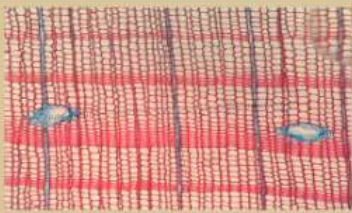
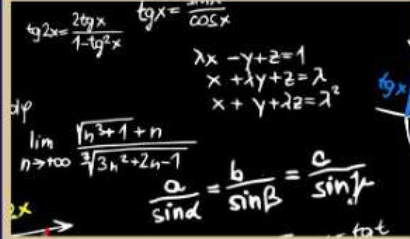
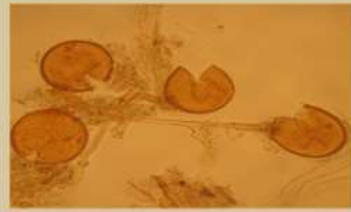




BARTIN ÜNİVERSİTESİ
ULUSLARARASI FEN BİLİMLERİ DERGİSİ

JONAS



Bartın University International Journal of Natural
and Applied Sciences

Bartın Üniversitesi Uluslararası Fen Bilimleri Dergisi

Bartın University International Journal of Natural And Applied Sciences (JONAS)

Publisher and Editor's Office

Bartın University
Institute of Science
1st Floor, Agdaci District, Agdaci Campus
74100 Bartın-Turkey
Tel: +90(378) 223 5422, Fax: +90(378) 2235424
E-mail: jonas@bartin.edu.tr

Editor-in-Chief

Hatice Selma ÇELİKİYAY, *Prof.*

Co-editor and Technical Editor

Şahin PALTA, *Assoc. Prof.*
Emrah ALTUN, *Assoc. Prof.*
Pınar BOLLUKCU, *Assoc. Prof.*
Parham TASLİMİ, *Assist. Prof.*

Editorial Board

Afer ALİFOV
Baku Engineering University, Azerbaijan.

Ahmet Alper BABALIK
Applied Sciences University of Isparta, Turkey.

Ahmet KARADAĞ
Yozgat University, Turkey.

Ahmet TUTUŞ
Kahramanmaraş University, Turkey.

Aysel USLU
Ankara University, Turkey.

Azize Toper KAYGIN
Bartın University, Turkey.

Azmihan AZİMOV
Azerbaijan University of Architecture and Construction,
Azerbaijan.

Barbaros YAMAN
Bartın University, Turkey.

Bülent KAYGIN
Bartın University, Turkey.

Cemil ALKAN

Gaziosmanpaşa University, Turkey.

Ercan TUNÇ
Gaziosmanpaşa University, Turkey.

Gonzalo Martinez BARRERA
Autonomous University of the State of Mexico, Mexico

Hamit AYBERK
İstanbul University, Turkey.

Harun PARLAR
Technical University of Munich, Germany.

İclal DİNÇER
Yıldız Technical University, Turkey.

İlham PİRMAMEDOV
Azerbaijan Technical University, Azerbaijan.

İsa HALİLOV
Azerbaijan Technical University, Azerbaijan.

İsmet Dasedemir
Bartın University, Turkey.

Joan Jose del Coz DIAZ
University of Oviedo, Spain.

Lokman ÖZTÜRK
Gaziosmanpaşa University, Turkey.

Mahfuz ELMASTAŞ
University of Health Sciences, Turkey.

Mustafa Sabri GÖK
Bartın University, Turkey.

Nilgül KARADENİZ
Ankara University, Turkey.

Oğuzhan SARIKAYA
Bursa Technical University, Turkey.

Orhan UZUN
Bartın University, Turkey.

Osman GENCEL
Bartın University, Turkey.

Ömer KARA
Karadeniz Technical University, Turkey.

Sabir ORUCOV
Baku Engineering University, Azerbaijan.

Sebahat AÇIKSÖZ
Bartın University, Turkey.

Selma ÇELİKİYAY
Bartın University, Turkey.

Selman KARAYILMAZLAR
Bartın University, Turkey.

Witold BROSTOW
University of North Texas, U.S.A.

JONAS is a peer reviewed journal which is published twice in a year (July and December) and only published as online. Original researches and invited review papers in English and Turkish are accepted to publication in the JONAS. The manuscripts submitted to the JONAS are double-blind peer reviewed, and the review process is completed in 30 days. According to the reviewers' comments, the submitted manuscripts are accepted or rejected. Manuscripts must be submitted with the understanding that they have not been published elsewhere and are not currently under consideration by another journal. JONAS is an open access journal, and provides immediate open access to its content on the principle that making research freely available to the public supports a greater global exchange of knowledge. Publishing in JONAS is free of charge.

Bartın University International Journal of Natural and Applied Sciences should be abbreviated as JONAS.

JONAS is open access, and the JONAS provides immediate open access to its content on the principle that making research freely available to the public supports a greater global exchange of knowledge. All articles in this journal are available free of charge from <http://dergipark.gov.tr/jonas>.

Both the University of Bartın and Institute of Science do not accept responsibility for the statements made or for the opinions expressed in the Bartın University International Journal of Natural and Applied Sciences (JONAS). The university makes no representation or warranty of any kind, concerning the accuracy, completeness, suitability or utility of any information, apparatus, product or processes discussed in this publication; therefore it assumes no liability. Except for fair copying, no part of this publication may be produced, stored in a retrieval system in any form or by any means electronic, mechanical, etc. or otherwise without the prior written permission of the JONAS and without reference.

Bartın Üniversitesi ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Bartın Üniversitesi Uluslararası Fen Bilimleri Dergisi (JONAS) yayınlarında varılan sonuçlar veya fikirlerin sorumluluğunu taşımamaktadır. Üniversitenin, bu yayında ileri sürülen bilgi, alet, ürün ya da işlevlerin doğruluğu, bütünlüğü, uygunluğu ve kullanılabilirliği konusunda bir yüklenimi ve iddiası bulunmamaktadır. Bu sebeple herhangi bir nedenle sorumlu tutulamaz. Bu yayının herhangi bir kısmı, JONAS'ın yazılı izni olmadıkça kaynak gösterilmeden yayınlanamaz, bilgi saklama sistemine alınamaz veya elektronik, mekanik vb. sistemlerle çoğaltılamaz.

<u>Contents</u>	
<u>Articles</u>	<u>Pages</u>
The Effect of Dam Reservoirs In Firat Basin to the Outdoor Temperature Parameters of the Region Cities Ayse BICER	1-9
Evaluation of Ehrami Black Pine Plantations in Isparta District: 30th Year Results..... <i>Isparta Yöresi Ehrami Karaçam Ağaçlandırmalarının Değerlendirilmesi: 30. Yıl Sonuçları</i> Recep KARTAL, Nebi BİLİR	10-17
Sustainable Hydrogen Production Technologies: Biomass-Based Approaches..... <i>Sürdürülebilir Hidrojen Üretim Teknolojileri: Biyokütle Temelli Yaklaşımlar</i> Kübra AL, Ezgi BAYRAKDAR ATEŞ	18-37
Evaluation of Some Silvicultural Practices in Kutahya District..... <i>Kütahya Yöresi Bazı Silvikültürel Uygulamaların Değerlendirilmesi</i> Gülnur SABA ERTUĞRUL, Nebi BİLİR	38-46
Building Residence Area Extraction Process with Polynomial Approach in Free Building Identity Zoning Plots..... Selim TAŞKAYA	47-56
The Phytoplankton Ecology of Üzümcü Stream (Balıkesir)..... <i>Üzümcü Çayı (Balıkesir) Fitoplankton Ekolojisi</i> Kemal ÇELİK	57-64
Determination of Total Phenolic, Antioxidant, Chlorophyll and Carotenoid Amounts of <i>Lavandula angustifolia</i> (Lavender) and <i>Salvia rosmarinus</i> (Rosemary) under Heavy Metal (Cu^{2+} , Cd^{2+}) Stress..... <i>Ağır Metal (Cu^{2+}, Cd^{2+}) Stresi Uygulanan <i>Lavandula angustifolia</i> (Lavanta) ve <i>Salvia rosmarinus</i> (Biberiye) Bitkilerinin Toplam Fenolik, Antioksidan, Klorofil ve Karotenoid Miktarının Belirlenmesi</i> Abayhan BURAN, Murat Ersin DURĞUN, Erhan KARAMAN	65-77

THE EFFECT OF DAM RESERVOIRS IN FIRAT BASIN TO THE OUTDOOR TEMPERATURE PARAMETERS OF THE REGION CITIES

Ayşe Bicer

Department of Bio Engineering, Malatya Turgut Ozal University, Malatya Turkey

Abstract

In this study, the effect of Keban, Karakaya, Atatürk, Birecik and Karkamis dam reservoirs to the outdoor temperature and relative humidity parameters of the region cities was investigated. For the determination of the outdoor temperature, the mean of the minimum temperatures were taken as the meteorological dates for January, February and December which are the coldest months of the year for winter condition and the maximum temperatures were taken for June, July, August, and September for summer condition. The outdoor temperature and relative humidity calculations of the cities were made for three observation processes based on the before and after of the Keban Dam water filling date, the Karakaya Dam filling date and the Atatürk Dam water filling date. Five provinces in the region, Elazığ, Malatya, Diyarbakir, Mardin and Sanliurfa, were examined in the study. It was determined that for the summer and winter conditions, the weather of the region cities was changed by the effect of these reservoirs. The weather became cooler in summer and warmer in winter.

Key words: Keban Dam, Karakaya Dam, Atatürk Dam, outdoor temperature, humidity, meteorological data

1. Introduction

In the construction of heating installation projects, one of the data as the basis of the design is the outdoor temperature parameter. Outdoor temperature parameters of the cities and towns in prepared Turkey in the 1950s comply with the today's conditions. Higher population density in cities, green areas, industrialization and lakes and ponds, which were established later-on, cause changes in the outdoor temperature parameter by affecting the climate structure of the cities (Bicer, 2020). Dam lakes, which were established in the following period and have a large water surface, are an important factor that causes climate change in their region. There is a continuous heat and mass transfer between the water layer and the moving or stationary air mass passing over the lake surface due to the differences in temperature and humidity. As a result of this, lakes with large surfaces play an important factor with regards to changing the local climate (Bacanli & Tugrul, 2016). For this reason, it is deemed necessary to heat residences and industrial areas in cold weather, to cool them in hot weather (HVAC systems), and to update the project criteria for heating economy.

Firat River, one of the important rivers of the Eastern Anatolia Region, rises on the Murat River and Karasu River at an altitude of 3290 meters, passing through Erzincan, Tunceli, Elazığ, Malatya, Diyarbakir, Adiyaman, Gaziantep and Sanliurfa province, while following into the Persian Gulf. Its length is 2,800 km and a total of 6,396 MW of electricity is produced from 5 hydroelectric power plants (HEPP) through the river. This power is equal to the electricity generated from HEPPs with a rate of 30 832 percent in Turkey, and a rate of 8.288 percent of the total electricity consumption. Dams and HEPPs on the Firat River are given collectively in Table 1.

Table 1. Dams on the Firat River

Dam	province/ district	lake volume (hm ³)	lake area (km ²)	installed power (MW)
Keban Dam	Elazığ-Keban	31000	675	1330
Karakaya Dam	Diyarbakir-Cungus	9580	268	1800
Ataturk Dam	Sanliurfa-Bozova	48700	817	2405
Birecik Dam	Sanliurfa-Birecik	1220	56.25	672
Karkamis Dam	Gaziantep-Karkamis	157	28.40	189

In this study, outdoor temperature and humidity parameters for a total of five provinces close to reservoirs were investigated for summer and winter. In the calculations made, three observation processes were taken as basis, namely, Keban (1975), Karakaya (1988) and Atatürk Dam (1992) based on the formation dates of the lake area. As the first observation process of the study, the Keban Dam Lake, which was first built in the Fırat basin, was examined for the period before (1965-1975) and after (1975-1988), which is the filling date of the Keban Dam Lake. In the second observation process of the study, taking into account the date of formation of the lake in Karakaya Dam in 1988 and the date of filling of the Atatürk Dam reservoir in 1992, new outdoor temperature parameters for the winter and summer conditions of the surrounding provinces were determined. The third observation process of the study is the calculations made for the period from 1992 to the present, as an example for Elazığ province.

Many studies have been carried out on the subject and it is possible to collect these studies in two groups. The first group of studies are the ones that focus on investigating the effects of dam lakes on the climate structure of the provinces of the region. Some of these studies are the ones that examine the effect of Keban Dam Lake on the climate structure of Elazığ province (Bicer, 2019), (Kadioğlu, 1994), (Tonbul, 1986), (Sengun, 2007), (Ozkan, 1996), (Emiroglu et al., 1996), (Akpınar, & Akpınar, 2010-a). Another group of studies comprise of those investigating the effect of Atatürk Dam Lake on the climate structure of Sanliurfa province (Bulut et al, 2010), (Ekici, 2008). The second group of studies are on climate structures (Bicer, 2021), Cobanyılmaz, & Yuksel, 2013), (Akpınar, & Akpınar, 2010-b). (Apple et al, 2006), (Emall et al, 2001), (Dodman, 2009), (Gyau-Boakye, 2001), (Yılmaz et al, 2007), (Fujihara et al, 2008), (Degu et al, 2011), (Bai et al, 2014).

Studies on the effects of the reservoirs in the study area on the climate structures of the surrounding provinces were carried out for a short period after the filling dates of the lake of the five dams. With this study, the impact of dams on the outdoor temperature and relative humidity parameters (summer and winter) of the surrounding provinces will be more realistic since it covers a long period (46 years).

2. Features of Study Area

The area subject to the study is the upper Fırat Basin. This area covers the north-west and south-west of the Southeastern Anatolia Region of Turkey's Eastern Anatolia region (Fig 1). The geographical features of Elazığ, Malatya, Diyarbakir, Mardin and Sanliurfa provinces examined in the region are shown in Table 2.



Fig. 1. Geographical districts of Turkey (URL-1, 2021)

Table 2. Geographic location of meteorological stations

Location	Longitude east	Latitude north	Altitude (m)	Area (km ²)
Elazığ	39.14	38.41	1067	9151
Malatya	38.19	38.21	977	12313
Diyarbakir	40.14	37.55	675	15355
Mardin	40.44	37.18	1083	8891
Sanliurfa	38.46	37.08	510	19336

Elazig province is located in the southwest of the Eastern Anatolia Region, in the Upper Fırat Basin Section. It is 25 km from the Keban Dam Lake and 45 km from Karakaya Dam Lake. Malatya is located in the same basin with Elazig province and at the southwestern end of the depression area of Adiyaman, Malatya, Elazig, Bingol, Mus and Van. Its distances from Keban and Karakaya dam lakes are 45 and 42 kilometers, respectively. Diyarbakir province is located in the central part of Southeastern Anatolia Region, in the north of Al Cezire (Mesopotamia). Its distance to Karakaya Dam Lake is 134 kilometers. The province of Mardin is located in the Tigris section of the Southeastern Anatolia Region. Its distance to Atatürk Dam Lake is 299 kilometers. Sanlıurfa looks like a plain in general. It is located in the south of the region on the Syrian border. Its distance to Atatürk Dam Lake is 71 km

3. Method Used To Determine Outdoor Temperature

For the determination of the outdoor temperature parameter, the average of the lowest temperature averages of January, February and December for the winter season, and the average of the highest temperatures for the months of June, July, August and September for summer season conditions were taken as basis. Accordingly, outdoor temperature parameters have been determined (Bicer, 2020).

$$T_{odn}=(T_{\min \text{ January}} + T_{\min \text{ February}} + T_{\min \text{ December}}).(1/3) \quad (1)$$

$$T_{od}=(1/n).\sum T_{dn} \quad (2)$$

In here, T_{odn} is the average of the lowest average temperatures of January, February and December, and T_{od} is the outdoor temperature parameter of the region

The outdoor temperature parameter for summer conditions is calculated using the same equation by taking the average of the highest temperature averages of June, July, August and September. The calculations were repeated in the same way for relative humidity, as well.

3.1. Application of the Method on Elazig for Winter Season

The method to be used in determining the outdoor temperature parameter has been applied on the 5 investigated provinces. The calculations were made for the three observation processes mentioned above. As the first observation process of the study, in order to examine the effect of Keban Dam Lake on the climate of the region, the provinces of the region were examined separately according to the observation processes before (1965-1975) and after (1975-1988), which is the filling date of the lake. Within the scope of the third observation process of the study, new outdoor temperature parameters were calculated for the winter conditions of the provinces examined until today, taking into account the lake formation date of the Karakaya Dam in 1988 and the filling date of the Ataturk Dam reservoir in 1992. Table 3, Table 4 and Table 5 are shown as an example for Elazig province. Using the same method, the outdoor temperature values of the provinces were researched for summer conditions, and the results are given in Table 6.

Table 3. 1965-1974 observation period outdoor temperature determination table for Elazig province

No	Years	T _{January} (°C)	T _{February} (°C)	T _{December} (°C)	T _{dn} (°C)	Relative humidity (%)
1	1965	-10.2	-8.3	-7.2	-8.57	77.33
2	1966	-13.4	-3.0	-6.5	-7.9	72.66
3	1967	-10.0	-18	-9.8	-12.6	74.66
4	1968	-15.2	-16.5	-1.5	-11.06	78.33
5	1969	-14.8	-13.9	-4.0	-10.9	77.66
6	1970	-6.4	-6.3	-9.3	-7.33	76.66
7	1971	-6.8	-12.2	-10.8	-9.93	68.66
8	1972	-22.6	-21.4	-7.8	-17.26	66.00
9	1972	-18.5	-7.2	-13.1	-12.94	74.00
10	1974	-16.9	-19.3	-5.6	-13.94	79.66
					$\sum T_{odn}=-112.43$	74.56 %

$$T_{od}=(1/10).(-112.43)= -11.25 \text{ (°C)}$$

Table 4. 1975-1988 observation period outdoor temperature determination table for Elazığ province (TMSD, 2020).

	Years	T _{January} (°C)	T _{February} (°C)	T _{December} (°C)	T _{dn} (°C)	Relative humidity (%)
1	1975	-8.3	-12.6	-8.6	-9.83	70.66
2	1976	-13.6	-15.9	-4.7	-11.4	77.00
3	1977	-9.4	-3.7	-9.1	-7.4	73.66
4	1978	-9.0	-4.4	-3.1	-5.5	74.66
5	1979	-8.9	-8.3	-5.7	-7.64	72.33
6	1980	-14.4	-14.1	-6.5	-11.66	75.66
7	1981	-6.0	-3.4	-2.3	-3.9	75.00
8	1982	-10.5	-10.0	-6.2	-8.9	65.00
9	1983	-12.6	-12.8	-5.2	-10.2	73.00
10	1984	-4.4	-5.2	-7.6	-5.74	69.00
11	1985	-8.0	-17.2	-5.8	10.34	76.00
12	1986	-8.0	-7.0	-6.0	-7.0	77.66
13	1987	-10.8	-5.6	-10.2	-8.87	77.00
14	1988	-7.8	-5.6	-8.4	-7.27	76.66
$\Sigma T_{odn} = -115.65$						73.80%

$$T_{od} = (1/14) \cdot (-115.65) = -8.26^{\circ}\text{C}.$$

Using the same method, the relative humidity values of the provinces were researched for winter and summer conditions, and the results are given in Table 6.

Table 5. 1988-2019 observation period outdoor temperature determination table for Elazığ province (TMSD, 2020).

