım verilerinin tahmin edilen değerleri

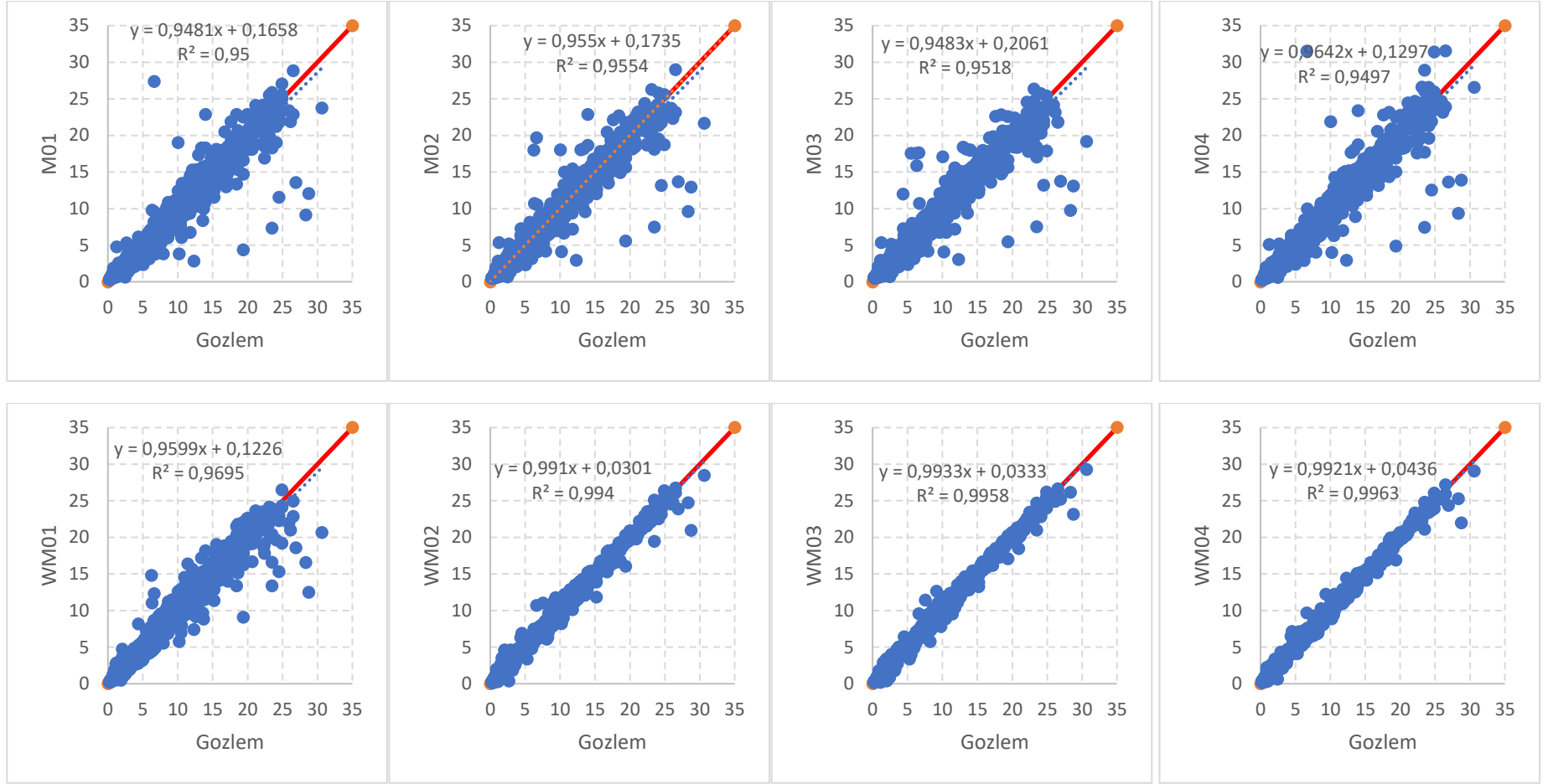
MODEL	YÖNTEM	TEST SETİ						EĞİTİM SETİ						
		DVM	Korelasyon	NSE	KGE	PI	RMSE	MAPE	Korelasyon	NSE	KGE	PI	RMSE	MAPE
WM01	Linear		0.985	0.969	0.969	0.113	0.868	0.077	0.982	0.965	0.965	0.128	0.979	0.072
	Poly		0.923	0.470	0.253	0.486	3.609	2.381	0.769	-0.294	0.078	0.873	5.942	2.375
	Gauss		0.896	0.794	0.772	0.308	2.252	0.286	0.937	0.858	0.787	0.264	1.967	0.120
WM02	Linear		0.997	0.994	0.993	0.050	0.385	0.059	0.997	0.994	0.994	0.054	0.418	0.047
	Poly		0.969	0.854	0.646	0.250	1.897	1.148	0.941	0.761	0.613	0.342	2.555	1.126
	Gauss		0.825	0.665	0.653	0.407	2.870	0.422	0.915	0.800	0.705	0.317	2.338	0.133
WM03	Linear		0.998	0.996	0.995	0.042	0.321	0.051	0.998	0.995	0.996	0.048	0.366	0.042
	Poly		0.951	0.770	0.589	0.316	2.379	1.316	0.961	0.804	0.594	0.307	2.314	1.299
	Gauss		0.776	0.584	0.580	0.467	3.198	0.545	0.903	0.760	0.652	0.349	2.556	0.150
WM04	Linear		0.998	0.996	0.993	0.039	0.304	0.056	0.998	0.995	0.993	0.046	0.356	0.048
	Poly		0.891	0.579	0.543	0.440	3.215	1.278	0.902	0.609	0.545	0.446	3.268	1.235
	Gauss		0.757	0.556	0.557	0.487	3.302	0.606	0.899	0.748	0.634	0.359	2.623	0.156
WM05	Linear		0.997	0.994	0.993	0.048	0.368	0.065	0.997	0.994	0.993	0.053	0.410	0.053
	Poly		0.855	-0.464	-0.220	0.837	5.997	3.813	0.902	-0.159	-0.177	0.768	5.624	3.743
	Gauss		0.753	0.549	0.549	0.492	3.328	0.617	0.898	0.744	0.629	0.362	2.643	0.165
WM06	Linear		0.997	0.994	0.992	0.049	0.380	0.077	0.997	0.994	0.991	0.054	0.416	0.064
	Poly		0.956	0.858	0.756	0.247	1.868	0.754	0.984	0.936	0.782	0.174	1.326	0.727
	Gauss		0.738	0.528	0.531	0.507	3.404	0.648	0.895	0.733	0.615	0.370	2.698	0.172
WM07	Linear		0.997	0.994	0.989	0.051	0.389	0.083	0.997	0.993	0.989	0.055	0.421	0.070
	Poly		0.954	0.716	0.482	0.350	2.640	1.717	0.945	0.664	0.460	0.405	3.029	1.692
	Gauss		0.714	0.490	0.489	0.535	3.539	0.675	0.889	0.712	0.587	0.386	2.804	0.172



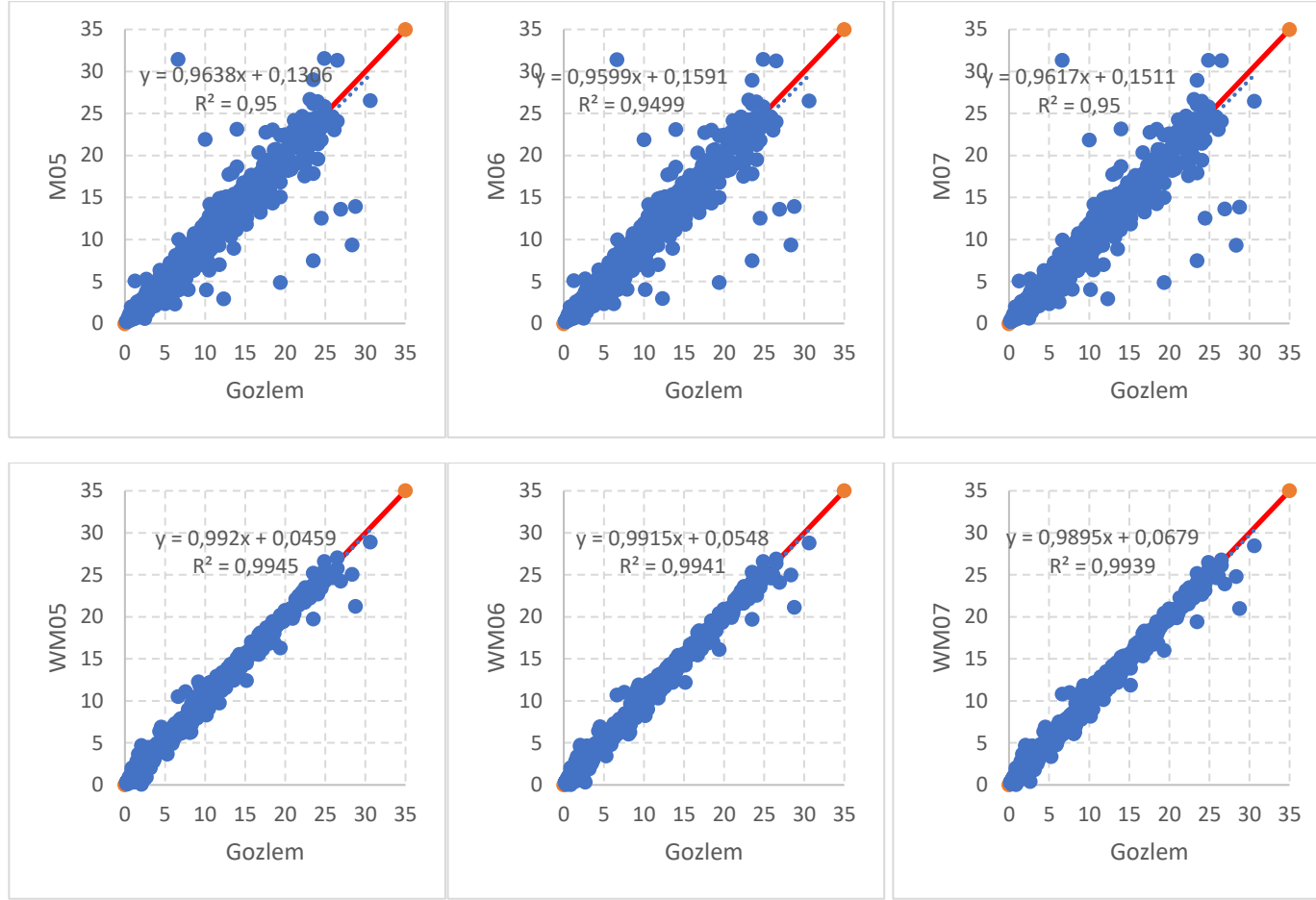
Şekil 4. Gözlenmiş veri ile dalgacık dönüşümü öncesi M02 ve M04 model karşılaştırılması



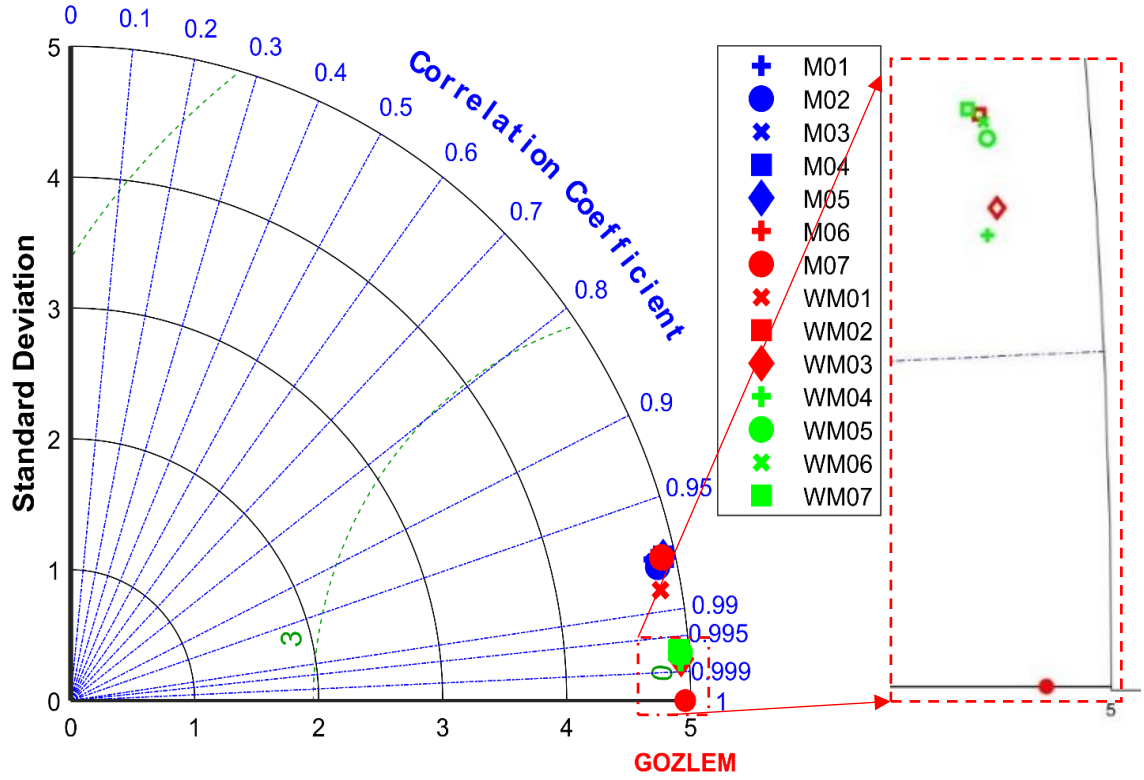
Şekil 5. Gözlenmiş veri ile dalgacık dönüşümü sonrası WM03 ve WM04 model karşılaştırılması



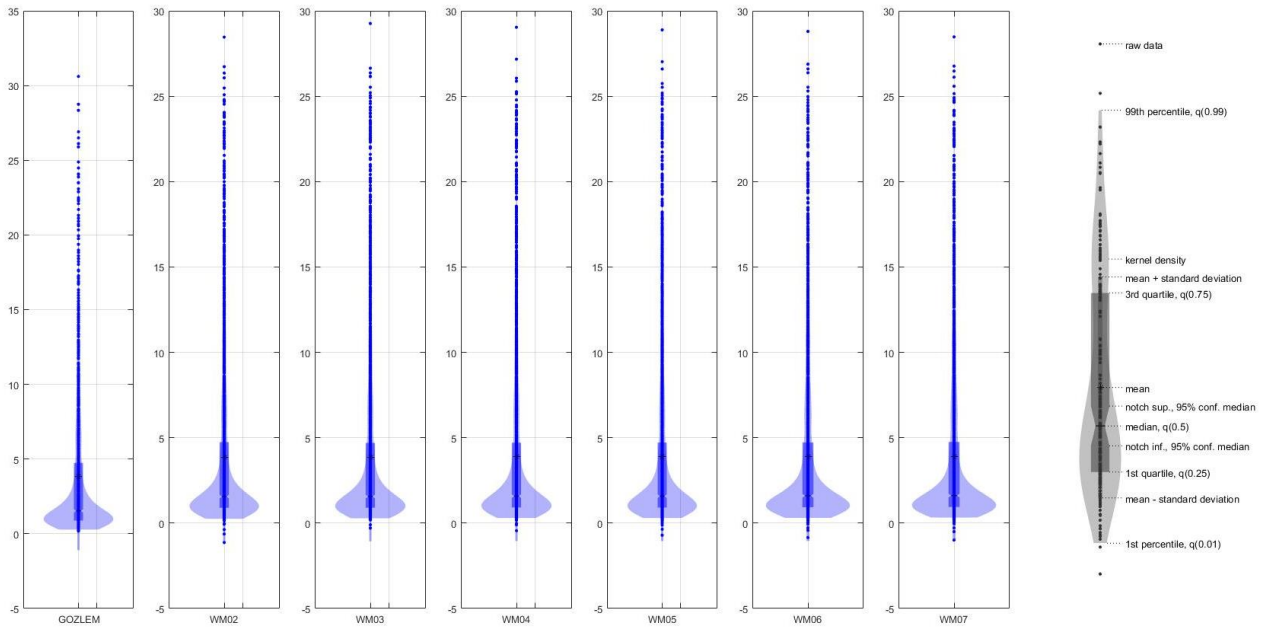
Şekil 6. Test veri seti için modellerin dalgacık dönüşümü öncesi (üst satırda verilen modeller) ve dalgacık dönüşümü sonrası (alt satırda verilen modeller) saçılma grafiklerinin karşılaştırılması (Kırmızı renk ile verilen çizgi 1:1 (45⁰'lik) simetri çizgisidir)



Şekil 6 (devam). Test veri seti için modellerin dalgacık dönüşümü öncesi (üst satırda verilen modeller) ve dalgacık dönüşümü sonrası (alt satırda verilen modeller) saçılma grafiklerinin karşılaştırılması (Kırmızı renk ile verilen çizgi 1:1 (45°'lik) simetri çizgisidir)



Şekil 7. Modellerin Taylor grafiği ile karşılaştırılması



Şekil 8. Modellere ait Violin (Keman) grafikleri

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada günlük akım verilerinin modelleme çalışmasında sıklıkla kullanılan Destek Vektör Makineleri (DVM) incelenmiş ve DVM için en uygun model geliştirilmesinde kullanılan farklı Kernel fonksiyonları araştırılarak en uygun fonksiyonlar ve modeller ortaya konulmuştur. Elde edilen modeller üzerinde dalgacık dönüşümü kullanılarak sonuçların iyileştirilmesi sağlanmıştır. Günlük akım verilerinin farklı zaman gecikmeleri ile yedi farklı model oluşturulmuştur. Bu modeller üç farklı DVM kernel (Lineer, Polinom ve Gauss) fonksiyonları kullanarak hesaplanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Elde edilen modellerin iyileştirilmesi için dalgacık dönüşümü olarak daubechies 45 (db45) dalgacık fonksiyonu ile 5 seviye dalgacık dönüşümü kullanılmış ve model sonuçlarında yaklaşık %5 oranında iyileşme görülmüştür.

Günlük akarsu akım değerlerinin modellenmesinde kullanılan Destek Vektörleri Makinası kernel

KAYNAKLAR

Anonim (2024). Bayburt valiliği, www.bayburt.gov.tr.

Başakın E, Ekmekecioğlu Ö, Özger M (2019). Makine öğrenmesi yöntemleri ile kuraklık analizi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 25(8): 985-991.

Choubin B, Malekian A, Golshan M (2016). Application of several data-driven techniques to predict a standardized precipitation index. Atmosfera, 29(2): 121-128.

Cristianini N, Shawe-Taylor J (2000). An Introduction to Support Vector Machines and Other Kernel-based Learning methods. Cambridge University Press.

Deo RC, Kisi O, Singh VP (2017). Drought forecasting in eastern Australia using multivariate adaptive regression spline, least square support vector machine and M5Tree model. Atmospheric Research, 184: 149-175.

Drucker H, Burges CJC, Kaufman L, Smola A (1997). Support vector regression machines. Advances in Neural Information Processing Systems, 28(7): 779-784.

Erkek C, Ağırlioğlu N (2008). Su Kaynakları Mühendisliği. Beta Yayınevi.

Ersöz A, Özşen S (2011). Uyku EEG Sinyalinin Yapay Sinir Ağ Modeli İle Sınıflandırılması. Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu. Elazığ, Türkiye.

Faizollahzadeh Ardabili S, Mosavi A, Dehghani M, Várkonyi-Kóczy A (2019). Deep learning and machine learning in hydrological processes climate change and earth systems International Conference on Global Research and Education. Balatonfüred, Hungary.

Ghorbani MA, Deo RC, Karimi V, Kashani MH, Ghorbani S (2019). Design and implementation of a hybrid MLP-GSA model with multi-layer perceptron-gravitational search algorithm for monthly lake water level forecasting. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 33(1):125-147.

Liu Y, Weisberg R (2005). Patterns of ocean current variability on the West Florida Shelf using the self-organizing map, Journal of Geophysical Research, 110: C06003.

Mokhtarzad M, Eskandari F, Vanjani N J, Arabasadi A (2017). Drought forecasting by ANN, ANFIS, and SVM and comparison of the models. Environmental Earth Sciences, 76(21): 729.

Mohamadi S, Sammen SS, Panahi F, Ehteram M, Kisi O, Mosavi A, Al-Ansari N (2020). Zoning map for drought prediction using integrated machine learning models with a nomadic people optimization algorithm. Natural Hazards, 104(1): 537-579.

Nourani V, Baghanam AH, Adamowski J, Kisi O (2014). Applications of hybrid wavelet-artificial intelligence models in hydrology: a review. Journal of Hydrology, 514: 358-377.

Papacharalampous G, Tyrallis H, Koutsoyiannis D (2018). Predictability of monthly temperature and precipitation using automatic time series forecasting methods. Acta Geophysica, 66(4):807-831.

fonksiyonlarından Polinom, Gauss ve Lineer (doğrusal) fonksiyonlar karşılaştırıldığında en iyi sonuçların Linear ve Gauss fonksiyonlarından elde edildiği görülmüştür (Tablo 3). Dalgacık dönüşümü kullanılarak oluşturulan modellerde ise Lineer DVM fonksiyon sonuçlarının bütün modellerde daha iyi olduğu gözlemlenmiştir. Günlük akarsu akım modellerinde dalgacık dönüşümünün Lineer Kernel fonksiyonu ile hesaplanan DVM modellerinde kullanılmasının model performansını artıracığı bu çalışma ile elde edilen en önemli sonuçtur.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada kullanılan günlük akım verilerinin temin edilmesinde katkısı bulunan DSİ Genel Müdürlüğüne teşekkür ederiz

Partal T, Kişi Ö (2007). Wavelet and neuro-fuzzy conjunction model for precipitation forecasting. *Journal of Hydrology*, 342(1-2): 199-212.

Raghavendra SN, Deka PC (2014). Support vector machine applications in the field of hydrology: A review. *Applied Soft Computing*, 19: 372-389.

Saraiva SV, Carvalho FDO, Santos CAG, Barreto LC, Freire PKDMM (2021). Daily streamflow forecasting in Sobradinho Reservoir using machine learning models coupled with wavelet transform and bootstrapping. *Applied Soft Computing Journal*, 102: 1568–4946.

VapnikVN (1995). *The Nature of Statistical Learning Theory*, Springer-Verlag.

Wu J, Liu H, Wei G, Song T, Zhang C, Zhou H (2019). Flash Flood Forecasting Using Support Vector Regression Model in a Small Mountainous Catchment. *Water*, 11(7): 1327.

Complete Rewriting System of Schützenberger – Crossed Product of Monoids

Eylem GÜZEL KARPUZ^{1*}, Fatmanur YILDIZ¹

¹ Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Kamil Özdağ Fen Fakültesi, Matematik Bölümü, Karaman, Türkiye

Alındı/Received: 09/10/2024; Kabul/Accepted: 13/11/2024;Yayın/Published: 29/11/2024

! This work is a part of master's thesis of the second author.

* Corresponding author e-mail: eylem.guzel@kmu.edu.tr

Abstract

In this paper, we study on complete rewriting system for the Schützenberger - crossed product of two cyclic monoids, which is defined in (Emin et al. 2013). Additionally, we obtain normal form structure of elements of this monoid construction and give solvability of the word problem. Finally, we present an example part.

Key Words: Schützenberger product, crossed product, rewriting system, normal form

Monoidlerin Schützenberger – Çapraz Çarpımının Tam Yeniden Yazma Sistemi

Öz

Bu makalede, (Emin ve ark. 2013) de tanımlanan iki devirli monoidin Schützenberger – çapraz çarpımının tam yeniden yazma sistemi çalışılmıştır. Ayrıca bu monoid yapısının elemanlarının normal form yapısı elde edilmiştir ve kelime probleminin çözülebilirliği verilmiştir. Son olarak, bir örnek bölüm sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Schützenberger çarpım, çapraz çarpım, yeniden yazma sistemi, normal form

Atıf / To cite: Güzel Karpuz E, Yıldız F (2024). Complete Rewriting System of Schützenberger – Crossed Product of Monoids. Karamanoğlu Mehmetbey University Journal of Engineering and Natural Sciences, 6(2): 33-40.

1. INTRODUCTION AND PRELIMINARIES

The origin of Combinatorial Group Theory can be traced back to 1911 when Max Dehn posed three questions concerning groups defined by finite presentations: the word, conjugacy and isomorphism problems (Adyan and Durney 2000). These questions prompted the idea of using algorithms to solve problems related to Group Theory.

In this paper, we study on solvability of the word problem for a new monoid product, which is defined in (Emin et al. 2013) and called Schützenberger-crossed product of monoids. To have solvability word problem for this construction we study on complete rewriting system.

The aim of the rest of this section is just to give the standard definitions and information about complete rewriting system, crossed product and Schützenberger product of monoids.

Let X be a finite alphabet and let X^* be the free monoid consisting of all words obtained by the letters of X . A string rewriting system, or simply a rewriting system, on X^* is a subset $R \subseteq X^* \times X^*$ and an element $(x, y) \in R$, also written as $x \rightarrow y$, is called a rule of

R . The idea for a rewriting system is an algorithm for substituting the right-hand side of a rule whenever the left-hand side appears in a word. In general, for a given rewriting system R , we write $x \rightarrow y$ for $x, y \in X^*$ if $x = uv_1w$, $y = uv_2w$ and $(v_1, v_2) \in R$. Also we write $x \rightarrow^* y$ if $x = y$ or $x \rightarrow x_1 \rightarrow x_2 \rightarrow \dots \rightarrow y$ for some finite chain of reductions. Furthermore an element $x \in X^*$ is called irreducible with respect to R if there is no possible rewriting (or reduction) $x \rightarrow y$; otherwise x is called reducible.

The rewriting system R is called

- *Noetherian* if there is no infinite chain of rewritings $x \rightarrow x_1 \rightarrow x_2 \rightarrow \dots$ for any word $x \in X^*$,
- *Confluent* if whenever $x \rightarrow^* y_1$ and $x \rightarrow^* y_2$, there is a $z \in X^*$ such that $y_1 \rightarrow^* z$ and $y_2 \rightarrow^* z$,
- *Complete* if R is both Noetherian and confluent.

If R is a complete rewriting system, then for every word x there is a unique irreducible word y such that $x \rightarrow^* y$; this word is called the normal form of x . Each element of the monoid presented by $\langle X \mid R \rangle$ has a unique normal form representative. For $u, v \in X^*$, if $|u| > |v|$ or if $|u| = |v|$ and v precedes u in the lexicographic ordering induced by a linear ordering on X then we write $v < u$ and $<$ is called *length-lexicographic ordering*. A rewriting system R is called a length-lexicographic rewriting system if $s < r$, for all $(r, s) \in R$. It is clear that length-lexicographic rewriting system is Noetherian. A critical pair of a rewriting system R is a pair of overlapping rules such that one of the forms

$$(i) (r_1 r_2, s), (r_2 r_3, t) \in R \text{ with } r_2 \neq 1 \text{ or}$$

$$(ii) (r_1 r_2 r_3, s), (r_2, t) \in R,$$

is satisfied. Also a critical pair is resolved in R if there is a word z such that $s r_3 \rightarrow^* z$ and $r_1 t \rightarrow^* z$ in the first case or $s \rightarrow^* z$ and $r_1 t r_3 \rightarrow^* z$ in the second case. A Noetherian rewriting system is complete if and only if every critical pair is resolved. A rewriting system is complete then the word problem for given rewriting system is solvable.

We note that the reader is referred to (Book 1987; Book and Otto 1993; Sims 1994) for a detailed survey on (complete) rewriting systems and to (Çetinalp et al. 2016; Çetinalp and Karpuz 2018; Çetinalp et al. 2019; Dehn 1911) for complete rewriting systems of some group and semigroup constructions.

As known crossed product construction appears in different areas of algebra such as Lie algebras, C^* -algebras and group theory. This product has also many applications in other fields of mathematics like group representation theory and topology. This product is more important than known group constructions since it contains direct and semidirect products of groups/monoids. One can also study this new product in many applications of Hopf algebra and C^* -algebra.

Definition 1.1 Let A and B two monoids. A crossed system of these monoids is a quadruple (A, B, α, f) , where $\alpha : B \rightarrow \text{End}(A)$ and $f : B \times B \rightarrow A$ are two maps such that the following compatibility conditions hold:

$$\alpha_{b_1}(\alpha_{b_2}(a))f(b_1, b_2) = f(b_1, b_2)\alpha_{b_1 b_2}(a), \quad (1)$$

$$f(b_1, b_2)f(b_1 b_2, b_3) = \alpha_{b_1}(f(b_2, b_3))f(b_1, b_2 b_3) \quad (2)$$

for all $b_1, b_2, b_3 \in B$ and $a \in A$. The crossed system (A, B, α, f) is called normalized if $f(1_B, 1_B) = 1_A$. If (A, B, α, f) is normalized crossed system then

$$f(1_B, b) = f(b, 1_B) = 1_A \text{ and } \alpha_{1_B}(a) = a \text{ (see (Agore and Militaru 2008))}.$$

Now let $A \#_{\alpha}^f B := A \times B$ be a set with a binary operation defined by the formula:

$$(a_1, b_1).(a_2, b_2) = (a_1(\alpha_{b_1}(a_2))f(b_1, b_2), b_1 b_2),$$

for all $a_1, a_2 \in A$ and $b_1, b_2 \in B$. Then $(A \#_{\alpha}^f B, \cdot)$ is a monoid with the unit $1_{A \#_{\alpha}^f B} = (1_A, 1_B)$ if and only if (A, B, α, f) is a normalized crossed system. In this case the monoid $A \#_{\alpha}^f B$ is called *the crossed product of A and B associated to the crossed system (A, B, α, f)* (Agore and Militaru 2008).

The reader is referred to (Agore and Militaru 2008; Agore and Fratila 2010; Ateş et al. 2021; Çetinalp 2022; Çetinalp 2023; Çevik et al. 2020; Karpuz and Çetinalp 2016) for more details on crossed product constructions and related results.

The Schützenberger product operation on monoids is a well known construction introduced by M. P. Schützenberger (Schützenberger 1965). This product was originally defined for two monoids in view of applications to Language Theory. The Schützenberger product plays an important role in the study of several problems of Automata Theory, such as, the Dot Depth Hierarchy of regular languages and studying concatenation product. In (Howie and Ruškuc 1994), the authors obtained a presentation for Schützenberger product of two monoids and gave the normal form structure of the elements of this product. In (Ateş et al. 2011), the authors obtained normal form of elements of Schützenberger product of two monoids by using Gröbner-Shirshov bases theory. Many authors combined Schützenberger product with different products to obtain a new monoid construction. As an example of these works, in (Ateş 2009), Ateş obtained a new monoid construction under semidirect product and Schützenberger product.

The reader is also referred to (Ateş et al. 2009; Straubing 1981) for related results on Schützenberger product construction.

Definition 1.2 Let A and B be monoids. For $P \subseteq A \times B$ and $a \in A, b \in B$, we define $aP = \{(ac, d) \mid (c, d) \in P\}$ and $Pb = \{(c, db) \mid (c, d) \in P\}$. Then the Schützenberger product of monoids A and B , denoted by $A \diamond B$, is the set $A \times P(A \times B) \times B$ (where $P(\cdot)$ denotes the power set) with the multiplication given by

$$(a_1, P_1, b_1)(a_2, P_2, b_2) = (a_1 a_2, P_1 b_2 \cup a_1 P_2, b_1 b_2).$$

It is known that $A \diamond B$ is a monoid with identity $(1_A, \emptyset, 1_B)$ (see (Howie and Ruškuc 1994)).

The reader is referred to (Gracinda et al. 2006; Karpuz et al. 2010; Karpuz et al. 2016; Karpuz and Çetinalp 2024; Schützenberger 1965) for some algebraic results of Schützenberger product.

2. SCHÜTZENBERGER – CROSSED PRODUCT OF MONOIDS

In this section, we obtain a complete rewriting system for the Schützenberger-crossed product of two cyclic monoids by using the presentation of this product given in (Emin et al. 2013).

Definition 2.1 (Emin et al. 2013) Let A and B be monoids. For $P \subseteq A \times B$ and $b \in B$, we define $Pb = \{(a, db) : (a, d) \in P\}$. Then the Schützenberger - crossed product of monoids A and B , denoted by $A_{cp} \#_{\alpha}^f B$, is the set $A \times P(A \times B) \times B$ with the multiplication

$$(a_1, P_1, b_1)(a_2, P_2, b_2) = (a_1 \alpha_{b_1}(a_2) f(b_1, b_2), P_1 b_2 \cup P_2, b_1 b_2).$$

This product defines a monoid with unit element $(1_A, \emptyset, 1_B)$.

Theorem 2.2 (Emin et al. 2013) Let us suppose that the monoids A and B are defined by presentations $\langle X; R \rangle$ and $\langle Y; S \rangle$, respectively. Then the Schützenberger-crossed product of monoids A and B , $A_{cp} \#_{\alpha}^f B$, is defined by generators $Z = X \cup Y \cup \{z_{a,b} : a \in A, b \in B\}$, and relations

$$(1) R, \quad (2) S = W_S, \quad (3) yx = \alpha_y(x)y,$$

$$(4) z_{a,b}^2 = z_{a,b}, \quad (5) z_{a,b} z_{c,d} = z_{c,d} z_{a,b},$$

$$(6) z_{a,b} y = y z_{a,b}, \quad (7) x z_{a,b} = z_{a,b} x,$$

($x \in X, y \in Y, a, c \in A, b, d \in B$), where W_S is the word on X .

In Theorem 2.2, by considering two finite cyclic monoids we get the following presentation.

Corollary 2.3 Let C_n and C_m be finite cyclic monoids presented by $C_n = \langle x; x^n = 1 \rangle$ and $C_m = \langle y; y^m = 1 \rangle$, respectively. Then the Schützenberger-crossed product of these monoids, $C_{n\ cp} \#_{\alpha}^f C_m$, has the following generators,

$$x, y, z_{1,1}, z_{1,y}, \dots, z_{1,y^{m-2}}, z_{1,y^{m-1}}, z_{x,1}, z_{x,y}, \dots, z_{x,y^{m-1}}, \dots, z_{x^{n-2},1}, z_{x^{n-2},y}, \dots, z_{x^{n-2},y^{m-2}}, z_{x^{n-2},y^{m-1}}, z_{x^{n-1},1}, \dots, z_{x^{n-1},y}, \dots, z_{x^{n-1},y^{m-2}}, z_{x^{n-1},y^{m-1}}$$

and the following relations

$$(1) x^n = 1, \quad (2) y^m = x^k \quad (m > k, 0 \leq k \leq n-1),$$

$$(3) x^t y = yx \quad (0 < t \leq n-1),$$

$$(4) z_{x^p, y^q}^2 = z_{x^p, y^q},$$

$$(5) z_{x^{p_1}, y^{q_1}} z_{x^{p_2}, y^{q_2}} = z_{x^{p_2}, y^{q_2}} z_{x^{p_1}, y^{q_1}},$$

$$(6) z_{x^p, y^q} y = y z_{x^p, y^q},$$

$$(7) x z_{x^p, y^q} = z_{x^p, y^q} x.$$

Here $0 \leq p, p_1, p_2 \leq n-1$ and $0 \leq q, q_1, q_2 \leq m-1$.

Regarding the numbers of relations given in the forms (1)-(7) in Corollary 2.3, the following numerical values and formulas are obtained.

Number of relations of the form (1): 1

Number of relations of the form (2): 1

Number of relations of the form (3): 1

Number of relations of the form (4): mn

Number of relations of the form (5): $n \binom{(m-1)m}{2} + m^2 \binom{(n-1)n}{2}$

Number of relations of the form (6): mn

Number of relations of the form (7): mn

With an easy calculation, the following result is obtained.

Corollary 2.4 The total numbers of generators and relations in the presentation given in Corollary 2.3 are formulated as $mn + 2$ and $\frac{mn(5+mn)+6}{2}$, respectively.

Now we can give the main result of this section. To do that, we consider the generators and relations given in Corollary 2.3 and order the generators as follows.

$$x > z_{x^{n-1}, y^{m-1}} > z_{x^{n-1}, y^{m-2}} > \dots > z_{x^{n-1}, y} > z_{x^{n-1}, 1} > \dots > z_{x, y^{m-1}} > z_{x, y^{m-2}} > \dots > z_{x, y} > z_{x, 1} > \dots > z_{1, y^{m-1}} > z_{1, y^{m-2}} > \dots > z_{1, y} > z_{1, 1} > y \quad (3)$$

We note that we consider the reductions steps on words by taking into account length-lexicographical order on words. We also note that the notation $(r) \cap (p)$ denotes the overlapping word of left-hand sides of relations (r) and (p) .