No	Years	T _{January} (°C)	T _{February} (°C)	T _{December} (°C)	T _{dn} (°C)	Rel. humidity (%)
1	1988	-7.8	1.4-5.6	-8.4	-7.2	75.66
2	1989	-8.6	-6.9	-5.7	-7.06	64.66
3	1990	-7.9	-6.7	-5.4	-6.66	69.66
4	1991	-7.5	-8.5	-4.3	-6.76	70.66
5	1992	-8.4	-9.3	-5.1	-7.6	72.86
6	1993	-7.9	-7.4	-4.3	6.53	71.46
7	1994	-7.2	-8.4	15.3	-10.3	70.33
8	1995	-5.2	-4.4	-4.8	-5.13	72.44
9	1996	-3.9	-5.8	-3.8	-4.37	71.87
10	1997	-4.2	-5.0	-4.3	-4.77	71.34
11	1998	-4.8	-5.7	-3.2	-4.34	73.47
12	1999	-4.4	-5.9	-4.7	-4.94	71.1
13	2000	-5.5	-4.7	-1.4	-4.27	71.6
14	2001	-4.4	-4.0	-4.1	-4.4	70.97
15	2002	-6.4	-4.4	-5.7	-5.37	68.97
16	2003	-4.5	-4.8	-4.5	-4.47	71.84
17	2004	-4.2	-4.7	-3.7	-4.24	72.27
18	2005	-4.5	-5.1	-3.8	-4.34	69.94
19	2006	-4.1	-4.2	-4.2	-4.47	70.74
20	2007	-5.5	-8.8	-3.9	-4.54	67.74
21	2008	-5.1	-4.5	-3.0	-5.64	65.64
22	2009	-4.3	-4.8	-3.7	-4.17	71.5
23	2010	-4.2	-5.3	-3.3	-4.1	71.67
24	2011	-3.4	-5.0	-3.5	-4.07	72.14
25	2012	-4.4	-3.5	-2.8	-4.07	71.74
26	2013	-3.2	-4.4	-4.4	-3.7	70.94
27	2014	-3.4	-3.1	-3.8	-3.87	71.7
28	2015	-3.7	-4.1	-3.2	-3.34	69.87

29	2016	-4.1	-4.3	-3.9	-4.04	70.2
30	2017	-3.7	-4.2	-3.9	-3.97	68.37
31	2018	-3.4	-4.0	-3.8	-3.8	67.47
32	2019	-3.5	-3.8	-3.6	-3.7	66.56
Σ Todn=-160.23						70.54%

$$T_{od} = (1/32).(-160.23) = -5.007 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Table 6. Temperature and relative humidity values for various observation periods of the provinces

Province	Parameters	Currently used	1965-1975	1975-1988	1988-2019
Elazig	Temperature (Winter)	-12°C	-11.25°C	-8.26°C	-5°C
	Temperature (Summer)	+38°C	+38°C	+36.8°C	34°C
	R. humidity (Winter)	75 (%)	74.56 (%)	73.80 (%)	70.54 (%)
	R. humidity (Summer)	30 (%)	28.85 (%)	32.46 (%)	35.17 (%)
Malatya	Temperature (Winter)	-12°C	-12.13°C	-8.20°C	-5°C
	Temperature (Summer)	+38°C	+38°C	+36.61°C	34°C
	R. humidity (Winter)	75 (%)	73.73 (%)	73.66 (%)	70.16 (%)
	R. humidity (Summer)	30 (%)	28.36 (%)	33.93 (%)	35.22 (%)
Diyarbakir	Temperature (Winter)	-9°C	-8.37°C	-7.05°C	-4.5°C
	Temperature (Summer)	+42°C	+42.6°C	+41.83°C	39°C
	R. humidity (Winter)	77 (%)	76.79 (%)	75.92 (%)	71.88 (%)
	R. humidity (Summer)	32 (%)	31.27 (%)	34.26 (%)	36.18 (%)
Mardin	Temperature (Winter)	-6°C	-5.65°C	-4.95°C	-2°C
	Temperature (Summer)	+38°C	+38.8°C	+38.6°C	36°C
	R. humidity (Winter)	70 (%)	69.09 (%)	68.09 (%)	66.88 (%)
	R. humidity (Summer)	26 (%)	25.32 (%)	30.78 (%)	32.86 (%)
Sanliurfa	Temperature (Winter)	-6°C	-5.54°C	-5.33°C	-1°C
	Temperature (Summer)	+43°C	+43.3°C	+38.35°C	37°C
	R. humidity (Winter)	72 (%)	71.8 (%)	70.2 (%)	68.44 (%)
	R. humidity (Summer)	32 (%)	32.5 (%)	33.24 (%)	37.42 (%)

3. Results and Discussions

Examining Table 3, the calculation results for the process before the construction of the dams in the region are close to the outdoor temperature values of winter and summer conditions that are given in the literature yet still in use. In Table 4, it can be seen that Keban Dam Lake has an effect on the outdoor temperature parameter of the provinces of Elazig and Malatya after 1975 for the observation periods of 1975-1988 and this effect is an average of -8°C for the winter season. As the distance to the lake increases, this effect decreases and as a matter of fact, while a warming close to 1.95°C was observed in Diyarbakır, which is 151 km away, it did not affect Mardin and Sanliurfa provinces (Fig 2-a).

After 1988, with the formation of the Karakaya Dam reservoir area only, Elazig and Malatya provinces warmed by 1°C, while a 2°C warming rate was provided for Diyarbakır (Table 5, Fig. 2-a).

Ataturk and four other dams affected the new outdoor temperature parameter during the observation processes until 2020, causing warming rate of 7°C for Elazig and Malatya provinces, 4.5°C for Diyarbakır, and 4°C for Sanliurfa and Mardin. As can be seen in Table 6 and Fig.3-a, five dams caused a cooling of 3.5°C in Elazig and Malatya provinces, and 2.5 °C in Diyarbakır, 6.5°C in Sanliurfa and 2°C in Mardin in summer conditions.

As of the formation dates of the dams, the average relative humidity rates have decreased by 2% in Elazig, Malatya and Mardin provinces in the winter season, Diyarbakır by 5%, Sanliurfa by 3%, while in the summer it has increased by 7% in Elazig, Malatya and Mardin and by 5% in Diyarbakır and Sanliurfa provinces (Fig.2-b and Fig.3-b).

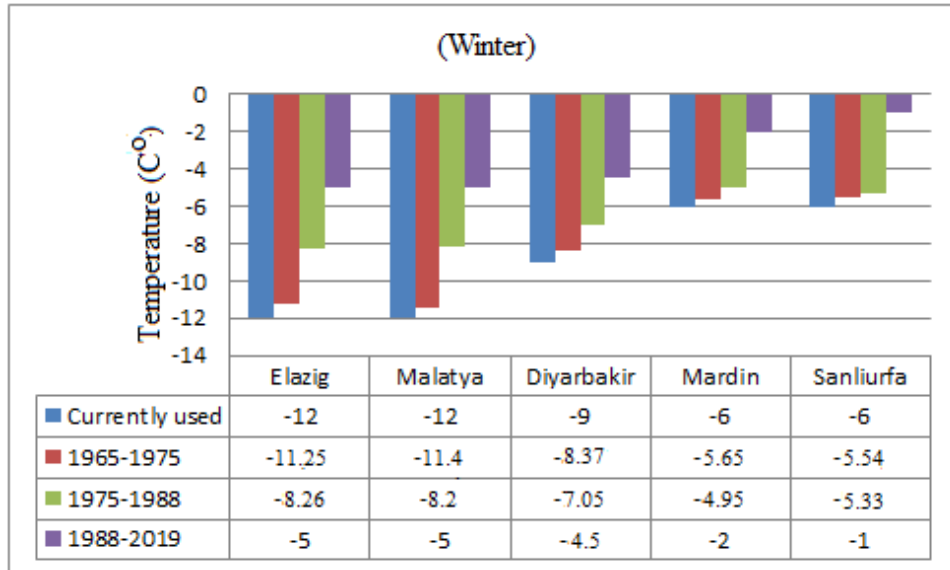


Fig. 2-a. Temperature values in winter season in observation processes

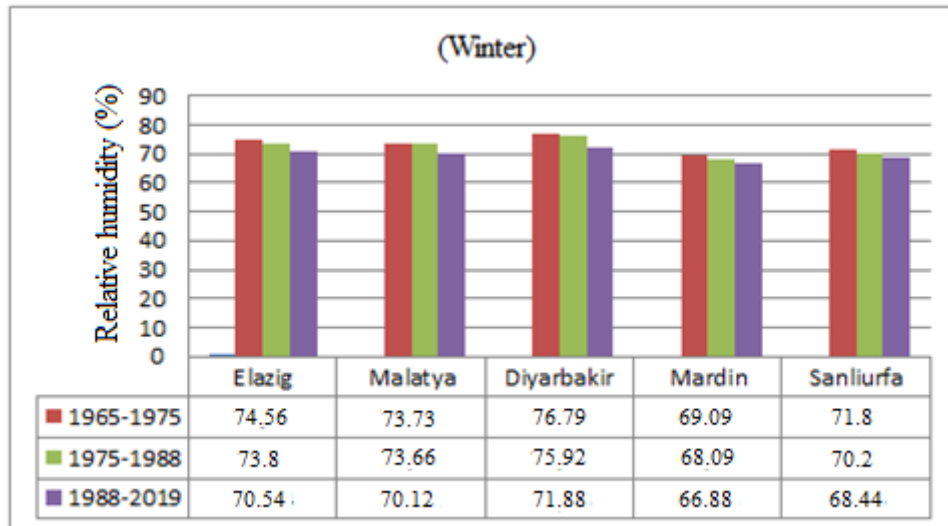


Fig. 2-b. Humidity values in winter season in observation processes

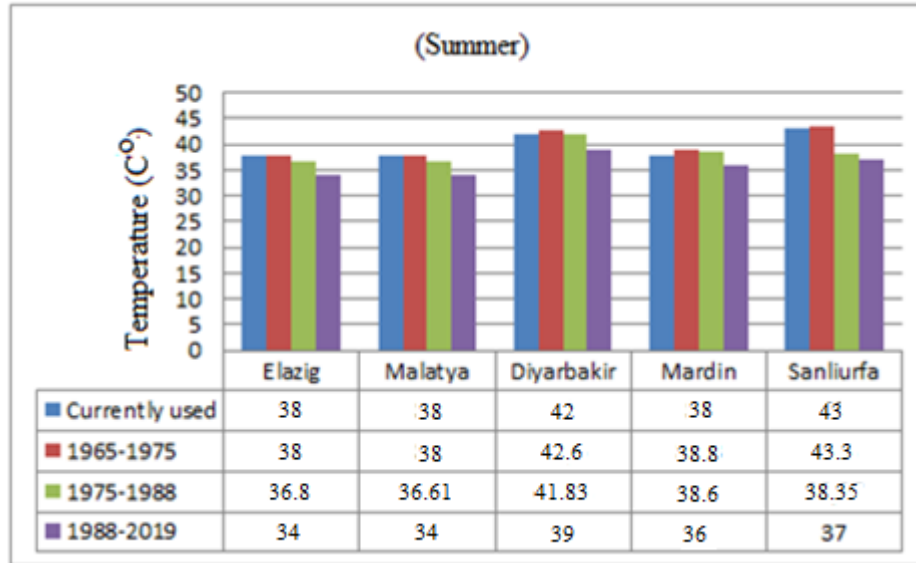


Fig. 3-a. Temperature values in winter season in observation processes

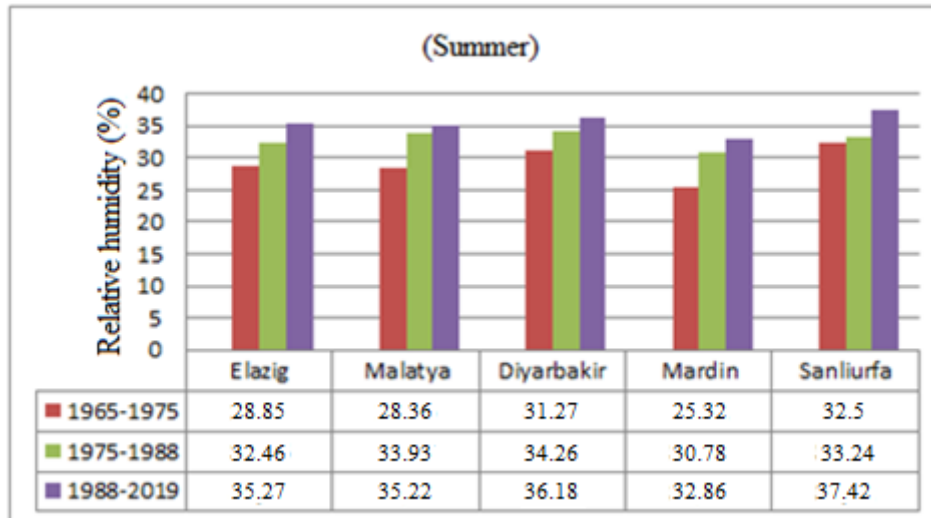


Fig. 3-b. Humidity values in winter season in observation processes

Analysis of New Outdoor Temperature Parameters:

A duplex building constructed in Elazig province is taken as example. The building will be heated with natural gas. In the project, there is a living room and kitchen on the ground floor, and three bedrooms and bathrooms in the upstairs. Separate heat calculations results by using Eq 3, Eq 4 and Eq 5 taking the existing outdoor temperatures as -12°C , -9°C and -5°C are given in Table 7.

$$Q_T = k.F.(T_i - T_d).Z \quad (3)$$

$$Q_L = (a.L).R.H.Z_E.(t_i - t_d) \quad (4)$$

$$Q_h = Q_T + Q_L \quad (5)$$

Here,

Q_t ; Heat losses from building materials of a location, Q_L ; heat losses caused by ventilation, Q_h ; The sum of the two heat losses k ; thermal conductivity coefficient of building material, F ; surface area, T_i ; internal temperature, T_d ; outdoor temperature, Z ; percentage of heat increase due to building direction and operation, a , L , Z_E coefficients for air leakage of windows and doors, R and H are room and building coefficients.

Table 7. Energy needs of the rooms according to the outside temperature (W)

Room name	Temperature (°C)	-12°C	-9°C	-5°C
Living room	22	4926	4615	4006
Kitchen	18	1742	1612	1125
Bedroom 1	20	1765	1586	1166
Bedroom 2	20	2543	2273	1797
Bedroom 3	20	1849	1664	1242
Bathroom	26	1338	1257	997
Total		14153	13007	10333

Comparing the calculations made for outdoor temperature of -5 °C and the results of -12°C, the savings rates to be achieved can be seen in Table 8.

Table 8. Savings calculated according to the new outdoor temperature (-5°C) parameter

Saving type	Saving rate (%)
Hourly heat needs	26.99
Fuel consumption	26.5
Boiler and heater capacity	26.2

4. Conclusions

Dams lakes built on the Firat River caused the climate of the region to change. With the calculations made using meteorological values, the lakes formed later affected the outdoor temperature and relative humidity parameters of the neighboring provinces and the following results were obtained:

✓ With the calculation method used, values close to the outdoor temperature parameter given in the studied provinces in the literature for the years before the construction dates of the dams were obtained.

✓ Due to the formation of the Keban Dam Lake in 1975, in Elazığ and Malatya provinces, the outdoor temperature parameter increased under winter conditions by 3°C 1.95°C for Diyarbakır province, and Elazığ and Malatya provinces, while causing a decrease (cooling) approximately 2°C for summer season. It cannot be said that this situation has an effect on other provinces of the region. In 1988, Karakaya, in 1992, with the construction of the Atatürk Dam Reservoir and later Birecik and Karkamis dams, and the total effect of the outdoor temperature parameter caused an increase of (with five dam lakes) 7°C under winter conditions in Elazığ and Malatya provinces and 4.5°C in Diyarbakır, 4°C for Mardin and 5°C for Sanliurfa.

✓ Due to the Dam Lakes, a cooling of 4°C was experienced in Elazığ and Malatya provinces, 3°C in Diyarbakır, 2°C in Mardin and 5°C in Sanliurfa for the summer season.

✓ At the end of the filling of the five dam reservoirs, the rate of decrease in the relative humidity in the air of the provinces examined is 5.4% in Elazığ, 4.84% in Malatya, 6.3% in Diyarbakır, 3.19% in Mardin and 4.67% in Sanliurfa for the winter season. The increase rates for the summer season are 22.25% in Elazığ, 24.18% in Malatya, 15.7% in Diyarbakır, 29.6% in Mardin and 15.13% in Sanliurfa.

✓ At the end of the filling of the five dam reservoirs, for the winter season, the new outdoor temperature parameter is as follows: -5°C for Elazığ and Malatya provinces, -4°C for Diyarbakır, -2°C for Mardin and -1°C for Sanliurfa. The outdoor temperature parameter for the summer season is as follows: + 34°C for Elazığ and Malatya provinces, + 39°C for Diyarbakır, 36 °C for Mardin and + 37°C for Sanliurfa. Analyzing these results, based on the calculations made for Elazığ province by means of using the new outdoor temperature value within the scope of winter conditions, it was determined that a saving of 26% of fuel and installation elements would be achieved.

Thanks to: I would like to take this chance to thank the “General Directorate of State Meteorological Affairs” for their interest and assistance for the provision of meteorological measurement data used in the study.

Funding information: The study was not supported by any institution or project

References

1. Akpınar S. & Akpınar E.K. (2010-a). Modeling of Climatic Parameters and Determination of Climatic Differences in the City of Elazığ-Turkey and its Close Regions, *Journal of Environmental Protection and Ecology*, 1: 41-52.
2. Akpınar S. & Akpınar E.K. (2010-b). Modeling of Weather Data for the East Anatolia Region of Turkey, *Journal of Urban and Environmental Engineering*, 4(1), 9-22.
3. Apple L.S.C., Chow T.T., Square K.F.F. & Lin, J.Z. (2006). Generation of a Typical Meteorological Year for Hong Kong. *Energy Conversion and Management*, 47, 87–96.
4. Bacanlı U.G. & Tugrul A.T. (2016). A Climate Impact of Dam Lake and Recep Yazicioglu Gökpinar Dam Lake Sample, Pamukkale University *Journal of Engineering Sciences*, 2(3), 154-159.
5. Bai Y., Xu Z., Zhang J., Mao D., Luo C., He Y., Liang G., Lu B., Bisesi M.S., Sun Q., Xu X., Yang W. & Liu Q. (2014). Regional Impact of Climate on Japanese Encephalitis in Areas Located Near the Three Gorges Dam, *PLoS ONE*, 9(1), 1-9.
6. Bicer A. (2019). Temperature and Relative Humidity Models of the Region Cities in Fırat Basin, *Bartın University International Journal of Natural and Applied Sciences*, 2(1), 50-58.
7. Bicer A. (2020). Temperature and Relative Humidity Models of the Malatya City, *MTU Journal of Engineering and Natural Sciences*, 1(1), 11-18.
8. Bicer A. (2021). Analysis of Climatic Parameters with Meteorological Data of East Anatolia Region of Turkey, *Bartın University International Journal of Natural and Applied Sciences*, 4(1), 110-124.
9. Bulut H., Yesilata B. & Yesilnacar M.I. (2006). Determination of the Impact of Atatürk Dam Lake on Regional Climate by Trend Analysis, *Proceedings of the fifth GAP engineering Congress*, 26-28 April 2006, Sanliurfa-Turkey.
10. Cobanyılmaz P. & Yuksel U.D. (2013). Determination of Vulnerability of Cities to Climate Change: The Case of Ankara, Suleyman Demirel University, *Journal of Natural and Applied Science*, 17(3): 39-50.
11. Degu A.M., Hossain F., Niyogi D., Pielke R., Hephherd J.M., Voisin N. & Chronis T. (2011). The Influence of Large Dams on Surrounding Climate and Precipitation Patterns, *Geophysical Research Letters*, 38(4), 1-7.
12. Dodman D. (2009). Blaming Cities for Climate Change An Analysis of Urban Greenhouse Gas Emissions Inventories, *Environment and Urbanization*, 21, 185-201.
13. Ekici A. (2008). Climate Impacts of GAP on Southeast Anatolia. *MSc Thesis*, İstanbul Technical University, İstanbul, Turkey.
14. E-mail E., Sloan L.C. & Nychka D. (2001). Changes in Surface Air Temperature Caused by Desiccation of the Aral Sea, *Journal of Climate*, 14(3), 284-299.
15. Emiroglu M.E., Ozkan F. & Ozturk M. (1996). A Research on the Effects of Keban Dam Reservoir on Elazığ Province Climate Conditions, *Proceedings of the GAP I engineering Congress*, 20-22 April 1996, 167-174, Sanliurfa-Turkey.
16. Fujihara Y., Tanaka K., Watanabe T., Nagan T. & Kojiri T. (2008). Assessing the Impacts of Climate Change on the Water Resources of the Seyhan River Basin in Turkey: Use of Dynamically Downscaled Data for Hydrologic Simulations, *Journal of Hydrology*, 353(1-2), 33-48.
17. Gyau-Boakye P. (2001). Environmental Impacts of the Akosombo Dam and Effects of Climate Change on the Lake Levels. *Environment, Development and Sustainability*, 3(1), 17-29.
18. Kadioglu M. (1994). Keban Barajı Öncesi ve Sonrasında Çevre İkliminin Franktal Analizi. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı DSİ. Genel Müdürlüğü Su ve Toprak Kaynaklarının Geliştirilmesi Konferansı Bildirileri 3: 1087-1098, ANKARA.
19. Ozkan F. (1996). Investigation of the Effects of Keban Dam Lake on Elazığ Region Climate Conditions, *MSc Thesis*, Fırat University, Elazığ, Turkey.
20. Sengun M.T. (2007). The Effect of Keban Dam Lake to Elazığ Climate Under the Last Valuations Light, *Eastern Anatolia Region Studies*, 116-121.
21. TMSD (2020). Turkish Meteorological State Department, Climatological Service, Ankara, Turkey
22. Tonbul S. (1986). Effects of Keban Dam on the Climate of Elazığ and its Surroundings, *Geography Congress*, 14-15 April 1986, Elazığ, Turkey.
23. URL-1 (2021), <https://www.mapsofworld.com/turkey/geography>, June, 20, 2021.
24. Yılmaz S., Toy S., Irmak M.A. & Yılmaz H. (2007). Determination of Climatic Differences in Three Different Land Uses in the City of Erzurum, *Building and Environment*, 42(4), 1604–1612.