Theorem 2.5 Let $C_n = \langle x; x^n = 1 \rangle$ and $C_m = \langle y; y^m = 1 \rangle$. A complete rewriting system for Schützenberger-crossed product of monoids C_n and C_m , $C_{n\ cp} \#_{\alpha}^f C_m$, consists of the following rules by considering the order on generators given by (3):

$$(1) x^n \rightarrow 1,$$

$$(2) y^m \rightarrow x^k \quad (m > k, 0 \leq k \leq n-1),$$

$$(3) x^t y \rightarrow yx \quad (0 < t \leq n-1),$$

$$(4) z_{x^p, y^q}^2 \rightarrow z_{x^p, y^q},$$

$$(5) z_{x^{p_1}, y^{q_1}} z_{x^{p_2}, y^{q_2}} \rightarrow z_{x^{p_2}, y^{q_2}} z_{x^{p_1}, y^{q_1}},$$

$$(6) z_{x^p, y^q} y = y z_{x^p, y^q},$$

$$(7) x z_{x^p, y^q} \rightarrow z_{x^p, y^q} x.$$

Proof: This rewriting system is Noetherian since there is no infinite chain of rewritings of overlapping words for

the given length-lexicographical order. In order to show the second condition, the confluent property (diamond rule), the words obtained by appropriate overlappings of the words on the left-hand side of all rewriting rules and the critical pairs formed by the first reductions of these words are given below.

$$(1) \cap (1) : x^{n+1} \rightarrow \begin{matrix} x \\ x \end{matrix}$$

$$(1) \cap (3) : x^n y \rightarrow \begin{matrix} y \\ x^{n-1} y x \rightarrow \dots \rightarrow y x^n \rightarrow y \end{matrix}$$

$$(1) \cap (7) : x^n Z_{x^p, y^q} \rightarrow \begin{matrix} Z_{x^p, y^q} \\ x^{n-1} Z_{x^p, y^q} x \rightarrow \dots \rightarrow Z_{x^p, y^q} x^n \rightarrow Z_{x^p, y^q} \end{matrix}$$

$$(2) \cap (2) : y^{m+1} \rightarrow \begin{matrix} x^k y \rightarrow x^{k-1} y x \rightarrow \dots \rightarrow y x^k \\ y x^k \end{matrix}$$

$$(3) \cap (2) : x^t y^m \rightarrow \begin{matrix} y x y^{m-1} \rightarrow \dots \rightarrow y^m x \rightarrow x^{k+1} \\ x^{k+1} \end{matrix} \quad (t = 1)$$

$$(4) \cap (4) : Z_{x^p, y^q}^3 \rightarrow \begin{matrix} Z_{x^p, y^q}^2 \rightarrow Z_{x^p, y^q} \\ Z_{x^p, y^q}^2 \rightarrow Z_{x^p, y^q} \end{matrix}$$

$$(4) \cap (5) : Z_{x^{p_1, y^{q_1}} Z_{x^{p_2, y^{q_2}}}}^2 \rightarrow \begin{cases} Z_{x^{p_1, y^{q_1}} Z_{x^{p_2, y^{q_2}}}} \rightarrow Z_{x^{p_2, y^{q_2}} Z_{x^{p_1, y^{q_1}}}} \\ Z_{x^{p_1, y^{q_1}} Z_{x^{p_2, y^{q_2}} Z_{x^{p_1, y^{q_1}}}} \rightarrow Z_{x^{p_2, y^{q_2}} Z_{x^{p_1, y^{q_1}}}} \rightarrow Z_{x^{p_2, y^{q_2}} Z_{x^{p_1, y^{q_1}}}} \end{cases}$$

$$(4) \cap (6) : Z_{x^p, y^q}^2 y \rightarrow \begin{cases} Z_{x^p, y^q} y \rightarrow y Z_{x^p, y^q} \\ Z_{x^p, y^q} y Z_{x^p, y^q} \rightarrow y Z_{x^p, y^q}^2 \rightarrow y Z_{x^p, y^q} \end{cases}$$

$$(5) \cap (4) : Z_{x^{p_1, y^{q_1}} Z_{x^{p_2, y^{q_2}}}}^2 \rightarrow \begin{cases} Z_{x^{p_1, y^{q_1}} Z_{x^{p_2, y^{q_2}}}} \rightarrow Z_{x^{p_2, y^{q_2}} Z_{x^{p_1, y^{q_1}}}} \\ Z_{x^{p_1, y^{q_1}} Z_{x^{p_2, y^{q_2}} Z_{x^{p_1, y^{q_1}}}} \rightarrow Z_{x^{p_2, y^{q_2}} Z_{x^{p_1, y^{q_1}}}} \rightarrow Z_{x^{p_2, y^{q_2}} Z_{x^{p_1, y^{q_1}}}} \end{cases}$$

$$(5) \cap (6) : Z_{x^{p_1, y^{q_1}} Z_{x^{p_2, y^{q_2}}}} y \rightarrow \begin{cases} Z_{x^{p_2, y^{q_2}} Z_{x^{p_1, y^{q_1}}}} y \rightarrow Z_{x^{p_2, y^{q_2}} y Z_{x^{p_1, y^{q_1}+1}} \\ \rightarrow y Z_{x^{p_2, y^{q_2}+1} Z_{x^{p_1, y^{q_1}+1}} \\ Z_{x^{p_1, y^{q_1}} y Z_{x^{p_2, y^{q_2}+1}} \rightarrow y Z_{x^{p_1, y^{q_1}+1} Z_{x^{p_2, y^{q_2}+1}} \\ \rightarrow y Z_{x^{p_2, y^{q_2}+1} Z_{x^{p_1, y^{q_1}+1}} \end{cases}$$

$$(6) \cap (2) : Z_{x^p, y^q} y^m \rightarrow \begin{cases} y Z_{x^p, y^q} y^{m-1} \rightarrow \dots \rightarrow y^m Z_{x^p, y^q} \rightarrow x^k Z_{x^p, y^q} \\ \rightarrow Z_{x^p, y^q} x^k \rightarrow \dots \rightarrow Z_{x^p, y^q} x^k \\ Z_{x^p, y^q} x^k \end{cases}$$

$$(7) \cap (4) : x Z_{x^p, y^q}^2 \rightarrow \begin{cases} Z_{x^p, y^q} x Z_{x^p, y^q} \rightarrow Z_{x^p, y^q}^2 x \rightarrow Z_{x^p, y^q} x \\ x Z_{x^p, y^q} \rightarrow Z_{x^p, y^q} x \end{cases}$$

$$(7) \cap (5) : x Z_{x^{p_1, y^{q_1}} Z_{x^{p_2, y^{q_2}}}} \rightarrow \begin{cases} Z_{x^{p_1, y^{q_1}} x Z_{x^{p_2, y^{q_2}}}} \rightarrow Z_{x^{p_1, y^{q_1}} Z_{x^{p_2, y^{q_2}}}} x \rightarrow Z_{x^{p_2, y^{q_2}} Z_{x^{p_1, y^{q_1}}}} x \\ \rightarrow \begin{cases} x Z_{x^{p_2, y^{q_2}} Z_{x^{p_1, y^{q_1}}}} \rightarrow Z_{x^{p_2, y^{q_2}} x Z_{x^{p_1, y^{q_1}}}} \rightarrow Z_{x^{p_2, y^{q_2}} Z_{x^{p_1, y^{q_1}}}} x \end{cases} \end{cases}$$

$$(7) \cap (6) : x Z_{x^p, y^q} y \rightarrow \begin{cases} Z_{x^p, y^q} x y \rightarrow Z_{x^p, y^q} y x \rightarrow y Z_{x^p, y^q} \\ \rightarrow \begin{cases} x y Z_{x^p, y^q} \rightarrow y x Z_{x^p, y^q} \rightarrow y Z_{x^p, y^q} \end{cases} \end{cases}$$

It is seen that all overlapping words are reduced to the same words after appropriate steps. Therefore, the confluent property for the given rewriting system is also satisfied. Consequently, since the presentation of $C_{n_{cp}} \#_{\alpha}^f C_m$ is Noetherian and confluent, it is complete. Hence the result.

By considering Theorem 2.5, we have the following other result of this section.

Corollary 2.6 The normal form of a word w , representing an element of $C_{n_{cp}} \#_{\alpha}^f C_m$, is

$$y^k W_{z_{a', b'}} x^l \quad (0 \leq k \leq m-1, 0 \leq l \leq n-1), \quad (4)$$

where $W_{z_{a', b'}}$ ($a' \in C_n, b' \in C_m$) is a reduced word obtained by generators $z_{a, b}$ ($a \in C_n, b \in C_m$).

By considering Theorem 2.5 and Corollary 2.6, we can give the following result.

Corollary 2.7 Let C_n and C_m be finite cyclic monoids. Then the word problem for Schützenberger-crossed product of these monoids, $C_{n_{cp}} \#_{\alpha}^f C_m$, is decidable.

Proof: By Theorem 2.5, since the rewriting system of Schützenberger-crossed product of $C_{n_{cp}} \#_{\alpha}^f C_m$ is Noetherian and confluent, this system is complete. By this complete rewriting system, each element of the monoid of $C_{n_{cp}} \#_{\alpha}^f C_m$ has a unique structure containing normal form given in (4). Thus, the word problem for of $C_{n_{cp}} \#_{\alpha}^f C_m$ is decidable.

3. EXAMPLE PART

In this section, by considering two cyclic monoids with ranks 2 and 3, we give applications of Theorem 2.5 and Corollary 2.6.

Let $C_2 = \langle x ; x^2 = 1 \rangle$ and $C_3 = \langle y ; y^3 = 1 \rangle$ be two finite cyclic monoids. The generator set of the Schützenberger-crossed product of these monoids, $C_{2_{cp}} \#_{\alpha}^f C_3$, is $\{x, y, z_{1,1}, z_{1,y}, z_{1,y^2}, z_{x,1}, z_{x,y}, z_{x,y^2}\}$.

Now we order these generators as follows.

$$x > z_{x,y^2} > z_{x,y} > z_{x,1} > z_{1,y^2} > z_{1,y} > z_{1,1} > y.$$

By the ordering given above, the monoid $C_{2_{cp}} \#_{\alpha}^f C_3$ has the following rewriting system.

$$(1) x^2 \rightarrow 1, \quad (2) y^3 \rightarrow x, \quad (3) xy \rightarrow yx,$$

$$(4) \begin{aligned} z_{1,1}^2 &\rightarrow z_{1,1}, & z_{1,y}^2 &\rightarrow z_{1,y}, & z_{1,y^2}^2 &\rightarrow z_{1,y^2}, & z_{x,1}^2 &\rightarrow z_{x,1}, \\ z_{x,y}^2 &\rightarrow z_{x,y}, & z_{x,y^2}^2 &\rightarrow z_{x,y^2}, \end{aligned}$$

$$(5) \begin{aligned} z_{x,y^2} z_{x,y} &\rightarrow z_{x,y} z_{x,y^2}, & z_{x,y^2} z_{x,1} &\rightarrow z_{x,1} z_{x,y^2}, & z_{x,y^2} z_{1,y^2} &\rightarrow z_{1,y^2} z_{x,y^2}, \\ z_{x,y^2} z_{1,y} &\rightarrow z_{1,y} z_{x,y^2}, & z_{x,y^2} z_{1,1} &\rightarrow z_{1,1} z_{x,y^2}, & z_{x,y} z_{x,1} &\rightarrow z_{x,1} z_{x,y}, \\ z_{x,y} z_{1,y^2} &\rightarrow z_{1,y^2} z_{x,y}, & z_{x,y} z_{1,y} &\rightarrow z_{1,y} z_{x,y}, & z_{x,y} z_{1,1} &\rightarrow z_{1,1} z_{x,y}, \\ z_{x,1} z_{1,y^2} &\rightarrow z_{1,y^2} z_{x,1}, & z_{x,1} z_{1,y} &\rightarrow z_{1,y} z_{x,1}, & z_{x,1} z_{1,1} &\rightarrow z_{1,1} z_{x,1}, \\ z_{1,y^2} z_{1,y} &\rightarrow z_{1,y} z_{1,y^2}, & z_{1,y^2} z_{1,1} &\rightarrow z_{1,1} z_{1,y^2}, & z_{1,y} z_{1,1} &\rightarrow z_{1,1} z_{1,y}, \end{aligned}$$

$$(6) \begin{aligned} z_{1,1} y &\rightarrow y z_{1,1}, & z_{1,y} y &\rightarrow y z_{1,y}, & z_{1,y^2} y &\rightarrow y z_{1,y^2}, \\ z_{x,1} y &\rightarrow y z_{x,1}, & z_{x,y} y &\rightarrow y z_{x,y}, & z_{x,y^2} y &\rightarrow y z_{x,y^2}, \end{aligned}$$

$$(7) \begin{aligned} x z_{1,1} &\rightarrow z_{1,1} x, & x z_{1,y} &\rightarrow z_{1,y} x, & x z_{1,y^2} &\rightarrow z_{1,y^2} x, \\ x z_{x,1} &\rightarrow z_{x,1} x, & x z_{x,y} &\rightarrow z_{x,y} x, & x z_{x,y^2} &\rightarrow z_{x,y^2} x. \end{aligned}$$

To show that this system is confluent, we check all overlapping words and corresponding critical pairs as follows.

Overlapping of the relation (1) with itself:
 $(1) \cap (1) : x^3, (x, x),$

Overlapping of the relation (1) with form (3):
 $(1) \cap (3) : x^2 y, (y, xyx),$

Overlappings of the relation (1) with form (7):

$$(1) \cap (7) : x^2 z_{1,1}, (y, xyx), \quad (1) \cap (7) : x^2 z_{1,y}, (z_{1,y}, x z_{1,y} x),$$

$$(1) \cap (7) : x^2 z_{1,y^2}, (z_{1,y^2}, x z_{1,y^2} x), \quad (1) \cap (7) : x^2 z_{x,1}, (z_{x,1}, x z_{x,1} x),$$

$$(1) \cap (7) : x^2 z_{x,y}, (z_{x,y}, x z_{x,y} x), \quad (1) \cap (7) : x^2 z_{x,y^2}, (z_{x,y^2}, x z_{x,y^2} x),$$

Overlapping of the relation (2) with itself:
 $(2) \cap (2) : y^4, (xy, yx),$

Overlapping of the relation (3) with form (2):
 $(3) \cap (2) : xy^3, (yxy^2, x^2),$

Overlappings of the relation (4) with itself:

$$(4) \cap (4) : z_{1,1}^3, (z_{1,1}^2, z_{1,1}^2), \quad (4) \cap (4) : z_{1,y}^3, (z_{1,y}^2, z_{1,y}^2),$$

$$(4) \cap (4) : z_{1,y^2}^3, (z_{1,y^2}^2, z_{1,y^2}^2), \quad (4) \cap (4) : z_{x,1}^3, (z_{x,1}^2, z_{x,1}^2),$$

$$(4) \cap (4) : z_{x,y}^3, (z_{x,y}^2, z_{x,y}^2), \quad (4) \cap (4) : z_{x,y^2}^3, (z_{x,y^2}^2, z_{x,y^2}^2),$$

Overlappings of the relation (4) with form (5):

$$(4) \cap (5) : z_{1,y}^2 z_{1,1}, (z_{1,y} z_{1,1}, z_{1,y} z_{1,1} z_{1,y}),$$

$$(4) \cap (5) : z_{1,y^2}^2 z_{1,y}, (z_{1,y^2} z_{1,y}, z_{1,y^2} z_{1,y} z_{1,y^2}),$$

$$(4) \cap (5) : z_{1,y^2}^2 z_{1,1}, (z_{1,y^2} z_{1,1}, z_{1,y^2} z_{1,1} z_{1,y^2}),$$

$$(4) \cap (5) : z_{x,1}^2 z_{1,y^2}, (z_{x,1} z_{1,y^2}, z_{x,1} z_{1,y^2} z_{x,1}),$$

$$(4) \cap (5) : z_{x,1}^2 z_{1,y}, (z_{x,1} z_{1,y}, z_{x,1} z_{1,y} z_{x,1}),$$

$$(4) \cap (5) : z_{x,1}^2 z_{1,1}, (z_{x,1} z_{1,1}, z_{x,1} z_{1,1} z_{x,1}),$$

$$(4) \cap (5) : z_{x,y}^2 z_{x,1}, (z_{x,y} z_{x,1}, z_{x,y} z_{x,1} z_{x,y}),$$

$$(4) \cap (5) : z_{x,y}^2 z_{1,y^2}, (z_{x,y} z_{1,y^2}, z_{x,y} z_{1,y^2} z_{x,y}),$$

$$(4) \cap (5) : z_{x,y}^2 z_{1,y}, (z_{x,y} z_{1,y}, z_{x,y} z_{1,y} z_{x,y}),$$

$$(4) \cap (5) : z_{x,y}^2 z_{1,1}, (z_{x,y} z_{1,1}, z_{x,y} z_{1,1} z_{x,y}),$$

$$(4) \cap (5) : z_{x,y^2}^2 z_{x,y}, (z_{x,y^2} z_{x,y}, z_{x,y^2} z_{x,y} z_{x,y^2}),$$

$$(4) \cap (5) : z_{x,y^2}^2 z_{x,1}, (z_{x,y^2} z_{x,1}, z_{x,y^2} z_{x,1} z_{x,y^2}),$$

$$(4) \cap (5) : z_{x,y^2}^2 z_{1,y^2}, (z_{x,y^2} z_{1,y^2}, z_{x,y^2} z_{1,y^2} z_{x,y^2}),$$

$$(4) \cap (5) : z_{x,y^2}^2 z_{1,y}, (z_{x,y^2} z_{1,y}, z_{x,y^2} z_{1,y} z_{x,y^2}),$$

$$(4) \cap (5) : z_{x,y^2}^2 z_{1,1}, (z_{x,y^2} z_{1,1}, z_{x,y^2} z_{1,1} z_{x,y^2}),$$

Overlaps of form (4) with form (6):

$$(4) \cap (6) : z_{1,1}^2 y, (z_{1,1} y, z_{1,1} y z_{1,1}),$$

$$(4) \cap (6) : z_{1,y}^2 y, (z_{1,y} y, z_{1,y} y z_{1,y}),$$

$$(4) \cap (6) : z_{1,y^2}^2 y, (z_{1,y^2} y, z_{1,y^2} y z_{1,y^2}),$$

$$(4) \cap (6) : z_{x,1}^2 y, (z_{x,1} y, z_{x,1} y z_{x,1}),$$

$$(4) \cap (6) : z_{x,y}^2 y, (z_{x,y} y, z_{x,y} y z_{x,y}),$$

$$(4) \cap (6) : z_{x,y^2}^2 y, (z_{x,y^2} y, z_{x,y^2} y z_{x,y^2}),$$

Overlappings of the relation (5) with form (4):

$$(5) \cap (4) : z_{x,y^2} z_{x,y}^2, (z_{x,y} z_{x,y^2} z_{x,y}, z_{x,y^2} z_{x,y}),$$

$$(5) \cap (4) : z_{x,y^2} z_{x,1}^2, (z_{x,1} z_{x,y^2} z_{x,1}, z_{x,y^2} z_{x,1}),$$

$$(5) \cap (4) : z_{x,y^2} z_{1,y^2}^2, (z_{1,y^2} z_{x,y^2} z_{1,y^2}, z_{x,y^2} z_{1,y^2}),$$

$$(5) \cap (4) : z_{x,y^2} z_{1,y}^2, (z_{1,y} z_{x,y^2} z_{1,y}, z_{x,y^2} z_{1,y}),$$

$$(5) \cap (4) : z_{x,y^2} z_{1,1}^2, (z_{1,1} z_{x,y^2} z_{1,1}, z_{x,y^2} z_{1,1}),$$

$$(5) \cap (4) : z_{x,y} z_{x,1}^2, (z_{x,1} z_{x,y} z_{x,1}, z_{x,y} z_{x,1}),$$

$$(5) \cap (4) : z_{x,y} z_{1,y^2}^2, (z_{1,y^2} z_{x,y} z_{1,y^2}, z_{x,y} z_{1,y^2}),$$

$$(5) \cap (4) : z_{x,y} z_{1,y}^2, (z_{1,y} z_{x,y} z_{1,y}, z_{x,y} z_{1,y}),$$

$$(5) \cap (4) : z_{x,y} z_{1,1}^2, (z_{1,1} z_{x,y} z_{1,1}, z_{x,y} z_{1,1}),$$

$$(5) \cap (4) : z_{x,1} z_{1,y^2}^2, (z_{1,y^2} z_{x,1} z_{1,y^2}, z_{x,1} z_{1,y^2}),$$

$$(5) \cap (4) : z_{x,1} z_{1,y}^2, (z_{1,y} z_{x,1} z_{1,y}, z_{x,1} z_{1,y}),$$

$$(5) \cap (4) : z_{x,1} z_{1,1}^2, (z_{1,1} z_{x,1} z_{1,1}, z_{x,1} z_{1,1}),$$

$$(5) \cap (4) : z_{1,y^2} z_{1,y}^2, (z_{1,y} z_{1,y^2} z_{1,y}, z_{1,y^2} z_{1,y}),$$

$$(5) \cap (4) : z_{1,y^2} z_{1,1}^2, (z_{1,1} z_{1,y^2} z_{1,1}, z_{1,y^2} z_{1,1}),$$

$$(5) \cap (4) : z_{1,y} z_{1,1}^2, (z_{1,1} z_{1,y} z_{1,1}, z_{1,y} z_{1,1}),$$

Overlappings of the relation (5) with itself:

$$(5) \cap (5) : z_{x,y^2} z_{x,y} z_{x,1}, (z_{x,y} z_{x,y^2} z_{x,1}, z_{x,y^2} z_{x,1} z_{x,y}),$$

$$(5) \cap (5) : z_{x,y^2} z_{x,y} z_{1,y^2}, (z_{x,y} z_{x,y^2} z_{1,y^2}, z_{x,y^2} z_{1,y^2} z_{x,y}),$$

$$(5) \cap (5) : z_{x,y^2} z_{x,y} z_{1,y}, (z_{x,y} z_{x,y^2} z_{1,y}, z_{x,y^2} z_{1,y} z_{x,y}),$$

$$(5) \cap (5) : z_{x,y^2} z_{x,y} z_{1,1}, (z_{x,y} z_{x,y^2} z_{1,1}, z_{x,y^2} z_{1,1} z_{x,y}),$$

$$(5) \cap (5) : z_{x,y^2} z_{x,1} z_{1,y^2}, (z_{x,1} z_{x,y^2} z_{1,y^2}, z_{x,y^2} z_{1,y^2} z_{x,1}),$$

Now we consider normal form structure of an arbitrary word $u \in C_{2cp} \#_{\alpha}^f C_3$. It is easily seen that it is of the form;

$$y^k W_{z', a, b} x^l \quad (0 \leq k \leq 2, 0 \leq l \leq 1),$$

where $W_{z', a, b}$ ($a' \in C_2, b' \in C_3$) is a reduced word obtained by generators $z_{a, b}$ ($a \in C_2, b \in C_3$). For example,

the reduced words $y^2 z_{1,1} z_{1,y}$ and $z_{1,y^2} z_{x,y^2} x$ are of the form $y^k W_{z', a, b} x^l$.

Finally, we can say that the number of generators and relations of $C_{2cp} \#_{\alpha}^f C_3$ are 8 and 36. We can easily see these results by taking $n = 2$ and $m = 3$ in the generator number formula $mm + 2$ and relator number formula $\frac{nm(nm + 5) + 6}{2}$ in Corollary 2.4.

REFERENCES

- Adyan SI, Durnev VG (2000). Decision problems for groups and semigroups. *Russian Mathematical Surveys*, 55(2): 207-296.
- Agore AL, Militaru G (2008). Crossed product of groups, applications. *Arab. J.Sci. Eng.* 33: 1-17.
- Agore AL, Fratila D (2010). Crossed product of cyclic groups. *Czechoslov. Math. J.* 60(135): 889-901.
- Ateş F, Karpuz EG, Çevik AS (2009). Regular and π -inverse monoids under Schützenberger product. *Algebras, Groups and Geometries*, 27(4): 455-470.
- Ateş F (2009). Some new monoid and group constructions under semidirect product. *Ars Combinatoria*, 91: 203-218.
- Ateş F, Karpuz EG, Kocapinar C, Çevik AS (2011). Gröbner–Shirshov bases of some monoids. *Discrete Mathematics*, 311(6): 1064-1071.
- Ateş F, Çevik AS, Karpuz EG (2021). On the geometry of the crossed product of groups. *Bulletin of the Korean Math. Society*, 58(5): 1301-1314.
- Book RV (1987). Thue systems as rewriting systems. *J. Symbolic Computation*, 3(1-2): 39-68.
- Book RV, Otto F (1993). *String-Rewriting Systems*. Springer-Verlag, New York.
- Çetinalp EK, Karpuz EG, Ateş F, Çevik AS (2016). Two-sided crossed product of groups. *Filomat*, 30(4): 1005-1012.
- Çetinalp EK, Karpuz EG (2018). Iterated crossed product of cyclic groups. *Bulletin of the Iran Math. Soc.* 44(6): 1493-1508.
- Çetinalp EK, Karpuz EG, Çevik AS (2019). Complete rewriting system for Schützenberger product of n groups. *Asian-European Journal of Math.* 12(1): 1950012.
- Çetinalp EK (2022). Iterated bicrossed product of groups. *Konuralp Journal of Mathematics*, 10(1): 134–137.
- Çetinalp EK (2023). A Generalization of bicrossed product of monoids. *Asian-European Journal of Math.* 16(10): 2350184.
- Çevik A, Karpuz EG, Çetinalp EK (2020). Complete rewriting system for crossed product of infinite groups. *Erzincan University Journal of Science and Technology*, 13(1): 112-118.
- Dehn M (1911). Über unendliche diskontinuierliche Gruppen, *Mathematische Annalen*, 71: 116-144.
- Emin A, Ateş F, İkikardeş S, Cangül IN (2013). A new monoid construction under crossed products, *Journal of Inequalities and Applications*, 244.
- Gracinda MSG, Sezinando H, Pin JE (2006). Presentations of the Schützenberger product of n groups. *Communication in Algebra*, 34(4): 1213-1235.
- Howie JM, Ruškuc N (1994). Constructions and presentations for monoids. *Communications in Algebra*, 22(15): 6209-6224.
- Karpuz EG, Ateş F, Çevik AS (2010). Regular and π -inverse monoids under Schützenberger products. *Algebras Groups and Geometries*, 27: 455- 471.
- Karpuz EG, Ateş F, Çevik AS, Cangül IN (2016). A presentation and some finiteness conditions for a new version of the Schützenberger product of monoids, *Turkish Journal of Mathematics*, 40: 224–233.

Karpuz EG, Çetinalp EK (2016). Growth series of crossed and two-sided crossed products of cyclic groups. *Mathematica Slovaca*, 68(3): 1-12.

Karpuz EG, Çetinalp EK (2024). Some remarks on the Schützenberger product of n monoids. *Ricerche di Matematica*, 73: 2159-2171.

Schützenberger MP (1965). On finite monoids having only trivial subgroups. *Information and Control*, 8: 190-194.

Sims CC (1994). *Computation for Finitely Presented Groups*. Cambridge University Press.

Straubing HA (1981). Generalization of the Schützenberger product of finite monoids. *Theoretical Computer Science*, 13: 137-150.

The Use of HPLC-DAD Method in Determining the Quality of Honeys: 5-Hydroxymethylfurfural (HMF) Analysis

Merve ÖZBAY^{1*}, Fatma Nur ARSLAN², Gazi GÖRÜR³

¹ University of Karamanoğlu Mehmetbey, Faculty of Applied Sciences, Department of Gastronomy and Culinary Arts, Karaman, Türkiye.

² University of Karamanoğlu Mehmetbey, Kamil Özdağ Faculty of Science, Department of Chemistry, Karaman, Türkiye

³ University of Niğde Ömer Halisdemir, Faculty of Science and Art, Department of Biotechnology, Niğde, Türkiye

Alındı/Received: 06/08/2024; Kabul/Accepted: 19/09/2024;Yayın/Published: 04/12/2024

! This study is produced from a part of Dr. Merve OZBAY's PhD thesis data.

* Corresponding author e-mail: mozbay@kmu.edu.tr

Abstract

The recognition of 5-hydroxymethylfurfural (HMF) content in honeys has been the subject of many scientific studies as it is a significant indicator of the toxicity, its processing method, storage situations and age. In this research, the amount of HMF in 95 different flower and honeydew honey samples obtained from markets, factory sales offices and local beekeepers in Türkiye was determined. High performance liquid chromatography (HPLC) method was employed to recognize HMF contents. Before sample analysis, the standard HMF solutions were prepared at different concentrations and method validation studies were carried out. The HMF content limit value of flower and honeydew honey in the Honey Communiqué (TFC/Communiqué No:2020/7) is stated as 40 mg.kg⁻¹. According to the obtained results, the HMF contents in honey samples were found as 0.00-16.65 mg.kg⁻¹. It was determined that the amounts of HMF were at the highest level in monofloral milk vetch honey (MH_MV) samples coded MH_MV3 and MH_MV4. Therefore, it was concluded that all of the honey samples were compatible with the Honey Communiqué in terms of HMF and had appropriate honey quality values.

Keywords: Floral honey, Honeydew honey, 5-hydroxymethylfurfural, HPLC

Balların Kalitesinin Belirlenmesinde HPLC-DAD Metodunun Kullanımı: 5-Hidroksimetilfurfural (HMF) Analizi

Öz

Baldaki 5-hidroksimetilfurfural (HMF) içeriğinin tespiti balın toksitesinin, işlenme şeklinin, saklama koşullarının ve yaşının önemli bir göstergesi olduğu için birçok bilimsel araştırmanın konusu olmuştur. Bu çalışmada Türkiye'deki marketlerden, fabrika satış ofislerinden ve yerel bal üreticilerinden temin edilen 95 farklı çiçek ve salğı balı numunesinin HMF içeriği belirlenmiştir. HMF içeriklerinin tespitinde yüksek performanslı sıvı kromatografi (HPLC) yöntemi uygulanmıştır. Numune analizleri öncesinde farklı konsantrasyonlarda standart HMF çözeltileri hazırlanmış ve yonteme ait metod validasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bal Tebliğinde (TGK/Tebliğ No:2020/7) çiçek ve salğı ballarında HMF içeriği sınır değeri 40 mg.kg⁻¹ şeklinde belirtilmektedir. Gerçekleştirdiğimiz analizlerden elde edilen sonuçlara göre numunelerdeki HMF değerleri 0.00-16.65 mg.kg⁻¹ şeklindedir. MH_MV3 ve MH_MV4 kodlu monofloral geven balı numunelerinde HMF değerinin en yüksek düzeyde olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak incelenen bal numunelerinin tümünün HMF açısından tebliğ ile uyumlu olduğu ve uygun bal kalite değerlerine sahip oldukları kanaatine varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Çiçek balı, Salğı balı, 5-hidroksimetilfurfural, HPLC

Atıf / To cite: Özbay M, Arslan FN, Görür G (2024). The Use of HPLC-DAD Method in Determining the Quality of Honeys: 5-Hydroxymethylfurfural (HMF) Analysis. Karamanoğlu Mehmetbey University Journal of Engineering and Natural Sciences, 6(2): 41-45.

1. INTRODUCTION

Honey is one of the most complicated nutritions fabricated by honeybees from the plants and nectar of diverse

honeydews. It is a sweetener and could be employed by a human devoid of procedure (Das et al. 2022; Elhamdaoui et al. 2020). Honey is a mixture of many different types of components which mainly organic acids, sugars (fructose

and glucose), minerals, enzymes and water (International Honey Commission 2009; Lewkowski 2001; Kurtagić et al. 2021). Meteorological, climate, entomological and floral issues all impress the compound and feature of honey (El Sohaimy et al. 2015; De Almeida et al. 2016; Samarghandian et al. 2017). Also, the compound of honey is remarkably controlled by the time, temperature and other conditions of storage (Islam et al. 2012; Mehryar et al. 2013; Das et al. 2022; Chua et al. 2012; Sabireen et al. 2020). Physico-chemical features of the honeys like the contents of sugar, water, HMF, acidity, amino acid, electrical conductivity, mineral, vitamin, organic acid, proline, protein, enzyme activity and organoleptic features are established by common quality standards like EU regulation; however, as markers the contents of HMF, sucrose, the ratio of fructose to glucose draw attention for honey quality (Jandrić et al. 2017; Das et al. 2022).

HMF has a furan ring skeleton, and it has a carbaldehyde group at the site of the 5-hydroxymethyl skeleton (Kurtagić et al. 2021; Lewkowski 2001; PM da Silva et al. 2016). It is almost not existing in fresh foods; however, it is naturally forming in some types of foods including sugars (particularly ketosis and aldoses), and also in cooked and baked foods (Vorlová et al. 2006; Shapla et al. 2018; Kurtagić et al. 2021). HMF is derived from carbohydrates (like glucose, fructose and sucrose) during Maillard reaction based on acid catalytic hydrolysis and dehydration steps. Newly fabricated honey samples have extremely little HMF, and its limit should be 40 mg.kg⁻¹ to Codex Alimentarius Commission (Bastos et al. 2012; Das et al. 2022; Ruiz Matute et al. 2010).

The temperature range of 32-40°C during fabrication process doesn't affect the quality of honey. However, HMF tends to increase when honey is heated above 60°C (Shapla et al. 2018). The higher amount of HMF depicts the dishonesty of honey quality owing to fabrication faults mostly heating over 60°C to make stronger viscosity and get rid of fermentation/solidification, inappropriate storage situations, the adding of adulterants like sugar solution and aging (Shapla et al. 2018; Das et al. 2022). The content of HMF in honeys have an indicator role for storage or shelf life of them (Kurtagić et al. 2021).

Recent studies have proven the carcinogenic, genotoxic and cytotoxic impacts of HMF, disclosing the need of recognizing its amount in honeys (Sabireen et al. 2020; Glatt et al. 2012; Pastoriza et al. 2017). For the recognition of HMF amount in foods, different methods are used (International Honey Commission 2009; Shapla et al. 2018; Zappala et al. 2005; Makawi et al. 2009; Kurtagić et al. 2021). Herein, the HMF content of 95 different flower and honeydew honey samples obtained from markets, factory sales offices and local honey producers in Turkiye was determined by the validated HPLC method.

2. MATERIAL AND METHOD

2.1. Chemicals and Standards

Methanol (HPLC-Grade), ultrapure water (HPLC-Grade) and 5-(Hydroxymethyl) furfural standard used in the

study were purchased from commercial suppliers and used directly without any purification process.

2.2. Samples

95 honey samples including 12 kinds of monofloral honey (MH) samples [$n=55$ honeys; *thyme* (MH_TV1 to TV6), *acacia* (MH_A1 to A2), *carob* (MH_C1 to C5), *chestnut* (MH_CH1 to CH6), *black cumin* (MH_BC1 to BC4), *milk vetch* (MH_MV1 to MV7), *sunflower* (MH_S1 to S3), *citrus* (MH_CF1 to CF8), *rhododendron* (MH_R1 to R3), *thistle* (MH_T1), *linden* (MH_L1 to L5), *lavender* (MH_FL1 to FL5)], 20 polyfloral honey (PH) samples obtained from 2019–2020 seasons ($n=20$; PH_1 to 20) and 2 kinds of honeydew honeys (HH) [$n=20$ honeys; *honeydew* (HH_H1 to H14) and *oak* (HH_O1 to O6)] were used. All samples were purchased from the local markets, factory outlets and local beekeepers, and they were stored at +4°C in a cabinet away from daylight.

2.3. HMF Analysis by HPLC

An Agilent 1260 Series HPLC equipped with a DAD system was used for the recognition of HMF content. The method was optimized and validated by us in our laboratory. 5 mL of ultrapure water was added to 1 g sample and this solution was passed through 0.45 µm-membrane filter, and 5 µL of sample was injected into the HPLC system. A Novapak C₁₈ column (30×0.39 cm×4 µm) was used.

The method comprised of a mobile phase of methanol:water (10:90, v/v) with a flow rate of 1.0 mL.min⁻¹. The temperature of column was set as 25 °C. The peak of HMF was recorded at $\lambda_{\text{Abs}}=285$ nm. The standard HMF solutions in different concentrations (0.1, 0.5, 1.0, 2.0, 5.0, 10.0 and 20.0 ppm) was used and method validation studies were carried out based on the parameters of specificity, recovery, linearity, limits of detection (LOD) and quantification (LOQ). The findings of HMF content in honeys were reported as mg HMF.kg⁻¹ honey.