ISPARTA YÖRESİ EHRAMI KARAÇAM AĞAÇLANDIRMALARININ DEĞERLENDİRİLMESİ: 30. YIL SONUÇLARI

Recep Kartal¹, Nebi Bilir^{2,*}

¹Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, ISPARTA

²Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Orman Fak., Orman Müh. Böl., ISPARTA

*Sorumlu Yazar: nebibilir@isparta.edu.tr

Öz

Isparta yöresindeki, 30 yaşlı Ehrami Karaçam (*Pinus nigra* Arnold. ssp. *pallasiana* var. *pyramidata*) ağaçlandırma sahasından, 500 m² büyüklüğündeki dört örnek alanda boy, dip çap, göğüs yüksekliği çapı, tepe çapı ile birey sayısı araştırılmıştır. Bununla birlikte sahadaki Anadolu Karaçamı [*Pinus nigra* Arnold. subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe] ve Toros Sediri (*Cedrus libani* A. Rich.) ile bu özellikler bakımından karşılaştırmalar yapılmıştır. Çalışma sonucunda Ehrami Karaçam'ın, ortalama boy, dip çap, göğüs yüksekliği çapı ve tepe çapı değerleri sırasıyla 9.9 m, 29.3 cm, 25.1 cm ve 302.5 cm bulunmuştur. Örnek alanlar boy, dip çap ve göğüs yüksekliği çapı bakımından istatistiksel bakımdan anlamlı ($p<0.05$) farklılık gösterirken, tepe çapı bakımından benzerlik ($p>0.05$) göstermiştir. Uygulanan varyans analizi sonucunda, Ehrami Karaçam, Anadolu Karaçamı ve Toros Sediri arasında; boy, dip çap, göğüs yüksekliği çapı ve tepe çapı bakımından önemli ($p<0.05$) farklılıklar olduğu ortaya çıkmıştır. Anadolu Karaçamı'nın çalışmaya konu özellikler bakımından, Ehrami Karaçam ve Toros Sediri'ne göre daha yüksek büyüme performansı gösterdiği belirlenmiştir. Korelasyon analizi sonuçları, özellikler arasında genel olarak anlamlı ($p<0.05$) pozitif ilişkiler ortaya çıkarmıştır.

Anahtar Kelimeler: Ağaçlandırma, boy, büyüme, çap, varyasyon

EVALUATION OF EHRAMI BLACK PINE PLANTATIONS IN ISPARTA DISTRICT: 30th YEAR RESULTS

Extended Abstract

Ehrami black pine (*Pinus nigra* Arnold. ssp. *pallasiana* var. *pyramidata*) is an endemic forest tree species in Turkish forestry by its limited natural distribution. Afforestation practices within natural distribution and outside have important roles for sustainability of the species. In this study, height, diameter at base, diameter at breast height, crown diameter and number of individuals were studied at 30 year Ehrami black pine afforestation by four sampled areas each of them 500 m² selected randomly from Isparta district. Beside, the species was compared for the characteristics by Anatolian black pine [*Pinus nigra* Arnold. subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe] and Taurus cedar (*Cedrus libani* A. Rich.) planted at same area and period. Averages of height, diameter at base, diameter at breast height, crown diameter and number of individuals were 9.9 m, 29.3 cm, 25.1 cm ve 302.5 cm in Ehrami black pine, respectively. They were 12.3 m, 40.9 cm, 35.8 cm and 652.2 cm in Anatolian black pine, and 9.0 cm, 27.2 cm, 23.5 cm, and 453.6 cm in Taurus cedar. Sampled areas showed statistically significant difference ($p<0.05$) for height, diameter at base, diameter at breast height except of crown diameter ($p>0.05$). There was significant difference ($p<0.05$) for the characteristics among Ehrami black pine, Anatolian black pine and Taurus cedar based on results of analysis of variance. Anatolian black pine showed higher growth performance than others, while Ehrami black pine and Taurus cedar had similar growth performance for height, and diameters at base and at breast height at Duncan's multiple range's test. However, the growth performance of the species could change from years to years. Positive and significant ($p<0.05$) relations among the characteristics were estimated by correlation analysis except of between height and crown diameter, and between diameter at breast height and crown diameter ($p>0.05$). The results could be used to increase growth performance and forestry practices, or landscape purpose such as pruning, in the species.

Key Words: Afforestation, height, growth, diameter, variation

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author):

Nebi BİLİR; Isparta University of Applied Sciences, Forestry Faculty, Department of Forest Engineering, Isparta-Turkey.

Geliş (Received) : 03.01.2022

Kabul (Accepted) : 29.03.2022

Basım (Published) : 31.07.2022

1. Giriş

Orman Genel Müdürlüğü tarafından yayımlanan son istatistiklere göre, %56'sı verimsiz olmak üzere 20.2 milyon hektar olan 1973 yılı ülkemiz orman varlığı; 2020 yılında yaklaşık 23 milyon hektara ulaşmış ve bu orman alanı içindeki verimsiz orman alanı miktarı da %42'ye gerilemiştir (Anonim, 2021). Bu orman alanı artışı ve verimsiz orman alanı düşüşünde, ağaçlandırma gibi silvikültürel uygulamalar en önemli role sahiptir. Ülkemizde ağaçlandırma çalışmalarında en fazla kullanılan tür ise çalışmaya konu Ehrami Karaçam'ın (*Pinus nigra* Arnold. ssp. *pallasiana* var. *pyramidata*) varyetesi olduğu, Anadolu Karaçamı'dır [*Pinus nigra* Arnold. subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe] (Ayan vd., 2017). Bu ağaçlandırma uygulamalarında potansiyel asli orman ağacı türlerimizin yanında, gerek sürdürülebilir ormancılık ve gerekse ağaçlandırma uygulamalarının biyolojik başarısında sınırlı yayılışına bağlı olarak tali türler olarak adlandırılan orman ağacı taksonlarını da ön plana çıkarmaktadır. Özellikle küresel ısınma ve buna bağlı kuraklık gibi güncel çevre sorunlarını nedeniyle, tali türlere karşı olan ilginin artacağı tahmin edilmektedir. Bu potansiyel tali türlerden biri de asıl olarak, Endemik bir varyete olan çalışmaya konu Ehrami Karaçam'dır. Bu varyete ilk olarak Acatay (1956) tarafından Kütahya Tavşanlı Vakıfköy civarında tespit edilmiştir. Ehrami Karaçam, Kütahya-Tavşanlı bölgesinde yaklaşık 235 hektar alan ve 1000-1150 m yükseltilerde doğal yayılış göstermektedir (Yücel, 1995). Türün bu sınırlı yayılışına rağmen Isparta-Gölcük yöresinde 1990 yılında, doğal meşcereden (Kütahya-Tavşanlı) toplanan tohumlardan yetiştirilen fidanlarla tesis edilen Ehrami Karaçam ağaçlandırmalarının başarılı bir şekilde varlığını devam ettirdiği gözlemlenmiş ve silvikültürel bakımdan değerlendirilmesi kararlaştırılmıştır. Zira, Türkiye'de doğal yayılış gösteren, Anadolu Karaçamı'nın, Türkiye'deki dört varyetesinden (Yaltrık, 1988), biri olan çalışmaya konu endemik Ehrami Karaçam'ın ağaçlandırma uygulamalarının değerlendirildiği sınırlı sayıda araştırma gerçekleştirilmiştir (Genç vd., 1999; Bilir vd., 2017). Ehrami Karaçam'ın ormancılık uygulamalarındaki potansiyeli yanında, peyzaj amaçlı kullanım potansiyeli de göz önüne alındığında, tür üzerinde yapılacak çalışmaların önemi de artmaktadır. Bu çalışmada, türün doğal yayılış alanı dışında Isparta-Gölcük yöresinde 1990 yılında tesis edilen 30 yaşlı ağaçlandırmaları boy, göğüs yüksekliği çapı, dip çap ve yaşayan birey sayısı bağlamında silvikültürel açıdan değerlendirilmiştir. Çalışma sonuçlarıyla, türün ağaçlandırma ve diğer silvikültürel uygulamalarına katkı sağlanması amaçlanmıştır.

Çalışma materyali olarak, Isparta-Gölcük yöresinde 1990 yılında, Kütahya-Tavşanlı doğal meşceresi orijinli fidanlarla, 3x2 metre aralık mesafede türün saf veya karışık olarak tesis edilen Ehrami Karaçam ağaçlandırma sahasından dört örnek alan 2021 yılı büyüme dönemi sonunda örneklenmiştir (Tablo 1, Şekil 1).

Tablo 1. Örnek alanların genel özellikleri

Örnek alan	Enlem (K)	Boylam (D)	Yükselti (m)
A1	37°43'150"	30°29'109"	1420
A2	37°43'101"	30°29'113"	1425
A3	37°43'017"	30°29'116"	1430
A4	37°42'972"	30°29'123"	1435



Şekil 1. Örnek alanlardan genel görünüm

2.2. Metot

2.2.1. Örnek alan ve büyüme özellikleri

Ağaçlandırma sahasından, Tablo 1’de genel özellikleri verilen her biri 500 m² (50 x 10 m) büyüklüğünde ve rastgele dört örnek alan belirlenmiştir. 2021 yılı büyüme dönemi sonunda çalışmaya konu Ehrami Karaçam ile karışık olarak dikilen Anadolu Karaçamı ve Toros Sediri (*Cedrus libani* A. Rich.) bireylerinde aşağıdaki özellikler ölçülmüştür. Bu ölçümlerde ölmüş, kurumuş veya deforme olmuş bireyler ölçüm dışı bırakılmış ve birey sayısına dahil edilmemiştir. **Boy (B)**, boy ölçer yardımıyla 5 cm duyarlıkta; **Dip çap (D₀)**, 0.5 cm duyarlıkta; **Göğüs yüksekliği çapı (d_{1.30})**, 0.5 cm duyarlıkta; **Tepe çapı (TÇ)**, bireyin kuzey- güney ve doğu-batı yönlerindeki çaplarının ortalaması olup 5 cm duyarlıkta ölçülmüştür.

2.2.2. Verilerin değerlendirilmesi

Elde edilen boy, dip çap, göğüs yüksekliği çapı ve tepe çapı değerleri SPSS paket programında analiz edilerek (Özdamar, 1999), temel istatisti özellikler hesaplanmıştır. Yine aynı programda, örnek alanlar çalışmaya konu özellikler bakımından aşağıdaki doğrusal varyans analiz modeli yardımıyla karşılaştırılmıştır.

$$Y_{ij} = \mu + C_i + e_{ij} \quad (1)$$

Burada, Y_{ij} , i . Örnek alandaki j . bireye ait değeri; μ , genel ortalama değeri ; e_{ij} ise hatayı göstermektedir.

Özellikler arasındaki fenotipik ilişkiler korelasyon analizi ile aşağıdaki eşitlik yardımıyla tahmin edilmiştir (Falconer, 1989).

$$r_p = \frac{COV_{f(x,y)}}{\sqrt{\sigma^2_{f(x)}} \sqrt{\sigma^2_{f(y)}}} \quad (2)$$

Eşitlikte, $COV_{f(xy)}$ x ve y özellikleri arasındaki fenotipik kovaryansı; $\sigma^2_{f(x)}$ ve $\sigma^2_{f(y)}$ ise x ve y özelliklerinin fenotipik varyansını göstermektedir.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Büyüme Özellikleri

Örnek alanlarda Ehrami Karaçam’ın ortalama boyu 9.9 metre, dip çapı 29.3 cm, göğüs yüksekliği çapı 25.1 cm ve tepe çapı 302.5 cm olup bu özellikler bakımından örnek alanlar arası geniş farklılıklar ortaya çıkmıştır (Tablo 2). Ortalama 9.9 metre olan boy değeri (Tablo 2) bağlamında türde yıllık ortalama boy gelişiminin 33 cm olduğu söylenebilir. Aynı sahanın 8. yaş sonuçlarının değerlendirildiği çalışmada ortalama boy 160 cm yani yıllık ortalama boy gelişiminin 20 cm olduğu (Genç vd., 1999), 25. yaşta ise ortalama boy 673 ve yıllık ortalama boy gelişiminin 27 cm belirlenmiştir (Bilir vd., 2017). 8. yaşta ortalama 6.3 cm belirlenen dip çap (Genç vd., 1999), 25. yılda 24.9 cm’ye ulaşmıştır (Bilir vd., 2017). Dolayısıyla bu çalışmalarda yıllık ortalama dip çap gelişimi 0.79 cm (Genç vd., 1999), 0.99 cm (Bilir vd., 2017) ve 0.98 cm şeklinde sıralanmıştır. Bu sonuçlar ışığında, genel olarak Ehrami Karaçam’da ileriki yaşlarda boy gelişiminin daha da hızlandığı söylenebilir. Ehrami Karaçam’ın varyete olarak bağlı bulunduğu Anadolu Karaçamı’nda yapılan çalışmalarda ise; türün 18 yıl sonundaki yıllık ortalama boy gelişiminin yaklaşık 15 cm (Ertuğrul ve Bilir, 2020), 21 yaşlı bakım görmüş Anadolu Karaçam’ı ağaçlandırma sahaslarında boy artımının yıllar ve yükselti basamağına göre, 26.2 -70.8 cm arasında, 25.6 -59.4 cm arasında değişim gösterdiği ortaya çıkarılırken (Özel vd., 2010), Anadolu Karaçamı’nın Isparta yöresinde 10 popülasyon ile tesis edilen 9 yaşlı karaçam ağaçlandırma sahasında ortalama boyun popülasyonlara göre 105.84 -120.69 cm arasında değiştiği yani yıllık ortalama boy gelişiminin 10.6 cm-12.1 cm arasında değişim gösterdiği ortaya çıkmıştır (Akçakaya, 2011). Bu sonuçlar genel olarak Anadolu Karaçamı’nın yıllık boy gelişiminin, Ehrami Karaçam’a göre daha yüksek olduğunu göstermektedir.

Tablo 2. Özelliklerin örnek alanlara göre temel istatistiksel değerleri

Özellik		Örnek Alanlar				Genel
		A1 (13)*	A2 (8)	A3 (6)	A4 (9)	
B	Ortalama	9.1 ^{b**}	11.7 ^a	10.9 ^a	8.8 ^b	9.9
	Minimum	6.0	6.75	9.0	6.0	6.0
	Maksimum	11.0	14.0	12.0	11.0	14.0
D ₀	Ortalama	26.8 ^{b*}	34.0 ^a	31.8 ^{ab}	26.9 ^b	29.3
	Minimum	19.0	28.0	24.0	20.0	19.0
	Maksimum	33.0	42.0	37.0	36.0	42.0
d _{1.30}	Ortalama	23.1 ^b	28.9 ^a	27.3 ^{ab}	23.0 ^b	25.1
	Minimum	15.0	24.0	21.0	17.0	15.0
	Maksimum	33.0	35.0	32.5	32.0	35.0
TÇ	Ortalama	273.1	381.3	275.0	293.3	302.5
	Minimum	155.0	235.0	120.0	190.0	120.0
	Maksimum	460.0	590.0	400.0	490.0	590.0

*; ölçüm yapılan birey sayısını, **; aynı harfler benzer grupları göstermektedir.

Örnek alanlar arasındaki geniş boy farklılığı, örnek alan içi bireyler arasında da belirlenmiştir ve örneğin, boy değerleri A1 ve A3 örnek alanlarında 6 m-11 m arasında değişim göstermiştir (Tablo 2).

Örnek alanların karşılaştırılması sonucunda, örnek alanlar arasında boy, dip çap ve göğüs yüksekliği çapı için istatistiksel bakımdan önemli ($p < 0.05$) fark olduğu belirlenirken, tepe çapı için benzer ($p > 0.05$) oldukları ortaya çıkmıştır (Tablo 3). Bu sonuç, benzer çevre şartlarına sahip sınırlı alanda örnekleme yapılmış olmasına karşın türde geniş bir genetik varyasyonu göstermektedir. Gülsoy (2009) tarafından yapılan çalışmada da Ehrami Karaçam'ın Anadolu Karaçamı'nın diğer varyetelerinden yüksek genetik farklılık gösterdiği belirlenmiştir.

Tablo 3. Örnek alanların boy (B), dip çap (D₀), göğüs yüksekliği çapı (d_{1.30}) ve tepe çapı (TÇ) bakımından karşılaştırılması

Özellik	Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F Oranı	Önem Düzeyi
B	Gruplar arası	50.102	3	16.701	5.320	.004
	Grup içi	100.459	32	3.139		
	Toplam	150.561	35			
D ₀	Gruplar arası	350.720	3	116.907	4.330	.011
	Grup içi	864.030	32	27.001		
	Toplam	1214.750	35			
d _{1.30}	Gruplar arası	232.849	3	77.616	3.201	.036
	Grup içi	775.901	32	24.247		
	Toplam	1008.750	35			
TÇ	Gruplar arası	66160.577	3	22053.526	1.956	.140
	Grup içi	360714.423	32	11272.326		
	Toplam	426875.000	35			

Aynı sahada yapılan ve 25. yaş boy ve dip çap sonuçlarının değerlendirildiği bir başka çalışmada da örnek alan içi ve örnek alanlar arası farklılıklar belirlenmiştir (Bilir vd., 2017). Bu örnek alanlar arası ve örnek alan içi boy farklılıklarına, çalışmaya konu Ehrami Karaçam'ın bağlı bulunduğu Anadolu Karaçamı'nın Afyonkarahisar ve Isparta yöresindeki ağaçlandırma sahalarında da ulaşılmıştır (Tanişman, 2017; Özel, 2018). Ağaçlandırma sahalarının başarısına birçok çevresel (örneğin, Özel vd., 2010; Özkan vd., 2008; Gülsoy vd., 2014; Yazıcı & Turan, 2016; Güner vd., 2016) ve tür orijin, tohum kaynağı gibi biyolojik (Yazıcı, 2018) faktörler etkili olabilmektedir. Örneğin, Özel vd. (2010), Anadolu Karaçamı ağaçlandırma sahalarında yıllık gelişimin yıllar ve yükselti basamağına göre değişim gösterdiğini belirlemişlerdir. Çalışmaya konu ağaçlandırma sahası yaklaşık 1430 m yükseltide yer almasına karşın, Yücel (1995), Ehrami Karaçam'ın 1000-1150 m yükseltelerde doğal yayılış gösterdiğini belirtmektedir.