3. RESULTS

The chromatogram of HMF standards used for the calibration graphics shown in Figure 1. As depicted in Figure 1, the peak of HMF was eluted in 11.32 ±0.01 min and the linearity of method was assessed from the calibration curve at seven concentration levels. The method performance was validated based on the statistical parameters of linearity, sensitivity, precision and accuracy (Table 1).

The findings in this table clearly show the method to be sensitive and accurate for the recognition of HMF content. The linear calibration graph was constructed by the peak areas versus the concentrations of HMF. The correlation coefficient (R^2) was found as 0.99, and the accuracy of method was 96.90%. The %RSD for HMF was estimated about 0.12%, and the sensitivity of HPLC method (LOD and LOQ) was also computed as 0.86 and 2.61 mg.kg⁻¹

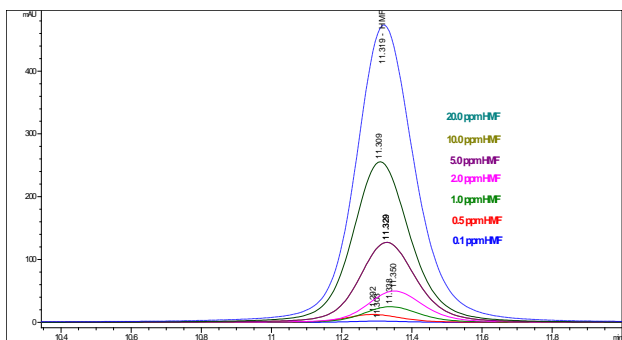


Figure 1. HMF chromatogram of the HMF standards in different concentrations

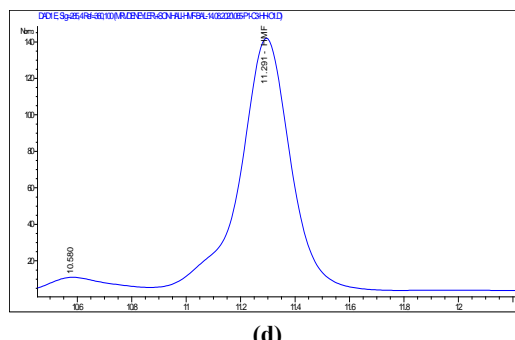
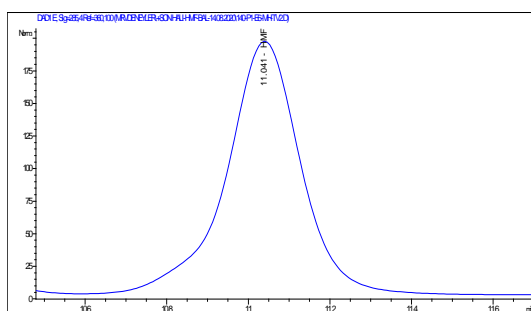


Figure 2. HMF chromatogram of honey samples (a) MH_TV2, (b) MH_CH6, (c) HH_H9 and (d) HH_O1

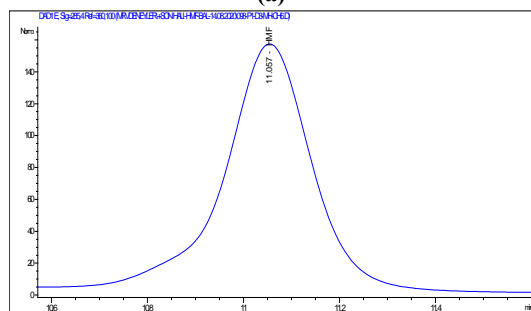
Table 1. Method validation results for HMF detection

Method validation study			
linearity	Calibration	$t_R \pm SD$ (min)	11.32 \pm 0.01
		working range (mg.kg ⁻¹)	0–20
		equality	$y=290.24+26.922$
		R ²	0.99
		RSD, %	0.12
accuracy	regain, %	96.90	
sensibility	LOD (mg.kg ⁻¹)	0.86	
	LOQ (mg.kg ⁻¹)	2.61	

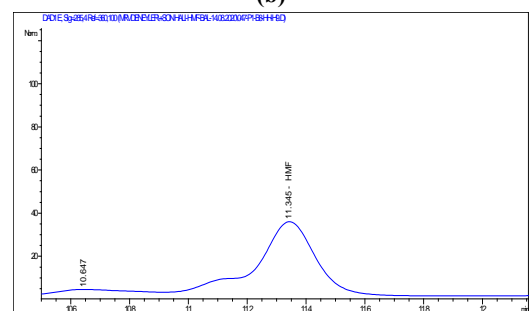
The chromatograms of some honey samples are illustrated in Figure 2, and the HMF contents of all samples are given in Table 2.



(a)



(b)



(c)

Table 2. HMF contents of honey samples, mg.kg⁻¹

Monofloral Honey (MH) Samples	HMF content (mg.kg ⁻¹)
MH_A1	nd*
MH_A2	nd*
MH_BC1	nd*
MH_BC2	nd*
MH_BC3	nd*
MH_BC4	nd*
MH_C1	0.76 \pm 0.00
MH_C2	nd*
MH_C3	1.52 \pm 0.00
MH_C4	5.70 \pm 0.01
MH_C5	0.89 \pm 0.06
MH_CF1	nd*
MH_CF2	nd*
MH_CF3	nd*
MH_CF4	nd*
MH_CF5	nd*
MH_CF6	nd*
MH_CF7	nd*
MH_CF8	nd*
MH_CH1	nd*
MH_CH2	nd*
MH_CH3	nd*
MH_CH4	3.00 \pm 0.02
MH_CH5	0.78 \pm 0.03
MH_CH6	6.70 \pm 0.02
MH_FL1	nd*
MH_FL2	nd*
MH_FL3	nd*
MH_FL4	nd*
MH_FL5	nd*
MH_L1	nd*
MH_L2	nd*
MH_L3	nd*
MH_L4	nd*
MH_L5	nd*
MH_MV1	5.20 \pm 0.03
MH_MV2	2.53 \pm 0.00
MH_MV3	16.65 \pm 0.03
MH_MV4	15.77 \pm 0.00
MH_MV5	5.09 \pm 0.10
MH_MV6	nd*
MH_MV7	nd*
MH_R1	nd*
MH_R2	nd*
MH_R3	nd*
MH_S1	nd*
MH_S2	nd*
MH_S3	nd*
MH_T1	nd*
MH_TV1	1.84 \pm 0.01
MH_TV2	8.56 \pm 0.03

MH_TV3	nd*
MH_TV4	nd*
MH_TV5	nd*
MH_TV6	nd*
Polyfloral Honey (PH)	
Samples	
PH1	nd*
PH2	nd*
PH3	nd*
PH4	nd*
PH5	nd*
PH6	nd*
PH7	nd*
PH8	nd*
PH9	nd*
PH10	nd*
PH11	nd*
PH12	nd*
PH13	nd*
PH14	nd*
PH15	nd*
PH16	nd*
PH17	nd*
PH18	nd*
PH19	nd*
PH20	nd*
Honeydew Honey (HH)	
Samples	
HH_H1	0.83 ±0.02
HH_H2	1.20 ±0.24
HH_H3	1.21 ±0.01
HH_H4	1.17 ±0.04
HH_H5	0.36 ±0.01
HH_H6	2.69 ±0.02
HH_H7	2.00 ±0.03
HH_H8	1.78 ±0.01
HH_H9	1.65 ±0.03
HH_H10	0.40 ±0.04
HH_H11	1.72 ±0.04
HH_H12	0.40 ±0.04
HH_H13	1.85 ±0.01
HH_H14	0.67 ±0.00
HH_O1	6.19 ±0.03
HH_O2	1.28 ±0.03
HH_O3	nd*
HH_O4	1.28 ±1.81
HH_O5	nd*
HH_O6	nd*

nd*: not detected.

As is well known that, HMF is a product of non-enzymatic browning reactions and is formed in foods as a result of the condensation reaction of sugars and proteins. It is one of the products of Maillard reactions that occur between sugars and biomolecules that contain amine groups, such as amino acids. Its low level in honey is an indicator of the freshness of honey. As can be seen from Table 2, the HMF values in honey samples under study were detected as 0.00-16.65mg.kg⁻¹. The maximum HMF contents were

REFERENCES

- Bastos DM, Monaro, Siguemoto E, Sefora M (2012). Maillard reaction products in processed food: pros and cons. In: Food industrial processes - methods and equipment. InTech.
- Chua LS, Abdul-Rahaman N, Sarmidi MR, Aziz R (2012). Multi-elemental composition and physical properties of honey samples from Malaysia. *Food Chemistry*, 135: 880-887.
- Cozmuta AM, Cozmuta LM, Varga C, Marian M, Peter A (2011). Effect of thermal processing on quality of polyfloral honey. *Romanian Journal of Food Science*, 1: 45-52.

determined in the samples of MH_MV3 and MH_MV4. In the study, HMF formation was detected in honey types coded MH_C, MH_CH, MH_MV and MH_TV from monofloral honey samples from different botanical origins, while HMF content was not found in polyfloral honey samples. Low amounts of HMF formation were also detected in two different honeydew honey samples analyzed. It is possible that the detected HMF contents in these samples provided from markets is due to different process parameters like time, temperature, pH and humidity applied in their production and storage. For instance, the HMF content in samples of fresh honey is typically zero, but with long-term storage, depending on pH and storage temperature, it increases (Ghramh et al. 2020). Even at low temperatures and in an acidic environment, HMF could easily develop (Shapla et al. 2018). When honey sample is subjected to thermal treatment for reducing viscosity, delaying or preventing crystallization and eliminating microorganisms that contaminate it and the HMF content could increase (Cozmuta et al. 2011). The amount of HMF in honey also depends on sugar ratio, protein content and botanical characteristics. Considering these reasons stated in literature; it is predicted that the HMF contents in the honey samples detected in the study are mainly due to factors such as sugar and protein contents originating from botanical differences, temperature, time, pH and humidity applied during production and storage.

4. DISCUSSION AND CONCLUSION

Herein, the recognition of HMF in honeys was successfully performed by the HPLC-DAD method under laboratory conditions by validating certain conditions. The HMF contents of 95 different honey samples from different botanical origins were vary between 0.00-16.65 mg.kg⁻¹, and all of them were well below the Honey Communiqué limit (40mg.kg⁻¹). The HMF could not be detected in 64 of 95 pure honeys. Thus, it was concluded that all of the honey samples were compatible with the Honey Communiqué report in terms of HMF and had appropriate honey quality values. It could be concluded that the analyzed honey samples met the desired quality standards for HMF content.

CONFLICT OF INTEREST

All authors declare that they have no further conflict of interest.

THANKS

The research was financially supported by the project with a number of 220O089 (TUBITAK-1002).

- Das S, Uddin MN, Haque MS, Chakraborty D, Mostafa M, Hasnaine A, Das SK, Uddin M (2022). Hydroxymethylfurfural Content and Sugar Profile of Honey Available in Bangladesh Using Validated HPLC-PDA and HPLC-RID. *Journal of Food Quality and Hazards Control*, 9: 160-168.
- De Almeida AMM, Oliveira MBS, Da Costa JG, Valentim IB, Goulart MOF (2016). Antioxidant capacity, physicochemical and floral characterization of honeys from the northeast of Brazil. *Revista Virtual de Química*, 8: 57-77.
- El Sohaimy SA, Masry SHD, Shehata MG (2015). Physico-chemical characteristics of honey from different origins. *Annals of Agricultural Science*, 60: 279-287.
- Elhamdaoui O, El Orche A, Cheikh A, Mojemmi B, Nejjari, Bouatia M (2020). Development of fast analytical method for the detection and quantification of honey adulteration using vibrational spectroscopy and chemometrics tools. *Journal of Analytical Methods in Chemistry*, 2020(1): 8816249.
- Ghranh HA, Khan KA, Zubair A, Ansari MJ (2020). Quality evaluation of Saudi honey harvested from the Asir province by using high-performance liquid chromatography (HPLC). *Saudi Journal of Biological Sciences*, 27: 2097-2105.
- Glatt H, Schneider, H, Murkovic M, Monien BH, Meinel W (2012). Hydroxymethyl-substituted furans: mutagenicity in salmonella typhimurium strains engineered for expression of various human and rodent sulphotransferases. *Mutagenesis*, 27(1): 41-48.
- Harmonised methods of the international honey commission (2009). Harmonised methods of the international honey commission.
- Islam A, Khalil I, Islam N, Moniruzzaman M, Mottalib A, Sulaiman SA, Gan SH (2012). Physicochemical and antioxidant properties of Bangladeshi honeys stored for more than one year. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 12: 177.
- Jandrić Z, Frew R, Fernandez-Cedi LN, Cannavan A (2017). An investigative study on discrimination of honey of various floral and geographical origins using UPLC QToF MS and multivariate data analysis. *Food Control*, 72: 189-197.
- Kurtagić H, Sarić E, Abdelfattah N, Murtabegović N (2021). Determination of Hydroxymethylfurfural Content (HMF) in Fresh Bee Honey Produced in Bosnia and Herzegovina (B&H) by HPLC DAD Method. *International Journal of Environmental Sciences and Natural Resources*, 26(5): 153-159.
- Lewkowski J (2001). Synthesis, chemistry and applications of 5-hydroxymethylfurfural and its derivatives. *Arkivoc*, (1): 17-54.
- Makawi SZA, Taha MI, Zakaria BA, Siddig B, Mahmud H (2009). Identification and quantification of 5-hydroxymethyl furfural HMF in some sugar-containing food products by HPLC. *Pakistan Journal of Nutrition*, 8(9): 1391-1396.
- Mehryar L, Esmaili M, Hassanzadeh A (2013). Evaluation of some physicochemical and rheological properties of Iranian honeys and the effect of temperature on its viscosity. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 13: 807-819.
- Pastoriza de la Cueva S, Álvarez J, Végvári A, Montilla-Gómez J, Cruz-López O, Delgado-Andrade C, Rufián-Henares JA (2017). Relationship between HMF intake and SMF formation in vivo: An animal and human study. *Molecular Nutrition & Food Research*, 61(3).
- PM da Silva PM, Gauche C, Gonzaga LV, Costa ACO, Fett R (2016). Honey: Chemical composition, stability and authenticity. *Food Chemistry*, 196: 309-323.
- Ruiz Matute AI, Weiss M, Sammataro D, Finely J, Sanz ML (2010) Carbohydrate composition of high-fructose corn syrups (HFCS) used for bee feeding: effect on honey composition. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(12): 7317-7322.
- Sabireen SN, Sulaiman SA, Salleh RM, Fuad WEM (2020). Correlation between 5-Hydroxymethylfurfural (HMF) Concentration and Physicochemical Properties in Fresh and Aged Tualang Honey. *Asian Journal of Medicine and Biomedicine*, 4(2): 10-16.
- Samarghandian S, Farkhondeh T, Samini F (2017). Honey and health: a review of recent clinical research. *Pharmacognosy Research*, 9: 121-127.
- Shapla UM, Solayman M, Alam N, Khalil MI, Gan SH (2018). 5-Hydroxymethylfurfural (HMF) levels in honey and other food products. Effects on bees and human health. *Chemistry Central Journal*, 12(1): 35.
- Vorlová L, Borkovcová I, Kalábová K, Večerek V (2006). Hydroxymethylfurfural contents in foodstuffs determined by HPLC method. *Journal of Food and Nutrition Research*, 45(1): 34-38.
- Zappala M, Fallico B, Arena E, Verzera A (2005). Methods for the determination of HMF in honey: a comparison. *Food Control*, 16(3): 273-277.

İş Güvenliği Uzmanlarının Risk Değerlendirme Yöntemlerini Uygulama Performanslarının Araştırılması

Çağlar YAYLALI^{ORCID}

Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Mülkiyeti Koruma ve Güvenlik Bölümü, Karaman, Türkiye

Alındı/Received: 01/06/2024; Kabul/Accepted: 05/08/2024; Yayın/Published: 04/12/2024

! Bu makale Çağlar Yaylalı'nın doktora tezinden üretilmiştir.

* Sorumlu yazar e-posta: caglaryaylali@kmu.edu.tr

Öz

Bu çalışma iş sağlığı ve güvenliği (İSG) risk değerlendirme (RD) çalışmalarında iş güvenliği uzmanlarının (İGU) risk değerlendirme yöntemlerini uygulamadaki performanslarını araştırmak amacıyla yapılmıştır. Bu kapsamda, ülkemizde ve dünyada yaygın olarak kullanılan RD yöntemlerinden olan Fine-Kinney ve L Tipi Matris yöntemleri kullanılmıştır. İşletmelerde en çok karşılaşılan tehlikelerden olan gürültü ve yüksekte çalışmayla ilgili oluşturulmuş tehlike senaryoları ve alt senaryolar bu iki yöntem ile İGU'lara RD yaptırılmıştır. Yapılan çalışma İGU'ların RD konusundaki mevcut başarı performanslarının belirlenmesi açısından önem arz etmektedir. Araştırma, iş güvenliği sektöründe Türkiye'de çeşitli illerde çalışan toplam 107 adet A, B ve C sınıfı İGU'nun katılımıyla gerçekleştirilmiştir. Elde edilen verilerin analizleri sonucunda İGU'ların RD performanslarının ve RD yöntemlerini kullanım yetkinlikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Bununla birlikte İGU'lar arasındaki farklılıklar ortaya konularak önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Fine-Kinney Yöntemi, İş Güvenliği Uzmanlarının Performansı, L Tipi Matris Yöntemi, Risk Değerlendirmesi, Risk Değerlendirmesindeki Öznel Farklılıklar, Risk Tahmini Başarı Oranı

Investigating The Performance of Occupational Safety Specialists In Applying Risk Assessment Methods

Abstract

This study was conducted to investigate the performance of occupational safety specialists (OSS) in applying risk assessment methods in occupational health and safety (OHS) risk assessment (RA) studies. In this context, Fine-Kinney and L Type Matrix methods, which are widely used in our country and in the world, were used. Hazard scenarios and sub-scenarios related to noise and working at height, which are the most common hazards encountered in the enterprises, were created and RD was carried out by the HRVUs with these two methods. The study is important in terms of determining the current success performance of the OSS's on RA. The research was conducted with the participation of a total of 107 A, B, and C class OSS working in various provinces in Turkey in the occupational safety sector. As a result of the analyses of the data obtained, it was tried to determine the performance of the OSS's and their competencies in the use of OHS methods. In addition, the differences between the OSS were revealed and recommendations were made.

Key Words: Fine-Kinney Method, L Type Matrix Method, Performance of Occupational Safety Specialist, Risk Assessment, Risk Estimation Success Rate, Subjective Differences in Risk Assessment.

Atıf / To cite: Yaylalı Ç (2024). İş Güvenliği Uzmanlarının Risk Değerlendirme Yöntemlerini Uygulama Performanslarının Araştırılması. Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Dergisi, 6(2): 46-51.

1. GİRİŞ

Endüstride yıllar boyunca meydana gelen gelişmeler sonucunda üretim ve hizmet süreçleri ve sistemler karmaşık bir yapıya bürünmüşlerdir. Bu durum ise çalışma ortamlarındaki insan, malzeme, makine ekipman gibi faktörlerden kaynaklanan kazaların sayısında artışa sebep

olmuştur. Bununla birlikte işletmelerin en önemli kuruluş amacının kâr olarak belirlendiği günümüzde, maliyetlerin düşürülmesi kâr elde etmenin en önemli unsurudur. İş kazaları ve meslek hastalıklarının maliyetleri de düşürülmesi gereken önemli maliyet kalemlerindedir. Bu

maliyetlerin de iş sağlığı ve güvenliği (İSG) çalışmaları ile düşürülmesi gerekmektedir. Kazalara neden olan potansiyel tehlikelerin ve bu tehlikelerin risklerinin incelenmesi “Risk Değerlendirmesi” (RD) kavramının ortaya çıkmasına sebep olmuştur.

Risk değerlendirmesinin doğru ve güvenilir bir şekilde yapılabilmesi için “Tehlike” ve “Risk” kavramlarının ne anlama geldiğinin iyi bilinmesi gerekir. Fransızca kökenli olan risk kelimesi Türk Dil Kurumu sözlüklerinde kelime anlamı bakımından “zarara uğrama tehlikesi” olarak tanımlanmıştır. Tehlike kelimesi ise Arapça kökenli olup Türk Dil Kurumu sözlüklerinde “Gerçekleşme ihtimali bulunan fakat istenmeyen sakıncalı durum” şeklinde tanımlanmıştır (Türk Dil Kurumu, 2023). Priest ve Baillie (1995), risk kavramını değerli bir şeyi kaybetme potansiyeli olarak tanımlamışlardır.

Mevzuatımızda Risk Değerlendirme Yönetmeliğinde Tehlike, “İşyerinde var olan ya da dışarıdan gelebilecek, çalışanı veya işyerini etkileyebilecek zarar veya hasar verme potansiyeli”, risk, “Tehlikeden kaynaklanacak kayıp, yaralanma ya da başka zararlı sonuç meydana gelme ihtimali”, şeklinde tanımlanmıştır. ISO 45001 (2018) İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemleri Standardında ise tehlike, “İnsan yaralanması ya da hastalığına neden olabilecek kaynak, faaliyet veya durum” risk “Tehlikeli bir durumun veya tehlikeye maruz kalmanın meydana gelme olasılığı ve bu durum ya da maruz kalmadan kaynaklanan yaralanma veya hastalığın büyüklüğü ve sonuçlarının bileşimi, şeklinde tanımlanmaktadır.

Ridley ve Pearce (2006), Risk Değerlendirmesini, “Tehlikelerden kaynaklanabilecek zarar veya hasar riskini değerlendirmek için kullanılan bir teknik”, tehlikeyi, “Zarar veya hasara neden olma potansiyeli olan bir durum veya olay” risk kavramını ise “Tehlikeli olayın meydana gelme olasılığının ve olası zararın maksimum boyutunun bir bileşimidir” şeklinde tanımlamışlardır. Woodruff (2005)’ a göre risk $R=SxP$ formülü ile hesaplanır ve tanımlanan bir sonucun gerçekleşme olasılığıdır. S zararın ciddiyetini, P is zararın gerçekleşme olasılığını ifade eder.

RD kavramı için literatürde birçok tanım bulunmaktadır. Türk mevzuatında yer alan haliyle İSG RD Yönetmeliğinde “İşyerinde var olan ya da dışarıdan gelebilecek tehlikelerin belirlenmesi, bu tehlikelerin riske dönüşmesine yol açan faktörler ile tehlikelerden kaynaklanan risklerin analiz edilerek derecelendirilmesi ve kontrol tedbirlerinin kararlaştırılması amacıyla yapılması gerekli çalışmalar” olarak tanımlanmıştır (Anonim 2012a; 2012b). Başka bir tanıma göre RD, işletmelerde çalışanları tehdit eden tehlikelerin belirlenmesi, bu tehlikelerin çalışanları nasıl etkileyebileceği, tehlikelerin risklerinin analiz edilmesi, alınacak risk kontrol tedbirlerinin kararlaştırılması, bu tedbirlerin hayata geçirilmesi ile tehlikeler, riskler ve tedbirlerin sürekli takip edilerek gerekliyse yeni tedbirleri içeren süreçler bütünüdür (Birgören ve Yılmaz 2015).

İşyerlerinde RD yapılmasının en önemli amacı çalışma ortamlarında bulunan tehlikelerin belirlenmesi ve bu tehlikelerin risklerinin ortaya konularak gerekli korunma önlemlerinin alınmasıdır. Fakat burada ortaya çıkan en önemli sorun hangi tehlike için öncelikle önlem

alınacağıdır. Bu noktada RD yöntemleri devreye girmektedir. Bu tehlikelerin hangisi veya hangilerine öncelikli olarak tedbir alınması gerektiği RD yöntemleri kullanılarak karar verilebilir. RD çalışmaları belirli bir metodoloji doğrultusunda yapılması gerekmektedir. RD süreçlerinin, farklı kuruluş ve ülkelerin uygulamalarında beş ya da daha fazla adımdan oluştuğu görülmektedir. Fakat bu uygulamalar içerik olarak birbirlerine çok benzemektedirler. İSG RD Yönetmeliğine göre RD çalışmalarının aşamaları Şekil 1’de görülmektedir.

Risklerin belirlenmesi ve analizi aşamasında, bir önceki adımda tanımlanan tehlikeler ayrı ayrı dikkate alınarak bu tehlikelerin riskleri tanımlanır. Riskler tanımlanırken tehlikenin sebep olabileceği kayıp ve zararın kimleri etkileyebileceği, tehlikenin hangi sıklıkta oluşabileceği belirlenir. Bu tespit esnasında mevcut risk kontrol önlemleri de dikkate alınır. Tehlikeler ve bu tehlikeler için tanımlanan risklerin öncelik sırasının belirlenebilmesi ve derecelendirilmesi için bir veya birkaç yöntem bir arada kullanılarak risk tahminleri yapılır.

Risklerin belirlenmesi ve analizi aşamasında yapılan çalışmalar risklerin seviyelerinin ve önceliklerinin belirlenmesi için önemli bir role sahiptir. Bu aşamada yapılacak olan önceliklendirme ile hangi tehlike için daha önce önlem alınacağına karar verilir. İSG RD Yönetmeliğinde belirtilen RD’nin aşamaları Şekil 1’de şematik olarak gösterilmiştir. RD’nin sağlıklı bir şekilde yapılabilmesi için öncelikle tehlikelerin doğru ve eksiksiz bir şekilde belirlenmesi gerekir. Belirlenen her bir tehlikenin riskleri tanımlanmalı ve belirli yöntemlerle analiz edilerek derecelendirilmelidir.



Şekil 1. RD’nin Aşamaları

Bu derecelendirilme sırasına göre riski en büyük olan tehlikeden başlayarak tehlikelere karşı alınacak risk kontrol tedbirlerine karar verilmesi ve bu tedbirlerin uygulanması gerekir. Bu aşamaya kadar yapılan çalışmalar sistematik olarak belgelenmelidir. Çalışma ortamında meydana gelebilecek değişiklikler, iş kazası, meslek

hastalığı veya ramak kala olay oluşması sonucunda veya periyodik sürelerde RD'nin yenilenmesi gereklidir.

Bu çalışmada İSG sektöründe çalışan İGU'ların RD uygulamalarındaki performanslarının ölçülmesi amacıyla tehlike senaryoları oluşturulmuştur. Bu senaryolara İGU'lar tarafından yapılan RD'lerinin sonuçları İGU eğitici uzmanların aynı senaryolara yaptıkları RD'leri ile karşılaştırılarak İGU'ların RD uygulamalarındaki performansları tespit edilmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

Bu çalışma kapsamında Konya ve Karaman illerinde kamu, İSGB (İşyeri Sağlık ve Güvenlik Birimi) ve OSGB (Ortak Sağlık ve Güvenlik Birimi)'lerde çalışan A, B ve C sınıfı İGU'lar ile yüz yüze ve diğer illerdeki İGU'lar ile online canlı olarak RD çalışması gerçekleştirilmiştir. Çalışmaya toplamda 107 İGU katılmıştır. Çalışmaya katılan iş güvenliği uzmanlarının İGU sınıfı bilgilerine göre gruplandırılması Şekil 2'de gösterilmiştir.

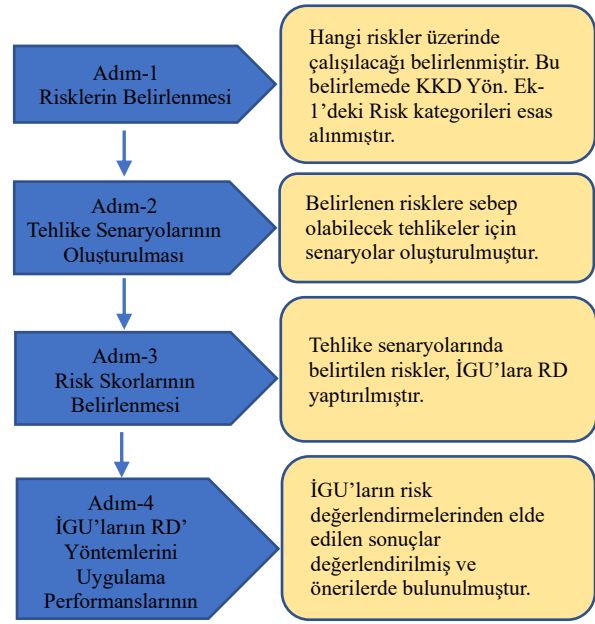


Şekil 2. İş Güvenliği Uzmanlarının Uzmanlık Sınıfı Dağılımları

İGU'lar ile yapılan RD çalışması için işletmelerde en çok karşılaşılan tehlikelerden olan gürültü ve yüksekte çalışmayla ilgili tehlike senaryoları oluşturulmuştur. Gürültü ile ilgili oluşturulan tehlike senaryosunda polipropilen çuval dokuma fabrikasındaki makinelerden ortaya çıkan 106 dB_(A) şiddetindeki gürültüye maruz kalındığında ortaya çıkabilecek riskler analiz edilmiştir. Yüksekte çalışma ile ilgili oluşturulan tehlike senaryosunda ise 12 mt yüksekte yapılan dış cephe sıva işinde oluşabilecek riskler analiz edilmiştir. Bu tehlikeler için hiçbir önlem alınmamış hali ile İGU'lara risk değerlendirmesi yaptırılmıştır.

2.2. Metot

Araştırma Şekil 3'de gösterilen metodolojiye göre yürütülmüştür. Çalışma metodolojisinde belirtilen tehlike senaryoları için her biri A sınıfı İGU ve İGU Eğitici olan 3 uzman tarafından RD yapılarak tehlike senaryoları için uzman en doğru tahminlerle risk puanları ve risk aralıkları belirlenmiştir. Çalışmaya katılan İGU'ların yapmış oldukları risk skorlamalarına göre belirlenen risk aralıkları uzmanların risk aralıkları ile karşılaştırılarak İGU'ların yaptıkları değerlendirmeler doğru ve yanlış olarak belirlenmiştir. İGU'ların yaptıkları RD'leri uzman değerlendirmeleri ile karşılaştırılırken Şekil 4'te gösterilen kavramsal model üzerinden hareket edilmiştir.



Şekil 3. Çalışma Metodolojisi

İGU'ların tehlike senaryoları için yapmış oldukları RD'lerden elde edilen risk skorları, çalışmada kullanılan yöntemler için Tablo 5 ve Tablo 8'de verilen risk derecelendirme aralıklarına göre içerisinde yer aldığı risk aralık değerleri uzman değerlendirmeleri ile karşılaştırılmıştır. Şekil 4'te verilen kavramsal modele göre İGU'ların risk bileşeni (şiddet, olasılık ve frekans) tahminleri ve risk aralığı tahminleri uzman değerlendirmeleri ile karşılaştırılarak İGU'ların başarı oranları tespit edilmiştir. Başarı oranları tespit edilirken çalışmaya katılan İGU'lar uzmanlık sınıfına göre üç ayrı sınıfa ayrılmıştır. Bu sınıflandırmalar Tablo 1'de belirtilmiştir.

Tablo 1. İş Güvenliği Uzmanlarının Demografik Gruplandırılması

Uzmanlık Sınıfına Göre	A Sınıfı İş Güvenliği Uzmanı
	B Sınıfı İş Güvenliği Uzmanı
	C Sınıfı İş Güvenliği Uzmanı

İGU'ların her iki tehlike senaryosu ve her iki RD yöntemine göre yaptıkları risk aralığı tahminleri İGU sınıfına göre oluşturulan her bir sınıf için 3 İGU eğitmeninin yaptıkları risk aralığı tahminleri ile karşılaştırılmış ve İGU'ların doğru veya yanlış tahminlerine göre başarı durumları tespit edilmiştir.

Her bir İGU'nun tahminlerdeki başarılı olma durumuna göre her bir demografik sınıfın eğitim öncesi ve eğitim sonrasındaki başarı oranları hesaplanmıştır. Bu makalede sadece eğitim öncesi başarı oranlarına göre iş güvenliği uzmanlarının performansları incelenmiştir. Hesaplanan başarı oranları çalışmanın araştırma bulguları ve tartışma bölümünde verilmiştir. Araştırma kapsamında 5×5 L Tipi Matris ve Fine Kinney RD yöntemleri kullanılmıştır.

Fine-Kinney RD yöntemi

Fine-Kinney RD yöntemidir. Bu yöntemi ilk olarak 1971 yılında William Fine önermiş, Kinney ve Wiruth (1976) bu yöntemi yenileyerek literatüre sunmuştur. İSG RD çalışmalarında Avrupa'da sıklıkla tercih edilerek kullanılan

Fine Kinney yöntemi 6331 İş Sağlığı ve Güvenliği Kanununun yürürlüğe girmesinden sonra ülkemizde de kullanılmaya başlanmıştır (Birgören 2017).

Bu yöntemde, riskin büyüklüğünü tahmin edebilmek için üç tane risk faktörü kullanılmaktadır. Riskin büyüklüğü olasılık, tehlikeye maruz kalma sıklığı (frekans) ve şiddet faktörleri kullanılarak hesaplanmaktadır. Fine ve Kinney (1971) tarafından ortaya konulan yöntemde risk puanı hesaplanırken kullanılan formül şu şekildedir.

Risk Puanı= Sonuç × Maruziyet × Olasılık

Formüldeki faktörlerin tanımları da şu şekilde yapılmıştır.

Sonuç: Potansiyel bir kazanın, yaralanmalar ve maddi hasar dahil olmak üzere olası sonuçları,

Maruziyet: Tehlikeli olayın oluşma sıklığı,

Olasılık: Tehlikeli olay meydana geldiğinde kazanın ve sonuçlarının oluşma olasılığı,

Kinney ve Wiruth (1976) yaptıkları çalışmada Fine'in yöntemini geliştirerek risk faktörleri için hazırlanan ölçekleri ve risk derecelendirme tablosunu güncellemişlerdir. Kinney ve Wiruth'un hazırladıkları ölçekler ve derecelendirme tablosu Tablo 2, Tablo 3 ve Tablo 4 ve Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 2. Tehlikeli Olayın Sonuçlarının Olasılığı Ölçeği (Kinney ve Wiruth 1976)

Olasılık	Değer
Beklenen	10
Oldukça mümkün	6
Olağandışı ama mümkün	3
Düşük olasılık ama mümkün	1
Akla yatkın ama pek mümkün değil	0,5
Pratik olarak imkânsız	0,2
Neredeyse imkânsız	0,1

Tablo 3. Tehlikeye Maruz Kalma Sıklığı (Frekans) Ölçeği (Kinney ve Wiruth 1976)

Maruz Kalma Sıklığı (Frekans)	Değer
Sürekli	10
Sık (Günlük)	6
Ara Sıra (Haftalık)	3
Olağandışı (Aylık)	2
Seyrek (Yılda birkaç kez)	1
Çok Seyrek (Yıllık)	0,5

Tablo 4. Tehlikenin Olası Sonuçları Ölçeği (Kinney ve Wiruth 1976)

Olası Sonuç	Değer
Felaket (Birçok ölüm veya 10.000.000 \$ dan fazla hasar)	100
Felaket (Birkaç ölüm veya 1.000.000 \$ dan fazla hasar)	40
Çok Ciddi (Ölüm veya 100.000\$ dan fazla hasar)	15
Ciddi (Ciddi Yaralanma veya 10.000 \$ dan fazla hasar)	7
Önemli (engellilik veya 1000 \$ dolardan fazla hasar)	3
*Dikkat Çekici (Küçük ilk yardım kazası veya 100 \$ dan fazla hasar)	1

Tablo 5. Fine Kinney Yöntemi Risk Derecelendirme Tablosu (Kinney ve Wiruth 1976)

Risk Skoru	Risk Durumu	Eylem
>400	Çok Yüksek Risk;	Operasyonu durdurmayı düşünün
200-400	Yüksek Risk;	Derhal düzeltme gerekiyor
70-200	Önemli Risk;	Düzeltilme gerekiyor
20-70	Olası Risk;	Dikkat edilmeli
<20	Düşük risk;	İhmal edilebilir

Bu çalışmada Kinney ve Wiruth tarafından son hali verilen risk bileşeni ölçekleri ve risk derecelendirme tablosu kullanılmıştır.