Ehrami Karaçam'ın ağırlıklı olduğu ağaçlandırma sahasında, Anadolu Karaçamı ve Toros Sediri ile de yer yer karışım oluşturulmuştur. Bu bağlamda, örnek alanlarda tüm türlerde çalışmaya konu özelliklerin de ölçümü gerçekleştirilmiştir. Elde edilen ölçümlerin değerlendirilmesi sonucunda, yörenin doğal türü olan Anadolu Karaçamı'nın çalışmaya konu özellikler bakımından, Ehrami Karaçam ve Toros Sediri'ne göre daha yüksek büyüme performansı gösterdiği belirlenmiştir (Tablo 4, Şekil 2). Aynı sahada 8 yıllık sonuçlar ışığında ise, Ehrami Karaçam, Anadolu Karaçamı ve Toros Sediri'nde ortalama boylar sırasıyla 1.6 m, 1.9 m, 2.2 m; ortalama dip çaplar 6.3 cm, 7.9 cm, 5.9 cm ve bir metre yükseklikteki çaplar ise ortalama 2.8 cm, 4.2 cm ve 3.0 cm olarak bulunmuştur (Genç vd., 1999). Dolayısıyla 8. yıl sonuçlarında, boy bakımından Toros Sediri, dip çap ve bir metre yükseklikteki çap bakımından Anadolu Karaçamı ve diğer türlere oranla daha yüksek performans göstermiştir. Bu sonuçlar türlerde büyüme gelişiminin yıllara göre farklılık gösterebileceğini açıklamaktadır. Ancak çalışmaya konu Ehrami Karaçam'ın sınırlı doğal yayılışı nedeniyle, odun veya diğer amaçlarla yetiştirilmesinden ziyade, öncelikle sürdürülebilirliği ön plandadır ve bu husus Ünalı (2004) tarafından da vurgulanmıştır. Bu önceliğe bağlı olarak Ehrami Karaçam'da aşılı fidan üretimi gibi alternatif fidan üretim teknikleri araştırılmıştır (Sıvacıoğlu vd., 2004).

Tablo 4. Türlerin büyüme özelliklerine ilişkin ortalama değerler

Türler	Özellikler			
	B (m)	D ₀ (cm)	d _{1.30} (cm)	TÇ (m)
Ehrami Karaçam (36)*	9.9 ^{b**}	29.3 ^b	25.1 ^b	302.5 ^c
Anadolu Karaçamı (18)	12.3 ^a	40.9 ^a	35.8 ^a	652.2 ^a
Toros Sediri (14)	9.0 ^b	27.2 ^b	23.5 ^b	453.6 ^b

*; ölçüm yapılan birey sayısını, **; aynı harfler benzer grupları göstermektedir.

Ehrami Karaçam, Anadolu Karaçamı ve Toros Sediri'ni, çalışmaya konu özellikler için karşılaştırılması amacıyla uygulanan varyans analizi sonucunda, türler arasında özelliklerin tamamı için önemli ($p < 0.05$) farklılıklar olduğu belirlenmiştir. Bu benzerlik ve farklılıklar (Tablo 4) türlere benzer ormancılık müdahaleleri uygulanabilirliği bakımından önemlidir.



Şekil 2. Toros Sediri ve Anadolu Karaçamı ile Ehrami Karaçam'ın boy rekabetinden bir görünüm

Kültür çağındaki ağaçlandırma sahaslarında gerçekleştirilen bir başka çalışmada da, Anadolu Karaçamı'nın boy ve dip çap bakımından Toros Sediri'ne oranla daha yüksek gelişim performansı gösterdiği belirlenmiştir (Özel, 2018). Bu çalışma sonucunda ulaşılan türler arası anlamlı ($p < 0.05$) farklılıklara, yörede Ehrami Karaçam, Anadolu Karaçamı ve Toros Sediri'nin 8. yıl, boy, dip çap, ve bir metre yükseklik çapının değerlendirildiği çalışmada da ulaşılmıştır (Genç vd., 1999).

3.2. Özellikler Arasındaki İlişkiler

Özellikler arasındaki ilişkileri belirlemek amacıyla uygulanan korelasyon analizi sonuçları Tablo 5'te verilmiştir. Uygulanan korelasyon analizi sonucunda, tepe çapı ile boy ve tepe çapı ile göğüs yüksekliği çapı arasında istatistiksel bakımdan anlamlı ($p>0.05$) ilişki belirlenemezken diğer özellikler arasında anlamlı ($p<0.05$) ilişkiler tahmin edilmiştir. Buna karşın gerek Anadolu Karaçamı ve gerekse Toros Sediri'nde özellikler arasında anlamlı ($p<0.05$) ilişkiler tahmin edilmiştir.

Tablo 5. Boy (B), dip çap (D₀), göğüs yüksekliği çapı (d_{1.30}) ve tepe çapı (TÇ) arasındaki ilişkiler

<i>r</i>	B	D ₀	d _{1.30}
D ₀	.792**	-	
d _{1.30}	.777**	.937**	-
TÇ	.143 ^{NS}	.336*	.288 ^{NS}

*, İlişkiler %95, ve **, %99 önem düzeyinde anlamlıdır. NS; ilişkiler anlamsızdır ($p>0.05$).

Aynı türde yapılan ve 25. yıl sonuçlarının değerlendirildiği bir başka çalışmada boy, dip çap, göğüs yüksekliği çapı ve tepe çapı arasında anlamlı ($p<0.05$) pozitif ilişkiler belirlenmiştir (Bilir vd., 2017). Bu sonuçlar özellikler arasındaki ilişkinin yaş ve örnek alanlara göre değişebileceğini göstermektedir. Anadolu Karaçamı ağaçlandırma sahalarında yapılan çalışmalarda da boy ve çap arasında anlamlı ve pozitif ilişkiler tahmin edilmiş olup (Tanişman, 2017; Özel, 2018), benzer sonuçlar Anadolu Karaçamı gençliklerinde boy, dip çap ve son yılın boy gelişimi ile yıllık boy artımı arasında da belirlenmiştir (Ertuğrul ve Bilir, 2020).

4. Sonuç ve Öneriler

Çalışma sonucunda, örnek alanlarda 8.8 m. ile 11.7 m. arasında değişen boy, örnek alanların genelinde 9.9 m bulunmuştur (Tablo 2). Ehrami Karaçam'da boy gelişiminin, yıllara göre değişim gösterdiği ve ileriki yaşlarda daha da hızlandığı söylenebilir. Ehrami Karaçam'ın varyetesi olduğu Anadolu Karaçamı'nın yıllık boy gelişiminin, Ehrami Karaçam'a göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Örnek alanların genelinde 29.3 cm olarak belirlenen ortalama dip çap, örnek alanlarda, 26.8 cm - 34.0 cm arasında değişim göstermiştir (Tablo 2). Dip çap bakımından, örnek alan içi ve varyans analizi sonuçları bağlamında örnek alanlar arası geniş varyasyonlar belirlenmiştir (Tablo 2 ve Tablo 3) ve bu farklılığın çevresel faktörlerden ziyade genetik faktörlerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu sonuçlar türde bireysel seleksiyonun önemini ve türdeki geniş genetik tabanı vurgulamıştır. Örnek alanların genelinde 25.1 cm olarak bulunan göğüs yüksekliği çapı, örnek alanlarda 23.0 cm ile 28.9 cm arasında değişmiştir (Tablo 2). Örnek alanların genelinde ortalama 302.5 cm olan tepe çapı, örnek alanlar arasında benzerlik gösterirken (Tablo 3), örnek alan içi bireyler arası geniş farklılık göstermiştir (Tablo 2). Tepe çapı, özellikle odun dışı ormancılık uygulamaları ve peyzaj amaçlı uygulamalarda önem arz etmektedir.

Elde edilen sonuçlar ışığında Anadolu Karaçamı'nın çalışmaya konu özellikler bakımından, Ehrami Karaçam ve Toros Sediri'ne göre daha yüksek büyüme performansı gösterdiği belirlenmiştir (Tablo 4). Ancak bu performansın yıllara göre farklılık gösterebileceği ortaya çıkmıştır. Uygulanan varyans analizi sonucunda, Ehrami Karaçam, Anadolu Karaçamı ve Toros Sediri arasında; boy, dip çap, göğüs yüksekliği çapı ve tepe çapı bakımından türler arasında anlamlı ($p<0.05$) farklılıklar olduğu belirlenmiş ve Anadolu Karaçamı bu türlerden belirgin farklılık göstermiştir (Tablo 4). Bu benzerlik ve farklılıklar türlere benzer ormancılık müdahaleleri uygulanabilirliği bakımından önem arz etmektedir.

Korelasyon analizi sonucunda Ehrami Karaçam'da; tepe çapı ile boy ve tepe çapı ile göğüs yüksekliği çapı arasında önemli ($p>0.05$) ilişki belirlenemezken, diğer özellikler arasında önemli ($p<0.05$) ilişkiler tahmin edilmiştir (Tablo 5). Anadolu Karaçamı ve Toros Sediri'nde ise özelliklerin tamamı arasında önemli ($p<0.05$) ilişkiler ortaya çıkmıştır.

Boy, dip çap ve göğüs yüksekliği çapı bakımından örnek alanlar arası farklılıklar, türdeki yüksek genetik çeşitliliği ve ileride bu konuda yapılacak çalışmaların önemini göstermektedir. Örnek alanlar arası farklılıklar, türdeki lokal ormancılık uygulamalarının önemini vurgulamaktadır. Çalışmaya konu özellikler bakımından örnek alan içi farklılıklar, türde tohum kaynağı seçiminde kitlesel seleksiyon yerine bireysel seleksiyonun önemini göstermektedir.

Çalışma, türün doğal yayılış alanı dışında ve sınırlı bir alanda tesis edilen ağaçlandırma sahasında gerçekleştirilmiştir ve türün doğal yayılış alanındaki ağaçlandırma sahaslarındaki büyüme performanslarına yönelik karşılaştırmalı çalışmalar yapılmalıdır. Türün doğal yayılış alanı içi ve dışındaki değişik yetiştirme ortamlarındaki, ağaçlandırma uygulamalarına ağırlık verilerek, türün gen koruma çalışmaları ve sürdürülebilirliğine katkı sağlanmalıdır. Türün peyzaj uygulamaları ve süs bitkisi gibi diğer kullanım potansiyeli göz önüne alınarak, özel ve kamu fidanlıklarında üretimi teşvik edilerek, disiplinler arası çalışmalar sağlanmalıdır. Çalışma sonucu elde edilen özellikler arası ilişkiler ile türler arası benzerlik farklılıklar, türün silvikültürel ve diğer ormancılık uygulamalarında dikkate alınmalıdır.

Teşekkür

Bu makale, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nde, Prof. Dr. Nebi Bilir danışmanlığında yürütülen Yüksek Lisans tez çalışması içermekte olup, emeği geçenlere teşekkür ederiz.

Kaynaklar

1. **Acatay A. (1956)**. Ehrami Karaçam (*Pinus nigra* var. *pyramidata*). *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 6(2), 75-85.
2. **Akçakaya M. (2011)**. *On Populasyonlu Anadolu Karaçamı (Pinus nigra Arnold. subsp. pallasiana (Lamb) Holmboe) Ağaçlandırma Denemesinde Genetik Çeşitlilik (9 Yıllık Sonuçlar)*. Y. Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
3. **Anonim (2021)**. Orman Genel Müdürlüğü İstatistikleri-2020 (www.ogm.gov.tr). Ankara.
4. **Ayan S. Yer E.S. & Gülseven O. (2017)**. Türkiye'deki Toros sediri (*Cedrus libani* A. Rich.) Ağaçlandırma Sahalarının İklim Tipi Açısından Değerlendirilmesi. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 18 (2), 152-161.
5. Bilir N. Çatal Y. Tekocak S. & Cercioğlu M. (2017). Fertility Variation in Endemic Populations of Ehrami Black Pine (*Pinus nigra* Arnold. subsp. *pallasiana* var. *pyramidata*). *Journal of Forestry Reserch*, 28(4), 683-686.
6. **Ertuğrul G.S. & Bilir N. (2020)**. Kütahya-Simav yöresi Anadolu Karaçamı doğal gençleştirme sahasında bazı değerlendirmeler. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 21, 75-81.
7. **Falconer D.S. (1989)**. *Introduction to quantitative genetics*. (3rd Edition), Longman Scientific and Technical, New York.
8. **Genç M. Cengiz N. Bilir N. & Gülcü S. (1999)**. Isparta Gölcük koşullarında Ehrami karaçam plantasyonlarının dikim başarısı: 8 yıllık sonuçlar. I. Uluslararası Doğal Çevreyi Koruma ve Ehrami Karaçam Sempozyumu, 23-25 Eylül, Kütahya, s. 60-64.
9. **Gülsoy A.D.G. (2009)**. *Kloroplast Genomundaki Kodlanmayan Trn Bölgelerinin Karşılaştırılması Yapılarak Pinus nigra Arnold Alt Tür pallasiana Varyetelerinin Filogenetik Analizi*. Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara.
10. **Gülsoy S. Süel, H. Çelik H. Özdemir S. & Özkan K. (2014)**. Modelling Site Productivity of Anatolian Black Pine Stands in Response to Site Factors in Buldan District, Turkey. *Pakistan Journal of Botany*, 46(1), 213-220.
11. **Güner Ş.T. Çömez A. Özkan K. Karataş R. & Çelik N. (2016)**. Türkiye'deki Karaçam Ağaçlandırmalarının Verimlilik Modellemesi. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, 66(1), 159-172.
12. **Özdamar K. (1999)**. *Paket Programlar İle İstatistiksel Veri Analizi*. Kaan Kitabevi Yayınları, Eskişehir.
13. **Özel H.B. Ertekin, M. & Tufanoğlu G.Ç. (2010)**. Devrek-Akçasu Yöresindeki Karaçam (*Pinus nigra* Arnold. ssp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe) ve Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) Ağaçlandırmalarında Boy Artımı ile Bazı İklim Faktörleri Arasındaki İlişkinin İncelenmesi. *Ecological Life Science*, 5(4), 376-389.
14. **Özel S. (2018)**. *Isparta-Yalvaç Yöresi Ağaçlandırma Çalışmalarının Silvikültürel Değerlendirilmesi*. Y. Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
15. **Özkan K. Gülsoy S. & Mert A. (2008)**. Interrelations Between Height Growth and Site Characteristics of *Pinus nigra* Arn. ssp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe. *Journal of The Malaysian Forester*, 71, 9-16.
16. **Sivacıoğlu A. Ayan S. Ergin Ö.F. & Ertekin M. (2004)**. Ehrami Karaçam (*Pinus nigra* subsp. *pallasiana* var. *pyramidata*) Aşılı Fidan Üretimi. *Gazi Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 42(2), 90-100.
17. **Tanişman V. (2017)**. *Başkomutan Tarihi Milli Parkında Uygulanan ve Potansiyel Silvikültürel Müdahalelerin İrdelenmesi*. Y. Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
18. **Ünalı ÜE. (2004)**. Nesli Tehlikedeki Ağaç: Ehrami Karaçam (*Pinus nigra* Arnold. ssp. *pallasiana* var. *pyramidata*). *Fırat Ü. Sosyal Bilimler Dergisi*, 14, 67-80.

19. **Yaltırık F. (1988).** *Dendroloji I (Gymnospermae) Açık Tohumlular.* İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, İstanbul.
20. **Yazıcı N. & Turan A. (2016).** Effect of Forestry Afforestation on Some Soil Properties: A Case Study from Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin*, 25 (7), 2509-2513.
21. **Yazıcı N. (2018).** Effect of Species and Environmental Factors on Growth Performances in Afforesration of *Cedrus libani* and *Pinus brutia*. *Fresenius Environmental Bulletin*, 27, 6913-6917.
22. **Yücel E. (1995).** *Ehrami Karaçamın Doğal Yayılışı ve Ekolojik Özellikleri.* Anadolu Üniversitesi Fen Fakültesi Yayınları, Eskişehir.

SÜRDÜRÜLEBİLİR HİDROJEN ÜRETİM TEKNOLOJİLERİ: BİYOKÜTLE TEMELLİ YAKLAŞIMLAR

Kübra Al¹, Ezgi Bayrakdar Ateş^{1,2*}

¹ Yalova Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, 77200, YALOVA

² Yalova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, 77200, YALOVA

Öz

Önemli bir enerji taşıyıcısı olan hidrojen doğal bir enerji kaynağı olmayıp, başta doğalgaz olmak üzere su, kömür ve biyokütle kullanılarak üretilmektedir. Son yıllarda gerçekleştirilen çalışmalarda araştırmacılar mevcut hidrojen üretim kaynak ve teknolojilerinin geliştirilmesine alternatif olarak, sürdürülebilir hidrojen üretimi ve çevre dostu çözümlere yönelmiştir. Sürdürülebilir enerji teknolojilerinin gelişimi ve enerji arz güvenliğinin yenilenebilir kaynaklarla sağlanmasının gerekliliği olarak biyokütle temelli hidrojen üretim teknolojisi bu çalışmada araştırılmıştır. Biyokütle hammaddesinin hidrojene dönüştürülmesinin önemini vurgulandığı bu çalışmada biyokütle esaslı hidrojen üretim termokimyasal, biyolojik ve elektrokimyasal dönüşüm yöntemleri olarak üç temel başlık ve bunlar içerisindeki farklı yöntemler üzerinden incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Biyokütle, sürdürülebilir hidrojen, biyohidrojen, termokimyasal dönüşüm, biyolojik dönüşüm

SUSTAINABLE HYDROGEN PRODUCTION TECHNOLOGIES: BIOMASS-BASED APPROACHES

Extended Abstract

Hydrogen, an important energy carrier, is not a natural energy source but is produced using natural gas, water, coal, and biomass. In recent years, researchers have turned to sustainable hydrogen production and environmentally friendly solutions as an alternative to the development of existing hydrogen production sources and technologies. The necessity of developing sustainable energy technologies and ensuring energy supply security with renewable resources is investigated in this study, biomass-based hydrogen production technology. In this study, in which the importance of converting biomass raw materials to hydrogen is emphasized, hydrogen production from biomass is examined under three main headings: thermochemical, biological and electrochemical conversion methods and different methods within them. While thermochemical processes are explained as pyrolysis, gasification, and supercritical water, biological processes are examined in four groups as direct fermentation, indirect fermentation, photo fermentation, and dark fermentation. The electrochemical process is specified as PEM and MEC. Although literature studies mostly use thermochemical methods for hydrogen production, it is important to work with biological processes for longer-term sustainable results. Thermochemical processes are very high-efficiency processes and the development and use of suitable catalysts greatly affect the yield. The use of catalysts also reduces tar formation, which is very important for process efficiency. In particular, removing or significantly reducing tar, which is one of the biggest problems of biomass-based thermochemical processes, is important in making biomass-based hydrogen production processes more sustainable. Optimizing the process conditions in biological processes, making arrangements to make production economical, and increasing the efficiency of the amount of hydrogen produced by these methods are among the main objectives. In biological processes, hydrogen production by dark fermentation and photo fermentation methods comes to the fore. These methods, which have a lower efficiency compared to thermochemical methods in terms of hydrogen yields, are not yet economical compared to thermochemical processes.

Key Words: Biomass, sustainable hydrogen, biohydrogen, thermochemical conversion, biological conversion

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author):

Ezgi BAYRAKDAR ATEŞ; Yalova University, Engineering Faculty,
Department of Energy Engineering,
77200, Yalova-Turkey.

Geliş (Received) : 11.04.2022

Kabul (Accepted) : 19.07.2022

Basım (Published) : 31.07.2022

1. Giriş

Günümüzde enerji ihtiyacının büyük bir kısmı odun, kömür, petrol ve doğal gaz gibi yenilenemeyen enerji kaynaklarından karşılanmaktadır (Kalinci vd., 2009). Artan petrol fiyatları ve bu kaynakların kullanımına bağlı iklim değişikliği sorunları ile yakın gelecekte bu kaynakların azalmasının beklenmesi gibi nedenlerden dolayı alternatif enerji kaynakları arayışı her geçen yıl artmaktadır (Effendi vd., 2008). Fosil yakıtlara alternatif olarak kullanılacak önemli enerji bir taşıyıcısı olan hidrojen tüm maddelerin yaklaşık %75'ini oluşturur ve doğada en bol bulunan element olarak tanımlanmaktadır (Baykara, 2018). Küresel hidrojen üretimi yaklaşık 7,7 EJ yıl⁻¹ olup, 2050 yılına kadar 10 EJ yıl⁻¹ değerine yükselmesi öngörülmektedir (Hydrogen Council, 2017). Enerji depolama kapasitesi çok yüksek olan hidrojenin 1 kg'ında yaklaşık 120 MJ (33,33 kWh) enerji içerdiği ve çoğu geleneksel enerji kaynağının iki katını aştığı belirtilmektedir (Hwang, 2014; Becherif vd., 2015). Hidrojen yakıt olarak depolanabilir, ayrıca ulaşımda, yakıt hücreleri kullanan elektrik üretim sistemlerinde, içten yanmalı motorlarda veya türbinlerde kullanılabilir (Marbán & Valdés-Solis, 2007; Rand, 2011).

Hidrojen, çeşitli yöntemlerle farklı kaynaklardan üretilebilir ve yakıt olarak yakıldığında ya da elektriğe dönüştürüldüğünde yalnızca atık olarak su üretir. Bu nedenle çevre dostu olarak nitelendirilen hidrojen gelecek vadede alternatif bir enerji kaynağı olup, son yıllarda tüm dünyada daha fazla ilgi görmektedir (Wang & Wan, 2009; Dong vd., 2017; Akubo vd., 2019). Hidrojenin tercih edilmesinin en büyük nedenleri; (i) evrende en bol bulunan element olması (ii) bilinen en yüksek yakıt içeriğine sahip en hafif element olması (iii) sürdürülebilir olması (iv) zehirli olmaması ve (v) petrol, doğal gaz ve kömürden farklı olarak çevre dostu olması olarak sıralanmaktadır (Abe vd., 2019; Dong vd., 2017).

H₂ üretim teknolojilerinin %96'sı yenilenemez kaynaklara dayanmaktadır ve petrol (%30) ve doğal gaz (%48) reformasyonu ardından kömür gazlaştırma (%18) en çok kullanılan süreçlerdir (IEA, 2015). Hidrojen üretim yöntemleri elektrokimyasal, termokimyasal, fotokimyasal, radyokimyasal, biyokimyasal ve hibrit olarak sınıflandırılabilir. Sürdürülebilir hidrojen yöntemleri açısından değerlendirildiğinde ise fosil yakıt dekarbonizasyonu, hidrojen sülfür ayrışması, biyokütle dönüşümü, atıktan hidrojen eldesi, suyun ayrıştırılması ve hibrit olarak gruplandırılmaktadır (Acar & Dincer, 2018). Sürdürülebilir hidrojen kaynakları ve yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilen hidrojen üretiminin daha çevreci ve temiz olması amaçlanmaktadır. Sürdürülebilir enerji kaynaklarının büyük çoğunluğunu yenilenebilir enerji kaynakları oluşturmaktadır (Dincer vd., 2021).

Türkiye'de tamamen yenilenebilir enerji kullanılarak hidrojen üretimi gerçekleştirilebilecek potansiyel mevcut olup, dolayısıyla hidrojen ekonomisinde sıfır bağımlılıkla üretim gerçekleştirilebilir. Bu durum enerji arz ve güvenliği açısından çok önemli bir avantajdır. Ülkemizde 2030 yılına kadar hidrojene geçiş sürecinin başarıyla gerçekleşmesi durumunda yaklaşık olarak 250 milyar TL'lik bir gelir hedefi bulunmaktadır. Hidrojen ekonomisinin sağlanması beklenen önemli bir avantajı da yaklaşık 170.000 istihdam olup, enerji sektöründe yeni bir çalışma alanı oluşturulmasıdır. Üretilen hidrojenin 2030 yılına kadar doğal gaz tercih edilen tüm alanlarda doğal gazla hacimsel olarak %20 hidrojen karıştırılması hedeflenmektedir. Gerçekleştirilen analiz sonuçlarına göre CO₂ emisyonlarının %18,5 azalması, NO_x ve SO₂ emisyonlarının da %17,5 ve %16,6 oranında azalması öngörülmektedir. Bu önemli çevresel kazanım, hidrojenin karbonsuz olması, kükürt ve azot gibi bileşenleri yapısında ihtiva etmemesi sayesinde (Dincer vd., 2021). Ayrıca hidrojenin üretildiği kaynakla sürdürülebilir bir kaynak ise çevresel açıdan çok daha önemli avantajlar sağlanması söz konusu olabilecektir.

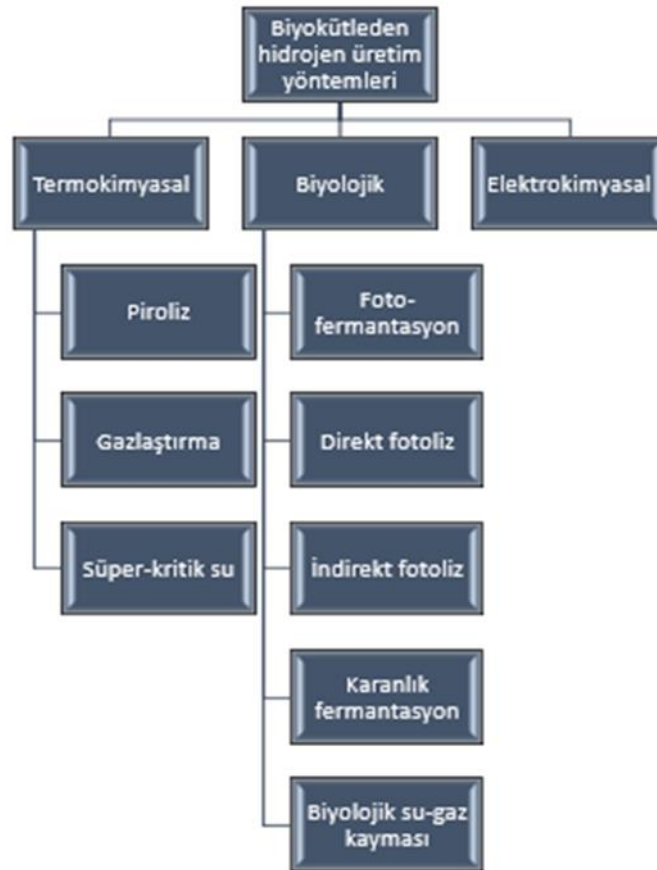
Sürdürülebilir kaynaklar arasında yer alan biyokütlenin popülaritesi büyük miktarda bulunan yenilenebilir bir enerji kaynağı olması ve karbon nötr bir enerji kaynağı olması nedeniyle artmaktadır. Enerji bitkileri, tarımsal kalıntılar, organik atıklar, biyorafinerilerden gelen yan ürünler, gıda endüstrisi tarafından üretilen atıklar ve belediye katı atıklarının biyolojik olarak parçalanabilen fraksiyonu gibi ucuz ve gıda dışı hammaddeler önemli biyokütle kaynakları olup, bol miktarda bulunmaktadır (Dong vd., 2017). Özellikle atıkların hammadde kaynağı olarak değerlendirilmesi açısından da bakıldığında biyokütlenin kullanılması çevresel sorunların önlenmesi açısından da oldukça büyük bir avantaja sahiptir (Setiabudi vd., 2020; Prasertcharoensuk vd., 2019). Bu sayede, farklı biyokütle esaslı kaynaklar hidrojen üretimi için kullanılarak çevreci ve sürdürülebilir hidrojen üretim stratejileri geliştirme dolayısıyla sürdürülebilir kalkınma yolunda önemli bir adım atılmaktadır (Zhao vd. 2021). Önemli bir sürdürülebilir hidrojen üretim hammaddesi olan biyokütle, bol miktarda karbon, oksijen ve hidrojen içeren organik maddeler içerir. Biyokütledeki H elementinin kütle oranı ~%6'dır ve bu, 1 kg biyokütle tarafından üretilen 0,672 m³ gaz halindeki hidrojene eşdeğerdir ve biyokütlenin toplam enerjisinin %40'ından fazlasını oluşturur (Cao vd., 2020). Bu değer biyokütlenin hidrojen üretimi için önemli bir kaynak olarak değerlendirilebileceğini göstermektedir (Prasertcharoensuk vd., 2019). Literatürde birçok derleme ve araştırma çalışması hidrojenin farklı biyokütle örneklerinden farklı yöntemlerle üretilebileceğini göstermektedir. Genel

olarak, hidrojen biyokütleden iki yolla üretilebilir: (1) doğrudan üretim yolları ve (2) depolanabilir ara maddelerin dönüştürülmesi (Balat & Kırtay, 2010; Setiabudi vd., 2020). Doğrudan üretim yöntemleri termokimyasal gazlaştırma, piroliz (Prasertcharoensuk vd., 2019) ve anaerobik parçalanma olarak sınıflanmaktadır (Balat & Kırtay, 2010). İkinci grup ise biyokütle pirolizi ve gazlaştırılması ile üretilen biyo-yağın buharla yeniden şekillendirilmesi sürecinden oluşmaktadır (Ni vd., 2006). Sürdürülebilir hidrojen üretiminin sağlanması için piroliz ve gazlaştırma süreçleri hali hazırda uzun bir süredir geliştirilmiş ve kullanılmaktadır (Dong vd., 2017).

Bu çalışmada biyokütle esaslı hidrojen üretimleri farklı güncel çalışma ve örneklerle desteklenerek incelenmektedir. Proses şartları, hidrojen üretim verimleri farklı yöntemler için değerlendirilirken, bu verilen bilgilerle bu yöntemlerin pratikte uygulanmasına yol göstericilerden biri olması hedeflenmektedir. Bu çalışma kapsamında incelenen yöntemler sürdürülebilir hidrojen üretimi için biyokütlenin önemli bir alternatif olduğunu göstermektedir.

2. Termokimyasal Dönüşüm

Hidrojen üretimi için termokimyasal süreçler, genellikle hidrokarbonlardan veya sudan hidrojeni serbest bırakan termal destekli kimyasal reaksiyonları içermektedir (Dong vd., 2017). Termokimyasal işlemin en önemli avantajı, toplam verimliliğinin (termalden hidrojene) daha yüksek (%52) ve üretim maliyetinin daha düşük olmasıdır (Balat, 2010). Biyokütle temelli termokimyasal hidrojen üretimi için başlıca (i) piroliz, (ii) geleneksel gazlaştırma (iii) süper-kritik su olarak üç yöntem kullanılmaktadır. Termokimyasal ve biyolojik bütün biyokütleden hidrojen üretim yöntemleri Şekil 1’de verilmektedir.



Şekil 1. Biyokütleden hidrojen üretim yöntemleri

2.1. Piroliz

Piroliz süreci oksijensiz ortamda 100-500 kPa basınç ve 500-800 K sıcaklıkta biyokütlenin ısıtılarak katı, sıvı ve gaz fazında ürünlere dönüştürülmesidir (Demirbas, 2009; Kumar & Strezov, 2021). Piroliz işlemi uygulanma süresine bağlı olarak yavaş, hızlı ve flaş olmak üzere üç farklı türde uygulanmaktadır. Biyokütlenin yavaş pirolizinde yüksek miktarda kömür üretirken, hızlı pirolizde ise yüksek sıcaklıkta gaz ve düşük sıcaklıkta katran üretilmektedir (Bridgwater, 2003). Yavaş pirolizde ana ürün kömür olduğu için bu yöntem hidrojen üretiminde tercih edilmemektedir. Literatür çalışmaları incelendiğinde lignoselülozik temelli piroliz işlem koşullarının verim ve süreç özellikleri üzerindeki etkilerine odaklanan detaylı araştırmalar yapıldığı tespit edilmiştir. Piroliz sürecinin önemli parametreleri olan sıcaklık (Mazlan vd., 2015; Yang vd., 2016; Bordoloi vd., 2016; Tan vd., 2017), ısıtma hızı (Chen vd., 2016; Morali vd., 2016; Yorgun & Yıldız, 2015; Varma & Mondal, 2017), buhar kalma süresi (Morali vd., 2016; Jourabchi vd., 2014; Ly vd., 2016; Morali & Şensöz, 2015) ve ayrıca hammaddenin parçacık boyutu (Varma & Mondal, 2017; Shirley vd., 2016) gibi farklı parametrelerinin ürün üzerindeki etkilerinin incelendiği çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte, gerçekleştirilen bu çalışmalarda piroliz ürünlerinin fizikokimyasal özellikleri ile gazlaştırma yöntemiyle sentez gazı/hidrojen üretimi için gerekli olan piroliz işlemindeki süreç parametreleri arasında herhangi bir korelasyon kurulmadan pirolizi tek bir işlem olarak kabul edilerek incelenmiştir. Bu araştırma çalışmalarından farklı olarak, Prasertcharoensuk vd. (2019) iki aşamalı gazlaştırma yöntemiyle piroliz koşullarının sentetik gazın kalitesi ve katran oluşumu açısından gazlaştırma işlemine etkisini araştırmışlardır. Wang vd. (2022) de çalışmalarında uçucu maddelerin ikincil pirolizinin üretilen hidrojen miktarını artırdığını vurgulamışlardır. Benzer şekilde literatür incelendiğinde birçok çalışmada, üretilen sentez gazının hidrojen içeriğini zenginleştirmek için piroliz ve gazlaştırma süreçlerinin birlikte kullanılacak şekilde entegre edildiği görülmektedir (Li vd., 2022a; Pandey vd., 2019; Chen vd., 2015; Jin vd., 2018; Akubo vd., 2019; Yang vd., 2021; Dong vd., 2017). Piroliz süreçlerinin ürünleri ve genel operasyon koşulları Tablo 1’de verilmektedir.

Tablo 1. Piroliz süreci ürünleri ve operasyon koşulları (Balat vd., 2009; Jahiril vd., 2012).

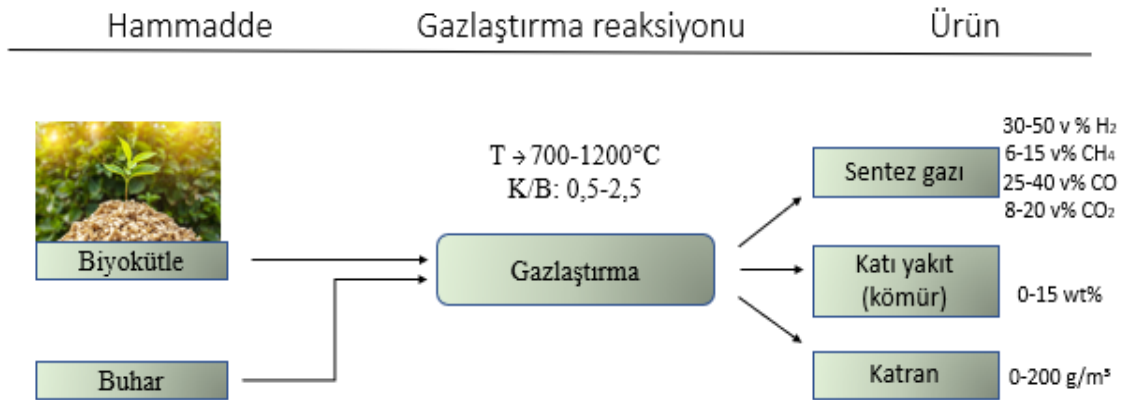
Piroliz Türü	Sıcaklık (°C)	Kalma Süresi	Isıtma Hızı (°C s ⁻¹)	Ana Ürün
Yavaş	55-950	Uzun (5-30dk)	Düşük (10)	Gazlar, char, biyo-yağ
Hızlı	850-1250	Kısa (0.5-2s)	Yüksek (100)	Biyo-yağ, gazlar, char
Flaş	1050-1300	Çok kısa (<0.5s)	Çok yüksek (>500)	Gazlar ve biyo-yağ

Hızlı piroliz yüksek sıcaklıkta çok kısa kalma sürelerine sahip olduğu için daha yüksek hidrojen üretimi sağlanmaktadır (Elliott vd., 1991). Hızlı piroliz ürünleri tüm gaz, sıvı ve katı fazlarda bulunabilir. Gaz halindeki ürünler, piroliz için biyokütlenin organik yapısına bağlı olarak H₂, CH₄, CO, CO₂ ve diğer gazları içermektedir (Jalan & Srivastava, 1999; Wang vd., 2022). Biyoyakıt üretimi için piroliz işlemleri uygulansa da uygun alıkonma süresinde ve yüksek sıcaklık koşullarında hızlı piroliz yoluyla doğrudan biyokütle temelli hidrojen üretilmektedir (Hosseini vd., 2015; Ni vd., 2006). Hızlı piroliz, biyokütlenin ayrışmasından önce biyokütlenin en yüksek sıcaklığa hızlı bir şekilde ısıtılması sürecidir. Bu süreçte biyokütle, buhar, katran ve kömüre dönüştürülmekte ve ardından yoğunlaşabilir buhar, biyo-yağ adı verilen sıvı yakıtı yoğunlaştırılmaktadır. Yoğunlaştırılmayan ürünler ise hidrojen, karbon monoksit gibi gaz halindeki ürünlerdir (Pandey vd., 2019). Gaz halindeki bileşendeki hidrojen konsantrasyonu, tepe sıcaklığı yükseltilecek veya katalizör dahil edilerek artırılabilir. Kömür oluşumunu azaltmak ve sıvı verimini artırmak için flaş piroliz önerilir. Aynı zamanda yüksek sıcaklıktaki reaksiyon süreci nedeniyle bu yöntem hidrojen üretimini de artırmaktadır (Pandey vd., 2019). Bu bağlamda genel olarak bakıldığında piroliz işlemi etkileyen önemli faktörler şu şekilde sıralanmaktadır: (i) Biyokütlenin boyutunun küçük olması sayesinde, yüksek ısı akışı ve ısıtma hızının da yardımıyla hidrojen gazı veriminin artması söz konusu olmaktadır. (ii) Pirolizin reaksiyon sıcaklığı artışı üretilen hidrojen miktarını artırmaktadır. Hidrojenin yüzde verimi, daha yüksek bir sıcaklıkta daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Başka bir ifadeyle, hidrojen konsantrasyonu, reaksiyon sıcaklığı ile büyük oranda doğrusal olarak değişmektedir. Li vd. (2017), piroliz reaksiyonu sıcaklığını 400°C'den 500°C'ye yükselterek hidrojen gazı verimini artırmıştır. (iii) Çalışma sırasında, pirolizde kalma süresinin yakıtın farklı bileşenlerinin oluşması üzerinde nominal bir etkisi olduğu görülmektedir. Hidrojen üretimi, alıkonma süresi ile artar ve belirli bir alıkonma süresinde optimum değere ulaşır (Pandey vd., 2019). Biyokütlenin kalma süresi hidrojen üretimine olumlu bir etkide bulunurken, katran oluşumunu ve katranın ürün dağılımını da önemli ölçüde etkilemektedir. Katranın varlığı piroliz verimini düşürürken, CO₂'nin varlığı H₂ konsantrasyonunu azaltmaktadır (Wang vd., 2022; Gupta vd., 2021; Kwon vd., 2019; Yang vd., 2019; Guo vd., 2016; Zhao vd.,