5×5 L Tipi Matris yöntemi

Bu yöntem uygulaması kolay olması sebebiyle tek başına RD yapmak zorunda olan iş güvenliği uzmanları için çok kullanışlıdır. Ancak karmaşık süreçlerin olduğu işler için yetersizdir. İş güvenliği uzmanının bilgi birikimine ve tecrübesine göre yöntemin uygulamasındaki başarı değişir. Karmaşık süreçlerde acil önlem alınması gerekli olan riskler için kullanılmalıdır. (Özkılıç 2005).

5×5 L Tipi Matris Yönteminde Risk skoru;

Risk Skoru = Olasılık × Şiddet

formülü ile hesaplanır ve risk skorunu hesaplamada kullanılan olasılık ve şiddet ölçekleri Tablo 6 ve Tablo 7'de gösterilmiştir. Elde edilen Risk Skoru Tablo 8'e göre değerlendirilir.

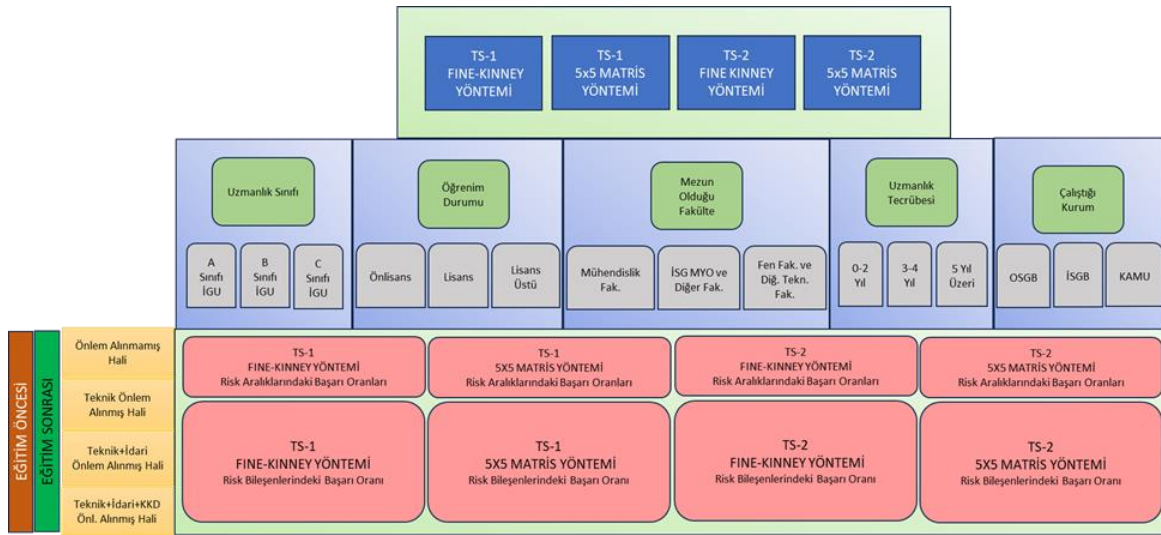
Tablo 6. 5×5 L Tipi Matris Yöntemi Bir Olayın Gerçekleşme Olasılığı Ölçeği

İHTİMAL	AÇIKLAMA	DEĞER
Çok Küçük	Hemen hemen hiç	1
Küçük	Çok az (Yılda bir kez), sadece anormal durumlarda	2
Orta	Az (Yılda birkaç kez)	3
Yüksek	Sıklıkla (Ayda bir kez)	4
Çok Yüksek	Çok sıklıkla (Haftada bir veya birkaç kez), normal çalışma şartlarında	5

Tablo 7. 5×5 L Tipi Matris Yöntemi Bir Olayın Gerçekleştiği Taktirde Şiddeti Ölçeği

SONUÇ	DERECELENDİRME	DEĞER
Çok Hafif	İş Saati Kaybı Yok, İlk Yardım Gerektiren	1
Hafif	İş Günü Kaybı Yok, Kalıcı Etkisi Olmayan Ayakta Tedavi İlk Yardım Gerektiren	2
Orta	Hafif Yaralanma, İş Günü Kaybı Var Yatarak Tedavi Gerekir	3
Ciddi	Ciddi Yaralanma, Uzuv Kaybı, Meslek Hastalığı	4
Çok Ciddi	Ölüm, Sürekli İş Görmezlik	5

Toplamda 107 İGU'nun yapmış olduğu RD sonucunda elde edilen risk skorlarına göre belirlenen risk aralığı tahminleri, İGU eğitimcilerinin (uzmanlar) ortak tahminleri ile karşılaştırılmıştır. İGU'ların risk aralığı tahmini ile uzmanların belirlediği risk aralığı tahmini aynı ise doğru, aynı değil ise yanlış olarak kabul edilmiştir.



Şekil 4. İş Güvenliği Uzmanlarının Risk Değerlendirmelerinin Analizinde Kullanılan Kavramsal Model

Tablo 8. 5x5 L Tipi Matris Yöntemi Sonucun Kabul Edilebilirlik Değerleri

SONUÇ	EYLEM
Katlanılamaz Riskler (25)	Belirlenen risk kabul edilebilir bir seviyeye düşürülünceye kadar iş başlatılmamalı eğer devam eden bir faaliyet varsa derhal durdurulmalıdır. Gerçekleştirilen faaliyetlere rağmen riski düşürmek mümkün olmuyorsa, faaliyet engellenmelidir.
Önemli Riskler (15,16,20)	Belirlenen risk azaltılmıncaya kadar iş başlatılmamalı eğer devam eden bir faaliyet varsa derhal durdurulmalıdır. Risk için devam etmesi ile ilgiliyse acil önlem alınmalı ve bu önlemler sonucunda faaliyetin devamına karar verilmelidir.
Orta Düzeydeki Riskler (8,9,10,12)	Belirlenen riskleri düşürmek için faaliyetler başlatılmalıdır. Risk azaltma önlemleri zaman alabilir.
Katlanılabilir Riskler (2,3,4,5,6)	Belirlenen riskleri ortadan kaldırmak için ilave kontrol proseslerine ihtiyaç olmayabilir. Ancak mevcut kontroller sürdürülmeli ve bu kontrollerin sürdürüldüğü denetlenmelidir.
Önemsiz Riskler (1)	Belirlenen riskleri ortadan kaldırmak için kontrol prosesleri planlamaya ve gerçekleştirilecek faaliyetlerin kayıtlarını saklamaya gerek olmayabilir.

Elde edilen doğru ve yanlış cevap sayılarını demografik özelliklere göre gruplandırılan uzman sayılarına oranlanması ile başarı oranları tespit edilmiştir.

Örneğin Tablo 10'da Tehlike senaryosu-1 için uzmanlık sınıfına göre çalışmaya katılan A, B ve C sınıfı İGU'lerden uzmanların belirlediği doğru risk aralığı (her bir alt senaryo için) ile aynı risk aralığı tahmininde bulunan İGU'ların sayılarının o sınıftaki toplam İGU sayısına bölümüyle başarı oranları hesaplanmıştır. Uzmanların tehlike senaryoları için yaptıkları risk değerlendirmelerine göre elde edilen risk puanları ve risk sınıfları Tablo 9'da verilmiştir.

Tablo 9. Uzman Değerlendirmelerine Göre Risk Sınıfları

Risk Puanı	Fine Kinney Yöntemi		5x5 Matris Yöntemi	
	Tehlike Senaryosu 1	Tehlike Senaryosu 2	Tehlike Senaryosu 1	Tehlike Senaryosu 2
900	2400	20	25	
Risk Sınıfı	Çok Yüksek Risk	Çok Yüksek Risk	Önemli Risk	Katlanılabilir-maz Risk

Tehlike Senaryosu-1 (TS-1) için Uzman grubunun Fine Kinney Yöntemine göre belirlediği risk aralığı Risk Skoru>400 şeklindedir. TS-1 için çalışmaya katılan 34 tane A sınıfı İGU'dan 31 tanesi, uzman grubu ile aynı risk aralığı tahmininde bulunmuşlardır. Bu durumda başarı oranı;

$$\text{Başarı Oranı (\%)} = \frac{31}{34} = \% 91,2$$

olarak hesaplanmıştır.

Tehlike Senaryosu-1 (TS-1) için Uzman grubunun Fine Kinney Yöntemine göre belirlediği risk aralığı Risk Skoru>400 şeklindedir.

TS-1 için çalışmaya katılan 39 tane B sınıfı İGU'dan 37 tanesi, uzman grubu ile aynı risk aralığı tahmininde bulunmuşlardır. Bu durumda başarı oranı;

$$\text{Başarı Oranı (\%)} = \frac{37}{39} = \% 94,9$$

olarak hesaplanmıştır.

Tablo 10. Örnek Başarı Oranı Hesaplanması

Uzman Grubu Risk Aralığı Tahminleri	A Sınıfı İGU (34)		B Sınıfı İGU (39)		C Sınıfı İGU (34)	
	Sayı	Oran %	Sayı	Oran %	Sayı	Oran %
>400	31	91,2	37	94,9	28	82,4%

Ortaya çıkan doğru ve yanlış cevaplar Şekil 4'de gösterilen Kavramsal Modele göre aşağıdaki ana başlıklar altında gruplandırılmıştır.

1. Tehlike Senaryosu-1 (Gürültüye maruziyet) için Fine-Kinney Yöntemine göre
2. Tehlike Senaryosu-1 (Gürültüye maruziyet) için 5X5 L Tipi Matris Yöntemine göre
3. Tehlike Senaryosu-2 (Yüksekte çalışma) için Fine-Kinney Yöntemine Göre
4. Tehlike Senaryosu-2 (Yüksekte çalışma) için 5X5 Matris Yöntemine Göre

3. BULGULAR

Hazırlanan iki tehlike senaryosu için İGU'ların yaptıkları RD sonucunda toplanan verilere göre elde edilen başarı puanları İGU sınıflarına göre Tablo 11'de gösterilmiştir.

Tablo 11. Uzmanlık Sınıfına Göre Başarı Oranları (%)

Uzmanlık Sınıfı	Tehlike Senaryosu-1 (Meslek Hastalığı)		Tehlike Senaryosu-2 (İş Kazası)	
	Fine-Kinney Yöntemi	L Tipi Matris Yöntemi	Fine-Kinney Yöntemi	L Tipi Matris Yöntemi
A Sınıfı İGU	91,2	100,0	97,1	100,0
B Sınıfı İGU	94,9	97,4	100,0	100,0
C Sınıfı İGU	82,4	94,1	97,1	100,0

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

İGU'ların tehlike senaryoları için yaptıkları RD'lerdeki risk aralığı tahminlerindeki başarı oranları incelendiğinde her iki senaryoda da L tipi matris yönteminde daha başarılı oldukları görülmektedir. Fakat L tipi matris yöntemindeki

risk faktörü (şiddet ve olasılık) ölçekleri Fine Kinney yöntemindeki risk faktörü ölçeklerine göre kısıtlılık göstermektedir. Bununla birlikte L Tipi Matris yönteminde her iki risk faktörü ölçeğinin de aynı skorlamaya sahip olmasından dolayı risk skoru tahminde

Fine-Kinney yöntemine göre daha zayıf kalabilmektedir. Özellikle tehlikeli ve çok tehlikeli işyerlerindeki RD'lerde L tipi matris yerine Fine Kinney yönteminin kullanılması daha sağlıklı olacaktır. Bu yüzden İGU'ların Fine Kinney yöntemindeki başarı oranlarının ve Fine Kinney yöntemindeki yetkinliklerinin yükseltilmesi için iş güvenliği uzmanlarına eğitimler verilmesi, RD rehberlerinin hazırlanması gibi çalışmalar yapılması İGU'ların bu yöndeki kabiliyetlerini artıracaktır.

Elde edilen sonuçlar senaryo bazında incelendiğinde iş kazası oluşturabilecek tehlikeyle (yüksekte çalışmayla ilgili senaryo) ilgili yapılan RD'lerde İGU'ların başarı oranlarının daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum İGU'ların meslek hastalığı oluşturabilecek tehlikelerin RD'deki yorumlama yetkinliklerinin düşük olduğunun bir göstergesi olarak görülebilir. Bu yetkinliklerin artırılabilmesi için meslek hastalığına sebep olabilecek tehlikelerle ilgili özellikle C sınıfı İGU'larda uygulamalı eğitim çalışmalarının yapılması faydalı olacaktır.

Sonuçlar yöntem bazında incelendiğinde B sınıfı İGU'ların başarı oranlarının diğer İGU sınıflarına göre daha yüksek olduğu görülmüştür. İGU'ların demografik bilgileri incelendiğinde ise B sınıfı İGU'ların %56'sının lisansüstü eğitime sahip oldukları belirlenmiştir. Bu durumda lisansüstü eğitimin risk değerlendirmesindeki başarı oranlarını yükseltmiş olduğu söylenebilir.

KAYNAKLAR

- Anonim (2012a). Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği. <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=16925&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5>.
- Anonim (2012b). Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, Kişisel Koruyucu Donanım Yönetmeliği. <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=31465&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5>.
- Birgören B (2017). Fine Kinney risk analizi yönteminde risk analizi yönteminde risk faktörlerinin hesaplama zorlukları ve çözüm önerileri. Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi, 9(1):19-25.
- Birgören B, Yılmaz F (2015). İş Sağlığı ve Güvenliğinde Standartlar ve Mevzuat ve Çerçevesinde Etkin Risk Yönetimi ve Değerlendirmesi. International Journal Of Engineering, 7(2):1.
- Fine WT, Kinney WD (1971). Mathematical evaluations for controlling hazards . White Oak: Naval Ordnance Laboratory.
- ISO (2018). Occupational health and safety management systems - Requirements with guidance for use (ISO Standard No. 45001:2018). <https://www.iso.org/standard/63787.html>.
- Kinney GF, Wiruth AD (1976). Practical Risk Analysis for Safety Management. CA:Naval Weapons Center.
- Özkılıç Ö (2005). İş Sağlığı ve Güvenliği Metodolojileri, Yönetim Sistemleri ve Risk Değerlendirme Metodolojileri. TİSK Yayınları.
- Priest S, Baillie R (1987). Justifying the risk to others: The real razor's edge. Journal of Experiential Education, 10(1): 16-22.
- Ridley J, Pearce D (2006). Safety with machinery. Routledge.
- Türk Dil Kurumu (2023). Genel Türkçe Sözlük.
- Woodruff JM (2005). Consequence and likelihood in risk estimation: A matter of balance in UK health and safety risk assessment practice. Safety Science, 43(5-6): 345-353.

Estimating Wind Speed with ANFIS: A Case Study in Karaman City

Selim GULHAN¹, Seda KUL^{2*}, Selami BALCI², S. Alperen CELTEK³

¹ Karamanoğlu Mehmetbey University Institute of Science, Karaman, Türkiye

² Karamanoğlu Mehmetbey University, Engineering Faculty, Electrical and Electronics Engineering, Karaman, Türkiye

³ Karamanoğlu Mehmetbey University, Engineering Faculty, Energy Systems Engineering, Karaman, Türkiye

Alındı/Received: 30/09/2024; Kabul/Accepted: 19/11/2024; Yayın/Published: 09/12/2024

* Corresponding author e-mail: sedakul@kmu.edu.tr

Abstract

Wind energy, one of the renewable energy sources, plays an increasingly important role in our world as a clean and sustainable energy source. Since the electricity generation potential from wind energy has a variable structure, energy generation estimates to be made to minimize the adverse effects of this situation have an important place for both power plants and operators. Various estimation methods are used for wind energy sources. In this study, wind speed (m/s) is estimated using fuzzy logic, one of the 34902 data Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System (ANFIS) models consisting of hourly average temperature (°C), relative humidity (%), and actual pressure (hPa) parameters are taken at Karaman-17246 Meteorology Station in 2022. The Root Mean Square Error (RMSE) of the obtained results is examined, and it is seen that the method used approached the result with 0.97%. Thus, the technical information is presented for researchers to determine the wind energy potential for the Karaman region in Türkiye.

Key Words: Wind energy; estimation; wind speed; renewable energy, ANFIS

ANFIS ile Rüzgar Hızının Tahmini: Karaman Şehri Vaka Çalışması

Öz

Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan rüzgar enerjisi, temiz ve sürdürülebilir bir enerji kaynağı olarak dünyamızda giderek daha önemli bir rol oynamaktadır. Rüzgar enerjisinden elektrik üretim potansiyeli değişken bir yapıya sahip olduğundan, bu durumun sebep olacağı olumsuz etkileri minimuma indirmek için yapılacak enerji üretim tahminleri hem santral hem de işletmeciler açısından önemli bir yere sahiptir. Rüzgar enerjisi kaynakları için çeşitli tahmin yöntemleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada, 2022 yılında Karaman-17246 Meteoroloji İstasyonu'nda saatlik ortalama sıcaklık (°C), bağıl nem (%) ve gerçek basınç (hPa) parametrelerinden oluşan 34902 veriden oluşan Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS) modellerinden biri olan bulanık mantık kullanılarak rüzgar hızı (m/s) tahmini yapılmıştır. Elde edilen sonuçların Kök Ortalama Kare Hatası (RMSE) incelenmiş ve kullanılan yöntemin sonuca %0,97 ile yaklaştığı görülmüştür. Böylece araştırmacılara Türkiye'de Karaman bölgesi için rüzgar enerjisi potansiyelini belirlemede yardımcı olacak teknik bilgiler sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Rüzgar enerjisi; tahmin; rüzgar hızı; yenilenebilir enerji, ANFIS

Atıf / To cite: Gulhan S, Kul S, Balci S, Celtek SA (2024). Estimating Wind Speed with ANFIS: A Case Study in Karaman City. Karamanoğlu Mehmetbey University Journal of Engineering and Natural Sciences, 6(2): 52-57.

1. INTRODUCTION

The rapidly increasing world population, significant technological advances, and accelerating industrialization significantly increase the energy demand. The widespread use of fossil fuels in energy production causes carbon emissions, environmental pollution, and global warming. The Kyoto Protocol (Doan et al. 2024), an international agreement adopted under the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) (Odeyemi

2020) and which imposes binding obligations on member countries, is taken into account in the increasing importance of renewable energy within the scope of sustainable and clean energy and in reducing greenhouse gas emissions that cause global warming and climate change. Following the end of the Kyoto Protocol in 2020, the Paris Agreement (Salman et al. 2022), which aims to regulate the climate change regime and strengthen

socioeconomic resilience to climate change, has come into effect. The global increase in energy supply and the decrease in fossil energy sources and their adverse effects on nature are increasing the demand for environmentally friendly and sustainable renewable energy sources. On the other hand, wind energy stands out as a sustainable, clean, and scalable source with low operating costs compared to fossil energy sources.

According to the World Wind Energy Association 2024 Report (WWEA Annual Report 2023) in Fig. 1, global installed wind capacity has reached 1046.8 GW, meeting approximately 10% of global electricity demand and ranking second after solar energy. The share of wind energy in electricity production has exceeded 20% in more than ten countries worldwide. When these countries are examined, it is seen that Denmark leads with 56%, while Germany, the Netherlands, Portugal, the UK, and Uruguay are among the countries that produce one-third or more of their electricity from wind.

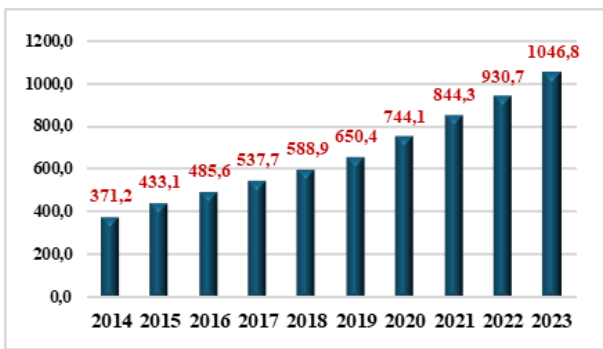


Figure 1. Total Cumulative Installed Capacity (World Wind Energy Association)

As of the end of June 2024, Türkiye's installed power reached 110,518 MW, and as seen in Fig. 2, 11.1% of this power is provided by wind energy.

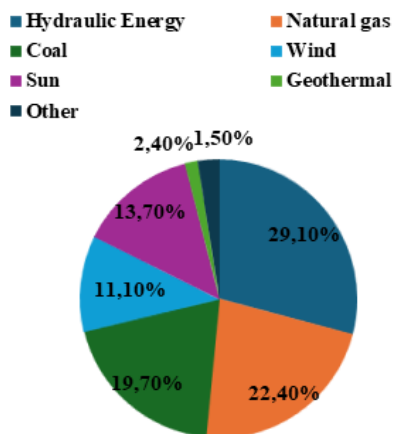


Figure 2. Turkey's Installed Power Distribution by Resources (Republic of Türkiye Ministry of Energy and Natural Resources)

With the increase in wind power plants, studies on production potential have become more important. Since the production potential in wind energy varies even during the day, especially with newly emerged artificial intelligence and optimization methods, estimation studies are applied in a way that will achieve minimum error. Accurate wind speed estimation allows for calculating the

total energy capacity obtained from wind power plants, providing maximum benefit from wind energy, and monitoring daily changes. Therefore, in order to produce wind energy effectively, regional wind speed, depending on the location, must be known and estimated accurately. Different methods and techniques are used to estimate wind speed, and it comes to the fore as a studied subject.

Experimental data collected from three wind power plants in Southern Italy and the backpropagation learning algorithm have shown that a two-hidden-layer neural network can be useful for high-accuracy wind energy output prediction (Grassi and Vecchio 2010). Barbounis and Theocharis (2007) used the spatial correlation to estimate wind speed using locally recurrent neural networks. Cassola and Burlando (2012) investigated the Kalman filter to find the most suitable configuration for predicting wind speed and power. This method performed a retrospective test with wind speed data recorded by a Numerical Weather Prediction (NWP) model and two anemometer stations in eastern Liguria (Italy) over two years. It was shown that the methodology can provide significant forecast improvement over the direct output of the wind speed model, especially when used for short-term forecasts, by adjusting the Kalman filter's forecast period and time step. In Noughitehrani et al (2024), a new reliable method for wind energy prediction was proposed using the Exponential Weighted Moving Average Algorithm, Johnson SU distribution mathematical techniques, and the Bernstein Online Aggregation Method. The average error level is reduced by 28% with the proposed method. Short-term wind speed prediction for Bingöl province in Turkey was performed with a deep learning method using the Convolutional Neural Network (CNN) model (Kader 2024). Information is provided about the region's wind speed and power potential for wind energy investments to be made in the area. In Song et al (2023), where wind and wave energy are predicted using deep learning methods, and the prediction results of eight neural networks (LSM), Gated Recurrent Unit (GRU), and Bi-directional Long Short-Term Memory (BiLSTM) are compared. The proposed AT-BiLSTM performs better than other models regarding 11.25 W/m² and 0.1 kW/m mean absolute error, 22.947 W/m², and 0.3 kW/m root mean square error for wind and wave energy. Another case study is the wind speed forecast for Tokat province, which is made with a deep learning-based hybrid forecast model consisting of Gated Recurrent Unit (GRU) and Convolutional Neural Network (CNN) models (Findik 2022). The CNN-GRU hybrid model, which is used for the first time in wind speed forecasting, has been compared with different deep learning techniques (CNN-LSTM, CNN-RNN, LSTM-GRU, LSTM, GRU), and a significant success rate has been achieved as a result of the comparisons. In Tekin (2022), short-term artificial intelligence-based wind power forecasting has been made for the Çukurova Region.

The case study in Unes et al (2019) used meteorological measurement data from the Nevada Region of the United States of America. Wind forecasting was done using Fuzzy Logic Sugeno (S-BM) methods, Fuzzy Logic Mamdani

(M-BM), and Multiple Linear Regression (MLR) methods, and the results were compared.

In this study, hourly average temperature (°C), relative humidity (%), and actual pressure (hPa) parameters measured in the Karaman-17246 Meteorology Station region for the year 2022 were used as inputs in the Adaptive-Network Based Fuzzy Logic model to estimate wind speed (m/s). The method's performance was evaluated by considering the RMSE error results.

The contribution of this study to the literature can be summarized as follows:

- It was observed that the results obtained using ANFIS made an estimation with 0.97 RMSE error and are within the reliability limits.
- 34902 data analyses were performed for 2022. By accepting the base year, feasibility reports can be created by performing wind analysis and estimating this region for the following years.

2. MATERIAL AND METHOD

2.1. Adaptive-Network Based Fuzzy Inference Systems (ANFIS)

Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) is a hybrid intelligence system that combines neural networks' learning capabilities with fuzzy logic's interpretability (Jang 1993). ANFIS is quite effective in modeling complex and nonlinear systems and is preferred in cases where traditional mathematical approaches are inadequate (Qureshi et al. 2023). This system provides learning and adaptation of fuzzy rules based on artificial neural networks, thus increasing the system's accuracy. ANFIS optimizes membership functions and fuzzy rules during training, usually using a combination of gradient descent and least squares methods (Chiu 1994). Fig. 3 shows the general working structure of ANFIS.

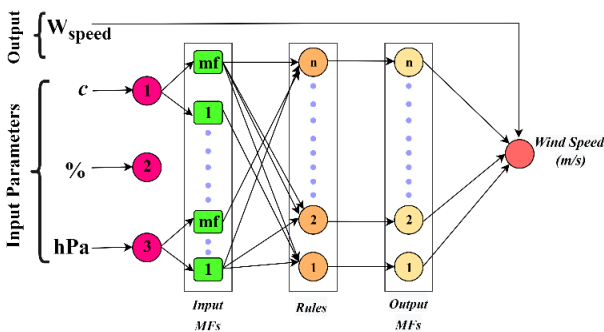


Figure 3. The working structure of the ANFIS

Sugeno fuzzy logic system plays an important role in ANFIS and is particularly effective in managing uncertainties with computational efficiency. Takagi and Sugeno developed the Sugeno model, which uses a linear combination of inputs as output, which provides advantages in optimization and control tasks. In ANFIS, the Sugeno model facilitates the creation of a fuzzy rule base that is adapted through training, thereby improving the accuracy of the system (Takagi et al. 1985). Integrating the Sugeno method with ANFIS solves various real-world

problems in energy systems, such as estimation and control problems. It supports decision-making processes under uncertainty in these systems (Pérez-Pérez et al. 2022).

2.2. Case Study: Karaman Region (17246 Meteorology / Weather Station)

Wind energy is a low-cost and renewable resource compared to other energy sources. Cold air replaces rising heated air, creating pressure differences and triggering wind formation. This process provides circulation in the atmosphere and causes winds to move. Winds generally move from high pressure to low pressure. Therefore, the direction and speed of the wind are affected by the differences between different temperature and pressure areas. This movement varies according to the Earth's surface and between geographical regions.

Eq. 1 gives the power that the kinetic energy carried by the air mass called wind, with a mass of m , will transfer to a wind turbine with a power transfer factor of C_p due to its movement (Durak and Ozer 2008).

$$P = 0.5C_p\rho hAw^3 \quad (1)$$

where P , ρh , A , and w are respectively power (Watt), air density (1.225 kg/m^3), turbine rotor swept area (m^2), wind speed (m/s). As seen from Eq. (1), the power carried by the wind is directly proportional to the 3rd power of the wind speed and the density of the air mass. This power carried by the wind is transferred to a wind turbine with a power transfer coefficient C_p in proportion to the area A swept by the turbine blades of radius r . This also indicates that wind speed is the most important factor affecting the potential of wind energy in a wind turbine.

The measurement area at the coordinates $37^\circ 11' 37.2''\text{N}$ $33^\circ 13' 16.2''\text{E}$ of the Karaman-17246 Meteorological Station located in the Central District of Karaman Province in Turkey was selected as the application area. We tried to estimate the wind speed using the annual hourly average values for 2022 received from the meteorological station. The obtained data was compared with the actual data. The reliability and accuracy of the method were also tested by calculating the RMSE errors of the obtained results with the formula given in Eq. 2. The general view of the Meteorological Station location is given in Fig. 4.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y_{ii})^2}{n}} \quad (2)$$

Here, y_i , y_{ii} , and n are the estimated value, observed value, and a number of observations.

3. RESULTS AND DISCUSSION

In the analysis, Hourly Average Temperature (°C), Hourly Average Actual Pressure (hPa), and Hourly Average Relative Humidity (%) for 12 months of 2022 are the input parameters, and Hourly Average Wind Speed (m/s) is the output parameter. In the ANFIS method analysis, 23242 data from the first eight months are used as the training set, and 11660 data from the last four months are used as

the test set. The training dataset includes 5832 data for each input parameter. The testing dataset includes 2926 data for each input parameter. The distribution chart for the ANFIS modeling of each epoch training dataset is given in Fig. 5.



Figure 4. Location of the Karaman 17246 Meteorology Station

The test set for the ANFIS Sugeno model is utilized to evaluate the model's accuracy and generalization ability following the training process (Kul et al. 2022). The test set has a similar structure to the dataset used for training, but it consists of data previously unseen by the model. This approach allows the model's performance to be assessed using new and unknown data. In this study, a total of 2928 data points for each pair, comprising Hourly Average Temperature (°C), Actual Pressure (hPa), and Relative Humidity (%) as input variables and Hourly Average Wind Speed (m/s) as the output variable for the last four months of 2022, were used as the test set for the ANFIS Sugeno Model, as seen in Fig. 6.

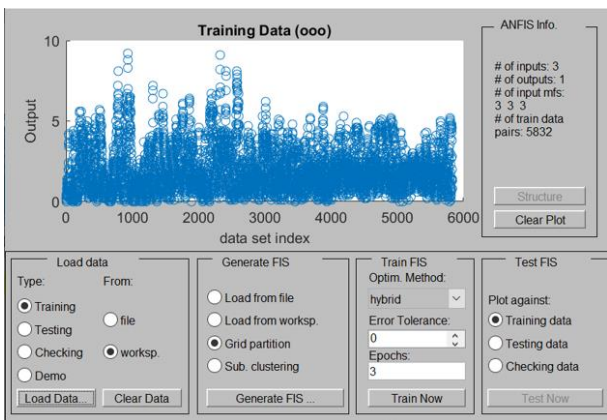


Figure 5. ANFIS modeling of training data pairs

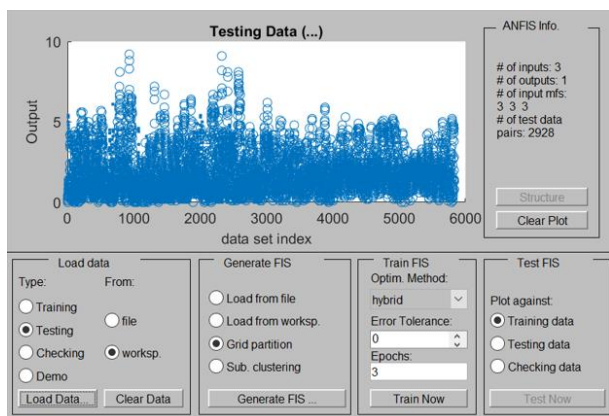


Figure 6. ANFIS modeling of testing data pairs in the dataset

Fig. 7 presents the graph that compares the estimated data, and the data intended for testing. The estimation results obtained from the ANFIS test data demonstrate a good fit, thereby providing a successful case study for determining the average wind speed.

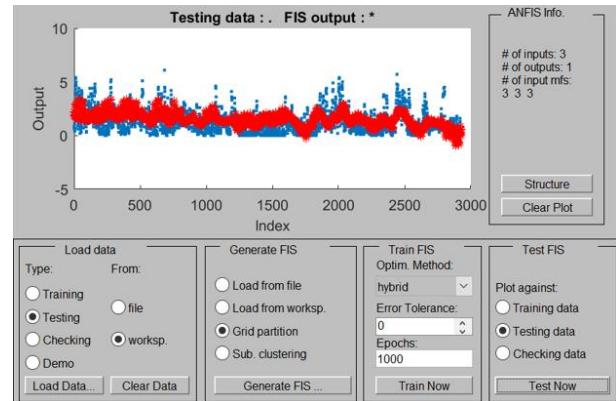


Figure 7. Comparison and analysis of the test results performance

Based on the results and distribution graphs, the probability of estimating the average wind speed value using three different input parameters trained with 250 epochs through sub-clustering is less than 1%. According to the results of the analysis, the error rate calculated using RMSE is 0.97%. In this context, the estimation of the average wind speed value based on the input parameters in the dataset and 27 Fuzzy Rule functions is presented in Fig. 8.

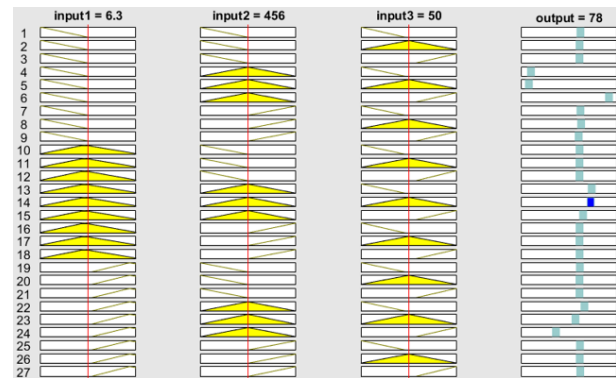


Figure 8. Testing ANFIS Model in Rule-based Viewer

The estimation results obtained from the ANFIS model for estimating the average wind speed based on the 2022 wind energy data for the Karaman region are summarized in Table 1, with input parameters categorized as annual, monthly, daily, and hourly. In this table, the error rates represented by RMSE indicate the accuracy level of the case study conducted.

4. CONCLUSION

This study conducted a case study to determine the wind energy potential using ANFIS based on wind data provided by the Karaman Meteorology Station. Hourly Temperature (°C), Hourly Average Actual Pressure (hPa), and Hourly Average Relative Humidity (%) were defined as input variables.

Table 1. Comparison of the dataset with ANFIS estimation values

Year/Months: 2022/12 Station Name/No: Karaman/17246	Day	Hour	Hourly Ambient Temperature (°C)	Hourly Average Actual Pressure (hPa)	Hourly Average Relative Humidity	Hourly Average Wind Speed (m/s)	Estimated Wind Speed (m/s)	RMSE
	1	0	20,0	897	44,0	0,7	1,81	1,22
1	1	21,5	897	36,0	0,9	2,15	1,55	
1	2	21,8	897	34,0	1,5	2,24	0,54	
1	3	17,6	897	52,0	1,1	1,83	0,54	
1	4	16,8	897	51,0	0,6	1,86	1,59	
1	5	21,9	897	42,0	0,4	1,79	1,93	
1	6	21,8	897	43,0	0,7	1,76	1,12	
1	7	24,3	897	37,0	1,6	1,98	0,14	
1	8	29,5	897	27,0	1,7	2,46	0,58	
1	9	30,9	896	27,0	4,3	2,46	3,39	
1	10	31,2	896	24,0	5	2,65	5,50	
1	11	32,0	896	21,0	5,3	2,85	6,02	
1	12	32,5	896	20,0	5,4	2,93	6,12	
1	13	32,4	896	21,0	4,8	2,87	3,74	
31	13	9,1	910	47,0	1,3	0,26	1,08	
31	14	8,5	910	44,0	1,6	0,19	1,99	
31	15	6,3	911	52,0	1,2	0,16	1,08	
31	16	3,5	911	65,0	0,6	0,85	0,06	
31	17	2,3	911	72,0	0,2	0,85	0,42	
31	18	1,7	912	76,0	0,4	0,74	0,12	
31	19	0,7	912	80,0	0,1	0,61	0,26	
31	20	0,6	912	81,0	0,3	0,55	0,06	
31	21	-0,5	912	85,0	0,3	0,30	0,00	
31	22	-1,7	912	87,0	0,6	0,10	0,25	
31	23	-2,3	912	88,0	0,4	0,01	0,15	
								0,97%

At the same time, hourly average wind speed (m/s) was used as the output variable for estimation analyses. For the dataset, 23,242 data points from the first eight months of 2022 were used as the training set, and 11,660 data points from the last four months were used as the test set.

The distribution graphs visually depict the training and test data. Additionally, a table summarizes the results obtained from the ANFIS model with input parameters categorized as annual, monthly, daily, and hourly. According to the estimation analyses, the error rate for the average wind speed output variable, calculated using RMSE, is 0.97%, indicating the accuracy of this case study.

This case study provides highly useful technical details for researchers aiming to assess the wind potential in the region using meteorological data. It has yielded successful results in determining average wind speed. Future research could explore the impact of wind potential estimation on the potential of electric power generation, potentially guiding artificial intelligence-based forecasting studies.

CONFLICT OF INTEREST

There is no conflict of interest between the authors.

THANKS

We would like to thank the Karaman Meteorology Station Directorate for providing us with the real data used in this study.

REFERENCES

Barbounis TG, Theocharis JB (2007). Locally recurrent neural networks for wind speed prediction using spatial correlation. *Information Sciences*, 177(24): 5775–5797.