2021). Buna ek olarak termokimyasal süreçler açısından ürün verimini artıran önemli bir parametre olan katalizör kullanımı da hem gaz üretimini hem de üretim hızını artırmak açısından çok büyük bir öneme sahiptir. Demirbas 2002, biyokütle piroliz işleminde katalizör kullanılarak %91 enerji dönüşüm verimliliği ile ağırlıkça %12,65'lik hidrojen verimi elde etmiştir. Buna ek olarak, katran ve CO₂'nin katalizör varlığında uzaklaştırılarak hidrojen verimini artırmak, biyokütle pirolizi ile H₂ üretim teknolojisini geliştirmenin ana hedeflerindedir (Yang vd., 2018; Lopez vd., 2020; Zhao vd., 2018; Wang vd., 2022). Uçucu maddelerin katalizör yüzeyindeki kimyasal reaksiyonları, biyokütle katalitik pirolizinden H₂ üretimi için katran katalitik parçalamaya, su gazı kayması, metan reformasyonu ve karbon indirgemesi adımlarından oluşmaktadır (Leng vd., 2018; Wang vd., 2022). Biyokütle katalitik pirolizi için gözenekli seramikler (Quan vd., 2018), olivin (Tursun vd., 2019), dolomit (Valle vd., 2020), alkali metaller (Dang vd., 2020) ve Ni esaslı katalizörler (Santamaria vd., 2020;) gibi farklı katalizör sistemleri geliştirilmiştir (Dong vd., 2017). Literatür çalışmaları incelendiğinde çoğunlukla Ni esaslı alümina destekli katalizörlerin kullanıldığı görülmektedir (Pandey vd., 2019; Blanquet & Williams, 2021; Wang vd., 2022; Akubo vd., 2019). Hidrojen verimini arttırmada diğer katalizörlere kıyasla daha yüksek bir etkiye sahip olan Ni esaslı katalizörler için verilen çalışma aralığında elde edilen maksimum H₂ üretimi 29,78 g kg⁻¹'dir. (Pandey vd., 2019). Nikel katalizörler ile ilgili en önemli sorun yüksek reaksiyon sıcaklıklarında katalizör yüzeyinde kok oluşumunun meydana gelmesi ve buna bağlı olarak katalitik aktivite ve seçicilikte meydana gelen düşümedir (Blanquet & Williams, 2021; Dong vd., 2017).

2.2. Gazlaştırma

Gazlaştırma, biyokütlenin çok yüksek sıcaklıkta kısmi oksidasyon yoluyla yanıcı gaz karışımına dönüştürülmesi işlemi olarak tanımlanmaktadır. Biyokütleden gazlaştırma ile hidrojen üretimi en gelecek vadede (Li vd., 2022a; Tezer vd., 2022; Anniwaer vd., 2021) ve en geniş ticari kullanıma sahip (Salam vd., 2018) biyokütle temelli hidrojen üretim yöntemi olarak kabul edilmektedir. Bununla birlikte, H₂ üretimi için biyokütlenin buharla gazlaştırılması pirolize göre daha yüksek verim ve daha düşük yatırım maliyeti sağlamaktadır (Hoang vd., 2022; Anniwaer vd., 2021). Biyokütle gazlaştırması genel olarak 700-1200°C arasındaki sıcaklıklarda gazlaştırma maddesi olarak hava, oksijen, buhar veya bunların karışımları kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Gazlaştırma sonucunda H₂, CO, CO₂, CH₄ ve diğer hidrokarbonlardan oluşan gaz bir ürün meydana gelmektedir (Parthasarathy vd., 2014; Setiabudi vd., 2020; Yao vd., 2016; Pandey vd., 2019; Tezer vd., 2022; Hoang vd., 2022). Karbon monoksit daha sonra su-gaz kaydırma reaksiyonuna girer ve ilave karbondioksit ve hidrojen üretir (Shayan vd., 2018). Hidrojen açısından zengin sentez gazının üretimi için buhar kullanımının en uygun gazlaştırma maddesi olduğu genel olarak kabul edilmektedir (Cao vd., 2020; Li vd., 2022a; Blanquet & Williams, 2021; Hoang vd., 2022). Gazlaştırma sürecinde gerekli olan ek enerji ve daha yüksek sıcaklık koşulları hidrojen üretimini artırıcı etki oluşturmaktadır. Bununla birlikte süreç içerisinde katalizör kullanılması gaz verimini artırma ve gaz kalitesini iyileştirmede önemli bir faktördür (Xu vd., 2018). Alkali ve alkali toprak metaller biyokütle gazlaştırma kinetiğini geliştirmede önemli bir katalitik etkiye sahip oldukları için sıklıkla tercih edilmekte ve alkali metallerin gazlaştırma içerisindeki aktivitesi toprak metallerine göre daha yüksek olmaktadır (Anniwaer vd., 2021). Biyokütlenin gazlaştırılması yolu ile hidrojen üretiminin şematik yol ile gösterimi Şekil 2'de verilmektedir.



Şekil 2. Hidrojen üretimi için biyokütle buhar gazlaştırma işleminin şematik gösterimi (Arregi vd., 2018)

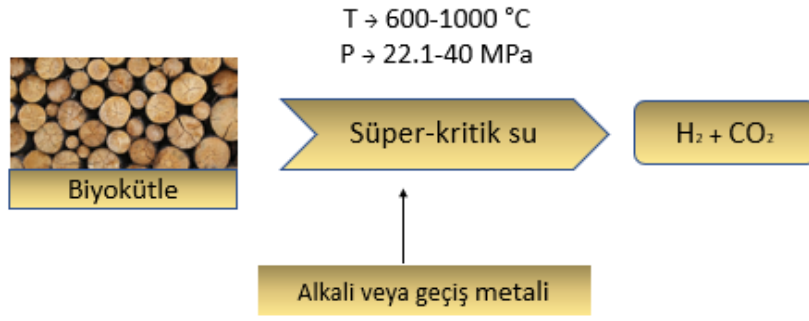
Gazlaştırmanın enerji verimliliği yanmadan daha fazladır. En önemli avantajlarından biri, biyokütle gazlaştırma işleminin işlem sırasında katran oluşumu ile başa çıkabilmesidir (Hossain vd., 2016). Biyokütle gazlaştırmasındaki ana reaksiyon adımları: (i) Biyokütlenin ısıtılması ve pirolizi ile biyokütlenin gaz, kömür ve birincil katrana dönüştürülmesi; (ii) Birincil katranın gazlara ve ikincil ve üçüncül katranlara kırılması; (iii) İkincil ve üçüncül katranların çatlaması; (iv) Piroliz sırasında oluşan kömürün heterojen gazlaştırma reaksiyonları ve homojen gaz faz reaksiyonları; (v) Yanıcı gazların piroliz ve oksidasyonu sırasında oluşan kömürün yanması olarak sıralanmaktadır (Saxena vd., 2008; Tezer vd., 2022). Hava gazlaştırma ile yüksek verimlilikte ve oksijen gerektirmeden tek ürün oluşturulduğundan, bu yöntem en yaygın kullanılan teknolojidir. Su, CO₂, hidrokarbonlar, katran ve nitrojen gazı gibi yan ürünlerle birlikte tipik ısıtma değeri 4-6 MJ Nm⁻³ olan %60'a kadar N₂ içeren düşük ısıtma değerli bir gaz üretilmektedir. Oksijenle gazlaştırma ise 10-15 MJ Nm⁻³ ısıtma değerinde daha kaliteli bir gaz vermektedir. Bu işlemde nispeten 1000-1400°C arasında bir sıcaklık söz konusu olmaktadır (Guo vd., 2022). Ancak aynı anda maliyet ve güvenlik sorunu olan bir O₂ kaynağı gerektirmesi söz konusudur. Buharla gazlaştırma ise, karbonlu malzemenin kalıcı gazlara (H₂CO, CO₂, CH₄ ve hafif hidrokarbonlar), kömür ve katrana dönüştürülmesiyle sonuçlanmaktadır. Korozyon problemlerini, katalizörlerin zehirlenmesini önlemek ve gazlaştırma işleminin genel verimliliğini artırmak için katran bileşenlerinin en aza indirilmesi gerekir (Saxene vd., 2021; Tezer vd., 2022; Abdoulmoumine vd., 2015). Verimli bir biyokütle gazlaştırma süreci için daha yüksek verim, daha ucuz hammadde, daha düşük işletme ve kurulum gibi faktörlere ek olarak çevresel etkilerin etkisinin azaltılması sağlanmalıdır (Hoang vd., 2022). Genel olarak biyokütle gazlaştırma sürecinde, özellikle katalizör deaktivasyonunun ana kaynağı katran oluşumu olup, sentez gazı üretiminin kalitesini etkilemesi nedeniyle süreç içerisinde bazı sorunlarla karşılaşmaktadır. Ek olarak, katran oluşumunun ekipmanda tıkanmalar veya kirlenme gibi gazlaştırmayı olumsuz etkileyen sonuçları da tespit edilmiştir (Setiabudi vd., 2020; Hoang vd., 2022; Abdoulmoumine vd., 2015). Bu amaçla katranın azaltılması ve nihai ürün kalitesinin korunması, kısmi oksidasyon, termal parçalama ve buhar reforming yöntemlerinin uygulanmasını gerektirmektedir (Liu vd., 2020). Bazı farklı gazlaştırma proseslerinin karşılaştırılması Tablo 2'de verilmiştir (Saxene vd., 2008; Tezer vd., 2022; Hoang vd., 2022).

Tablo 2. Farklı gazlaştırma prosesleri (Saxene vd., 2008; Tezer vd., 2022; Hoang vd., 2022).

	Hava gazlaştırma	Oksijen Gazlaştırma	Buhar Gazlaştırma
Reaktör sıcaklığı °C	900-1100	1000-1400	700-1200
Ürün ısı değeri (MJ/Nm³)	Düşük 4-5	Yüksek 10-15	Yüksek 15-20
Ürünler	CO, H ₂ , su, CO ₂	CO, H ₂ , HC, CO ₂	H ₂ , CO, CO ₂ , CH ₄ , hafif hidrokarbon, katran
Ortalama gaz kompozisyon ürünü	H ₂ 15%, CO 20%, CH ₄ 2%, CO ₂ 15%, N ₂ 48%, H ₂ :CO: 0,75	H ₂ 40%, CO 40%, CO ₂ 20%, H ₂ :CO: 1	H ₂ 40%, CO 25%, CH ₄ 8%, CO ₂ 25%, N ₂ : 2%, H ₂ :CO: 1
Maliyet	Düşük	Yüksek	Orta

2.3. Süper Kritik Su

Geleneksel gazlaştırma sistemine benzer gazlar üreten süper-kritik su gazlaştırması yüksek basınçta ve 600-800°C'de gerçekleştirilmektedir (Sawai & Yamamoto, 2014). Yüksek sıcaklık ve basınçta çalışılması nedeniyle, tüm mineral içeriği ve ağır metal kalıntıda konsantrale hale gelmekte ve bu durum kaynak geri kazanımı için bir potansiyel sağlamaktadır. Süper kritik su yönteminde biyokütle; hidrojen, karbon monoksit, karbondioksit, metan ve diğer gazları üretmek için piroliz, hidroliz, yoğunlaşma ve dehidrojenasyon yoluyla ayrıştırılabilmektedir. Bu proseste su hem reaksiyon ortamı hem de reaktan görevi gördüğünden, süper kritik su gazlaştırmasından önce hammaddeyi kurutmak gerekmemektedir. Bu durum enerji tüketimini önemli ölçüde azaltmakta ve maliyeti düşürmektedir (Cao vd., 2020). Bu yöntemle hidrojen üretimine ait şematik gösterim Şekil 3'te verilmektedir.



Şekil 3. Süper kritik su gazlaştırma süreci ile biyokütle bazlı hidrojen üretimi (Cao vd., 2020)

Süper kritik su ile gazlaştırmada metal katalizör olarak genellikle Ni ya da Pd, Pt, Rh ve Ru soy metaller kullanılmaktadır. (Minowa & Ogi, 1998; Yoshida vd., 2004; Yamaguchi vd., 2009; Osada vd., 2004). H₂'nin molar fraksiyonu biyokütlenin süper kritik su gazlaştırma reaksiyonu tarafından üretilen sentez gazının yaklaşık %10-60'ını oluşturmaktadır (Su vd., 2022). Gazlaştırma reaksiyonlarda sıcaklığın fazla olması; katranın yok edilmesine ve gaz verimini arttırmasıyla hidrojen verimine olumlu etkilemektedir. Buharın artması, su gazını, CO değişimi ve metan oluşum reaksiyonlarını etkilemesinden dolayı hidrojen oluşumunda önemli rol oynamaktadır (Parthasarathy & Narayanan, 2014; Tezer vd., 2022). Farklı gazlaştırma yöntemlerine ait örnek çalışmalar Tablo 3'te sunulmaktadır.

Tablo 3. Farklı gazlaştırma yöntemleri ile H₂ üretimi.

Atık türü	Reaksiyon tipi	Kataliz	Operasyon koşulları	H ₂ verimi	Referans
Küspe	Hava gazlaştırma	-	700-900°C, ≤0,35mm	3,64-29,72g kg ⁻¹	Chang vd., 2011
Ayçiçeği sapı	Süper kritik su gazlaştırma	K ₂ CO ₃	500°C, 60dk	9,68mol kg ⁻¹	Yanik vd., 2008
Ayçiçeği sapı	Süper kritik su gazlaştırma	Raney Ni	500°C, 60dk, 3°C/min	7,99mol kg ⁻¹	Yanik vd., 2008
Buğday samanı	Süper kritik su gazlaştırma	Cu/MgO	450°C, 23-28MPa, 20dk	8,13mol kg ⁻¹	Lu vd., 2019
Buğday samanı	Süper kritik su gazlaştırma	Fe/MgO	450°C, 23-28MPa, 20dk	9,20mol kg ⁻¹	Lu vd., 2019
Çay atığı	Hava gazlaştırma	%20 (w/w) kataliz K ₂ CO ₃	850°C, 15dk,	3,55mol kg ⁻¹	Ayas & Esen, 2016
Mısır koçanı	Termal olmayan ark plazma	-	Güç 13W	%52 volume	Du vd., 2015
Mısır sapı	Buharla gazlaştırma	CaO/C	650°C	8,79 mol kg ⁻¹	Siwal vd., 2020
Şeker kamışı	Buharla gazlaştırma	%10Ni - Al ₂ O ₃	750- 1050°C, buhar debi oranı 6-25ml/h	39,18 mol kg ⁻¹	Waheed vd., 2016
Buğday samanı	Buharla gazlaştırma	%15wt Ni /AC	İki aşamalı sabit yataklı reaktör, 800°C Buhar/biyokütle=4	92,08 mg/g (%64,02 vol)	Yao vd., 2016

3. Biyolojik Dönüşüm

Biyolojik dönüşüm sistemleri foto-fermentasyon, direkt fotoliz, indirekt fotoliz ve karanlık fermentasyon olarak dört başlıkta incelenmektedir (Rezaeitavabe vd., 2020; Levin vd., 2004). Her işlem, H₂ oluşumunu katalize etmek için kullanılan enzimlerin doğasına bağlıdır (Levin vd., 2004). Genellikle mikro algler ve siyanobakteriler gibi mikroorganizmalar, nitrojenazlar ve hidrojenazlar dahil olmak üzere H₂'yi sentezlemek için gerekli enzimleri üretmektedir (Larsen vd., 2004). Nitrojenazlar, adenosin trifosfattan (ATP) ve elektronlardan protonları (H⁺) azaltır ve H₂'yi serbest bırakırken, hidrojenazlar protonların hidrojene dönüşümü tersine çevrilebilir şekilde katalizlemektedir.

Termokimyasal süreçlerin aksine, biyolojik dönüşüm daha düşük sıcaklıklarda (30–60 °C) ve basınçlarda (1 atm) gerçekleşmekte ve bu durum enerji maliyetini düşürmektedir (Lepage vd., 2021; Lopez-Hidalgo vd., 2022; Wang & Yin, 2018). Hidrojenin biyolojik üretimi, geleneksel fiziksel/kimyasal hidrojen üretim yöntemlerine karşılaştırıldığında daha sürdürülebilir ve çevre dostu olarak nitelendirilmektedir (Zagrodnik & Łaniecki, 2017; Kumar vd., 2020). Biyolojik süreçler atık yönetiminde özellikle ilgi çekmekte ve tarımsal atıkların, belediye katı atıklarının veya tarımsal gıda atıklarının ve katı kalıntıların enerji içeriği yüksek bir yakıtla dönüştürülmesini sağlamaktadır. Arıtma çamuru üzerinde bu konudaki araştırmalar, malzemenin doğasının farklı biyolojik işlemlerle dönüştürülmesine elverişli olması nedeniyle son on yılda artmıştır (Lepage vd., 2021).

3.1. Foto-fermentasyon

Fotosentetik bakteriler, güneş enerjisi ve organik asitler veya biyokütle kullanarak nitrojenazlarının etkisiyle hidrojen üretme kapasitesine sahiptir. Foto-fermentasyonla hidrojen üretimi organik asitler açısından zengin atık ve atık suların geniş ölçekte substrat olarak kullanıldığı bir biyohidrojen yöntemidir (Mishra vd., 2019). Enerjinin güneş ışığından elde edildiği fotofermentasyon sürecinde, elektronlar, endojen substratın katabolizması yoluyla fotosentezde kullanılmak üzere yeşil algler tarafından salınmasını içermektedir. Güneş ışığı kullanılarak su; elektronlara, protonlara ve oksijene dönüştürülür. Proseste nitrojenaz katalizörü kullanılarak protonlar ve elektronlar nitrojen ve ATP ile reaksiyona girerek ADP, H₂ ve amonyak oluşurmaktadır (Sorensen, 2012). Organik substratların dönüştürülmesi yoluyla nispeten daha düşük hidrojen verimlerine sahip olmasına rağmen, foto-fermentasyonla hidrojen üretimi önemli hidrojen dönüşüm oranı değerleri nedeniyle gelecek vadeden bir hidrojen üretim yöntemi olarak değerlendirilmektedir (Show vd., 2019). Karbon kaynaklarına bağlı olarak, literatürde maksimum %80 hidrojen verimi ve %9,3 ışık dönüşüm verimi değerleri elde edilebilmiştir (Argun & Kargi, 2011). Foto-fermentasyon ile yüksek hidrojen verim değerleri sağlansa bile; hidrojen üretiminin ekonomik fizibilitesi, aktif hidrojen üreten enzim (nitrojenaz) ve ışık yoğunluğu ile sınırlı olmaktadır (Lee vd., 2010). Karbon/azot oranı, ışık yoğunluğu, reaksiyon tankı konfigürasyonu ve mikrobiyal tohum yaşı gibi uygun proses koşulları da hidrojen verimini iyileştirmede etkili olmaktadır (Show & Lee, 2013). Farklı biyokütle kaynakları ile foto-fermentasyon yöntemi ile hidrojen üretimine dair bazı örnek çalışmalar ve detayları Tablo 4 içerisinde verilmektedir.