Cassola F, and Burlando M (2012). Wind speed and wind energy forecast through Kalman filtering of Numerical Weather Prediction model output. *Applied Energy*, 99: 154–166.

Chiu SL (1994). Fuzzy model identification based on cluster estimation. *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, 2(3): 267–278.

Doan N, Doan H, Nguyen CP, Nguyen BQ (2024). From Kyoto to Paris and beyond: A deep dive into the green shift. *Renewable Energy*, 228: 120675.

Durak M, Ozer S (2008). *Rüzgar Enerjisi: Teori ve Uygulama*. Enermet.

Findik MM (2022). *Derin Öğrenme Tabanlı Hibrit Tahminleme Modeli Kullanılarak Rüzgar Hızı Tahminlemesi*. Master Thesis, Tokat Gaziosmanpaşa University.

Grassi G, Vecchio P (2010). Wind energy prediction using a two-hidden layer neural network. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 15(9): 2262–2266.

Kader O (2024). *Derin Öğrenme Yöntemi ile Bingöl İlinin Rüzgar Hızı Tahmini*. Master Thesis, Bingöl University.

Kul S, Yıldız B, Tezcan SS (2022). Estimation of Core Losses in Three-Phase Dry-Type Transformers Using Adaptive-Network Based Fuzzy Inference Systems (ANFIS). *Electric Power Components and Systems*, 50(16–17): 1006–1013.

Nouhitehrani S, Caro E, Juan J (2024). Computation of prediction intervals of wind energy based on the EWMA and BOA techniques. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 66: 103806.

Odeyemi C (2020). The UNFCCC, the EU, and the UNSC: A research agenda proposal for the climate security question. *Advances in Climate Change Research*, 11(4): 442–452.

- Pérez-Pérez EJ, López-Estrada FR, Puig V, Valencia-Palomo G, Santos-Ruiz I (2022). Fault diagnosis in wind turbines based on ANFIS and Takagi–Sugeno interval observers. *Expert Systems with Applications*, 206: 117698.
- Qureshi S, Shaikh F, Kumar L, Ali F, Awais M, Gürel AE (2023). Short-term forecasting of wind power generation using artificial intelligence. *Environmental Challenges*, 11: 100722.
- Republic of Türkiye Ministry of Energy and Natural Resources (2024). <https://www.enerji.gov.tr/>
- Jang J-S (1993). ANFIS : Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 23(3): 665-685.
- Salman M, Long X, Wang G, Zha D (2022). Paris climate agreement and global environmental efficiency: New evidence from fuzzy regression discontinuity design. *Energy Policy*, 168: 113128.
- Song D, Yu M, Wang Z, Wang X (2023). Wind and wave energy prediction using an AT-BiLSTM model. *Ocean Engineering*, 281.
- Takagi T, Sugeno M (1985). Fuzzy Identification of Systems and Its Applications to Modeling and Control. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 1: 116–132.
- Tekin P (2022). Çukurova Bölgesi için Kısa Vadeli Yapay Zeka Tabanlı Rüzgar Güç Tahmini. *Cukurova University Journal of the Faculty of Engineering*, 37(4): 1143–1153.
- Unes F, Kasal D, Tasar B (2019). Meteorolojik Ölçüm Verilerini Kullanarak Mamdani-Bulanık Mantık Yöntemi ile Rüzgar Hızının Tahmini. *Osmaniye Korkut Ata University Journal of Natural and Applied Sciences*, 2(1): 97–104.
- World Wind Energy Association (2024). <https://wwindea.org>.
- WWEA Annual Report (2023). www.wwindea.org.

Hayvan Derisinin Kusur Tespitinde Makine Öğrenmesi Tekniklerinin Kullanımı – Literatür Taraması

Hasan Onur ATAÇ^{1*}, Ahmet KAYABAŞI¹, Mehmet Fatih ASLAN¹

¹ Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Karaman, Türkiye

Alındı/Received: 20/05/2024; Kabul/Accepted: 25/06/2024; Yayın/Published: 11/12/2024

* Sorumlu yazar e-posta: hasanonuratac@gmail.com

Öz

Derinin insan hayatında ilk çağlardan beri var olduğu tahmin edilmektedir. Nitekim ilk başlarda sadece soğuktan ve rüzgârdan korunmak için kullanıldığı düşünülürken günümüzde deri, dayanıklılığı ve estetikliği sebebiyle moda, mobilya ve otomotiv gibi devasa sektörlerde çok geniş bir kullanım alanına sahiptir. Küresel deri pazarı her geçen yıl daha da büyümektedir. Bu durum deri üretiminde akıllı yaklaşımların önemini her geçen gün artırmaktadır. Tabakhanelerde deri ürünlerindeki yüzey kusurlarını tespit edebilmek için tecrübeli insan denetçilerin kullanılması uzun zamandır süregelen bir uygulamadır. Ancak bu yöntem, yorucu, zaman alıcı, hatalara açık ve kişinin tecrübesine göre değişkendir. Kaliteli deri ürünlerinde hata payının düşük olması ekonomik olarak ciddi öneme sahiptir. Sektördeki insan hatalarından kurtulmak ve verilen kararları nesnelleştirebilmek adına deri yüzeyindeki kusurların otomatik tespit edilebilmesi ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Bu çalışmada hayvan derisinin kusurlarını tespit edebilmek amacı ile makine öğrenmesi tekniklerini kullanan çalışmalar hakkında literatür taraması yapılmıştır. Görüntü analizi ve makine öğrenmesi yöntemleri ile deri yüzeylerindeki kusurları tespit etme yöntemlerinin detaylı bir incelemesi yapılmıştır. Bu alanda gelecekte yapılacak çalışmalarını teşvik etmek amacı ile zorluklar ve gelişim evreleri sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Hayvan derisi, yüzey kusur tespiti, bilgisayar görüşü, makine öğrenmesi

Use of Machine Learning Techniques in Defect Detection of Leather - Review

Abstract

It is estimated that leather has existed in human life since ancient times. As a matter of fact, while it was initially thought that it was used only to protect from cold and wind, today leather has a wide range of usage in huge sectors such as fashion, furniture, and automotive due to its durability and aesthetics. The global leather market is growing every year. This situation increases the importance of smart approaches in leather production day by day. It has been a long-standing practice for tanneries to use experienced human inspectors to detect surface defects in leather products. However, this method is tiring, time-consuming, prone to errors, and varies depending on the person's experience. A low margin of error in determining the quality of leather products is of serious economic importance. In order to get rid of human errors in the sector and to objectify the decisions made, the need to automatically detect flaws on the leather surface has emerged. In this study, a literature review was conducted on studies using machine learning techniques to detect defects in animal leather. A detailed review of methods for detecting defects on leather surfaces using image analysis and machine learning methods was conducted. Challenges and stages of development are presented with the aim of encouraging future work in this field.

Key Words: Leather, surface defect detection, computer vision, machine learning

Atıf / To cite: Ataç HO, Kayabaşı A, Aslan MF M (2024). Hayvan Derisinin Kusur Tespitinde Makine Öğrenmesi Tekniklerinin Kullanımı – Literatür Taraması. Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Dergisi, 6(2): 58-67.

1. GİRİŞ

Hayvan derisi, tarih boyunca insanların yaşamını kolaylaştıran çeşitli ürünlerin temel malzemesi olarak kullanılmıştır. İlk insanlar hayvan derisini giyim ve barınma ihtiyaçlarını karşılamak için kullanmaya başladılar (Liong ve ark. 2020). Bu dönemde deri, avcılar

doğal etkenlerden korunurken aynı zamanda sığınakların dayanıklılığını artırmak için kullanıldı. Daha sonralarda tarımın gelişmesiyle birlikte deri kullanımı daha da çeşitlendi ve artık çantalar, kovalar, su depoları,

ayakkabılar gibi günlük eşyaların yapımında yaygın olarak kullanılmaktadır (Smith ve ark. 2023).

2020'de, deri ve deri ürünlerinin yıllık ticaret hacmi 80 Milyar \$'ı geçerek dünya genelinde en fazla ticareti yapılan ürünlerden biri olarak kabul edilmiştir (Omoloso ve ark. 2021). Bu sayı 2003 yılında yaklaşık 40 Milyar \$ olarak hesaplanmıştır (Doble ve ark. 2007). Sadece 17 yılda 2 kat büyüme yaşanan deri ve deri ürünleri sektöründeki üretimin büyük kısmı Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde yapılmaktadır (Branca ve ark. 1996). Ekonomik ve teknolojik ilerlemeler sayesinde Türkiye'de deri ve deri mamulleri üretimi ile ihracatı her geçen gün artmaktadır. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre, 2020'de en çok üretilen deri türü 4.358.732 adetle koyun derisi olmuştur. Onu, 3.228.632 adetle sığır derisi takip etmiştir (TÜİK 2020). Deri ve deri mamulleri sektörü ihracatı ise 2021'de %38,6 oranında artarak 1,9 milyar \$ seviyesine ulaşmıştır. Ayakkabılar, sektördeki en büyük ihraç kalemi olarak %56,9'luk bir paya sahiptir. Deri eşyalar, ham ve işlenmiş deri ürünleri ile postlar ve kürklerin ihracattaki payları ise sırasıyla %21,7, %13,3 ve %8'dir (Ticaret Bakanlığı 2022).

Taze kesilmiş hayvanlardan soyulan deri genellikle kürk veya ham deri olarak bilinir. Yağdan arındırma, tüy giderme, kromlama gibi işlemlerden sonra mavi bir renk alır. Bu form genellikle ıslak mavi deri olarak adlandırılır. Deri işleme aşamalarının yarı mamulüdür (Chen ve ark. 2021). Deriden üretilen ürünler güçlü, pahalı ve dayanıklıdır dolayısıyla onlarca yıl kullanılabilir. Ayrıca lüks tüketimde de yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle sektörün maksimum kar elde edebilmesi ve müşterilerden iyi geri bildirim alabilmesi için hatasız ürün üretmesi çok önemlidir (Ghimire ve ark. 2022). Dünya standartlarında, kaliteli ürünler üretebilmek için kullanılan derinin hatasız olduğundan emin olmak gerekir. Ancak çoğu deri parçaları, böcek ısırıkları, kesikler, lekeler ve kırışıklıklar gibi doğal kökenlerinin izlerini taşır (Liong ve ark. 2019). Deri yüzey kusurlarının geleneksel tespiti ve sınıflandırılması, insanların temelde tutarsız olması ve bu tür basit ve tekrarlanan görevler için uygun olmaması nedeniyle önemli sayıda kusuru gözden kaçırma eğiliminde olan insan denetçiler tarafından gerçekleştirilir. Sorunun zor doğasından dolayı, otomatik deri yüzey kusur muayenesi üzerine nispeten az sayıda çalışma yapılmıştır. Görünümleri ve boyutları büyük ölçüde farklılık gösterdiğinden kesin denetim modellerini oluşturmak çok zordur. Aynı kusur sınıfına ait olsalar bile aynı şekil ve büyüklükte iki kusur bulmak neredeyse imkansızdır (Kwak ve ark. 2001). Ayrıca, manuel denetimler yavaş ve emek yoğun işlerdir. Yorumu açıklığı nedeni ile farklı uzmanlar arasında görüş ayrılıkları meydana gelmektedir (Pereira ve ark.). Bu faktörler deri endüstrisini kısıtlayan darboğazlar haline gelmiştir (Kohli ve Garg 2013). Tüm bu nedenlerle, kusur inceleme prosedürüne yardımcı olmak için deri parçaları üzerinde dijital görüntü işleme gibi insandan bağımsız bir metot ile otomatik kalite denetimi yapılması önemlidir. Ancak literatürde konuyu araştıran nispeten az sayıda araştırmacı bulunmaktadır (Liong ve ark. 2019). Bu çalışmada otomatik deri kusur tespiti ile ilgili literatür çeşitli perspektiflerden incelenmiştir.

2. DERİ KALİTESİ VE KUSURLARI

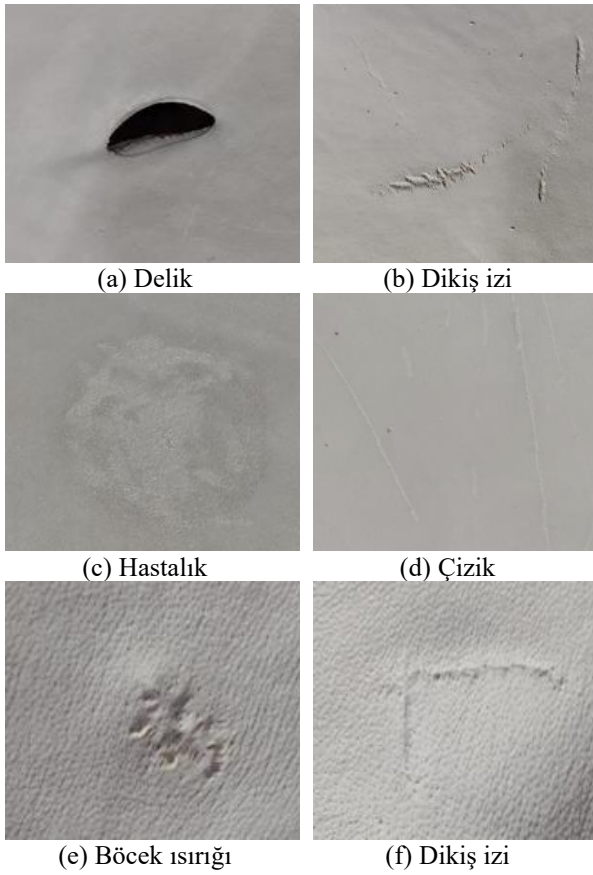
2.1. Deride kalite

Deri endüstrisi, et endüstrisinin yan ürünü olarak değerlendirilse de derinin kullanım alanının çok geniş olması, insan hayatına olan doğrudan ya da dolaylı etkilerinin çok olması gibi nedenlerden dolayı büyük öneme sahiptir. İnsanlık tarihi boyunca birçok farklı amaç için kullanılmıştır. Deri ilk çağlarda soğuktan ve çevresel faktörlerden korunmak amaçlı giyim ve barınak alanlarında kullanılmış olsa da (Liong ve ark. 2020) zaman içinde tarımın gelişmesi ile çanta, ayakkabı gibi gündelik ihtiyaç malzemelerinin yapımında kendisine yer bulmuştur. Günümüzde lüks tüketim sektöründe de çok büyük bir paya sahip olan deri, birçok alanda alternatifleri çıkmış olsa da insanlar tarafından rağbet görmeye devam etmektedir. Dünyadaki deri üretim miktarları incelendiğinde üretimdeki %60'lık büyük payın gelişmekte olan ülkeler tarafından karşılandığı ve bu payın gün geçtikçe arttığı görülmektedir (Branca ve ark. 1996). Endüstri devriminden beri toplu üretim söz konusu olduğunda imalat endüstrisi her zaman kaliteyi artırırken maliyetleri düşürmeyi hedeflemiştir. Yüzey kusurları derinin kalitesini belirlemede çok önemli bir etkiye sahiptir. Günümüzde deri üzerinde kusur tespiti hala insan denetçiler tarafından göz ile yapılmaktadır. Ancak bu yöntem zaman alıcı, yorucu, sıkıcı ve kişinin tecrübelerine göre değişkendir (Khanal ve ark. 2022). Bu nedenle deri yüzeyi kusur tespitini otomatik hale getirebilecek bir sistemin geliştirilmesine olan ihtiyaç önem arz etmektedir. Kontrol sistemleri birçok sektörde manuel insan operasyonlarının yerini alabilmiş olsa da deri yüzeyindeki kusur tespiti işinde hala dünya çapında standart olarak kullanılabilecek bir yaklaşım benimsenememiştir. Deride kalite üretim maliyetinin yaklaşık %50-70'ini oluşturduğu için en önemli unsurdur (Aslam ve ark. 2019).

2.2. Deri kusurları

Yaygın olarak, post ve derilerdeki kusurlar, antemortem (hayvanın ölümünden önce), postmortem (hayvanın ölümünden sonra) ve işleme kusurları olarak sınıflandırılır. Hayvanların yaşamları boyunca meydana gelebilecek olası kusurlar marka ve damgalama işaretleri, kene izleri, hastalık izleri, böcek ısırıkları, yaralar, çizikler, büyüme izleri vb.'dir. Ölüm sonrasında ise kesim kaynaklı hatalar (delikler, çizikler vb.), saklama koşulları yanlışsa meydana gelen hatalar (tuz lekeleri, çürümeler vb.) ve tabaklama hataları (et kesikleri, yarılma nedeniyle eşit olmayan kalınlıklar, kimyasal kaynaklı kusurlar, nem kaynaklı kusurlar vb.) olarak sınıflandırılabilir. Şekil 1'de ıslak mavi formdaki deri fotoğraflarında çeşitli kusurların örnekleri gösterilmiştir.

Deri kalitesinin derecelendirilmesi için ülkeler farklı ilkeler benimsemiştir. Bazı ülkelerde 3'lü sınıflandırma kullanılırken bazılarında ise 4'lü sınıflandırma metodu uygulanmaktadır. Genel olarak ufak değişikliklere rağmen ülkeler benzer derecelendirme ilkeleri kullanırlar. Örnek bir standart sınıflandırma ilkesi Tablo 1'te verilmiştir.



Şekil 1. Kromlama aşamasında deri kusur örnekleri

Tablo 1. Deride kalite sınıfları

1.Sınıf	Düzenli ve iyi kürlenmiş, çürüme belirtisi olmayan, genel olarak kusursuz ya da çok az kusurlu (sadece birkaç çizik izi veya karın bölgesinde bir delik), marka izi yok, böcek ısırıkları yok ya da çok az (birkaç adet).
2.Sınıf	Düzenli ve iyi kürlenmiş, çürüme belirtisi olmayan, az kusurlu (alt kısımda birkaç küçük delik ve/veya çizik), dış kısma yakın münferit bölgelerde birkaç çeşit/adet kusur, 18cm'den küçük bir marka izi, 10 ile 20 adet arası böcek ısırığı.
3.Sınıf	Kötü desenli veya bozuk görünümlü, ufak çürüme belirtili, kusurlar deri yüzeyinin %30'una kadar yayılmış, marka izli ve genellikle 18 cm'den büyük, 10 ile 20 adet arası böcek ısırığı, leke ve idrar izleri bariz.
4.Sınıf	Çok kötü desenli veya bozuk görünümlü, çürüme belirtileri yoğun, kusurlar deri yüzeyinin %50'sine kadar yayılmış, böcek ısırıkları genellikle çok fazla.

Derecelendirme ilkeleri hem alıcılar hem satıcılar için afaki öneme sahiptir. Genel olarak ilkeler sektörde küresel çapta kabul edilmiş olsa da insan yorumuna dayandıkları için karışıklıklar sık sık meydana gelmektedir. İlkelerin uygulanabilmesi için makinelerin yorumlarına dayanan bir otomasyon ihtiyacı ortaya çıkmıştır.

2.3. Kusur Tanımlamaları

Belirli bir kusura odaklanan sınıflandırıcılar ile yapılan birçok çalışma literatürde mevcuttur. Geçmişten

günümüze bu yöntemler ile birçok farklı kusur tipine odaklanılarak yüksek başarı oranları elde edilmiş olsa da kusur çeşitleri çok fazla olduğu için tamamında yüksek başarı gösteren bir sınıflandırıcı henüz uygulanamamıştır. Bu metotlar genellikle öznelite çıkarma ve desen sınıflandırma olarak 2 ana başlıkta gerçekleşir.

2.3.1. Kusurlarda Öznelite Çıkarımı

Deri kusurlarının tespit edilebilmesi için kusurların öznelitelerinin çıkartılması geniş kullanıma sahip bir yöntemdir (Ding ve ark. 2020). Bu sayede kusursuz alan/kusurlu alan ve kusur tipleri aralarındaki farkların matematiksel olarak ifade edilebilmesi sağlanır. Resmin öznelitelerini çıkarmak için renk özellikleri, desen özellikleri, şekil özellikleri, spektral özellikleri ve istatistiksel özellikleri tabanlı metotlar ön plana çıkmaktadır.

Tablo 2. Zaman içinde deri kusurlarında öznelite çıkarmı

Çalışma	Öznelite Çıkarım Yolu
Wang ve ark. (1992)	Tahmini lokal yoğunluk, histogram güç spektrumu özellikleri
Tafari ve ark. (1996)	Deneme yanılma yoluyla yönlendirilmiş akış alanı modellemesi
Branca ve ark. (1996)	Desen yapısının değiştiği her bölgeye bir parametre vektörü atayıp, daha sonrasında bu vektörleri filtreleme yöntemi ile
Branca ve ark. (1997)	Çoklu çözünürlüklü analizle yönlendirilmiş akış alanı tahmini
Kwak ve ark. (2000)	Normalize edilen ölçülendirme ile geometrik ve istatistiksel özellikler
Georgieva ve ark. (2003)	χ^2 -kriteri ile desen üzerinde kalite tespiti
(Krastev ve ark. 2004; Krastev ve Georgieva 2005)	Histogram özellikleri
Sobral ve ark. (2005)	Optimize edilmiş filtrelerin her birini bir dalgalık alt bandına uygulayarak boyut ve şekil bilgilerine göre ayırma
Peters ve Koenig (2007)	1D&2D konvolüsyon çekirdekleri
Amorim ve ark. (2009)	HSB ve RGB uzaylarında öznelite çıkarmı, gabor filtresi
Jian ve ark. (2010)	Geometrik özelliklerine göre (uzunluk, genişlik, alan, çevre, doku, renk) öznelite çıkarmı
Kasi ve ark. (2014)	Otomatik uyarlamalı bir kenar algılama algoritması
Wu ve ark. (2016)	Bir görüntü özelliğini, iyileştirme olmadan alt görüntünün gri seviye farkı ile karşılaştırma (istatistiksel)
Liong ve ark. (2019)	Mask R-CNN (Mask Regional Convolutional Neural Network)

2.3.1.1. Kusur Öznelite Çıkarımında Renk Özellikleri

Renk özelliği, ölçek değiştirme, döndürme gibi değişkenlerden bağımsız olarak kullanılabilirdiği için birçok çalışmada kullanılmıştır. Bong ve ark. (2018), 6 adımlı bir muayene yöntemi ile deri kusur tespitinde SVM (Support Vector Machines) yaklaşımını kullanmıştır.

RGB (Red-Green-Blue) görüntülerin her bir renk kanalındaki ortalama, standart sapma, çarpıklık değerini hesaplamış daha sonra resmi griye çevirip her bir kanalda renk momenti ve gri momenti birleştirilerek görüntünün renk modelini oluşturmuştur. Bu bilgi kullanılarak SVM yardımı ile %98'den yüksek doğruluk oranına ulaşılmıştır.

Amorim ve ark. (2010), deri yüzey kusurlarını tespit edebilmek için HSB (Hue-Saturation-Blur) ve RGB'nin her bir renk bileşenin ortalama değerini alıp histogram değerini çıkardılar. Bu verileri C4.5, kNN (k-Nearest Neighbor), Naive Bayes ve SVM olmak üzere 4 farklı sınıflandırıcı ile değerlendirdiler. Islak mavi deri ve ham deri örnekleri üzerinde yaptıkları kusur sınıflandırma işlemlerinde en yüksek %95,9 doğruluk oranına kNN ile ulaşmışlardır.

2.3.1.2. Kusur Öznitelik Çıkarımında Doku ve Geometri Özellikleri

Cisimlerin doku özellikleri 3 ayrı kategoride incelenmektedir. Bunlar güçlü sıralı doku, zayıf sıralı doku ve sırasız doku olarak isimlendirilir (Rao 2012). Güçlü sıralı dokular tekrarlayan desenler içerirlerken zayıf sıralı dokular, dokunun çeşitli noktalarında farklı desenler içerebilir. Bunların aksine sırasız dokular ise tekrarlama yönelimi göstermez ancak pürüzlülüklerine göre tanımlanabilir. Deri, yapısı itibari ile sırasız doku kategorisine girer. Geometrik olarak deri kusurları 3 türde incelenebilir. Bunlar noktasal, çizgisel ve yüzeyel kusurlardır.

Bowman ve ark. (1996), zor tanımlanan kusurları tespit edebilmek için lazer kaynaklı floresan görüntüler için otomatik bir kusur tespit yöntemi geliştirmişlerdir. Çok boyutlu özellikler kullanılarak (renk, doku, kenar, yoğunluk) koyun derisi üzerindeki kusurlar tespit edilmiştir. Pistori ve arkadaşları (Amorim ve ark. 2010; Viana ve ark. 2007; Pistori ve ark. 2018), deri kusur tespitinde doku analizi ve makine öğrenimi yöntemlerini denemişlerdir. Doku özelliklerini çıkarmak için entropi, ters fark momenti, farklılık, kolerasyon, kontrast, açısız ikinci moment gibi yöntemlerden faydalanmışlardır. Renk özelliklerine göre de HSB uzayında histogramları incelenmiş olup SVM, MLP gibi algoritmalar ile makine öğrenmesi yöntemleri uygulanmıştır. Amorim ve ark. (2010), 12'si HSB ve RGB uzayı, 7'si etkileşim haritaları, 12'si birlikte oluşum matrisi ve 17'si gabor filtresi olmak üzere toplamda 160 renk-doku özniteliği çıkarılmıştır. Bu öznitelikler, C4.5, KNN, Naive Bayes ve Destek Vektör Makineleri (SVM) isminde dört farklı sınıflandırıcı kullanılarak deri kusur sınıflandırma problemine uygulanmıştır. FisherFace, CLDA, DLDA ve YLDA olmak üzere dört doğrusal diskriminant analiz tekniği ile bir nitelik azaltma karşılaştırmalı çalışması sunulmuştur.

Jian ve ark. (2010), derinin geometrik özelliklerine göre kusur özelliklerini araştırmışlardır. Deri örneklerinin dış dikdörtgeninin uzunluğuna, genişliğine, alanına, çevresine, dokusuna ve rengine göre özniteliklerini çıkararak sinir ağları ve karar ağaçları yardımı ile sınıflandırma yapmışlardır.

2.3.1.3. Kusur Öznitelik Çıkarımında Cisimlerin Spektral Özellikleri

Kenar tespiti gibi pek çok yaygın düşük seviyeli istatistiksel yaklaşım, yoğunluktaki ince geçişler nedeniyle çeşitli deri kusurlarını ortadan kaldırır. Bu nedenle deri kusurlarını tespit etmek için diğer sağlam ve etkili bilgisayarlı görme yaklaşımlarını keşfetmek çok önemlidir. Filtre dönüşümü, görüntüyü uzamsal alandan frekans alanına veya zaman-frekans alanına dönüştürür. Örnek olarak Fourier dönüşümü, dalgacık dönüşümü ve Gabor dönüşümü yaygın olarak kullanılır. Fourier dönüşümü görüntüyü bir frekans alanına dönüştürür ve dokuyu ifade etmek için spektral enerjiyi veya spektral entropiyi kullanır. Periyodiklik, yönlülük ve rastgelelik dokuyu karakterize eden üç önemli faktördür (Rao ve Lohse 1993). Deri gibi düzenli ve periyodik bir yapı, spektral özelliklerin kusurları tespit etmek için kullanılmasını kolaylaştırır. Ancak rastgele dokulu görüntülerde, gri tonlarının dağılımı genellikle daha rastgele olduğundan, bu tür dokuların spektral analizleri kusurlarını tespit etmek için uygun değildir. Yani, rastgele dokulu malzemelerde, periyodik bir desen olmadığı için spektral yaklaşımlar etkili değildir. Öte yandan dalgacık dönüşümü, bir görüntünün frekans bileşenlerini analiz etme yeteneğinden dolayı, özellikle deri kusurlarının tanınması gibi görevlerde, görüntü işlemede kullanılan güçlü bir tekniktir.

Düşük ve yüksek frekanslı ayrıntılar arasında ayırım yaparak görüntüyü çeşitli ölçeklere böler. Yüksek frekanslı alt bant görüntüleri, görüntünün dokusundaki ince desenleri ortaya çıkardığından, bu çoklu çözünürlüklü yaklaşım özellikle doku ayrıntılarının yakalanması açısından değerlidir. Piramit dalgacık dönüşümü gibi geleneksel yöntemler öncelikle düşük frekanslı bileşenlere odaklanır ve çoğu zaman yüksek frekanslı alanlarda bulunan temel özellikleri gözden kaçırmaz. Bununla birlikte, dalgacık paket ayrıştırması ve ağaç yapısı dalgacık ayrıştırması hem düşük hem de yüksek frekanslı alt bantları kapsamlı bir şekilde inceleyerek bu sınırlamayı giderir ve hiçbir kritik bilginin kaçırılmamasını sağlar. Bu gelişmiş teknikler, görüntüde mevcut olan doku özelliklerinin tüm spektrumunu analiz ederek deri üzerindeki kusurların tanınmasında etkilidir.

Fuqiang ve ark. (2006), ortalama, standart sapma, entropi, basıklık ve enerji özellikleri gibi spektral özellikleri kullanmışlardır. Aynı şekilde Jawahar ve ark. (2014), deri görüntülerinden entropi, enerji, kontrast, korelasyon, kümelenme önemi, standart sapma, ortalama değer gibi dalgacık istatistiksel özelliklerini ve dalgacık birlikte oluşum matrisi özelliklerini çıkarmak için dalgacık dönüşümünü kullanmıştır. Sobral (2005), hal dalgacık dönüşümü ve sekiz optimize edilmiş filtre kullanarak doku özelliklerini çıkardı. Branca ve ark. (1997), vektör bilgi anormalliklerini baz olarak çeşitli doku bölgelerini filtreledi. Küçük kusurların gözden kaçmasını engellemek için filtre boyutları ayarlandı. Villar ve ark. (2011), Fourier dönüşümü, kosinüs dönüşümü, gabor özellikleri, hu momentleri vb. kullanarak 2002 öznitelik çıkardı.

2.3.1.4. Kusur Öznitelik Çıkarımında Cisimlerin İstatistiksel Özellikleri

Deri görüntülerinin doku özelliği çıkarımında, yaygın olarak kullanılan istatistiksel özellikler arasında histogram özelliği ve gri düzey birlikte oluşum matrisi (GLCM) özelliği yer almaktadır. GLCM görüntü uzayında belirli bir mesafeyle ayrılmış iki piksel arasında belli bir gri ilişki olduğunu kabul eder. Yaygın olarak kullanılan özellik miktarları kontrast, korelasyon, enerji, entropi ve otokorelasyondur (Chen ve ark. 2022). Sousa ve ark. (2021), ıslak mavi formdaki keçi derilerinde yaptıkları çalışmalarında kusur tespiti ve kategorileme işlemi yapmışlardır. Öznitelik çıkarımı için Yerel İkili Model (LBP) ve GLCM yöntemlerini kullanmışlardır. Moganam ve Seelan (2020) tarafından toplam 2000 kusurlu ve kusursuz fotoğraftan oluşan veri kümesini kullanarak kusurluları 0 kusursuzları 1 olarak etiketleme yapılmıştır. Kusurlu ve kusursuz derinin ayrımı için GLCM kullanılmıştır.

Öte yandan histogram, bir görüntüdeki farklı piksel değerlerinin sıklığını gösteren grafiksel bir gösterimdir. En yüksek ve en düşük yoğunluklar, ortalama değerler ve piksel değerlerinin yayılması gibi bilgileri sunarak bir görüntünün görsel özelliklerini analiz etmek için güçlü bir araç görevi görür. Histogramlardan elde edilen ortalama, medyan ve aralık gibi temel özellikler görüntünün kontrast ve parlaklık düzeylerine ilişkin bilgiler sunar. Ek olarak entropi ve varyans gibi ölçümler bize görüntünün dokusu ve karmaşıklığı hakkında bilgi verir. Daha da önemlisi, histogram özellikleri piksellerin uzamsal düzenlenmesinden etkilenmez, bu da onları öteleme ve döndürme gibi görüntü dönüşümlerine karşı dayanıklı kılar. Gan ve ark. (2021), 2 veri kümesi üzerinde çalışıp birincisinde çıplak gözle daha rahat fark edildikleri için koyu çizgi kusurlarına odaklanmışlardır. İkincisinde ise böcek ısırtığı kusur tipine odaklanmışlardır. Histogramın incelenmesi için Kolmogorov-Smirnov testi (Conover 1965) uygulanmıştır. Öznitelik sayısını azaltmak için eşikleme yapılmıştır. Pistori ve arkadaşları (Amorim ve ark. 2010; Viana ve ark. 2007; Pistori ve ark. 2018), GLCM ve histogram özelliklerini kullanarak toplamda 63 birlikte oluşum ve 3 renk özelliği çıkarmışlardır. Histogram özelliklerini çıkarırken HSB renk uzayının her kanalı ayrı kullanılmıştır. Ding ve ark. (2020), etkileşim haritaları, birlikte oluşum ve renk özelliklerini kullanarak resimlerin özniteliklerini çıkarmıştır. Kwon ve ark. (2004), ortalama, varyans, standart sapma, düz alanın uç noktası, genişlik, düz alan sayısı ve kutupların konumunu içeren histogramı kullanarak kusurları analiz etti. Bu histogram özelliklerini kullanarak iğne deliği, çizik, kırışıklık hataları gibi kusurlar başarıyla tespit edilirken diğer birkaç kusur gözden kaçırıldı. Krastev ve ark. (Georgieva ve ark. 2003; Krastev ve diğerleri 2004; Krastev ve Georgieva 2005) deri kusurlarının tanımlanmasında histogram uç seviyeleri, medyan, ortalama, varyans ve doku özellikleri gibi önerilen özellikler kullanılmıştır.

2.3.2. Desen Sınıflandırma

Desen sınıflandırma deri kusur tespiti çalışmalarında çok önemli bir yere sahiptir. Araştırmacılar, çeşitli kusur

desenlerini/modellerini analiz ederek düzensizlikleri yüksek doğrulukla kategorize etmeyi amaçlayan karmaşık sınıflandırıcılar geliştirmektedir. Bu sınıflandırıcılar, karmaşık kusur modellerinin sınıflandırma algoritmaları tarafından etkili bir şekilde kullanılabilir yapıya dönüştürülmesine olanak tanıyan çeşitli öznitelik çıkarma teknikleri kullanılarak eğitilir. Uygulanan teknikler arasında 2.3.1 başlığı altında belirtilen renk, doku, geometrik, istatistiksel gibi özellikler kullanılmaktadır. Eğitim sırasında kusur modellerinden kapsamlı bir öznitelik vektörü üretilir ve sonraki sınıflandırma sürecinin temelini oluşturur.

Kusur desenleri öznitelik vektörlerine dönüştürüldükten sonraki adım, herhangi bir örtüşmeyi belirlemek için bilinen kusur desenleri ile titiz bir karşılaştırma yapmaktır. Bu, çıkarılan özelliklerin benzerliğini inceleyen desen sınıflandırma algoritmalarının uygulanmasıyla elde edilir. Benzerlik derecesi, cildin belirli bir bölgesindeki kusurların varlığının bir göstergesi olarak kabul edilir. Araştırmacılar, desen sınıflandırma yöntemlerinden yararlanarak çeşitli kusur türlerinin tespit doğruluğunu önemli ölçüde artırabilir. Bu sistematik yaklaşım, yalnızca hayvan derisindeki kusur analizinin ilerlemesine katkıda bulunmakla kalmaz, aynı zamanda geniş bir kusur dizisine uyum sağlayabilen daha genelleştirilmiş sınıflandırıcıların geliştirilmesinin yolunu da açar.



Şekil 2. Deri kusur tespitinde öznitelik çıkarımı ve desen sınıflandırma adımları

3. MAKİNE ÖĞRENMESİ TABANLI KUSUR TANIMLAMALARI

Geleneksel deri yüzey kusuru tanımlama yaklaşımı, farklı türdeki kusurları ayırt etmek için çeşitli görüntü özelliklerinin çıkarılmasını içeren desen tanıma algoritmalarının kullanımına dayanır. Bu özellikler genel olarak dört gruba ayrılabilir: birinci dereceden istatistiksel ölçümler, ikinci dereceden istatistiksel ölçümler, spektral ölçümler ve görüntü seviyesi tanımlayıcılar. Birinci

dereceden istatistiksel ölçümler, görüntünün yoğunluk dağılımına ilişkin genel bir anlayış sağlayan ortalama, varyans ve çarpıklık gibi temel görüntü özelliklerini kapsar. İkinci dereceden istatistiksel ölçümler ise komşu pikseller arasındaki mekânsal ilişkilerin karakterize edilmesinde önemli olan kontrast, korelasyon ve homojenlik dahil olmak üzere doku özelliklerinin analizini içerir. Frekans alanının analizini içeren spektral ölçümler, periyodik modeller sergileyen kusurların belirlenmesinde faydalıdır.

Yerel ikili desenler ve Gabor özellikleri gibi görüntü düzeyinde tanımlayıcılar, yerel doku desenlerini ve kenarlarını yakalayarak görüntünün daha ayrıntılı bir temsilini sağlar. Çıkarılan bu özellikleri farklı kusur kategorilerine sınıflandırmak için çeşitli makine öğrenme algoritmaları kullanılır. Deri yüzeyindeki kusurların tanımlanmasında en yaygın kullanılan algoritmalar arasında bazıları arasında k-En Yakın Komşu (kNN), Sinir Ağı (NN), Destek Vektör Makinesi (SVM), Bayesian Ağı (Bayes) ve Karar Ağacı (DT) yer alır. Örneğin kNN algoritması, belirli bir özellik kümesine en yakın eşleşmeleri bularak kusurları tanımlarken, NN algoritması, özellikler arasındaki kalıpları ve ilişkileri öğrenmek için birbirine bağlı düğümlerden oluşan karmaşık bir ağ kullanır. Gürültüye ve yüksek boyutlu verilere karşı dayanıklılığıyla bilinen SVM algoritması, sınıflar arasındaki marjı maksimuma çıkaran optimal hiperdüzlemi bularak kusurları farklı sınıflara ayırır. Olasılık teorisine dayanan Bayes algoritması, kusurların tanımlanması için olasılıksal bir çerçeve sağlarken, DT algoritması, kusurları bir dizi kural ve koşula göre sınıflandırmak için ağaç benzeri bir model kullanır. Bu algoritmaları çıkarılan görüntü özellikleriyle birleştirerek deri yüzey kusurlarını tespit etmek için doğru ve güvenilir bir sistem geliştirilmeye çalışılmıştır.

Literatürde makine öğrenmesi yöntemlerini kullanarak yapılan birçok çalışmada %90 üzerinde başarıya ulaşılmıştır. Örneğin (Gan ve ark. 2021; Gan ve ark. 2022) SVM, DT, kNN, NN, Bayes sınıflandırıcılarını kullanarak %99 ve %94, Jawahar ve ark. (2014), SVM kullanarak %98.8, Moganam ve Seelan (2020), NN sınıflandırıcı ile %94.2, Santos ve ark. (2020) Naive Bayes ve SVM kullanarak 93.2, hatta Pistori ve diğerleri (2018) kNN, SVM, NN kullanıp kNN ile %100 doğruluk oranına ulaşmışlardır. Ancak bu oranlar bu yöntemlerin küçük veri kümeleri üzerinde değerlendirilmesinden kaynaklıdır (Aslam ve ark. 2019). Ayrıca endüstriyel uygulamalardaki deri yüzey kusurlarından çok farklıdır (Chen ve ark. 2022). Pratikte deri yüzey kusur şekilleri rasgele ve değişkendir. Bir görüntüde ondan fazla kusur bulunabilir.

4. DERİN ÖĞRENME TABANLI KUSUR TANIMLAMALARI

Derin öğrenme (DL) sayesinde bir makine, her ağ katmanındaki parametre ayarlarını geri yayılım algoritmaları ile tekrar tekrar düzenlemektedir. Bu sayede derin öğrenme, büyük veri kümeleri gibi karmaşık

yapılarda başarısını ciddi miktarda artırmaktadır. Derin öğrenme konuşma tanıma, nesne algılama, nesne tanıma gibi alanlarda kullanılıp etkisini kanıtlamıştır (LeCun ve ark. 2015).

Deri yüzey kusurlarının lokasyon tespiti ve tanımlanması gibi konularda kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Hayvan derilerinde kusur tespitinde derin öğrenmenin kullanılmasının deri endüstrisi için birçok potansiyel faydası vardır. Birincisi, manuel denetim ihtiyacını azaltmaya yardımcı olarak personelin daha yüksek değerli görevlere odaklanmasına olanak tanır. Ek olarak, derin öğrenme algoritmaları otomatik sistemlere entegre edilebilir ve böylece gerçek zamanlı kusur tespiti ve derilerin sınıflandırılması mümkün olur. Bu, üretim sürecinin verimliliğini ve doğruluğunu artırmaya yardımcı olurken aynı zamanda israfı azaltıp nihai ürünün genel kalitesini de artırabilir. Ayrıca, derin öğrenme algoritmaları, yeni veriler elde edildikçe sürekli olarak güncellenebilir ve iyileştirilebilir; bu da onların, deri kalitesindeki değişen kalıplara ve trendlere uyum sağlamasına olanak tanır. Tablo 3'te derin öğrenme metodları ile kusur tespiti ve tanımlanması yapılan çalışmalar gösterilmiştir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Deri yüzey kusurlarının deri kalitesine doğrudan etkisi olmasından dolayı, bu kusurların tespit hassasiyeti dericilik sektörü için muazzam öneme sahiptir. Bu sebepten deri görüntülerindeki kusurların tespiti için yıllar boyunca birçok yöntem önerilmiştir. Her ne kadar bazı araştırmacıların çalışmalarında çok yüksek tespit oranı yakalanmış olsa da bu değerler hala sektördeki gerçek çalışma koşullarına aktarılamamıştır. Bu çalışmada, deri kusurlarının tespiti konusunda literatür taranmış olup, mevcut çalışmaların öznetelik çıkarma yöntemleri ve daha sonrasında yapılan tespit işlemi için makine öğrenmesi yöntemlerinin alt branşları sırasıyla sunulmuştur. Bu yöntemlerin analizleri, sonuçları, performansları değerlendirilmiştir. Tartışılan yöntem ve sistemler 1992'den itibaren yayınlanmış dikkate değer çalışmalardır.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde ekseriyetinin küçük boyutlu fotoğraflardan oluşan veri kümeleri üzerinde çalıştığı görülmüş olup gerçek tabakhane üretimlerinde deri boyutlarının ortalama 2m x 3m olmasından dolayı çalışmalardaki yüksek başarı oranları tabakhanelere aktarılamamaktadır. Gelecekteki çalışmacıların daha yüksek çözünürlüklü fotoğraflar üzerinden çalışmasının, gerçek tabakhane koşullarına daha uygun olacağı kanaatindeyiz. Ayrıca özellikle derin öğrenme metodlarının doğruluk oranlarını artırma konusunda veri çok önemli olduğu için, veri çoğaltma (data augmentation) metodları kullanılmasını öneririz.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar arasında bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Tablo 3. Deri kusur tespiti ve tanımlanmasında derin öğrenme kullanılan çalışmalar

Çalışma Sahibi	DL Methodu	Doğruluk Oranı	Kusur Tipi
Winiarti ve ark. (2018)	AlexNet + SVM	%99.97	Kusursuz, kertenkele, timsah, koyun, keçi, inek
Liong ve ark. (2019)	Mask R-CNN	%70.35	Kene ısırığı
Deng ve ark. (2020)	ResNet50	%94.6	Kusursuz, çizik, delik, böcek ısırığı
Liong ve ark. (2020)	AlexNet	%94.67	Kusursuz, çizik, kırışıklık
Ding ve ark. (2020)	CNN	%90	Siyah nokta, çürük, çizik, kan tendonu, boyun çizgileri, delik, mühür, yara izi, kesik
Gan ve ark. (2021)	AlexNet + SVM	%100	Kusursuz, Kesik
Chen ve ark. (2021)	1D-CNN, 2DUnet, 3D-Unet	%96	Mühür, çürük, yırtık, böcek ısırığı, çizik
Gan ve ark. (2022)	Alexnet + GAN*	%100	Kusursuz, siyah çizgi, kırışıklık
Chen ve ark. (2023)	26 Adet DL modeli (en iyi sonuç DenseNet169)	%72,5	Oyuk, iğne deliği, çizik, çürük, büyüme çizgisi, yara, kırışıklık, bakteri yarası
Yuan ve ark. (2023)	LWAFC** + Yolov5s	%89	Çizik, leke
Gan ve ark. (2023)	AlexNet + SVM + Yolov2 + Faster R-CNN	%73.47	-
Iqbal ve ark. (2023)	MLR-Net***	%85.9	-
Prananda ve Frannita (2023)	Nasnet	%86.03	Kusursuz, katlanma izleri, büyüme izleri, hafif ezilmeler, iğne deliği
Abdullah ve ark. (2024)	Inception V3-CNN + Mask R-CNN	%99	Kusursuz, kusurlu
Chen ve ark. (2024)	Yolov1'den Yolov8'e kadar (v8 dahil) tüm modeller	%52.3 (birden fazla kusur tipi) %85.1 (tek kusur tipi)	Oyuk, iğne deliği, çizik, çürük, büyüme çizgisi, yara, kırışıklık, bakteri yarası

*GAN: Generative adversarial network (Üretken rekabet ağı)

**LWAFC: Large window attention-based full connection (Geniş Pencere Dikkat Temelli Tam Bağlantı)

***MLR-Net: Multi-layer residual convolutional neural network (Çok katmanlı artık evrişimli sinir ağı)

KAYNAKLAR

- Abdullah AB, Jawahar M, Manogaran N, Subbiah G, Seeranagan K, Balusamy B, Saravanan AC (2024). Leather Image Quality Classification and Defect Detection System using Mask Region-based Convolution Neural Network Model. *International Journal of Advanced Computer Science & Applications*, 15(4).
- Amorim WP, Pistori H, Jacinto MAC, Sudeste EP (2009). A comparative analysis of attribute reduction algorithms applied to wet-blue leather defects classification. *Brazilian Symposium on Computer Graphics and Image Processing*, 2009(1):1-2.
- Amorim WP, Pistori H, Pereira MC, Jacinto MAC (2010). Attributes reduction applied to leather defects classification. *Patterns and Images*, 2010(1): 353-359.
- Aslam M, Khan TM, Naqvi SS, Holmes G, Naffa R (2019). On the application of automated machine vision for leather defect inspection and grading: a survey. *IEEE Access*, 7: 176065-176086.
- Bong HQ, Truong QB, Nguyen HC, Nguyen MT (2018). Vision-based inspection system for leather surface defect detection and classification. 5th NAFOSTED conference on information and computer science (NICS). Ho Chi Minh City, Vietnam.
- Bowman CC, Hilton PJ, Power PW, Hayes MP, Gabric RP (1996). Sheep-pelt grading using laser scanning and pattern recognition. *Machine vision applications, architectures, and systems integration*, SPIE, 1996(2908): 33-42.
- Branca A, Abbate MG, Lovergine FP, Attolico G, Distante A (1997). Leather inspection through singularities detection using wavelet transforms. *Image Analysis and Processing: 9th International Conference, ICIAP'97*. Florence, Italy.

- Branca A, Lovergine FP, Attolico G, Distante A (1997). Defect detection on leather by oriented singularities. *Computer Analysis of Images and Patterns*. 7th International Conference, CAIP'97. Kiel, Germany.
- Branca A, Tafuri M, Attolico G, Distante A (1996). Automated system for detection and classification of leather defects. *Optical Engineering*, 35(12): 3485-3494.
- Chen SY, Cheng YC, Yang WL, Wang MY (2021). Surface defect detection of wet-blue leather using hyperspectral imaging. *IEEE Access*, 2021(9): 127685-127702.
- Chen Z, Deng J, Zhu Q, Wang H, Chen Y (2022). A systematic review of machine-vision-based leather surface defect inspection. *Electronics*, 11(15): 2383.
- Chen Z, Xu D, Deng J, Chen Y, Li C (2023). Comparative study on deep-learning-based leather surface defect identification. *Measurement Science and Technology*, 35(1): 015402.
- Chen Z, Zhu Q, Zhou X, Deng J, Song W (2024). Experimental Study on YOLO-based Leather Surface Defect Detection. *IEEE Access*, 2024(12): 32830-32848.
- Conover W (1965). Several k-sample Kolmogorov-Smirnov tests. *The Annals of Mathematical Statistics*, 36(3): 1019-1026.
- Deng J, Liu J, Wu C, Zhong T, Gu G, Ling BWK (2020). A novel framework for classifying leather surface defects based on a parameter optimized residual network. *IEEE Access*, 8: 192109-192118.
- Ding C, Huang H, Ming P (2020). Inspection method of leather defect based on convolutional neural network and salient feature. *Donghua University Natural Sciences*, 2020(46): 408-413.
- Fuqiang H, Wen W, Zichen C (2006). Automatic defects detection based on adaptive wavelet packets for leather manufacture, In *Technology and Innovation Conference (ITIC)*. Hangzhou, China.
- Gan YS, Chee SS, Huang YC, Liong ST, Yau WC (2021). Automated leather defect inspection using statistical approach on image intensity. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 12: 9269-9285.
- Gan YS, Liong ST, Zheng D, Xia Y, Wu S, Lin M, Huang YC (2023). Detection and localization of defects on natural leather surfaces. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 2023(1): 1-15.
- Gan YS, Liong ST, Zheng D, Xia Y, Wu S, Lin M, Huang YC (2021). Detection and localization of defects on natural leather surfaces. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 2021(1): 1-15.
- Gan YS, Yau WC, Liong ST, Chen CC (2022). Automated classification system for tick-bite defect on leather. *Mathematical Problems in Engineering*, 2022(1): 1-12.
- Georgieva L, Krastev K, Angelov N (2003). Identification of surface leather defects. *Proceedings of the 4th international conference on Computer systems and technologies, CompSysTech*. New York, United States.
- Ghimire A, Mahaseth A, Thapa R, Magar SA, Singh SK, Khanal SR (2022). Leather Defect Segmentation Using Semantic Segmentation Algorithms. *Journal of Artificial Intelligence and Capsule Networks*, 2022(2): 131-138.
- Iqbal S, Khan TM, Naqvi SS, Holmes G (2023). MLR-Net: A multi-layer residual convolutional neural network for leather defect segmentation. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 126: 107007.
- Jawahar M, Babu NKC, Vani K (2014). Leather texture classification using wavelet feature extraction technique. *2014 IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research*. TamilNadu, India.
- Jian L, Wei H, Bin H (2010). Research on inspection and classification of leather surface defects based on neural network and decision tree. *International conference on computer design and applications*. Qinhuangdao, China.
- Kasi MK, Rao JB, Sahu VK (2014). Identification of leather defects using an autoadaptive edge detection image processing algorithm. *International conference on high performance computing and applications (ICHPCA)*. Bhubaneswar, India.
- Khanal SR, Silva J, Magalhães L, Soares J, Gonzalez DG, Castilla YC, Ferreira MJ (2022). Leather Defect Detection Using Semantic Segmentation: A Hardware platform and software prototype. *Procedia Computer Science*, 2022(204): 573-580.
- Kohli P, Garg S (2013). Leather quality estimation using an automated machine vision system. *IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering*, 2013(6): 44-47.
- Krastev K, Georgieva L (2005). Identification of leather surface defects using fuzzy logic. *Proceedings of the International Conference on Computer Systems and Technologies*. Washington, United States.
- Krastev K, Georgieva L, Angelov N (2004). Leather features selection for defects recognition using fuzzy logic. *Energy*, 2004(3): 1-6.

- Kwak C, Ventura JA, Tofang-Sazi K (2000). A neural network approach for defect identification and classification on leather fabric. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 2000(11): 485-499.
- Kwak C, Ventura JA, Tofang-Sazi K (2001). Automated defect inspection and classification of leather fabric. *Intelligent Data Analysis*, 2001(4): 355-370.
- Kwon JW, Choo YY, Choi HH, Cho JM, KiI GS (2004). Development of leather quality discrimination system by texture analysis. *Region 10 Conference TENCON*. Chiang Mai, Thailand.
- LeCun Y, Bengio Y, Hinton G (2015). Deep learning. *Nature*, 2015(1): 436-444.
- Liong ST, Gan YS, Huang YC, Yuan CA, Chang HC (2019). Automatic defect segmentation on leather with deep learning. *arXiv preprint arXiv: 1903.12139*.
- Liong ST, Gan YS, Liu KH, Binh TQ, Le CT, Wu CA, Yang CY, Huang YC (2019). Efficient neural network approaches for leather defect classification. *arXiv preprint arXiv: 1906.06446*.
- Liong ST, Zheng D, Huang YC, Gan YS (2020). Leather defect classification and segmentation using deep learning architecture. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 2020(33): 10-11.
- Moganam PK, Seelan DAS (2020). Perceptron Neural Network Based Machine Learning Approaches for Leather Defect Detection and Classification. *Instrumentation, Measures, Métrologies*, 2020(6): 421-429.
- Doble M, Rollins K, Kumar A (2007). *Industrial examples in Green Chemistry and Engineering*. Academic Press.
- Omoloso O, Mortimer K, Wise WR, Jraisat L (2021). Sustainability research in the leather industry: A critical review of progress and opportunities for future research. *Journal of Cleaner Production*, 2021(285): 421-429.
- Pereira RF, Dias MLD, de Sá Medeiros CM, Rebouças Filho PP (2018). Classification of Failures in Goat Leather Samples Using Computer Vision and Machine Learning. *SIBGRAPI 2018*. Foz do Iguaçu, Brazil.
- Peters S, Koenig A (2007). A hybrid texture analysis system based on non-linear & oriented kernels, particle swarm optimization, and kNN vs. support vector machines. *7th international conference on hybrid intelligent systems (HIS 2007)*. Kaiserslautern, Germany.
- Pistori H, Paraguassu WA, Martins PS, Conti MP, Pereira MA, Jacinto MA (2018). Defect detection in raw hide and wet blue leather. *Computational Modelling of Objects Represented in Images. Fundamentals, Methods and Applications*. Cracow, Poland.
- Prananda AR, Frannita EL (2023). Toward Adaptive Manufacturing Development: Implementation of Artificial Intelligence for Identifying Leather Defects. *Jurnal Ecotipe (Electronic, Control, Telecommunication, Information, and Power Engineering)*, 2023(2): 200-207.
- Rao AR (2012). *A taxonomy for texture description and identification*. Springer Science & Business Media.
- Rao AR, Lohse GL (1993). Identifying high level features of texture perception. *CVGIP: Graphical Models and Image Processing*, 1993(3): 218-233.
- Santos Filho EQ, de Sousa PHF, Rebouças Filho PP, Barreto GA, de Albuquerque VHC (2020). Evaluation of goat leather quality based on computational vision techniques. *Circuits, Systems, and Signal Processing*, 2020(2): 651-673.
- Smith AD, Du S, Kurien A (2023). Vision transformers for anomaly detection and localisation in leather surface defect classification based on low-resolution images and a small dataset. *Applied Sciences*, 13(15): 8716.
- Sobral JL (2005). *Leather inspection based on wavelets*. Iberian conference on pattern recognition and image analysis, Springer, 2005(1): 682-688.
- Sousa CEB, Medeiros CMS, Pereira RF, Neto AA, Neto MAV (2021). A decision support system for fault detection and definition of the quality of wet blue goat skins. *Heliyon*, 7(9).
- Tafari M, Branca A, Attolico G, Distante A, Delaney W (1996). Automatic leather inspection of defective patterns. *Machine vision applications in industrial inspection IV*, SPIE, 1996(2665): 108-119.
- Ticaret Bakanlığı (2022). *Deri ve Deri Mamulleri Sektör Raporu*. https://ticaret.gov.tr/data/5b87000813b8761450e18d7b/Deri_ve_Deri_Mamulleri_Sekt%C3%B6r_Raporu.pdf.
- TÜİK (2020, Aralık). *Deri Üretimi Miktarları*. Türkiye İstatistik Kurumu. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/DownloadIstatistikselTablo?p=akVjpnzD2nodln2y9MutlfambT1xV5PmEU6zK9rXpGm5Ek0kCvdtPrMKm86QlLt>.
- Viana R, Rodrigues RB, Alvarez MA, Pistori H (2007). SVM with stochastic parameter selection for bovine leather defect classification. *Advances in Image and Video Technology: Second Pacific Rim Symposium, PSIVT 2007*. Santiago, Chile.

Villar P, Mora M, Gonzalez P (2011). A new approach for wet blue leather defect segmentation. Progress in Pattern Recognition, Image Analysis, Computer Vision, and Applications: 16th Iberoamerican Congress, CIARP 2011. Pucón, Chile.

Wang Q, Liu H, Liu J, Wu T (1992). A new method for leather texture image classification. IEEE International Symposium on Industrial Electronics. Xi'an, China.

Winiarti S, Prahara A, Murinto DPI, Ismi P (2018). Pretrained convolutional neural network for classification of tanning leather image. Network (CNN), 9(1): 9.

Wu X, Xiong H, Wen P (2016). A defect detection method based on sub-image statistical feature for texture surface. Eighth International Conference on Digital Image Processing (ICDIP 2016). Chengu, China.

Yuan S, Li L, Chen H, Li X (2023). Surface Defect Detection of Highly Reflective Leather Based on Dual-Mask Guided Deep Learning Model. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2023(72): 1-13.

Buji Ateşlemeli Motorlarda Yakıt Olarak Etanol Kullanımının Performans ve Emisyonlar Üzerindeki Etkisi

Abdullah KAYA^{1*} 

¹ Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği, Karaman, Türkiye

Alındı/Received: 22/05/2024; Kabul/Accepted: 05/07/2024; Yayın/Published: 10/12/2024

* Corresponding author e-mail: abdullahkaya@yandex.com

Öz

Alternatif yakıtlar üzerine yapılan araştırmalar, enerji tüketiminin her geçen gün artması ve zararlı egzoz gazı emisyonlarının azaltılmasını sağlamak için sürekli çalışma konusu olmuştur. Ülkemizde motorlu kara taşıt sayısı TÜİK verilerine göre 2024 yılı mayıs ayı sonu itibarıyla 29791066'ya ulaşmıştır. Yine sera gazı emisyonlarında en büyük payı 2022 yılı verilerine göre %71,8 ile enerji sektörü ilk sırada yer almıştır (TÜİK 2024). Bu yüzden içten yanmalı motorlarda alternatif yakıtlar üzerine çalışmak kaçınılmaz olmuştur. Etanolün içten yanmalı motorlar için uygun bir alternatif yakıt olduğu ve fiziksel ile kimyasal özelliklerinden dolayı buji ile ateşlemeli motorlarda kullanımının daha uygun olduğu görülmüştür. İçten yanmalı motorlarda yanma olayı performans ve emisyon açısından önemli bir faktördür. Etanolün benzinle karıştırıldığında yanmanın iyileştiği ve temiz yanma oluştuğundan dolayı motor performansı ve emisyonlar üzerinde olumlu etkiler yarattığı görülmüştür. Bu araştırmada etanolün (C₂H₅OH) buji ile ateşlemeli (Otto çevrimli) motorlarda alternatif yakıt olarak kullanılması araştırılmıştır. Motor performansı ve emisyonlar üzerindeki etkisi incelenmiştir. Etanolün buji ile ateşlemeli motorlarda kullanılmasının yakıt özelliklerine göre sonuçları irdelenmiştir. Buji ile ateşlemeli motorlarda etanol kullanımının emisyon değerlerinde azalma ve motor performansında ise artış sağladığı görülmüştür. Etanol üretimi için kullanılan bitkisel ham maddelerin yetişme alanı uygun olan coğrafi bölgelerde üretim teknolojilerinin gelişmesi devam etmektedir. Dünyanın çoğu yerinde kullanımı mümkün olduğundan, ülkeler bu alternatif yakıt üzerinde araştırmalarına halen devam etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Etanol, emisyon, buji ateşlemeli motor

The Effect of Using Ethanol as Fuel on Performance and Emissions in Spark Ignition Engines

Abstract

Research on alternative fuels has been the subject of constant study to ensure that energy consumption increases day by day and harmful exhaust gas emissions are reduced. According to TÜİK data, the number of motor vehicles in our country reached 29791066 as of the end of May 2024. Again, the energy sector ranked first with the largest share in greenhouse gas emissions, with 71.8% according to 2022 data (TUIK 2024). Therefore, it has become inevitable to work on alternative fuels in internal combustion engines. It has been observed that ethanol is a suitable alternative fuel for internal combustion engines and that it is more suitable for use in spark ignition engines due to its physical and chemical properties. In internal combustion engines, combustion is an important factor in terms of performance and emissions. It has been observed that when ethanol is mixed with gasoline, combustion improves and clean combustion occurs, thus creating positive effects on engine performance and emissions. In this research, the use of ethanol (C₂H₅OH) as an alternative fuel in spark ignition (Otto cycle) engines was investigated. Its effect on engine performance and emissions has been studied. The results of using ethanol in spark ignition engines were examined according to fuel properties. It has been observed that the use of ethanol in spark ignition engines reduces emission values and increases engine performance. The development of production technologies continues in geographical regions where the plant raw materials used for ethanol production are suitable for cultivation. Since its use is possible in most parts of the world, countries are still continuing their research on this alternative fuel.

Key Words: Ethanol, emission, spark ignition engine

Atf / To cite: Kaya A (2024). Buji Ateşlemeli Motorlarda Yakıt Olarak Etanol Kullanımının Performans ve Emisyonlar Üzerindeki Etkisi. Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Dergisi, 6(2): 68-83.

1. GİRİŞ

Günümüz dünyasında, yaklaşmakta olan iklim ve gıda sorunlarının etkilerinin öngörülmesi nedeniyle çevresel kaygılar artarak daha da önemli hale gelmiştir. İklim değişikliği, hava kirliliği, doğal kaynakların sürdürülebilir kullanımı gibi konular ülkeleri sanayilerin ve teknolojik gelişmelerin çevresel etkilerini değerlendirmeye yöneltmiştir. Bu bağlamda içten yanmalı motorlar enerji verimliliği, emisyon kontrolü, sürdürülebilirlik gibi konularla doğrudan ilişkilendirilmektedir (Kantaroglu 2024). Bu nedenle mevcut motor teknolojilerinin geliştirilmesi ya da yeni yakıt arayışları zorunlu bir hal almıştır (Kantaroglu ve Doğan 2024).

Enerji krizi, başta gelişmiş ülkeler olmak üzere dünyanın en önemli sorunlarından biridir. Artan nüfus, sanayileşme, gelişmiş ulaşım, çeşitli sektörlerde fosil yakıtların sürekli kullanımı enerji kıtlığının başlıca nedenleridir (Dehande ve ark. 2021). Ulusal ve Avrupa Birliği iklim hedeflerine ulaşmak, karayolu ve arazi araçlarından kaynaklanan egzoz emisyonlarının azaltılması, daha katı düzenlemeleri karşılamak için, hem güç ünitelerinin enerji verimliliğini önemli ölçüde artırmak hem de fosil yakıtlardan uzaklaşmak gerekli hale gelmiştir (Stepień 2024). Enerji ve çevre konuları dünyanın her yerinde giderek artan bir ilgi görmektedir (Tang ve ark. 2023). Dünya nüfusunun artması ve enerji tüketimindeki benzeri görülmemiş eğilim, içinde bulunduğumuz yüzyılın önemli zorluklarını temsil etmektedir (Estrada ve ark. 2021).

Enerji, sosyal ve ekonomik sürdürülebilir kalkınma için kilit bir rol oynamaktadır. Sanayi Devrimi'nden bu yana dünyanın enerji tüketimi önemli ölçüde artmıştır. Geleneksel enerji, yani petrol, kömür, doğal gaz ve diğer fosil enerji kaynakları da hızla tükenmektedir (Wu ve ark. 2021). Bu durum araştırmacıların alternatif yakıtlar üzerine odaklanmasına neden olmuştur. İnsanların içten yanmalı motorlarda ekonomik, güvenli ve çevre dostu yakıt arayışı yıllardır devam eden bir konudur. Etanol, içten yanmalı motorlarda en çok araştırılan alkollü yakıt olmuştur (Chansauria ve Mandloi 2018). Alternatif yakıtlar arasında şu an kullanılan yakıtlar içinde yakıt özelliklerine uygun olan etanol bilim insanları tarafından araştırma konusu olmuştur (Türköz 2012).

Etanol, dünyanın bütün coğrafyasında kolay temin edilebilmesi, yakıt maliyetinin ucuz olması ve kullanılan yakıtın kolayca buharlaşması birim hacimden maksimum enerji elde edilmesine olanak sağlar. Etanolün emisyon değerlerinin düşürülmesi için çalışmalar hep süregelmektedir. Etanol, çeşitli alkoller arasında buji ile ateşlemeli motorlar için en uygun yakıt olarak bilinir (Chansauria ve Mandloi 2018). Etanol, etanol/benzin karışımlarının oktan sayısını ve oksijen içeriğini artırmak, fosil yakıtlara olan bağımlılığı ve eksik yanma ürünlerinin egzoz emisyonlarını azaltmak için buji ateşlemeli motorlar için alternatif bir yakıt olarak kullanılabilir (Iodice ve ark. 2021).

Etanol (C₂H₅OH) ilk olarak 1930'larda bir motor yakıtı olarak ABD'de önerilmiştir. Ancak bazı ülkelerde yaygın olarak kullanımı 1970'lerde gerçekleşmiştir (Poulopoulos ve ark. 2001). Ülkemizde son yıllarda alkollerden etanol üretimine yönelik çalışmalar yapılmaya başlanmıştır.

Petrol maliyetinin yükselmesiyle bu çalışmalara verilen önem artmıştır (Özer 2014). Enerjide dışa bağımlılığın azaltılması, kaynak çeşitliliğinin artırılması, çevre kirliliğinin azaltılması ve Avrupa Birliğinin yenilenebilir enerji politikalarına uyum sağlanması amacıyla "Benzin Türlerine Etanol Harmanlanması Hakkında Tebliğ" Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu tarafından hazırlanarak Resmi Gazetede yayımlanmıştır. 2023 yılı için harmanlama yükümlülüğü hacimce %2 (v/v)'dir (29 Aralık 2022 tarihli ve 32058 sayılı RG).

Dünya üzerinde ülkelerden bazılarında içten yanmalı motorlarda etanol kullanımı üzerinde yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Bu ülkelerde etanol alternatif yakıt olarak kullanılmaktadır. Bir örnek olarak, Brezilya yağmur ormanları ortasında bulunması nedeni ile bitkisel üretim açısından zengin bir ülke konumundadır. Bu ülkede bitkisel fermantasyon ile üretilen etanolün saf yakıt olarak kullanılması petrol konusunda sıkıntı yaşamamasından kaynaklanmaktadır. Brezilya etanol kullanımında 30 yıldan daha fazla bir deneyime sahiptir (Saria ve ark. 2018). Kendi kendine tutuşma direnci ve buji ile ateşlemeli motorlarda sıkıştırma oranının artması için gerekli özelliklere sahip olmasından dolayı bu motorlarda kullanımı daha avantajlıdır. Etanol kullanımı gelişen dünyada petrol ve türevi yakıtlara olan ihtiyacı azaltabilir (Meral ve Saydan Kanberoğlu 2012). Ülkelerin otomotiv yakıt ihtiyaçları her geçen gün artan bir eğilimde olmasından, etanolün çevreye etkisi olan emisyon değerlerinin düşürülmesi için de araştırmalar halen devam etmektedir (Öğüt ve Kuş 2017). 1950'lerde araştırılmaya başlanan etanolün tarihsel gelişimi günümüzde de devam etmektedir (İmrağ 2006).

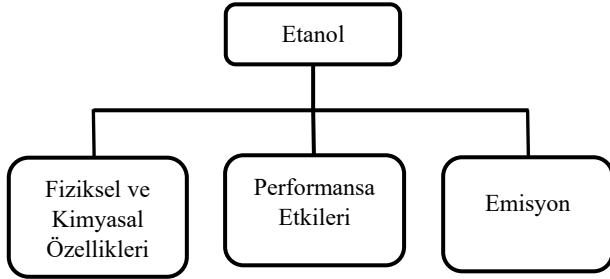
Tarım ürünlerinden üretilen etanol, alternatif yakıt olarak yaygın kullanıldığı ülkelerin genellikle yağışın bol ve yüksek verim elde edilen coğrafyalar üzerinde olduğu görülmüştür. İçten yanmalı motorlardan buji ile ateşlemeli motorlarda donanımsal değişikliğe fazla gerek duyulmadan kullanılması ve söz konusu motorlarda kullanımının performans ve emisyonlar açısından olumlu etkilerinden dolayı diğer alternatif yakıtlara oranla tercih edilme sebebi olduğu görülmüştür.

Farklı biyoenerji türleri arasında araştırılan etanol mevcut altyapıya entegre edilebilir. İçten yanmalı motorlarda kullanımından bir adım daha ileri giden etanol biyoenerjisi, karbon yakalama ve depolama ile birleştirildiğinde atmosferden karbonun uzaklaştırılmasını sağlama faydalarıyla endüstriyel proses ısısı gibi diğer sektörlere yönlendirilebilecek kadar esneklik (Cavalcanti ve ark. 2022).

2. MATERYAL VE METOT

İçten yanmalı motorlarda aradığımız en önemli parametreler motor performansının yüksek ve emisyonun düşük olmasıdır. Motor performansının artırılması ve emisyon değerlerinin düşürülmesi istenilen hedeflerdir. Bu araştırmada bilim insanları tarafından yapılmış deneyler ile araştırmaların detaylı çalışmaları incelenmiştir. Etanol üretimi dünyanın coğrafya yapısına uygun olması, tarımsal atıklardan bile üretilmesi etanolün en önemli

avantajlarından biri olup, alternatif yakıt olarak tercih edilme sebeplerinden biridir. Zararlı egzoz emisyonlarında azalma ve motor performans artışı sağlaması önemli özellikleridir. Buji ile ateşlemeli motorlarda olumlu sonuçlarından dolayı bu araştırma da detaylı olarak incelenmiştir. Şekil 1'de etanolün incelendiği konu başlıkların diyagramı gösterilmektedir.



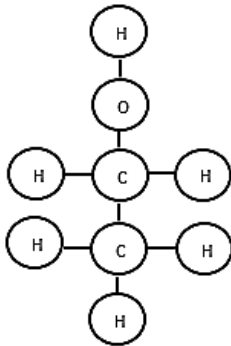
Şekil 1. Etanolün detaylı incelendiği konular

Etanolün buji ile ateşlemeli motorlarda kullanımının motor performans ve emisyon üzerinde etkisinin incelenmesinin yanında üretimi ile ilgili bilgiler, üretildiği ham madde kaynaklarına göre ülkelerin coğrafi özellikleri ve iklim koşulları faktörleri göz önünde bulundurularak yoğun olarak üretildiği ülkelere makalede yer verilmiştir.

2.1. Etanol

Etanol, berrak, renksiz, zehirli olmayan, karbon, hidrojen ve oksijenden oluşan fermantasyon yoluyla elde edilen, motorlu araçlarda kullanılabilen yenilenebilir bir yakıttır. Etanol, kirletici ve sera gazı emisyonlarını azaltmayı amaçlayan fosil yakıtların yerini kısmen almak için dünya çapında yenilenebilir bir biyoyakıt olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır (Wang ve ark. 2022).

Etanolün (C_2H_5OH), bir molünde kütle olarak % 52,18 karbon, % 34,78 oksijen ve % 13,04 hidrojen barındırır (Vargün ve ark. 2020). Etanolün benzinle karışımına göre sembolleri vardır. Bu semboller Tablo 1'de gösterilmektedir. Ham maddesi tarım ürünlerinden oluşan etanol, yaygın olarak üretimi kolay ve maliyeti düşük olan şeker kamışından üretilir (Doğan ve ark. 2017).



Şekil 2. Etanolün molekül yapısı (Gürsel 2017).

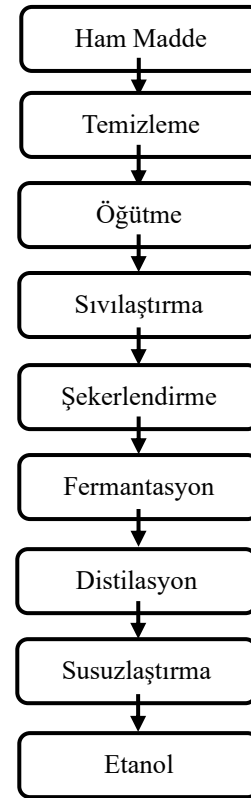
Etanol, benzinle karşılaştırıldığında mükemmel özelliklere sahiptir. Genel olarak etanol, yüksek laminar hız ve hidroksil (OH) gruplarının mevcudiyeti nedeniyle yanma sırasında tamamen yanar (Suresh ve Porpatham 2023).

Etanol içten yanmalı motorlarda saf olarak kullanıldığı gibi karışım şeklinde de kullanılabilir (Yüksel ve ark. 2019). Tablo 1'de etanolün elde edilme süreci ile ilgili bilgiler gösterilmiştir.