Tablo 4. Bazı biyokütle kaynakları ile foto-fermentasyon yoluyla hidrojen üretimi.

Atık	Ön işlem	Reaksiyon	Mikroorganizmalar	H ₂ verimi	Referans
Mısır samanı	0,074 mm, Hidroliz 5% HCl at 118 °C,30 dk, katı/sıvı oranı 1:10	4000±200lx ışık, batch reaktör, 30°C sıcaklıkta, pH:7.1- 7,6	Rhodobacter sphaeroides HY01 and WH04	4,62mol H ₂ mol ⁻¹ azaltılmış şeker	Wang vd., 2018
Mısır sapı hidrolizat	0,14mm (60Mesh) asit hidrolizi 1.5% HCl, 108°C, 0,5h daha sonra NaOH 50°C, 10h pH:4,8	3000 lx, 30°C sıcaklık, pH:8	Rhodobacter capsulatus	54,1mL L ⁻¹ .h ⁻¹	Feng vd., 2018
Mısır cob	Kuru hava ile öğütme hareketsiz selüloz	3000 lx, 30°C sıcaklık, başlangıç pH:7, %20 (v/v) karışı bakterisi	Rhodospirillum rubrum, Rhodopseudomonas capsulata, Rhodopseudomonas palustris	5,97 mmol L ⁻¹ h ⁻¹ , 30,09 mmol L ⁻¹	Zhang vd., 2014
Buğday samanı	H ₂ SO ₄ (pH:3), 90°C'de 15 dk otoklavandı	3000 lx, 30°C sıcaklık, pH:7, başlangıçta 5g/L şeker konsantrasyonunda	Rhodobacter sphaeroides RV	178 mL H ₂ 3,69 mL H ₂ h ⁻¹ (1,23 mol H ₂ mol glukoz ⁻¹)	Kapdan vd., 2009
Öğütülmüş buğday nişastasının karanlık fermantasyon çıkışı	Birkaç besin takviyesi	5000 lx'te halojen lamba, 30°C sıcaklıkta, pH: 7,3, 72h	Rhodobacter sphaeroides	185mL/ g uçucu yağ asidi	Ozmihci & Kargi, 2010
Buğday samanı	%4 H ₂ SO ₄ 121 °C sıcaklıkta, 30dk	10% tahom aşısı (inoculum), 30± 2.0 °C, başlangıçta pH 7	Rhodobacter capsulatus PK	254 mL L ⁻¹	Mirza vd., 2013

Pirinç samanı	Kuru hava ile öğütme hareketli selüloz	3000 lx, 30°C sıcaklık, başlangıç pH:7, %20 (v/v) karışı bakterisi	İnek ve domuz gübresinden izole edilen fotosentetik bakteriler	140,26 mmol L ⁻¹ 3,76 mmol L ⁻¹ h ⁻¹	Reungsang vd., 2018
Elma atığı	Kırılıp 40 gözlü elek ile elenmiştir	~3030 lx, 30,46°C, başlangıç pH 7,14, malzeme sıvı oranı 0,21 (60h)	Photosynthetic bacteria HAU-M1	111,85 mL/g TS ⁻¹	Lu vd., 2016

3.2. Direkt Fotoliz

Direkt fotoliz, güneş enerjisi direkt kullanılarak fotosentetik reaksiyonlar ile sudaki hidrojen iyonunu ve oksijenin ayrılmasından oluşmaktadır (Genç, 2009; Li vd., 2022b; Javed vd., 2022; Nagarajan vd., 2017). Oluşan hidrojen iyonu, hidrojenaz enzimi ile hidrojen gazına dönüştürülmektedir (Manish & Banerjee, 2008; Kapdan & Kargı, 2006; Nagarajan vd., 2017). Doğrudan biyofotolizde fotosentetik cihaz ışığı yakalar ve geri kazanılan enerji, bir hidrojenaz enzimini indirgemek için kullanılabilen düşük potansiyelli bir indirgeyicinin üretimine su bölünmesini birleştirmek için kullanılmaktadır. Bu reaksiyon ilk olarak hücre dışı bir kloroplast-ferrodoksin-hidrojenaz sistemi ile gösterilmektedir (Hallenbeck & Benemann, 2002; Li vd., 2022b; Javed vd., 2022).

Doğrudan fotoliz, siyanobakterilerin ve alglerin fotosentez yoluyla suyu oksijene ve hidrojene ayırma yeteneğinden yararlanmaktadır. Algler, su ayırma reaksiyonları yoluyla sudan proton ve elektronları çıkarmak için güneş enerjisini kullanma yeteneğini geliştirmiştir. Biyohidrojen üretimi, ışığın doğrudan absorpsiyonu ve elektronların hidrojenazlar ve nitrojenazlar olmak üzere iki enzim grubuna aktarılması yoluyla gerçekleşmektedir. Anaerobik koşullar altında veya işlemde çok fazla enerji tutulduğunda, bazı mikroorganizmalar hidrojen iyonlarını hidrojen gazına dönüştüren bir hidrojenaz enzimi kullanarak fazla elektronları serbest bırakmaktadır. Su ayırma işlemi yoluyla ekstrakte edilen protonların ve elektronların, bir kloroplast hidrojenaz tarafından yeniden birleşerek %98'e kadar saflıkta moleküler hidrojen gazı oluşturduğu tespit edilmiştir (Show & Lee, 2013; Li vd., 2022b). Fotosentetik bakteriler, hidrojen dışında oksijen üretir ve bu da daha sonra hidrojen üretimini sınırlayabilmektedir. Doğrudan fotolizin bir avantajı, bol ve ucuz besleme suyu temini olarak ifade edilmektedir. Ayrıca, çevresel açıdan ulaşılabilir olması ve güneş gibi emisyon içermeyen bir kaynaktan yüksek verimde yararlanabilme diğer önemli avantajları olarak belirtilmektedir (Mona vd., 2020; Nagarajan vd., 2017). Ancak, süreci uygulanabilir kılmak için üstesinden gelmesi gereken zorluklar vardır. Yeterli güneş enerjisinden yararlanmak için geniş ekim alanlarına ihtiyaç olması ve aerobik koşullar altında kesintisiz hidrojen üretimine ulaşma hedefi en önemli zorluklar olarak belirtilmektedir (Show vd., 2019). Bununla birlikte, direkt fotoliz son 50 yıldır olduğu gibi, hidrojenaz reaksiyonlarının O₂ duyarlılığı ve karmaşık kontrol edilemeyen süreç adımları nedenleriyle pratik uygulama için hala uzun vadeli bir üretim sürecidir (Mona vd., 2020).

3.3. İndirekt Biyofotoliz

Direkt biyofotolizde gözlemlenen O₂'nin engellenmesinden kaçınmak amacıyla, indirekt biyofotoliz süreci geliştirilmiş ve kullanılmaktadır (Genç, 2009; Li vd., 2022b; Nagarajan vd., 2017). Alternatif olarak, belirli koşullar altında doğrudan hidrojen üretebilen bazı mikroorganizmalar (algler) (Manish & Banerjee, 2008) ve siyanobakteriler (Javed vd., 2022) kullanılarak biyohidrojen hazırlanabilmektedir. Yeşil alglerin kükürttен yoksun bırakılmış ışıktan elde edilen enerjiye sahip anaerobik kültürleri, fotosentetik olarak hidrojen üretmek için "hidrojenaz yolunu" kullanılmaktadır. Böyle bir hidrojen üretim koşulu (kükürt yoksunluğu) sırasında, hücreler önemli miktarlarda dahili nişasta ve protein tüketmektedir. Bu tür katabolik reaksiyonlar, görünüşe göre hidrojen üretim sürecini dolaylı olarak desteklemektedir. Bazı araştırmacılar, güneş enerjisini daha iyi kullanmak için mikroorganizmaların tasarlanmasıyla %10 ila 13 arasında bir verim elde edilebileceğini öne sürmektedir (Show vd., 2013). Tahminler, alg fotosentezinin kapasitesinin hidrojen üretimi için tam olarak kullanılması durumunda, kültür alanında akre başına 80 kg hidrojen üretilebileceğini göstermektedir ve şu anda, biyohidrojen üretimi için alglerin fotosentetik kapasitesinin en fazla %10'u kullanılabilir. Işık dönüşüm verimliliği %10-15'e ulaşabilirse, yüksek verimli dolaylı biyofotoliz uygulanabilir olabilir (Show vd., 2019). Ayrıca, büyüme fazı sırasında biriken biyokütle miktarı, mikroalglerden dolaylı biyofotoliz H₂ oluşumunu da sınırlayabilir (Corrêa vd., 2017). Mikroalglerin aksine, siyanobakterilerde reaksiyonlar, aydınlık ve karanlık döngüleri şeklinde geçici olarak ayrı ayrı gerçekleşebilmektedir. İndirekt sürecinde iki ayrı aşamada reaksiyon gerçekleştiği için, O₂ evrimi aşaması H₂ üretim aşamasından ayrı olmaktadır. Böylece hidrojenaz enziminin H₂ üretim aşamasında O₂ duyarlılığı sağlanmış olmaktadır. İlk aşamada, siyanobakteriler ışık döngüsü sırasında

fotosentez yapmakta, CO₂ ve H₂O'nun reaksiyonu sonucunda organik maddeler ve O₂ üretilmektedir. İkinci aşamada ise, organik maddelerin çözünür metabolitlere, H₂ ve CO₂'e dönüştürüldüğü ışıktan bağımsız döngü (karanlık döngü) izlemektedir (Javed vd., 2022).

3.4. Karanlık Fermentasyon

Hidrojen, karbonhidrat bakımından zengin substrat üzerinde karanlıkta büyüyen anaerobik bakteriler tarafından üretilebilir. Biyohidrojen üretimi için daha az enerji gerektiren ve basit bir yaklaşım olarak bilinmektedir (Hitam & Jalil, 2020; Guellout vd., 2022). Biyolojik yolla hidrojen üretim alternatifleri arasında, karanlık fermentasyon, H₂ üretim oranları, ışık gerektirmemesi (Lopez-Hidalgo vd., 2022), düşük maliyet, sürdürülebilir enerji üretimi sağlaması ve basit bir yöntem olması gibi avantajlarıyla iyi anlaşılmış ve tercih edilen bir yöntemdir (Ghimire vd., 2015; Guellout vd., 2022). Biyolojik yolla hidrojen üretiminde en iyi anlaşılmış süreç olan karanlık fermentasyon (Łukajtis vd., 2018) anaerobik koşullarda çalışmakta ve karmaşık (kompleks) organik bileşiklerin kullanılmasını gerektirmektedir (Hosseini vd., 2015). Çeşitli organik substratlar ve karbonhidratlar ile zenginleştirilmiş atık sular ile yüksek oranda ve düşük maliyetle üretim gerçekleştirilmesi mümkün olmaktadır. Fermentatif hidrojen üretiminde biyokütle olarak tarımsal atık, gıda işleme atıkları, hayvan atıkları ve kanalizasyon atıkları/çamurunu içeren çeşitli kaynaklar besleme stoğu olarak kullanılmaktadır (Show vd., 2012; Manish & Banerjee, 2008; Saleem vd., 2018).

Karanlık fermentasyonla hidrojen üretimi, zorunlu anaerobik veya fakültatif anaerobik mikroorganizmalar tarafından, anaerobik koşullar altında metabolik yollarıyla üretilmektedir. Bu koşullarda oksijen kullanılmamakta ve mikroorganizmalar, proton gibi alternatif bir terminal elektron alıcısı aramak zorunda kalmaktadır. Bir elektron protona aktarıldığında hidrojen üretilmektedir. Biyokütle, çoğunlukla asetat ve bütirat yolları ile hidrojene dönüştürülmektedir (Rafieenia vd., 2018; Lopez-Hidalgo vd., 2022). Substratların, asidojenik bakterilerin zenginleştirilmesi ve hidrojentrotrofik metanojenlerin inhibisyonu yoluyla ön işleme tabi tutulması karanlık fermentasyonla hidrojen üretimi reaksiyonunu hidrojen açısından seçici hale getirmektedir (Kumar vd., 2016; Kumar vd., 2017). Karanlık fermentasyon sürecinde kullanılan ön işlem teknikleri fiziko-mekanik (ekstrüzyon ve piroliz), fiziko-kimyasal (buhar, amonyak lifi ve CO₂ patlaması, sıcak su, ıslak oksidasyon, sonifikasyon, mikrodalga uygulamalı), kimyasal (ozon, asit veya alkalik, oksidatif delignifikasyon, Organo-çözme ve iyonik sıvı) ve enzimatik ön işlemler olarak sınıflandırılmaktadır. Bu yöntemler arasında et etkili olan gruplar kimyasal ve fiziko-kimyasal ön işlemlerdir (Sivagurunathan vd., 2017).

Sıcaklık dağılımına bağlı olarak karanlık fermentasyon prosesleri mezofiller (25-40°C), termofiller (60-80°C), hipertermofiller (80°C üzeri) sıcaklık prosesi olarak sınıflandırılmaktadır (Lazaro & Hallenbeck, 2019; Gopalakrishnan vd., 2019) Karanlık fermentasyon ile hidrojen üretiminin verimliliği yaklaşık %1-5 arasında değişmektedir. Bu süreçte, saf hidrojenin yanı sıra, esas olarak H₂, CO₂ ve daha az miktarda CH₄, CO ve hidrojen sülfür (H₂S) içeren karışık bir biyogaz üretilmektedir (Levin & Chahine, 2010). Fermentasyon öncesi ön işlemin uygulanmasının biyokütle türüne göre değişkenlik göstermesi, maliyetinin çok düşük olmaması karanlık fermentasyon sürecinin teknik ve ekonomik engelleri olarak görülmektedir (Kannah vd., 2021).

Organik yükleme hızı, sıcaklık, hidrolik bekleme süresi ve pH karanlık fermentasyon ile hidrojen üretimine etki eden önemli parametrelerdir. Termofilik koşullarda gerçekleşen hidrojen üretim hızı mezofilik koşullardakinden daha fazla olduğu gözlemlenmiştir (Shin & Park, 2013). Ancak biyolojik hidrojen üretiminde kullanılacak kesin sıcaklık için henüz standart bir yöntem belirlenmemiştir. Hidrolik bekleme süresi uzun olduğunda daha yüksek hidrojen üretimi sağlamaktadır. En yüksek hidrojen üretimi 36 saatlik hidrolik bekleme süresinde gerçekleşirken en düşük ise 12 saatte olarak kaydedilmiştir (Kim & Kim, 2012). Karanlık fermentatif hidrojen üretimi için en büyük zorluk, düşük hidrojen verimi olarak belirtilmektedir. Örneğin, glikoz substrat olarak kabul edilirse, H₂'ye %100 dönüşüm olduğunda 12 mol H₂/mol-glukoz hidrojen verimine yol açmaktadır. Bununla birlikte, bilinen fermentatif reaksiyonlara dayanarak, elektron alıcıları sadece hidrojen ve asetat olduğunda maksimum teorik hidrojen verimi sadece 4 mol H₂/mol-glukoz olmaktadır (Mishra vd., 2019). Karanlık fermentasyon ile biyohidrojen üretiminde pH etkisi çoğunlukla fermentasyon işlemi sırasında kullanılan besleme stoğunun metabolizması ile ilgili olarak değişmektedir. Fermentasyon işlemi için ortalama olarak en iyi pH 5,5-6 aralığı olarak belirlenmiştir (Khanal, 2003). Alt tabaka olarak karışık mikroflora kullanılarak en yüksek hidrojen üretimi pH=4,5 iken elde edilmiştir (Shin & Park, 2013). Saravanan vd. (2021), şeker pancarı küspesinde karanlık fermentasyon yoluyla hidrojen üretiminde verimi 0,15m³ H₂ kg VS⁻¹ olduğunu belirtmişlerdir. Cieciora vd., (2020) yaptıkları çalışmada şeker pancarına Fe₂O₃'ün eklenmesi ile en yüksek verim değerini 52,11dm³ H₂ kgVS⁻¹ olarak tespit etmişlerdir. Karanlık fermentasyonla hidrojen üretimine dair çeşitli örnek çalışmalar Tablo 5 içerisinde sunulmaktadır.

Tablo 5. Karanlık fermantasyon yoluyla biyokütleden hidrojen üretimi.

Atık	Ön işlem	Reaksiyon	Mikroorganizmalar	H ₂ verimi	Referans
Buğday samanı	Hidrotermal ön işlem (Faz 1 6dk-80°C, faz 2 15dk-180°C, faz 3 3dk-190°C)	70°C sıcaklıkta	Termofilik karışık kültür	178 mL g ⁻¹ şeker	Kaparaju vd., 2009
Buğday samanı	Hidrotermal ön işlem	Batch ve sürekli karıştırmalı tank reaktörü (CSTR), 70°C, Batch final pH: 5,2, CSTR yaklaşık pH: 5,5	Karışık kültür	Batch: 14,2 mmol g ⁻¹ şeker CSTR: 7,9mmol g ⁻¹ şeker	Kongjan vd., 2010
Mısır sapı	Asit ön işlem (121 °C, 1h, 0,5 wt% H ₂ SO ₄)	Batch reaktör, 36°C sıcaklıkta, pH: 7	Karışık kültür	144,3 mL g ⁻¹ mısır sapı	Song vd., 2012
Mısır sapı	Buhar patlatma (1,6 MPa, 5dk)	UASB reaktör, 37°C sıcaklıkta, pH: 6,5	Anaerobik çamur(sludge) (15 dakika kaynatılmış ve Clostridium paraputrificum ile zenginleştirilmiş)	63,7 ml g ⁻¹ mısır sapı (hidrolizat)	Lu vd., 2009
Mısır sapı	Mikroalga destekli alkali ön işlem (45dk, 0,12 NaOH/g mısır sapı)	Batch reaktör tipi, 55°C sıcaklık, sıvı:kati oranı: 50:1, pH değeri sodyum bikarbonat ile 7,2'ye ayarlandı.	Clostridium thermocellum DSM 7072 and Clostridium thermosaccharolyticum DSM869	105,6 mL g ⁻¹ kuru mısır sapı	Li vd., 2014
Pirinç samanı	2 mm boyutundaki %1 alkali ve nano ölçekteki malzeme ön işlem görmüş, daha sonra selüloz ve hidrolize edilmiştir (144h).	Batch reaktör tipi, 37±2 °C sıcaklıkta, başlangıç pH: 7,5	Clostridium, pastöryanum	2580 mL L ⁻¹ hidrolizat	Srivastava vd., 2017
Pirinç samanı	Mikroalga destekli alkali ön işlem (140°C, 15dk, 0,5% NaOH) + enzimatik hidroliz (96h)	35°C sıcaklıkta, pH:6,5	Anaerobik aktif çamur (30dk kaynatılmış), Clostridium butyricum	155 mL g ⁻¹ toplam uçucu kati	Cheng vd., 2011
Şeker kamışı küspesi	Sıvı/kati: 25:1 NaOH %3, 80°C, 3h (biyokütle boyutu 74 µm)	Batch reaktör, 55°C sıcaklıkta, 72h, optimum pH: 6-7, +20mM CaCO ₃	Clostridium thermocellum	109 mL g ⁻¹ kuru biyokütle	Tian vd., 2015
Şeker kamışı küspesi	2-5 mm boyutundaki küspe 1:15 kati ve sıvı oranı içinde %2 sülfürik asit (h/h), otaklavanır (121°C, 15lb/inc ² , 1h).	Batch reaktör tipi, 30°C sıcaklıkta, başlangıç pH: 6,8.	Enterobakter, aerojenler	1000 mL L ⁻¹ hidrolizat	Rai vd., 2014

3.5. Biyolojik Su-Gaz Kayması (BWGS)

Karbon kaynağı olarak karbon monoksit kullanan fotoheterotrofik bakterilerin kapasitesine bağlı bir süreç olarak ifade edilmektedir. Bu mikroorganizmalar karanlıkta CO₂'yu oksitleyerek ve enzimatik bir yoldan H₂O'yu azaltarak H₂ (CO₂ ile birlikte) üretilebilmektedir (Lepage vd., 2021). Farklı mikroorganizma türleriyle BWGS işlemi gerçekleştirilebilir. Rhodospirillum rubrum en yaygın olarak incelenen mikroorganizma türü iken, Carboxydotherrmus hidrojenoformans en çok kullanılan gram pozitif mikroorganizmadır (Alfano & Cavazza, 2018; Hosseini vd., 2015). Termokimyasal bir su-gaz kaydırma sürecine kıyasla daha düşük basınç ve sıcaklıklarda gerçekleştirilmektedir. Besleme stoğundan salınan karbon monoksit, bakteriyel aktiviteyi azalttığı için sınırlandırılmalıdır. Ek olarak, biyoreaktördeki konsantrasyonu artırmak için mikroorganizmaların iyileştirilmesi gerekmektedir (Lepage vd., 2021). Prins vd. (2003) yaptıkları çalışmada 1 kg hücrenin bir kabarcık (bubble) kolonunda veya damlama yataklı biyoreaktörde günde 1 kg hidrojen üretebileceğini ifade

etmişlerdir. Biyolojik su-gaz kaydırma işlemi ile hidrojen üretiminin işlem maliyetinin, diğer biyolojik işleme maliyetlerine kıyasla 3,4 \$ kg⁻¹ olacağını tahmin edilmektedir (Kalinci vd., 2009). Biyolojik süreçlerin organizmalar ve substratları, avantaj ve dezavantajları Tablo 6'da sunulmaktadır.