Tablo 1. Etanolün bazı kısa gösterimi ile ilgili bilgileri

E0	% 100 benzin
E5	%95 benzin, % 5 etanol
E10	% 90 benzin, %10 etanol
E20	%80 benzin, %20 etanol
E30	%70 benzin, %30 etanol
E40	%60 benzin, %40 etanol

Üretim süreci sırasıyla; ham madde, temizleme, öğütme, sıvılaştırma, şekerlendirme, fermantasyon (mayalanma), distilasyon (damıtma) ve susuzlaştırma süreçleridir.



Şekil 3. Etanol Üretim Şeması (İlçin 2020)

Farklı etanol karışımın özellikleri Tablo 2'de gösterilmiştir (Kumbhar ve Khot 2023).

Tablo 2. Farklı etanol karışımın özellikleri

Yakıt Özellikleri	E0	E20	E40	E60
Yoğunluk (15° C'de) (kg/m ³)	743	753	780	789
Kinematik Viskozite	0,5-0,6	0,6	0,691	0,70
Buhar Basıncı (kPa)	53,7	58,3	63	57,4
Stokiyometrik H/Y oranı	14,7	13,5	12,42	11,28
Araştırma oktan sayısı (RON)	92	94,8	101,7	108
Motor oktan sayısı (MON)	80,3	81,6	90,8	102,8
Alt ısı değeri (kJ/kg)	44000	40480	37160	33740
Parlama noktası	-45 -13	-20	-13,5	-5
Oksijen içeriği	0	7,05	15,90	24,78

Ham madde kaynaklarının enerji potansiyelleri ile ilgili bilgiler Tablo 3'te gösterilmiştir.

Tablo 3. Ham madde kaynaklarının enerji potansiyelleri (Balat ve ark. 2008)

Ham madde	Enerji Potansiyeli (lt/ton)
Şeker Kamışı	70
Şeker Pancarı	110
Mısır	360
Pirinç	430
Buğday	340
Arpa	250
Tatlı Sorgum	60
Küspe ve diğer selülozik biyokütleler	280

Bazı ham maddelerin etanole dönüşme miktarı ve maliyetleri Tablo 4'te gösterilmiştir (Şimşek ve ark. 2018).

Tablo 4. Bazı ham madde dönüşüm miktarları ve maliyetleri (2017 yılı verileri)

Ham Madde	Ham Madde Miktarı (kg)	Etanol Miktarı (lt)	Maliyeti (lt/TL)
Şeker Pancarı Melası	1000	464	2,50
Mısır	1000	460	2,81
Buğday	1000	380	2,95

**Şekil 4.** Etanol üretimi yapılan bazı tarım ürünleri görselleri.

2.2. Etanolün Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

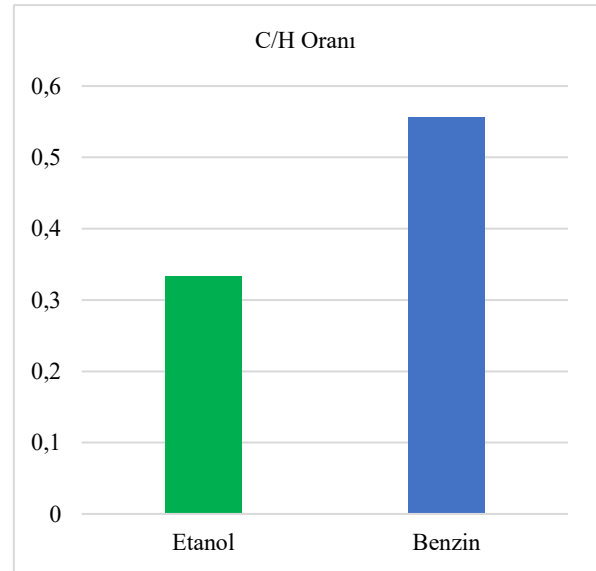
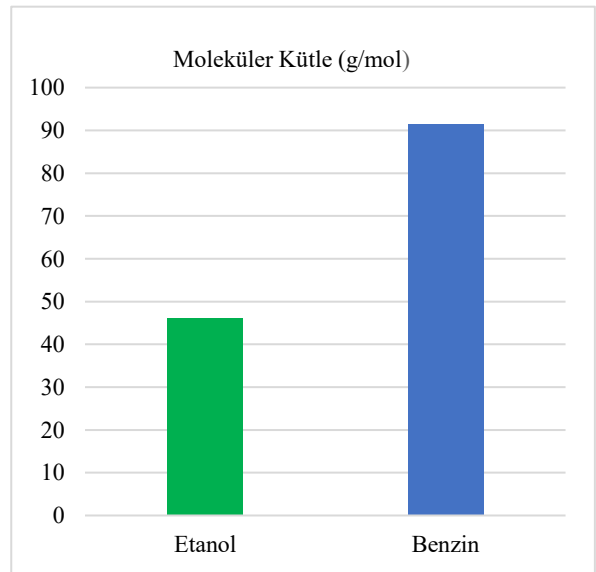
Etanol'ün, fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 5'te gösterilmiştir (Cooney ve ark. 2009).

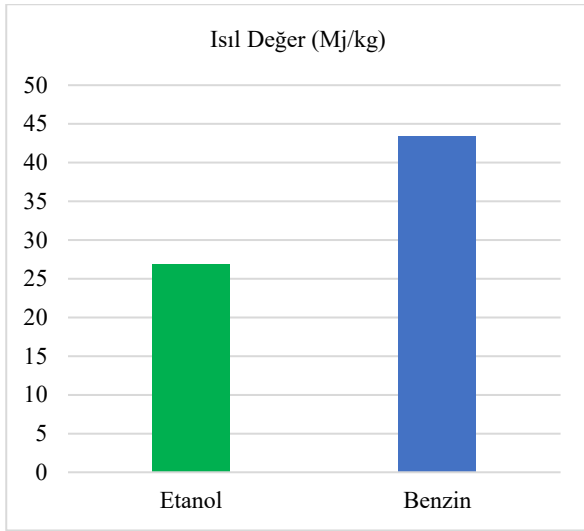
Etanolün donma noktasının yüksek olması bu yakıtta dünyanın birçok yerinde kullanılabilme imkânı sağlamaktadır. Etanolün birim kütle ve birim hacim başına ortaya çıkacak ısı miktarı (ısı değeri) benzinden daha düşüktür. Etanol su ile çeşitli oranlarda karışabilmektedir.

Tablo 5. Etanolün fiziksel ve kimyasal özelliklerinin benzin yakıtı ile karşılaştırılması (Baliç 2007; Greenwood ve ark. 2014)

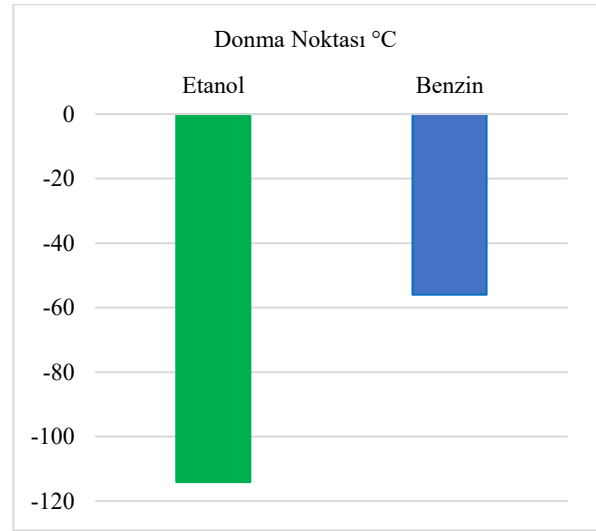
Yakıt	Etanol	Benzin
Kimyasal Denklemi	C_2H_5OH	C_nH_{2n+2}
C/H Oranı	0,333	0,556
Moleküler Kütle (g/mol)	46,07	91,4
Isıl Değer (Mj/kg)	26,9	43,4
Stokiyometrik Karışım – Kütleli	8,96	14,7
Stokiyometrik Karışım – Hacimsel	14,3	45,79
Buharlaşma Isısı (Mj/kg)	0,856	0,272
Tutuşma Sınırı % Hacim	3,5-19	1,3-7,6
Kaynama Noktası °C	78,7	32-221
Donma Noktası °C	-114,1	-56
Kendi Kendine Tutuşma Sıcaklığı °C	392	257
Oktan Sayısı – ROS (Araştırılan)	106	91-100
Oktan Sayısı – MOS (Motor)	87	82-94
Maksimum Alev Hızı* (m/s)	0,61	0,57

* 1 atm, 273 K'deki hesaplanan değer

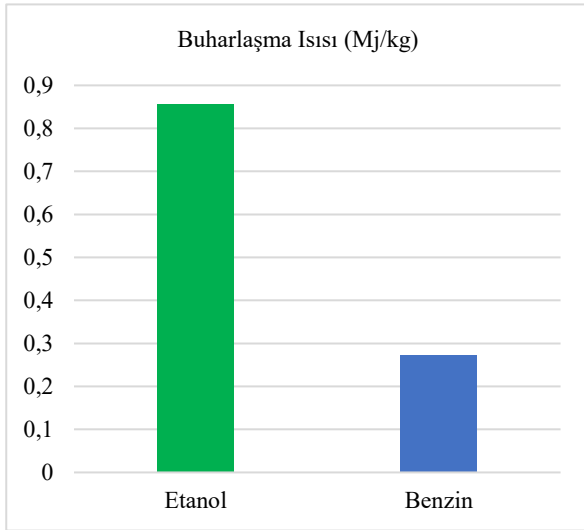
**Şekil 5.** Etanol- Benzin C/H oranı**Şekil 6.** Etanol-Benzin moleküler kütle



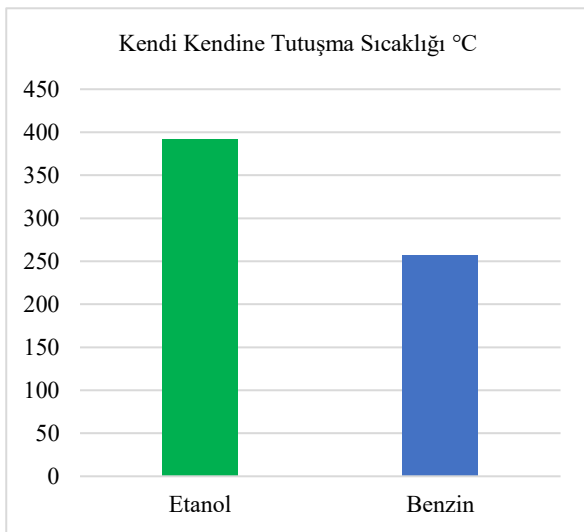
Şekil 7. Etanol- Benzin ısı değer (Mj/kg)



Şekil 10. Etanol-Benzin donma noktası °C



Şekil 8. Etanol- Benzin buharlaştırma ısısı (Mj/kg)



Şekil 9. Etanol-Benzin kendi kendine tutuşma sıcaklığı °C

2.3. Performansa Etkileri

Etanol, yüksek oktan sayısına (vuruntuya karşı direnç yeteneğine) sahip olmasından Otto motorlarında kullanımı daha uygundur. Yüksek oktan sayısı, vuruş toleransını artırır ve hızlı alev yanma sürecine potansiyel faydalar sağlar (Cooney ve ark. 2009). İçten yanmalı motor için optimum temiz ve verimli yanma durumunun elde edilmesi çok önemlidir (Zhang ve ark. 2024).

Daha yüksek oktan sayısı ve gizli buharlaştırma ısısı nedeniyle, sulu etanol daha yüksek vuruş direncine sahiptir ve bundan dolayı ateşleme avansının ilerlemesine olanak tanır (Wang ve ark. 2022). Benzine etanol eklenmesi oktan sayısını, yakıtın oksijen içeriğini ve alev hızını artırır. Etanol, benzinin ısı enerjisi değerinin yaklaşık 2/3'üne sahip olduğundan, etanol karışımının artırılması, etanol-benzin karışımının ısı enerjisi değerinde bir azalmaya neden olacaktır. Sonuç olarak, saf yakıtla aynı güç seviyesini ortaya çıkarmak için daha fazla yakıt karışımına ihtiyaç vardır (Kumbhar ve Khot 2023). Etanolün kendi kendine tutuşma direnci, Otto motorlarında sıkıştırma oranının artması için gerekli niteliklere sahip olması otto motorlarında kullanımını daha avantajlı hale getirir.

Formül (1)'de k değerinin sabit olduğu kabul edilen şartlarda, teorik olarak sıkıştırma oranı (ϵ) arttıkça, verim (η) artacağından etanolün buji ile ateşlemeli motorlarda kullanımı teorik verimi önemli ölçüde etkilemektedir. Sıkıştırma oranının artırılması, yanma odasındaki yakıt-hava karışım yoğunluğunu ve akış türbülans şiddetini etkileyerek, basınç artış hızını artırıp ve daha hızlı yanmaya olanak sağlar (Wang ve ark. 2022).

$$\eta = 1 - \frac{1}{\epsilon^k} \quad (1)$$

Chansauria ve ark. (2018) yapmış olduğu araştırmada, 100 km/h araç hızında kurşunsuz benzine kıyasla E5 ve E10'un ısı verimindeki artış sırasıyla %1,9 ve %2,5'tir. E5 hariç 80 km/sa araç hızında, E10 için ısı verimindeki artış %0,4'tür. Kurşunsuz benzine kıyasla E5 için ısı veriminde %0,8'lik bir azalma olduğu, E10 karışımının E5'e göre daha fazla oksijen oranına sahip olması, yanmanın daha

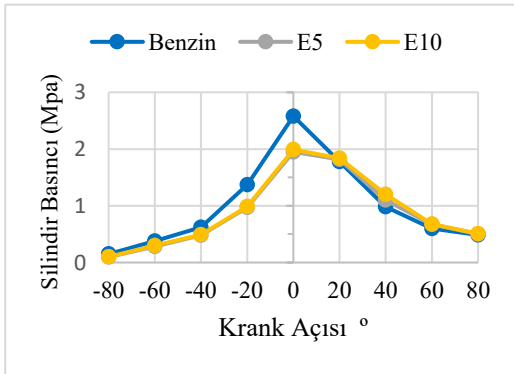
iyi hale gelmesinden dolayı ısıl verimliliği arttırdığını görmüşlerdir.

Dhande ve ark. (2023) yapmış oldukları araştırmada atık nar etanol karışımları kullanılarak buji ateşlemeli bir motorun performansını tahmin etmek için bir yapay sinir ağı (YSA) geliştirilmiştir. Tek silindirli, dört zamanlı, buji ateşlemeli bir motor üzerinde yapılan bir dizi deney, sinir ağı eğitimi ve doğrulaması için gereken verileri sağlamıştır. Deneysel verilerin yüzde 70'i, ileri beslemeli geri yayılım (FFBP) algoritmasını kullanarak ağı eğitmek için kullanılmış, geliştirilen ağ modelinin performansı, çıktısı deneysel sonuçlarla karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Giriş parametreleri motor devrini, etanol karışımlarını içermektedir. Çıkış parametreleri ise belirtilen ve fren gücünü, termal, hacimsel ve mekanik verimlilikleri içermektedir. Eğitim ve test verilerinin regresyon katsayıları neredeyse bire eşit olduğunu görmüşlerdir. Araştırma, YSA modelinin motor performansını daha yüksek doğrulukla tahmin etmek için daha iyi bir seçenek olabileceğini ortaya çıkardığını görmüşlerdir. Etanol ve benzin karışımları kullanılarak daha iyi hacimsel verimin elde edilebileceği analiz edilmiştir (Chansauria ve Mandloi 2018).

Formül (2)'de hacimsel verim gösterilmiş olup, karışım yakıtının hacimsel verimi benzin yakıtından yüksektir. Artan hacimsel verimlilik, daha az yakıt-hava oranını ve daha iyi yanma verimliliğini temsil eder (Chansauria ve Mandloi 2018).

$$\eta_v = \frac{\text{Emilen hava hacmi}}{\text{Yanma Odası Hacmi} + \text{Silindir Hacmi}} \quad (2)$$

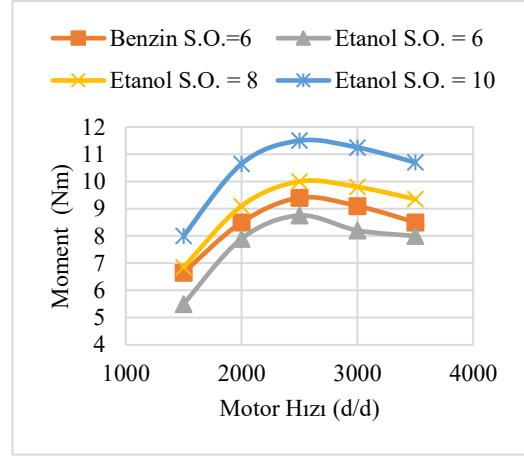
Buji ile ateşlemeli motorda, silindir gaz basıncı arttığında yanıcı yakıtın entalpisi artar. Artan entalpi nedeniyle, yakıtın enerjisi iyileşir (Chansauria ve Mandloi 2018). Şekil 11'de silindir gaz basıncının krank açısına bağlı olarak yakıtlara göre değişimi gösterilmektedir.



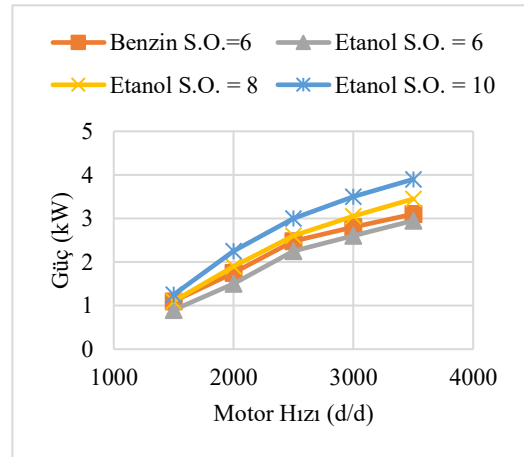
Şekil 11. 80 km/h araç hızında test yakıtları için ortaya çıkan silindir basınç değerleri (5 kW).

Etanolün saf hali, motor tasarımında ve yakıt sisteminde çok az değişiklik gerektirirken, buji ile ateşlemeli motorlarda her hangi bir değişiklik yapılmadan benzine karıştırılarak düşük konsantrasyonlarda kullanılabilir (Chansauria ve Mandloi 2018). Çelik ve Çolak (2008). Lombardini marka tek silindirli, hava soğutmalı, dört zamanlı, sıkıştırma oranı 4 ile 10 arasında değiştirilebilen, 250 cm³ motor hacmine sahip, bir araştırma motorunda deney yapmışlar ve deney sonucunda sıkıştırma oranı

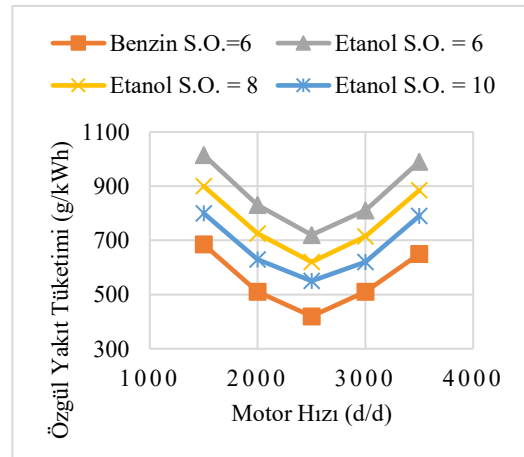
değiştirilmeden, Otto motor etanol ile çalıştırıldığında motor momentini ve gücünde bir miktar kayıp olduğu fakat zararlı emisyonlarda azalma olduğunu, artan sıkıştırma oranı ile birlikte yanma sonu basıncının ve sıcaklığının arttığını, dolayısıyla motor momentinde, motor gücünde artış ve özgül yakıt tüketiminde ise azalma olduğunu görmüşlerdir.



Şekil 12. Değişik sıkıştırma oranları ve karışımlar için motor momentinin değişimi (Çelik ve Çolak 2008).



Şekil 13. Değişik sıkıştırma oranları ve karışımlar için motor gücünün değişimi (Çelik ve Çolak 2008).



Şekil 14. Değişik sıkıştırma oranları ve yakıtlar için özgül yakıt tüketiminin değişimi (Çelik ve Çolak 2008).

2.4. Emisyon

Artan enerji tüketiminin getirdiği çevre ve hava kirliliği, egzoz emisyonlarının büyük bir kısmından sorumlu olan içten yanmalı motorların kullanıldığı ulaştırma sektöründe yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına olan ilgiyi artırmıştır. Alkol yakıtları, içten yanmalı motorlarda kullanılmak üzere yenilenebilir enerji kaynağı olarak değerlendirilmekte olup, egzoz emisyonlarını ve maliyetlerini düşürdüğü bilinmektedir (Altun ve ark. 2023).

Çevremizin temiz olması ve hava kirliliğinin az olması yakıt tercihlerinde önemli bir durumdur. Alternatif yakıtların yapısındaki oksijen yoğunluğu zararlı egzoz emisyon değerlerini etkilemektedir. İçeriğinde oksijeni bol olan yakıtlar emisyon değerlerin azalması ve temiz bir çevre için önemli rol oynar. Söz konusu yakıtlar motor yakıtları ile beraber yakıldığında yanma performansının yüksek ve emisyon değerlerini ise düşürmektedir (Temizer 2020).

Karbonmonoksit (CO) eksik yanma ürünüdür. CO emisyonuna sebep olan etmenler, hava fazlalık katsayısı (λ), yanma odasında bulunan mevcut türbülans ile yakıtın molekülüdür. Eğer hava fazlalık katsayısı birden küçükse ($\lambda < 1$ ise), yani olması gerektiğinden daha az hava var ve yanma yeterli değilse yakıtta bulunan karbonun hepsi CO₂'e dönüşmeyecek, CO olarak kalacaktır. Oksijenin motor silindiri içerisinde yeterli olmaması hava yakıt karışımının kötü olması durumunda silindir içinde de yeterli olmayabilir (Sayın ve ark. 2014).

Benzinde bulunan karbon etanolde bulunan karbondan daha fazladır. Karbon yanma olayında karbonmonoksite dönüşmektedir. Oksijenin etanolde yüksek olmasından dolayı yanma iyileşeceğinden karbonmonoksitin düşük olmasına sebep olur (Sarıdemir ve Erkayalı 2016). Oksijen egzoz emisyonları için önemli bir faktördür. Benzine göre etanol karışımli yakıtların O₂ emisyon değerleri daha yüksektir. Bunun nedeni etanol karışımı yakıtın kimyasal yapısındaki oksijen fazlalığı nedeniyle yanma sonu emisyon değerlerinde bulunan O₂ miktarının yüksek olması ile açıklanabilir (Yüksel ve ark. 2019).

Buji ateşlemeli motorlarda HC ve CO emisyonlarını etkileyen ana parametreler yanma sıcaklığı, yanma süresi ve oksijen içeriğidir (Iodice ve Cardone 2021). Hidrokarbon (HC) emisyonu, eksik yanma olayından kaynaklanmaktadır. HC emisyonunun düşük olması yanma olayının silindir içinde verimli olmaması, taşıt hızı ile motor yükünün artması ile ilgilidir. Motorun boştaki devri ile yük durumundaki devirlerde HC emisyonu farklılık gösterir. Etanol ilavesi yakıtların daha iyi buharlaşmasını sağladığı için hava yakıt karışımının da iyi olması yanmayı iyileştireceğinden hidrokarbon emisyonunu düşürür. Farklı yüklerde araç boşta iken, veya farklı torklarda (yüklerde) hidrokarbon emisyonu değişkenlik gösterir (Pang ve ark. 2008). Deneysel araştırmaların çoğu, benzin yakıt karışımlarına etanol eklenmesinin, yeni nesil buji ile ateşlemeli motorların HC ve CO egzoz emisyonlarını etkili bir şekilde azaltabileceği sonucuna varmıştır (Iodice ve Cardone 2021).

İçten yanmalı motorlar CO₂ emisyonlarının ana kaynağıdır. CO₂ gibi sera gazları iklim değişikliğinden

sorumludur. Bu nedenle içten yanmalı motorlardan kaynaklanan CO₂ emisyonlarının azaltılması, küresel ısınmanın ve artan sıcaklıklar, değişen yağışlar, eriyen buzullar ve yükselen deniz seviyeleri dahil olmak üzere etkilerinin azaltılması açısından çok önemlidir (Sikora ve Orliński 2024).

CO₂ emisyonu, karbon bileşikli yakıtların tam yanma olayı sonunda açığa çıkar. Dolayısıyla, karbondioksit emisyon değerlerindeki artma, silindirlere alınan yakıtın yanmasının tam yanma olayına yaklaştığını göstermektedir (Örs ve ark. 2009). Etanol/benzin karışımli yakıtlar, saf benzine göre daha düşük karbon sayıları ürettiğinden, karışımları ile CO₂ emisyonları azaltılmıştır (Kunwer ve ark. 2022). NO emisyonu silindir içi sıcaklıkların değişiminden etkilenmektedir. Karışım zenginleştikçe silindir içi sıcaklıklar artar. Silindir içi sıcaklıkların düşük olması NO emisyonlarını azaltacaktır (Demirci ve ark. 2017).

Suresh ve Porpatham (2024) yapmış oldukları araştırmada etanol-benzin karışımları ile HC emisyonları azaltıldığını görmüşler, etanol yüksek oksijen içeriğine sahip olduğundan karışımı zayıflatıp, bu nedenle HC emisyonları benzinle 112 g/kWh'den 0,74 eşdeğerlik oranında E10 karışımıyla 80 g/kWh'ye düştüğünü, E10 benzinle karşılaştırıldığında NO_x emisyonları 0,98 eşdeğerlik oranıyla 30,35 g/kWh'den 30,6 g/kWh'ye çıktığını görmüşlerdir. Bunun nedeni E10'un benzine göre daha hızlı yanması ve silindir içinde daha yüksek sıcaklıklara sahip olmasından olduğunu belirtmişlerdir.

Etanol kullanımı ülkelerin ihtiyaç duyduğu petrolün yanı sıra, NO_x, SO₂ ile yüzde duman miktarı emisyon değerlerinin de azalmasına sebep olacaktır (Duzcan 2017). Su karışımında farklı motor devirlerinde NO_x emisyonunda azalmaya neden olmaktadır (Morsy 2015). Söz konusu yakıt benzin yakıtına göre düşük kirletici emisyonları verir (Greenwood ve ark. 2014). Kükürt bileşikleri bulunmadığından temiz yanma gerçekleşmektedir (Keskin ve Reşitoğlu 2009). Motor performansını iyileştirmesinin yanında egzoz emisyonlarını da iyileştirebilir (Bayraktar 2005).

Tarımsal ürünlerden elde edilen yakıtların doğa dostu olması, ülkemizin tarım alanlarının geniş olması ve dört mevsimin belirgin yaşanmasından dolayı bitkisel üretime emisyon tasarrufu açısından önem verilmelidir (Çöpür ve ark. 2006). Yakıt fiyatlarının artması ile kirletici egzoz emisyon kısıtlamaları daha sıkı hale geldikçe yenilenebilir yakıtlara ilgi daha fazla olmaktadır.

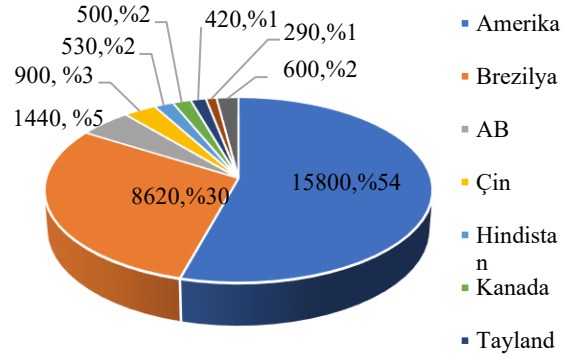
3. BULGULAR

Son birkaç on yılda, etanol önemli bir nakliye sıvı yakıtı haline geldi. Amerika Birleşik Devletleri'ndeki mısır etanolü ve Brezilya'daki şeker kamışı etanolü olgun bir endüstri olarak konularını kazanmıştır. Sürdürülebilir kaynaklardan etanole olan güçlü ilgi, biyokütleden etanol üretimi için proses teknolojisinin gelişmesine yol açmıştır. Bu alandaki araştırmalar, biyobazlı ürün endüstrisinde birçok teknolojik başarıya ve değişime yol açmıştır (Hoang ve Nghiem 2021). Ülkemizde her geçen yıl artan taşıt sayısına bağlı olarak toplam sera gazı emisyonlarında 2022 yılında CO₂ eşdeğeri olarak en büyük payı %71,8 ile

enerji kaynaklı emisyonlar alırken bunu sırasıyla %12,8 ile tarım, %12,5 ile endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı ve %2,9 ile atık sektörü takip etmiştir (TÜİK 2024). Dolayısıyla hem enerji tüketimini hem sera gazı emisyonlarını azaltmak için çalışmalar sürekli devam etmektedir. Ülkemizde 2024 yılı mayıs ayı sonundaki taşıt sayısının değişimi Şekil 16'da gösterilmektedir.

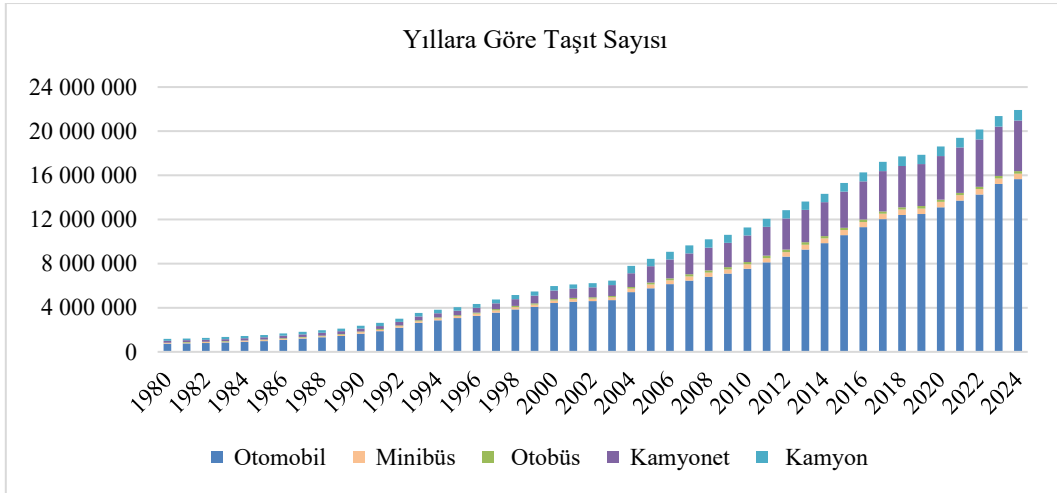
Etanol uzun süredir buji ateşlemeli motorlar için iyi bir yakıt olarak görülmektedir. Buji ateşlemeli motorlar, içten yanmalı motorları geliştirmenin başlarında etanol yakıtını kullanmaktadır. Benzine göre daha az kirletici madde yayan ve daha fazla kullanılabilirliğe sahip, nispeten düşük maliyetli bir alternatif yakıttır. Genel olarak, etanol ve etanol karışımlarının çevre açısından benzine göre daha iyi olduğu düşünülmektedir (Lee ve ark. 2022). Etanolün ülkelere göre üretim dağılımı Şekil 15'te gösterilmiştir (Wu ve ark. 2021).

Küresel etanol üretimi yüzyılın başında 18 milyar litreden 2019'da 110 milyar litreye altı kattan fazla artarak pandemi nedeniyle 2020'de sadece 98,6 milyar litreye gerilemiştir.



Şekil 15. 2019 yılında ülkelere göre etanol üretiminin (milyon galon) dağılımı (Wu ve ark. 2021).

COVID-19 pandemisinden önceki ilk beş etanol üreticisi ABD, Brezilya, Avrupa Birliği (AB), Çin ve Kanada'ydı. 2020'de Hindistan, Kanada'dan biraz daha fazla etanol üretmiştir, ancak ilk dört etanol üreticisi değişmemiştir (Mofijur ve ark. 2015).



Şekil 16. Taşıt sayısı değişimi (TÜİK. 2024).

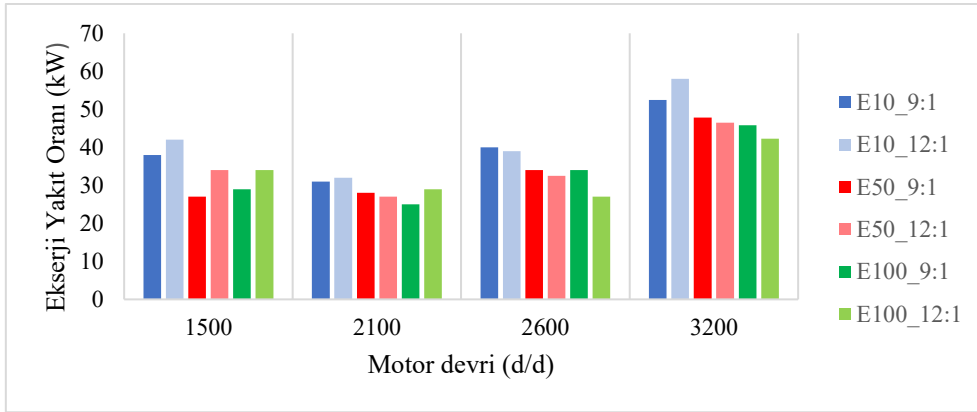
Khoa ve ark. (2022) yapmış oldukları çalışmada motor yakıtı olarak kullanılan etanolün optimum yanma süresinin 60 °KMA olarak bulmuşlardır. Su ve ark. (2022) yapmış oldukları çalışmada etanol karışımı dört farklı yakıtta etanol oranının %0'dan %20'ye, %40'tan %60'a çıkmasıyla silindir içi basınç önce artma sonra düşme eğilimi göstermekte olduğunu, E20'deki tepe silindir basıncı maksimum 3,01 MPa'ya ulaştığını görmüşlerdir. Alternatif yakıtlar arasında etanol, buji ateşlemeli motorlarda modifikasyonu olmayan mevcut motorlarla kullanımı uyumludur (Kunwer ve ark. 2022). Ekte sunulan Tablo 6'da bazı araştırmacıların yapmış olduğu çalışmalar ile ilgili emisyon verileri gösterilmektedir.

İçten yanmalı bir motordaki ekserji analizi, en büyük geri tersinmezliklerin mevcut olduğu sürecin noktalarını belirlemeye izin verir. Özünde, bu tür bir analiz, olası kullanımı için mevcut enerjinin belirlenmesinden oluşur. Şekil 17'de E10 yakıtından gelen ekserji oranının, en düşük ve en yüksek dönme hızları olan 1500 ve 3200

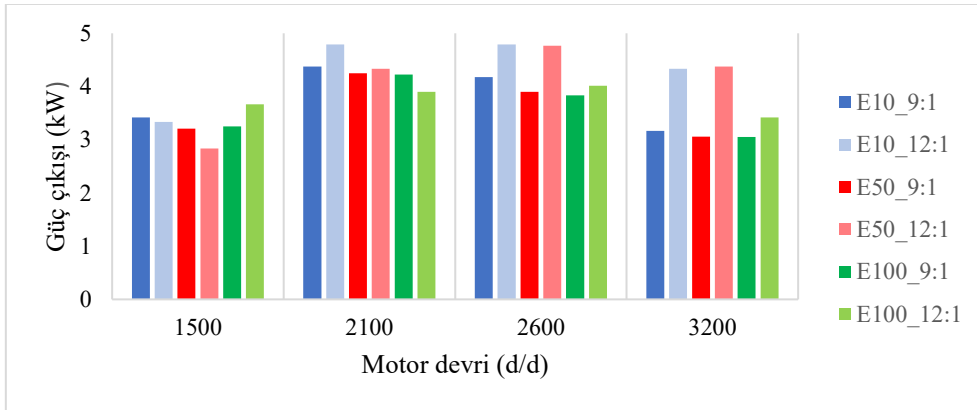
devirde çalıştırıldığında 12:1 sıkıştırma oranı ile arttığı görülmektedir. 12:1 sıkıştırma oranıyla çalışırken her dönüş hızında daha yüksek ekserji yakıt oranına sahip olan E10'un aksine; E50, 9:1 sıkıştırma oranında çalışırken 12:1'e göre daha yüksek yakıt ekserji oranına sahiptir. Bunun nedeni, motorun bu koşullarda çalışması için yakıttan daha fazla ekserji oranı talep etmesidir (Zapata ve ark. 2020). Şekil 18'de güç çıkışının, 1500 devirde E50 için minimum 2,85 kW değerinden, 12:1 sıkıştırma oranıyla 2600 devirde E10 için maksimum 4,80 kW değerine kadar değiştiğini göstermektedir. Ayrıca 3200 devirde, 12:1 sıkıştırma oranıyla çalışırken patlamaların varlığı nedeniyle E50'nin güç çıkışı, E10'a kıyasla daha üstündür. E50 ve E100'ün 12:1 sıkıştırma oranıyla (E50 için 4,76 kW ila 2600 dev/dk ve E100 için 4,38 kW ila 2100 dev/dk) çalıştırıldığında 2100 dev/dk'nın üzerindeki rejimlerde performans artışı sağladığı gözlemlenmiştir. Çünkü sıkıştırma oranındaki artış termal performansı artırır ve yanma odasındaki basıncı artırır (Zapata ve ark. 2020).

Zapata ve ark. (2020) yapmış olduğu ekserji ile ilgili çalışmalarda ekserjetik göstergeleri karşılaştırılmasından, 12:1 sıkıştırma oranında E50 ve E100 ile çalışırken motordan daha yüksek performans elde edildiği sonucuna varmışlar, bununla birlikte E100 ile çalışırken 9:1 sıkıştırma oranı, 2100 devirlik bir dönme hızında %16,46 en yüksek ekserjetik verim elde edildiğini görmüşlerdir. Ancak diğer çalışma noktalarında ve performans göstergelerinde azalma olduğunu fark etmişlerdir. Etanol geleneksel hidrokarbon (HC) yakıtların yerini alabilecek ve zararlı egzoz emisyonları

azaltabilecek potansiyel bir alternatif yakıttır. Atık malzemelerden veya doğal kaynaklardan yapılabileceği için sürdürülebilir bir seçimdir. Etanolün oktan sayısı benzine göre daha yüksek olduğundan, vuruntu önleme özellikleri daha iyidir ve daha yüksek sıkıştırma oranlarında çalışabilir. Benzinden önemli ölçüde daha yüksek buharlaşma ısısına sahip olmasının yanı sıra, aynı zamanda daha yüksek hacimsel verime ve daha güçlü bir şarj soğutma etkisine sahiptir (Uddeen ve ark. 2024).



Şekil 17. Farklı sıkıştırma oranları için ekserji yakıt oranı ve motor devri (Zapata ve ark. 2020).

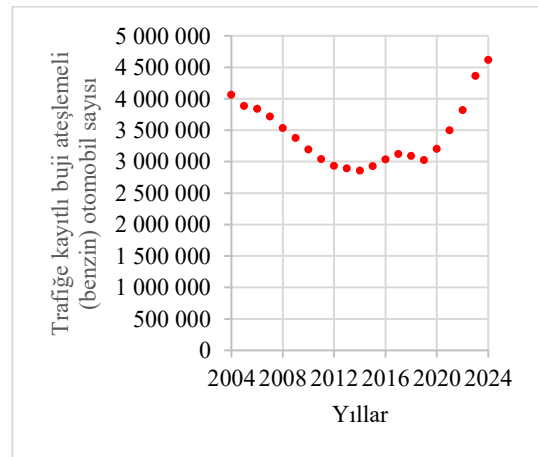


Şekil 18. Farklı sıkıştırma oranları için güç çıkışı ve motor devri (Zapata ve ark. 2020).

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

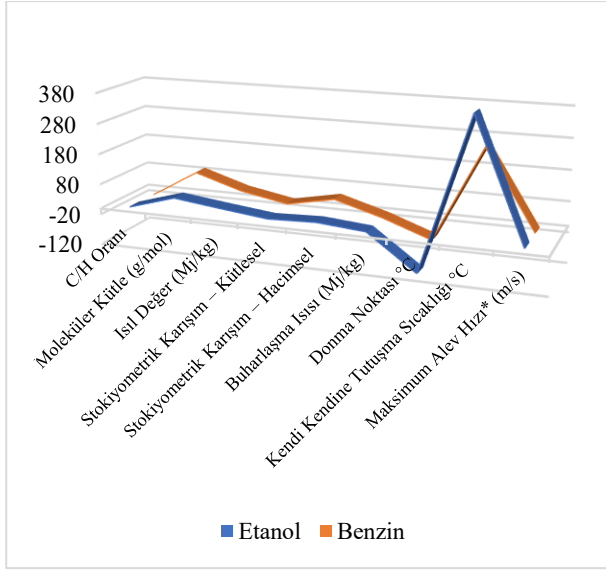
Dünya nüfusunun artmasıyla birlikte enerji ihtiyacı ile çevreye yayılan zararlı emisyon gazları her geçen gün artmaktadır. Bu yüzden bilim insanları alternatif enerji kaynakları üzerinde çalışmalarını sürdürmektedir. Alternatif yakıtlar arasında sürdürülebilir atık malzemelerden ve doğal kaynaklardan üretimi yapılabilen etanol öncelikli tercih edilen yakıtlar arasındadır. Taşıt sayısının artması ile birlikte alternatif enerji kaynakları üzerinde çalışmalar hız kazanmıştır.

Bu çalışmada buji ile ateşlemeli motorlarda alternatif yakıt olarak kullanılan etanolün performans ve emisyonlara etkisi incelenmiştir. Ülkemizde 2024 yılı mayıs ayı sonu itibarıyla trafiğe kayıtlı buji ateşlemeli motorların yıllara göre dağılımı Şekil 19'da gösterilmektedir.



Şekil 19. 2024 yılı mayıs ayı sonu itibarıyla trafiğe kayıtlı buji ateşlemeli motor sayısı (TÜİK. 2024)

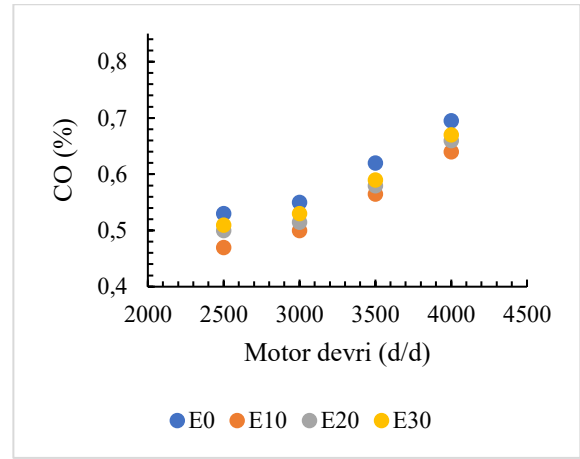
Etanolün fiziksel ve kimyasal özelliklerinden dolayı buji ile ateşlemeli motorlarda kullanılmasının daha uygun olduğu ve diğer alkollere oranla alternatif yakıt olarak kullanılmasının ön plana çıktığı görülmüştür.



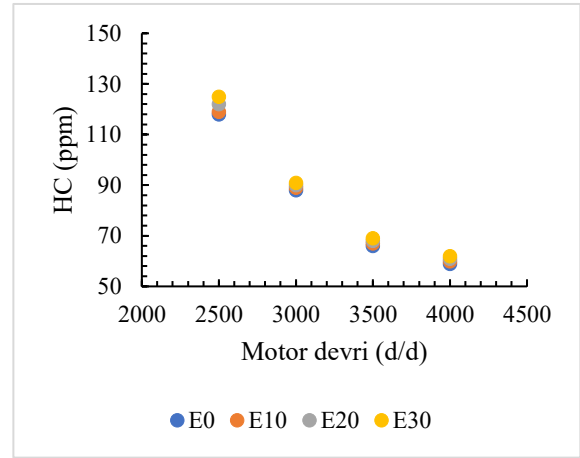
Şekil 20. Etanol/Benzin yakıtlarının fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre 3B çizgi diyagramı

Şekil 20'de Etanol/Benzin yakıtlarının fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre 3B çizgi diyagramı gösterilmiştir. İlgili diyagramda etanolün benzinli motorlarda kullanımının daha uygun olduğu görülmektedir. Sıkıştırma ateşlemeli motorlarda donanımsal teknik değişikliğe ihtiyaç duyulduğundan dolayı buji ateşlemeli motorlarda kullanımı daha uygun olduğu görülmüştür. Araştırılan çalışmalarda saf etanol ve etanol karışımlarının (E0, E5, E10, E20, vb.) buji ile ateşlemeli motor üzerindeki etkilerinin motor özelliklerine göre farklılıklar gösterdiği ve genel olarak olumlu sonuçların olduğu görülmüştür. Doğan ve ark. (2017) dört silindirli, dört zamanlı buji ateşlemeli motor (Ford Vsg 413, 48 kW) üzerinde yapmış oldukları deneysel çalışmada benzine etanol ilavesinin emisyonlarda olumlu sonuçlar çıkardığını görmüşlerdir.

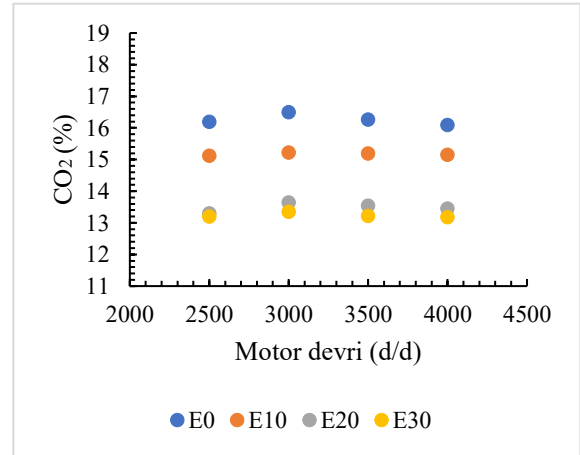
Farklı motor devirlerinde yapılan deneylerde motor devrine göre en yüksek CO emisyonu Şekil 21'de görüldüğü gibi E0 yakıtı ile ölçülmüştür. Etanolün benzine göre daha iyi buharlaşması ve kimyasal yapısındaki oksijen içeriği nedeniyle daha temiz yanmayı sağlar. Benzine eklenen etanol miktarı arttıkça CO emisyonunun azaldığı görülmektedir. Hidrokarbon emisyonu, egzozdan atılan tüketilmemiş yakıttan oluşur. Şekil 22'de verildiği gibi tüm yakıtlar için motor devri arttıkça HC emisyonu azalmaktadır. Motor devri arttıkça silindir içerisinde daha homojen bir karışım elde edildiğinden HC emisyonu azalma eğilimi göstermektedir. HC emisyonunun oluşumunda zaman kadar ısı da önemlidir. Etanol ilave edildiğinde silindir içi sıcaklığın azalmasıyla birlikte etanol ilaveli yakıtların daha yüksek HC emisyonu gösterdiği tespit edilmiştir. Yakıtların karbon bileşikleriyle yanması CO₂ emisyonuna neden olur.



Şekil 21. Motor hızına bağlı olarak CO emisyonları üzerindeki değişim ile ilgili serpilme diyagramı

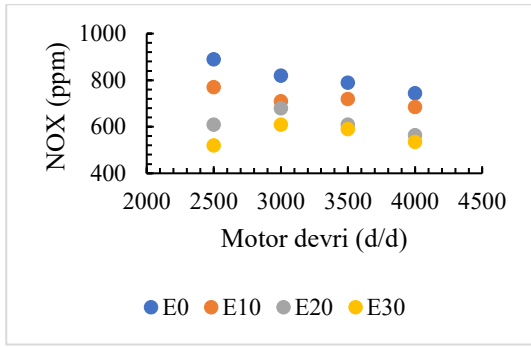


Şekil 22. Motor hızına bağlı olarak HC emisyonları üzerindeki değişim ile ilgili serpilme diyagramı



Şekil 23. Motor hızına bağlı olarak CO₂ emisyonları üzerindeki değişim ile ilgili serpilme diyagramı

CO₂ emisyonundaki artış, silindir içindeki yakıtın yanmasının tam yanmaya daha yakın olduğunu göstermektedir. Şekil 23'te en yüksek CO₂ emisyon değeri E0 ile 3000 devir/dakikada görülmektedir. Yüksek ateşleme avansı, yüksek motor ısıtması ve EGR sisteminin olmayışı NO_x oluşumunu artırmaktadır. Şekil 24'te motor devrine bağlı olarak NO_x değerindeki değişimi göstermektedir.



Şekil 24. Motor hızına bağlı olarak NO_x emisyonları üzerindeki değişim ile ilgili serpilme diyagramı

KAYNAKLAR

- Altun Ş, Adin MŞ, İlçin K (2023). Monohydric aliphatic alcohols as liquid fuels for using in internal combustion engines: A review. *Journal of Process Mechanical Engineering*, 238(4): 1941-1975.
- Balat M, Balat H, Öz C (2008). Progress in bioethanol processing. *Progress in Energy and Combustion Science*, 34(5): 551-573.
- Baliç F (2007). Dizel motorunda etil alkol fumigasyonunun motor performansına etkisinin deneysel olarak incelenmesi. Yüksek lisans, Sakarya Üniversitesi.
- Bayraktar H (2005). Experimental and theoretical investigation of using gasoline ethanol blends in spark ignition engines. *Renewable Energy*, 30(11): 1733-1747.
- Cavalcanti EJC, Da Silva DRS, Carvalho M (2022). Life cycle and exergoenvironmental analyses of ethanol: performance of a flex-fuel spark-ignition engine at wide-open throttle conditions, 2022(15): 1422.
- Çelik MB, Çolak A (2008). Buji ateşlemeli bir motorda alternatif yakıt olarak saf etanolün kullanılması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23(3): 619-626.
- Chansauria P, Mandloi RK (2018). Effects of ethanol blends on performance of spark ignition engine a review. *Materials Today: Proceedings*, 5(2): 4066-4077.
- Cooney CP, Yeliana, Worm JJ, Naber JD (2009). Combustion characterization in an internal combustion engine with ethanol gasoline blended fuels varying compression ratios and ignition timing. *Energy & Fuels*, 23(5): 2319-2324.
- Çöpür Y, Tozluoğlu A, Özyürek Ö (2006). Selülozik biyoetanol üretim teknolojisi. *Ormanlık Dergisi*, 10-37.
- Dhanda DY, Choudhari CS, Gaikwad DP, Dahe KB (2023). Development of artificial neural network to predict the performance of spark ignition engine fuelled with waste pomegranate ethanol blends. *Information Processing In Agriculture*, 2023(10): 459-474.
- Dehanda DY, Sinaga N, Dahe KB (2021). Study on combustion, performance and exhaust emissions of bioethanol-gasoline blended spark ignition engine. *Heliyon*, 2021(7).
- Demirci A, Doğan H E, Cihan Ö, Kutlar OA, Mediyev R, Arslan H (2017). Yeni bir yanma odasına sahip benzin motorunda farklı sıkıştırma oranlarının ve ateşleme avanslarının performans ve emisyonlara etkisi. *SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21(5): 1-1.
- Doğan B, Erol D, Yaman H, Kodanlı E (2017). The effect of ethanol-gasoline blends on performance and exhaust emissions of a spark ignition engine through exergy analysis. *Applied Thermal Engineering*, 120: 433-443.
- Duzcan B (2017). Etanol dizel yakıt karışımlarının kısmi homojen dolgulu bir dizel motorun performansına etkisi. Yüksek lisans, Sakarya Üniversitesi.
- Estrada WG, Cambonel DM, Silvera AB, Quiroga AG, Forero JD (2021). Combustion and performance evaluation of a spark ignition engine operating with acetone-butanol-ethanol and hydroxy. *Applied Sciences*, 11.
- Greenwood JB, Erickson PA, Hwang J, Jordan EA (2014). Experimental results of hydrogen enrichment of ethanol in an ultra lean internal combustion engine. *International Journal of Hydrogen Energy*, 39(24): 12980-12990.
- Gürsel O (2017). Metanol benzin, etanol benzin ve metanol etanol benzin karışımlarının buji ile ateşlemeli bir motorun performans ve egzoz emisyonlarına etkilerinin incelenmesi. Yüksek lisans, Ondokuz Mayıs Üniversitesi.
- Hoang TD, Nghiem N (2021). Recent developments and current status of commercial production of fuel ethanol. *Fermentation*, 7(4).

- İlçin K (2020). İzopropanol bütanol etanol (İbe)'ün dizel ve biyodizel yakıtları ile karışımlarının bir dizel motorunda yanma ve emisyon karakteristiklerine etkisi. Yüksek lisans, Batman üniversitesi.
- İmrağ H (2006). Benzinli motorlarda biyoetanol kullanımının motor karakteristik değerlerine ve egzoz emisyonlarına etkilerinin araştırılması. Yüksek lisans, Balıkesir üniversitesi.
- Iodice P, Cardone M (2021). Ethanol gasoline blends as alternative fuel in last generation spark ignition engines a review on co and hc engine out emissions. *Energies*, 14(13).
- Iodice P, Amoresano A, Langella G (2021). A review on the effects of ethanol/gasoline fuel blends on NO_x emissions in spark-ignition engines. *Biofuel Research Journal*, 32 (2021): 1465-1480.
- Kantaroğlu E (2024). Influence of different reynolds numbers and new geometries on water jacket cooling performance in a CI engine. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, 2024.
- Kantaroğlu E, Doğan A (2024). Ticari buji ateşlemeli bir motorda JP8 askeri jet yakıtı ve amorf elementel bor yakıtlarının kullanımının NO_x emisyonlarına etkisinin deneysel incelenmesi, 7(1): 45-57.
- Keskin A, Reşitoğlu Aİ (2009). Butanol, etanol ve benzin karışımlarının buji ile ateşlemeli motorlarda özgül yakıt tüketimi ve emisyona olan etkisi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 24(1).
- Khoa NX, Lim O (2022). Influence of combustion duration on the performance and emission characteristics of a spark ignition engine fueled with pure methanol and ethanol. *ACS Omega*, 7(17): 14505-14515.
- Kumbhar SV, Khot SA (2023). Experimental investigations of ethanol-gasoline blends on the performance, combustion, and emission characteristics of spark ignition engine spark ignition (SI) engine with partial addition of n-pentane. *Materials Today: Proceedings*, 77: 647-653.
- Kunwer R, Pasupuleti SR, Bhurat SS, Gugulothu SK, Singh D (2022). Effect of ethanol gasoline blend on spark ignition engine: a mini review. *Materials Today: Proceedings*, 69: 564-568.
- Lee CS, Huu TP, Anh TL, Minh TP, The LN, Duy TN, Duc KN (2022). Experimental study on the effects of ethanol blends on the combustion process, power performance and emission reduction of a motorcycle spark-ignition engine. *International Journal of Ambient Energy*, 43(1): 7150-7160.
- Meral R, Saydan Kanberoğlu G (2012). Tahıllardan etanol üretimi. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2(3):61-68.
- Mofijur M, Rasul MG, Hyde J (2015). Recent developments on internal combustion engine performance and emissions fuelled with biodiesel diesel ethanol blends. *Procedia Engineering*, 105(Ictc 2014): 658-664.
- Morsy MH (2015). Assessment of a direct injection diesel engine fumigated with ethanol water mixtures. *Energy Conversion and Management*, 94: 406-414.
- Öğüt H, Kuş R (1999). Motorluta taşıtlarda alternatif yakıt kullanımı. II. Ulaşım ve Trafik Kongresi. Konya, Türkiye.
- Örs İ, Tarakçioğlu N, Ciniviz M (2009). Yakıt olarak benzin etanol karışımlarının taşıt performansı ve egzoz emisyonlarına etkisi. *Politeknik Dergisi*, 12(1): 13-19.
- Özer S (2014). Alkollerin içten yanmalı motorlarda alternatif yakıt olarak kullanılması. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 19(1): 97-114.
- Pang X, Mu Y, Yuan J, He H (2008). Carbonyls emission from ethanol blended gasoline and biodiesel ethanol diesel used in engines. *Atmospheric Environment*, 42(6): 1349-1358.
- Poulopoulos SG, Samaras DP, Philippopoulos CJ (2001). Regulated and unregulated emissions from an internal combustion engine operating on ethanol containing fuels. *Atmospheric Environment*, 35(26): 4399-4406.
- Saria RL, Golke D, Enzweiler HJ, Salau NPG, Pereira FM, Martins MES (2018). Exploring optimal operating conditions for wet ethanol use in spark ignition engines. *Applied Thermal Engineering*, 138(April): 523-533.
- Sarıdemir S, Erkalı B (2016). Etanol benzin karışımlarının motor performansı ve egzoz emisyonlarına olan etkisinin incelenmesi. *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 5(1): 71-79.
- Sayın C, Şenbahçe A, Temür M (2014). Alkol yakıtların buji ateşlemeli motorlarda kullanımının performans ve emisyonlara etkisinin incelenmesi. *Marmara University Journal of Science*, 26(1): 21.
- Sikora M, Orliński P (2024). Hydrotreated vegetable oil fuel within the fit for 55 package. *Combustion Engines*, 197(2): 3-8.
- Su Y, Zhang Y, Xie F, Duan J, Li X, Liu Y (2022). Influence of ethanol blending ratios on in-cylinder soot processes and particulate matter emissions in an optical direct injection spark ignition engine. *Fuel*, 2022(308).

- Suresh D, Porpatham E (2023). Influence of high compression ratio and hydrogen addition on the performance and emissions of a lean burn spark ignition engine fueled by ethanol-gasoline. *International Journal Of Hydrogen Energy*, 2023(48): 14433-14448.
- Suresh D, Porpatham E (2024). Influence of high compression ratio on the performance of ethanol-gasoline fuelled lean burn spark ignition engine at part throttle condition. *Case Studies in Thermal Engineering*, 2024(53).
- Şimşek S, Özdalyan B, Öztürk E, Şimşek H (2018). Alternatif yakıt olarak araçlarda biyoetanolün kullanılması. 14th International Combustion Symposium (INCOS2018). Karabük, Türkiye.
- Stępień Z (2024). Analysis of the prospects for hydrogen-fuelled internal combustion engines. *Combustion Engines*, 197(2): 32-41.
- Tang Q, Ren K, Xie X, Chen T, Jiang P, Zhang D (2023). The effect of acetone-butanol-ethanol and gasoline blends on the knocking performance of spark-ignition engine. *Thermal Science and Engineering Progress*, 2023(46).
- Temizer İ (2020). The combustion analysis and wear effect of biodiesel fuel used in a diesel engine. *Fuel*, 270.
- Türk İstatistik Kurumu (2024). <https://data.tuik.gov.tr>.
- Türköz N (2012). Etanol-Benzin karışımlarının motor performansını ve emisyonlarına etkisi. Yüksek lisans, Uludağ üniversitesi.
- Uddeen K, Tang Q, Shi H, Turner J (2024). Performance and emission analysis of ammonia-ethanol and ammonia-methane dual-fuel combustion in a spark-ignition engine: an optical study. *Fuel*, 2024(358).
- Vargün M, Hürpekli M, Özzsezen AN (2020). Etanol dizel yakıt karışımları kullanılan bir motorda yakıt püskürtme zamanının yanma üzerine etkisi. *Mühendislikte Yakıtlar, Yangın ve Yanma Dergisi*, 8(8): 47-55.
- Wang X, Gao J, Chen Z, Chen H, Zhao Y, Huang Y, Chen Z (2022). Evaluation of hydrous ethanol as a fuel for internal combustion engines a review. *Renewable Energy*, 194: 504-525.
- Wu B, Wang YW, Dai YH, Song C, Zhu QL, Qin H, Tan FR, Chen HC, Dai LC, Hu GQ, He MX (2021). Current status and future prospective of bio ethanol industry in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 145.
- Yüksel T, Temizer İ, Can İ, Koca F (2019). Benzinli bir motorda ısıtılmış biyoetanolün ikincil yakıt olarak kullanımının incelenmesi. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 31(1): 67-77.
- Zapata MJ, Restrepo A, Romero C, Quintero H (2020). Exergy analysis of a diesel engine converted to spark ignition operating with diesel, ethanol and gasoline ethanol blends. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 42.
- Zhang J, Sun P, Yu X, Li D (2024). The effects of hydrogen peroxide-ethanol blend/gasoline on the combustion and emission performance of a combined injection spark ignition engine. *Journal of Cleaner Production*, 2024(450).

EK

Tablo 6. Bazı araştırmacıların yapmış olduğu çalışmalar ile ilgili emisyon değerleri

Araştırmacılar	Motor Özellikleri	Yakıt	Devir/Hız	CO (%)	CO ₂ (%)	HC (ppm)	NO _x (ppm)
Costa ve ark. (2009)	Dört zamanlı, dört silindirli,8 valfli buji ateşlemeli motor	Benzin Etanol Karşımı	2500	~3	~12,60	~480	~680
Costa ve ark. (2009)	Dört zamanlı, dört silindirli,8 valfli buji ateşlemeli motor	Benzin Etanol Karşımı	3000	~3,80	~12,25	~400	~700
Costa ve ark. (2009)	Dört zamanlı, dört silindirli,8 valfli buji ateşlemeli motor	Benzin Etanol Karşımı	3500	~4,25	~11,95	~340	~650
Costa ve ark. (2009)	Dört zamanlı, dört silindirli,8 valfli buji ateşlemeli motor	Benzin Etanol Karşımı	4000	~4,40	~11,85	~330	~690
Doğan ve ark. (2017)	Dört silindirli dört zamanlı buji ateşlemeli motor Ford Vsg 413, 48 kW	E0	2500	~0,53	~16,20	~118	~890
Doğan ve ark. (2017)	Dört silindirli dört zamanlı buji ateşlemeli motor Ford Vsg 413, 48 kW	E0	3000	~0,55	~16,5	~88	~820
Doğan ve ark. (2017)	Dört silindirli dört zamanlı buji ateşlemeli motor Ford Vsg 413, 48 kW	E0	3500	~0,62	~16,27	~66	~790
Doğan ve ark. (2017)	Dört silindirli dört zamanlı buji ateşlemeli motor Ford Vsg 413, 48 kw	E0	4000	~0,695	~16,1	~59	~745
Doğan ve ark. (2017)	Dört silindirli dört zamanlı buji ateşlemeli motor Ford Vsg 413, 48 kw	E10	2500	~0,47	~15,12	~119	~770
Doğan ve ark. (2017)	Dört silindirli dört zamanlı buji ateşlemeli motor Ford Vsg 413, 48 kw	E10	3000	~0,5	~15,225	~89	~710
Doğan ve ark. (2017)	Dört silindirli dört zamanlı buji ateşlemeli motor Ford Vsg 413, 48 kw	E10	3500	~0,565	~15,2	~67	~720
Doğan ve ark. (2017)	Dört silindirli dört zamanlı buji ateşlemeli motor Ford Vsg 413, 48 kw	E10	4000	~0,64	~15,15	~60	~685
Doğan ve ark. (2017)	Dört silindirli dört zamanlı buji ateşlemeli motor Ford Vsg 413, 48 kw	E20	2500	~0,5	~13,3	~122	~610
Doğan ve ark. (2017)	Dört silindirli dört zamanlı buji ateşlemeli motor Ford Vsg 413, 48 kw	E20	3000	~0,515	~13,65	~90	~680
Doğan ve ark. (2017)	Dört silindirli dört zamanlı buji ateşlemeli motor Ford Vsg 413, 48 kw	E20	3500	~0,58	~13,55	~68	~610
Doğan ve ark. (2017)	Dört silindirli dört zamanlı buji ateşlemeli motor Ford Vsg 413, 48 kw	E20	4000	~0,66	~13,45	~61	~565
Doğan ve ark. (2017)	Dört silindirli dört zamanlı buji ateşlemeli motor Ford Vsg 413, 48 kw	E30	2500	~0,51	~13,2	~125	~520
Doğan ve ark. (2017)	Dört silindirli dört zamanlı buji ateşlemeli motor Ford Vsg 413, 48 kw	E30	3000	~0,53	~13,35	~91	~610
Doğan ve ark. (2017)	Dört silindirli dört zamanlı buji ateşlemeli motor Ford Vsg 413, 48 kw	E30	3500	~0,585	~13,25	~69	~590
Doğan ve ark. (2017)	Dört silindirli dört zamanlı buji ateşlemeli motor Ford Vsg 413, 48 kw	E30	4000	~0,669	~13,18	~62	~535
Çelik ve ark. (2008)	Tek silindirli, hava soğutmalı, 4 zamanlı,250 cm ³ motor hacmine sahip, Lombardini (S.O. 10)	Etanol	1500	~2,75	~8,80	~550	~1900
Çelik ve ark. (2008)	Tek silindirli, hava soğutmalı, 4 zamanlı,250 cm ³ motor hacmine sahip, Lombardini (S.O. 10)	Etanol	2000	~2,35	~10,1	~490	~1740
Çelik ve ark. (2008)	Tek silindirli, hava soğutmalı, 4 zamanlı,250 cm ³ motor hacmine sahip, Lombardini (S.O. 10)	Etanol	2500	~1,85	~11,90	~390	~1600
Çelik ve ark. (2008)	Tek silindirli, hava soğutmalı, 4 zamanlı,250 cm ³ motor hacmine sahip, Lombardini (S.O. 10)	Etanol	3000	~1,70	~12,15	~320	~1350
Örs ve ark. (2009)	Fiat Albea 1.2 Active EL 1242 cm ³	E0	20 km/h 2.vites	~0,40	~14,80	~46	-
Örs ve ark. (2009)	Fiat Albea 1.2 Active EL 1242 cm ³	E0	40 km/h 2.vites	~0,25	~14,70	~43	-
Örs ve ark. (2009)	Fiat Albea 1.2 Active EL 1242 cm ³	E0	60 km/h 2.vites	~0,45	~14,75	~33	-
Örs ve ark. (2009)	Fiat Albea 1.2 Active EL 1242 cm ³	E0	80 km/h 2.vites	~1,05	~14,60	~10	-
Örs ve ark. (2009)	Fiat Albea 1.2 Active EL 1242 cm ³	E10	20 km/h 2.vites	~0,15	~14,85	~4,95	-

Örs ve ark. (2009)	Fiat Albea 1.2 Active EL 1242 cm ³	E10	40 km/h 2.vites	~0,80	~14,15	~6,75	-
Örs ve ark. (2009)	Fiat Albea 1.2 Active EL 1242 cm ³	E10	60 km/h 2.vites	~0,20	~14,90	~6,80	-
Örs ve ark. (2009)	Fiat Albea 1.2 Active EL 1242 cm ³	E10	80 km/h 2.vites	~1,85	~14,10	~8,5	-
Örs ve ark. (2009)	Fiat Albea 1.2 Active EL 1242 cm ³	E20	20 km/h 2.vites	~0,30	~15,30	~28,5	-
Örs ve ark. (2009)	Fiat Albea 1.2 Active EL 1242 cm ³	E20	40 km/h 2.vites	~0,80	~14,75	~22	-
Örs ve ark. (2009)	Fiat Albea 1.2 Active EL 1242 cm ³	E20	60 km/h 2.vites	~0,35	~14,85	~15	-
Örs ve ark. (2009)	Fiat Albea 1.2 Active EL 1242 cm ³	E20	80 km/h 2.vites	~2,40	~13,65	~26	-
Örs ve ark. (2009)	Fiat Albea 1.2 Active EL 1242 cm ³	E30	20 km/h 2.vites	~1,15	~14,20	~19	-
Örs ve ark. (2009)	Fiat Albea 1.2 Active EL 1242 cm ³	E30	40 km/h 2.vites	~0,10	~16	~9,25	-
Örs ve ark. (2009)	Fiat Albea 1.2 Active EL 1242 cm ³	E30	60 km/h 2.vites	~0,425	~14,65	~27	-
Örs ve ark. (2009)	Fiat Albea 1.2 Active EL 1242 cm ³	E30	80 km/h 2.vites	~0,20	~14,80	~11	-
Sarıdemir ve ark. (2016)	Tek silindir Honda GX390,389 cm ³ , 9.6 kW	E0	1250	~9,20	~7,80	~85	-
Sarıdemir ve ark. (2016)	Tek silindir Honda GX390,389 cm ³ , 9.6 kW	E0	1750	~8,30	~8,10	~70	-
Sarıdemir ve ark. (2016)	Tek silindir Honda GX390,389 cm ³ , 9.6 kW	E0	2250	~6,90	~10,90	~53	-
Sarıdemir ve ark. (2016)	Tek silindir Honda GX390,389 cm ³ , 9.6 kW	E0	2750	~5,00	~13,00	~45	-
Sarıdemir ve ark. (2016)	Tek silindir Honda GX390,389 cm ³ , 9.6 kW	E0	3250	~3,00	~12,25	~38	-
Sarıdemir ve ark. (2016)	Tek silindir Honda GX390,389 cm ³ , 9.6 kW	E0	3750	~2,00	~11,75	~28	-
Sarıdemir ve ark. (2016)	Tek silindir Honda GX390,389 cm ³ , 9.6 kW	E10	1250	~9,00	~7,95	~72	-
Sarıdemir ve ark. (2016)	Tek silindir Honda GX390,389 cm ³ , 9.6 kW	E10	1750	~8,10	~9,90	~55	-
Sarıdemir ve ark. (2016)	Tek silindir Honda GX390,389 cm ³ , 9.6 kW	E10	2250	~6,20	~11,80	~48	-
Sarıdemir ve ark. (2016)	Tek silindir Honda GX390,389 cm ³ , 9.6 kW	E10	2750	~4,50	~13,25	~40	-
Sarıdemir ve ark. (2016)	Tek silindir Honda GX390,389 cm ³ , 9.6 kW	E10	3250	~2,60	~13,10	~35	-
Sarıdemir ve ark. (2016)	Tek silindir Honda GX390,389 cm ³ , 9.6 kW	E10	3750	~1,90	~12,00	~23	-
Sarıdemir ve ark. (2016)	Tek silindir Honda GX390,389 cm ³ , 9.6 kW	E20	1250	~8,90	~8,90	~61	-
Sarıdemir ve ark. (2016)	Tek silindir Honda GX390,389 cm ³ , 9.6 kW	E20	1750	~7,90	~10,00	~48	-
Sarıdemir ve ark. (2016)	Tek silindir Honda GX390,389 cm ³ , 9.6 kW	E20	2250	~5,50	~11,95	~38	-
Sarıdemir ve ark. (2016)	Tek silindir Honda GX390,389 cm ³ , 9.6 kW	E20	2750	~4,00	~13,50	~32	-
Sarıdemir ve ark. (2016)	Tek silindir Honda GX390,389 cm ³ , 9.6 kW	E20	3250	~2,10	~12,90	~27	-
Sarıdemir ve ark. (2016)	Tek silindir Honda GX390,389 cm ³ , 9.6 kW	E20	3750	~1,50	~12,20	~20	-
Sarıdemir ve ark. (2016)	Tek silindir Honda GX390,389 cm ³ , 9.6 kW	E30	1250	~8,20	~9,00	~60	-
Sarıdemir ve ark. (2016)	Tek silindir Honda GX390,389 cm ³ , 9.6 kW	E30	1750	~7,20	~10,10	~43	-
Sarıdemir ve ark. (2016)	Tek silindir Honda GX390,389 cm ³ , 9.6 kW	E30	2250	~5,10	~12,50	~30	-
Sarıdemir ve ark. (2016)	Tek silindir Honda GX390,389 cm ³ , 9.6 kW	E30	2750	~3,10	~14,00	~25	-
Sarıdemir ve ark. (2016)	Tek silindir Honda GX390,389 cm ³ , 9.6 kW	E30	3250	~1,90	~13,10	~18	-

Sarıdemir ve ark. (2016)	Tek silindir Honda GX390,389 cm ³ , 9.6 kW	E30	3750	~1,00	~12,80	~12	-
Sarıdemir ve ark. (2016)	Tek silindir Honda GX390,389 cm ³ , 9.6 kW	E40	1250	~7,50	~10,00	~52	-
Sarıdemir ve ark. (2016)	Tek silindir Honda GX390,389 cm ³ , 9.6 kW	E40	1750	~6,20	~11,10	~35	-
Sarıdemir ve ark. (2016)	Tek silindir Honda GX390,389 cm ³ , 9.6 kW	E40	2250	~4,20	~12,80	~30	-
Sarıdemir ve ark. (2016)	Tek silindir Honda GX390,389 cm ³ , 9.6 kW	E40	2750	~2,50	~14,10	~20	-
Sarıdemir ve ark. (2016)	Tek silindir Honda GX390,389 cm ³ , 9.6 kW	E40	3250	~1,50	~13,10	~13	-
Sarıdemir ve ark. (2016)	Tek silindir Honda GX390,389 cm ³ , 9.6 kW	E40	3750	~0,50	~12,90	~10	-