Tablo 6. Biyolojik proseslerin organizmalar ve substratları, avantaj ve dezavantajları (Rai & Singh 2016; Mishra vd., 2019).

Proses	Organizmalar ve substrat	Avantaj	Dezavantaj
Direkt Biyofotoliz	Mikroalgler, su	Doğrudan H ₂ O ve güneş ışığından H ₂ üretebilir. Yüksek ışık dönüştürme verimliliği Enerji döngüsü karbon içermez	Yüksek yoğunlukta ışık gerektirir O ₂ sistem için tehlikelidir. Büyük fotobiyoreaktörler gerektirir
İndirekt Biyofotoliz	Siyanobakteriler, su	H ₂ O'dan H ₂ üretebilir, N ₂ 'yi sabitleyebilme	Nitrojenaz heterosistlerinin sentezi ve bakımı için hidrojenaz enzimi ATP gereksinimi alımı
Foto-fermantasyon	Mor sülfür içermeyen bakteri	Geniş ışık aralığı kullanılabilir Substrat olarak kullanılan organik atıklar, karanlık fermantasyondan gelen atık suları kullanılabilir Biyoremediasyonda yardım	Nitrojenaz üzerinde O ₂ inhibisyonu Düşük ışık dönüşüm verimliliği Atık suların ön arıtımı gerekiyor Alım hidrojenaz varlığı
Karanlık-fermantasyon		Işıksız H ₂ üretebilir Substrat olarak kullanılan çeşitli organik atıklar O ₂ sınırlama sorunu yok	Hidrojenaz üzerinde O ₂ inhibisyonu Gaz CO ₂ içerir H ₂ verimi arttıkça termodinamik olarak elverişsiz hale gelir

4. Elektrokimyasal Dönüşüm

Elektroliz, su moleküllerini parçalayarak hidrojen üretimi için geniş çapta incelenen bir elektrokimyasal süreçtir. Dönüşüm hızlı ve basit olup, ayırmadan sonra saf H₂ üretilmektedir. Ayrıca, proses süresince veya sonrasında kükürt, karbon veya nitrojen yan ürün oluşmadığı için, gazlaştırma prosesleriyle karşılaştırıldığında arıtma maliyetlerinden tasarruf sağlamaktadır. Biyokütle için de elektrokimyasal dönüşüm uygulanabilir. Su ve biyokütle elektrolizi arasındaki fark, anotta meydana gelen reaksiyondaki farklılıktan kaynaklanmaktadır. Besleme stoğu, sudan gaz halinde oksijen üretmek yerine oksitlenmektedir. Biyokütle elektrolizi, Proton Değişim Membran Elektroliz Hücresi (PEM) ve Mikrobiyal Elektroliz Hücresi (MEC) olmak üzere iki farklı teknoloji ile gerçekleştirilebilir. Hem PEM'ler hem de MEC'ler, etanol ve gliserol gibi biyo-bazlı moleküller için yaygın olarak kullanılmaktadır. Selüloz veya odun talaşı gibi polimerik moleküller doğrudan elektroliz yoluyla dönüştürülemez. PEM sistemleri, yüksek hidrojen gazı fraksiyonu elde etmek için protonları transfer eden polimerik bir membran içermektedir. MEC sistemlerinde, organik maddenin H⁺ üretmek için oksidasyonu, katalizör olarak elektrokimyasal olarak aktif mikroorganizmalar kullanılarak gerçekleştirilir ve bu işlem, süreci bir "biyo elektrokimyasal" sistem haline getirir. PEM teknolojisi pahalı katalizörler gerektirdiği gibi ayrıca biyokütle elektrolizi sırasında üretilen organik asitleri nötralize etmek için yüksek hacimde alkali molekül tüketir ve bu yüzden işlem daha da pahalı hale gelmektedir. Aynı bulgular MEC sistemi için de geçerli olmaktadır. Biyokütle fermente edilmeli ve organik asitlere veya alkollere dönüştürülmeli ve sadece bu moleküller MEC yoluyla H₂'ye dönüştürülebilir (Liu vd., 2016). MEC'ler, çeşitli donör substratlardan hidrojen yakalama verimliliği %67 ila %91 arasında değiştiğinden, yüksek hidrojen verimi sağlayabilmektedir (Mishra vd., 2019). Ek olarak, elektrik tüketimi su elektrolizinden daha düşük olmasına rağmen, MEC'nin dönüşüm oranı, sürecin rekabet edebilmesi için çok yavaş olmaktadır (Lepage vd., 2021). MEC'i pratikte yapmanın temel zorlukları, üretilen elektronların enerjisini artırmak için harici enerji kaynağının gerekliliği olarak ifade edilmektedir. MEC işlemi sırasında birkaç noktada enerji kayıpları ve uygulanan voltajı belirlemek için tezler toplanmaktadır. Kullanılması gereken voltaj artması durumunda, üretilen hidrojen gazının enerji değeri, enerji girişinden daha düşük olmaktadır (Mishra vd., 2019). Bu dezavantajlar, biyokütleden H₂ üreten elektroliz sistemlerinin gelişimini yavaşlatmıştır. Biyokütlenin doğrudan elektrolizi ile ilgili araştırmalara gelecekte devam edilmesi gerekmektedir (Lepage vd., 2021).

En çok kullanılan biyokütle kaynaklı hidrojen üretim dönüşüm yöntemlerinin avantaj, dezavantaj ve H₂ verimleri karşılaştırılması Tablo 7'de verilmiştir. En fazla H₂ üretim verimi termokimyasal dönüşüm sistemlerinde olduğu gözlemlenmiştir.

Tablo 7. Çeşitli biyokütle esaslı hidrojen üretimi proseslerin avantajları, dezavantajları ve H₂ verimlerinin karşılaştırılması

	Proses	Avantaj	Dezavantaj	H ₂ verimi (g kg ⁻¹ hammadde)	Referans
Termokimyasal Dönüşüm	Biyokütle Gazlaştırma	Mevcut endüstriyel tasarım, orman artığı ve endüstriyel atık geri dönüşümü, yüksek biyokütle dönüşüm verimliliği, buharla gazlaştırmada pahalı oksijen kaynağı gerektirmemesi	CO ₂ emisyonları, katalizörün deaktivasyonuna yol açan katran ve kömür oluşumu, biyokütle karmaşıklığı ve bileşim farklılıkları nedeniyle H ₂ değişimi, yüksek çalışma sıcaklığı, katalizör rejenerasyonu ihtiyacı, yüksek reaktör maliyeti	40-190	Balat, 2010; Lepage vd., 2021; Demirbas, 2016
	Biyokütle Piroliz	Mevcut endüstriyel tasarım, orman artığı ve endüstriyel atık geri dönüşümü, biyokütlenin çok yönlü dönüşümü (gaz, biyoyağ, biyokömür), basit süreç	CO ₂ emisyonları, katran ve kömür oluşumu, biyokütle karmaşıklığı ve bileşim varyasyonu nedeniyle H ₂ değişimi, katalizör rejenerasyonu ihtiyacı, yüksek reaktör maliyeti	25-65	Zhao vd., 2010
Biyolojik Dönüşüm	Karanlık Fermantasyon	Biyolojik ve organik atık akışları geri dönüşüm, alg biyokütlesinin dönüştürülmesi (yüksek büyüme oranı), düşük işletme	Düşük H ₂ verimi ve oranı üretimi, yüksek yan ürün oluşumu, ön işlem ihtiyacı	4-44	Dincer & Acar, 2015; Hosseini vd., 2015; Lepage vd., 2021; Ni vd., 2006
	Foto Fermantasyon	Biyolojik ve organik atık geri dönüşümü, neredeyse alt tabaka dönüşümü, düşük çalışma sıcaklığı ve basıncı	Düşük H ₂ verimi ve hızı üretimi, yüksek yüzey alanı gereksinimi, bakterileri kontrol etme ihtiyacı, enzimler için yüksek enerji talebi, düşük enerji güneş enerjisi dönüşüm verimliliği	9-49	
Elektrokimyasal dönüşüm	PEM	Aritma gerektirmez, daha düşük elektrik tüketimi (su elektrolizi ile karşılaştırıldığında), hafif koşullar	Pahalı üretim, düşük üretim hızı, çözültideki daha az karmaşık moleküller için uygun	-	Pal vd., 2021; Liu vd., 2016
	MEC			15-98	

5. Sonuç ve Öneriler

Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan biyokütlenin sürdürülebilir hidrojen üretiminde kullanılması son yıllarda giderek artan bir ilgiye sahip olup, biyokütle temelli üretim prosesleri genellikle termokimyasal, biyolojik ve elektrokimyasal olarak üçe ayrılmaktadır. Termokimyasal prosesler piroliz, gazlaştırma ve süperkritik su olarak üç grupta incelenirken, biyolojik prosesler ise direkt fermantasyon, indirekt fermantasyon, foto fermantasyon, karanlık fermantasyon olarak dört grupta sınıflandırılmaktadır. Elektrokimyasal proses ise PEM ve MEC olarak ifade edilmektedir. Bu yöntemler arasında en çok üzerinde çalışılan yöntemler termokimyasal süreçler çatısı altında toplanmış olup, hidrojen üretimi verimi en fazla gazlaştırma yöntemi olarak tespit edilmiştir. Genel olarak hidrojen üretim verimleri ticari açıdan kullanım olarak düşük gözükse de son geliştirilen teknoloji ve yöntemlerle bu verimin artırılması amaçlanmaktadır. Özellikle termokimyasal süreçlerde yeni katalizör sistemlerinin geliştirilmesi ve entegre şekilde iki aşamalı piroliz-gazlaştırma süreçlerinin kullanılması gerek hidrojen veriminin artırılması gerekse katran oluşumunun önüne geçilerek verim ve çevresel etkiler açısından daha etkin üretim süreçlerinin geliştirilmesi açısından büyük önem arz etmektedir. Gelecek için önemli bir enerji kaynağı niteliğinde olan hidrojenin üretim verimini arttırmak ve maliyetini azaltmak için biyokütle temelli hidrojen üretim teknolojilerinin geliştirilmesi ve araştırmaya devam etmek çok önemlidir. Bu araştırma, farklı biyokütle temelli hidrojen yöntemlerini detaylı literatür taramasıyla açıklayarak, teknik problemlerin

çözümüne destek olmayı amaçlayan çözümlerin geliştirilmesi ve sürdürülebilir biyohidrojen üretimi için geliştirilecek endüstriyel uygulamaların tasarımı için bir bakış açısı getirmeyi amaçlamaktadır.

Kaynaklar

1. **Abdoulmoumine, N., Adhikari, S., Kulkarni, A. & Chattanathan, S. (2015).** A review on biomass gasification syngas cleanup. *Applied Energy*, 155, 294–307.
2. **Abe, J. O., Popoola, A. P. I., Ajenifuja, E., & Popoola, O. M. (2019).** Hydrogen energy, economy and storage: review and recommendation. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44(29), 15072-15086.
3. **Acar, C. & Dincer, I. (2018).** 3.1 Hydrogen Production. *Comprehensive Energy Systems*, 3, 1-40.
4. **Akubo, K., Nahil, M. A. & Williams, P. T. (2019).** Pyrolysis-catalytic steam reforming of agricultural biomass wastes and biomass components for production of hydrogen/ syngas, *J. Energy Institute*, 92 (6), 1987–1996.
5. **Alfano, M. & Cavazza, C. (2018).** The biologically mediated water–gas shift reaction: structure, function and biosynthesis of monofunctional [NiFe]-carbon monoxide dehydrogenases, *Sustainable Energy Fuels*. 2 (2018) 1653–1670.
6. **Anniwaer, A., Chaihad, N., Zhang, M., Wang, C., Yu, T., Kasai, Y., Abudula, A. & Guan, G. (2021).** Hydrogen-rich gas production from steam co-gasification of banana peel with agricultural residues and woody biomass. *Waste Management*, 125, 204–214.
7. **Argun, H. & Kargi, F., (2011).** Bio-hydrogen production by different operational modes of dark and photo-fermentation: an overview, *International Journal of Hydrogen Energy*, 36, 7443–7459.
8. **Arregi, A., Amutio, M., Lopez, G., Bilbao, J. & Olazar, M. (2018).** Evaluation of thermochemical routes for hydrogen production from biomass: A review. *Energy Conversion and Management*, 165, 696-719.
9. **Ayas, N. & Esen, T. (2016).** Hydrogen production from tea waste. *International Journal of Hydrogen Energy*, 41(19), 8067-8072.
10. **Balat H. & Kirtay E. (2010).** Hydrogen from biomass e present scenario and future prospects. *International Journal of Hydrogen Energy* 35, 7416-7426.
11. **Balat, M. (2010).** Thermochemical Routes for Biomass-based Hydrogen Production. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 32(15), 1388–1398.
12. **Balat, M., Balat, M., Kirtay, E. & Balat, H. (2009).** Main routes for the thermo-conversion of biomass into fuels and chemicals. Part 1: Pyrolysis systems. *Energy Conversion and Management*, 50(12), 3147-3157.
13. **Baykara, S. Z. (2018).** Hydrogen: a brief overview on its sources, production and environmental impact. *International Journal of Hydrogen Energy*, 43(23), 10605-10614.
14. **Becherif, M., Ramadan, H. S., Cabaret, K., Picard, F., Simoncini, N. & Béthoux, O. (2015).** Hydrogen energy storage: new techno-economic emergence solution analysis. *Energy Procedia*, 74, 371-380.
15. **Blanquet, E. & Williams, P. T. (2021).** Biomass pyrolysis coupled with non-thermal plasma/catalysis for hydrogen production: Influence of biomass components and catalyst properties. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 159, 105325.
16. **Bordoloi, N., Narzari, R., Sut, D., Saikia, R., Chutia, R. S. & Katak, R. (2016).** Characterization of bio-oil and its sub-fractions from pyrolysis of Scenedesmus dimorphus. *Renewable Energy*, 98, 245-253.
17. **Bridgwater A. (2003).** Renewable fuels and chemicals by thermal processing of biomass. *Chemical Engineering Journal*, 91(2–3):87–102.
18. **Cao, L., Iris, K. M., Xiong, X., Tsang, D. C., Zhang, S., Clark, J. H., Hu, C., Ng, Y. H., Shang, J. & Ok, Y. S. (2020).** Biorenewable hydrogen production through biomass gasification: A review and future prospects. *Environmental Research*, 186, 109547.
19. **Chen, D., Li, Y., Cen, K., Luo, M., Li, H. & Lu, B. (2016).** Pyrolysis polygeneration of poplar wood: effect of heating rate and pyrolysis temperature, *Bioresour Technol*, 218, 780-788.
20. **Chen, F., Wu, C., Dong, L., Jin, F., Williams, P. T. & Huang, J. (2015).** Catalytic steam reforming of volatiles released via pyrolysis of wood sawdust for hydrogen-rich gas production on Fe-Zn/Al₂O₃ nanocatalysts, *Fuel*, 158, 999–1005.
21. **Cheng, J., Su, H., Zhou, J., Song, W. & Cen, K. (2011).** Microwave-assisted alkali pretreatment of rice straw to promote enzymatic hydrolysis and hydrogen production in dark- and photo-fermentation. *International Journal of Hydrogen Energy*, 36(3), 2093–2101.
22. **Cieciura-Wloch, W., Borowski, S. & Domański, J. (2020).** Dark fermentative hydrogen production from hydrolyzed sugar beet pulp improved by iron addition. *Bioresour Technol*, 123713.
23. **Corrêa, D. O., Santos, B., Dias, F. G., Vargas, J. V. C., Mariano, A. B., Balmant, W., Rosa, M. P., Savi, D. C., Kava, V., Glienke, C. & Ordóñez, J. C. (2017).** Enhanced biohydrogen production from

- microalgae by diesel engine hazardous emissions fixation. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42, 21463–21475.
24. **Dang, C., Liu, L., Yang, G., Cai, W., Long, J. & Yu, H. (2020).** Mg-promoted Ni-CaO microsphere as bi-functional catalyst for hydrogen production from sorption-enhanced steam reforming of glycerol. *Chemical Engineering Journal*, 383, 123204.
 25. **Demirbas, A. (2009).** Thermochemical conversion of mosses and algae to gaseous products. *Energy Sources, Part A*, 31(9), 746-753.
 26. **Demirbas, A. (2016).** Comparison of thermochemical conversion processes of biomass to hydrogen-rich gas mixtures. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 38(20), 2971-2976.
 27. **Demirbaş, A. (2002).** Gaseous products from biomass by pyrolysis and gasification: effects of catalyst on hydrogen yield. *Energy Conversion and Management*, 43(7), 897-909.
 28. **Dincer, I. & Acar, C. (2015).** Review and evaluation of hydrogen production methods for better sustainability. *International Journal of Hydrogen Energy*, 40, 11094–11111.
 29. **Dincer, I., Eroglu, I. & Ozturk, M. (2021).** Türkiye için Hidrojen Teknolojileri Yol Haritası. *Hidrojen Teknolojileri Derneği Yayınları*. ISBN: 978-605-66381-9-0.
 30. **Dong, L., Wu, C., Ling, H., Shi, J., Williams, P. T. & Huang, J. (2017).** Promoting hydrogen production and minimizing catalyst deactivation from the pyrolysis-catalytic steam reforming of biomass on nanosized NiZnAlO_x catalysts. *Fuel*, 188, 610–620.
 31. **Du, C., Wu, J., Ma, D., Liu, Y., Qiu, P., Qiu, R., Liao, S. & Gao, D. (2015).** Gasification of corn cob using non-thermal arc plasma. *International Journal of Hydrogen Energy*, 40(37), 12634–12649.
 32. **Effendi, A., Gerhauser, H. & Bridgwater, A. V. (2008).** Production of renewable phenolic resins by thermochemical conversion of biomass: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(8), 2092-2116.
 33. **Elliott, D. C., Beckman, D., Bridgwater, A. V, Diebold, J.P., Gevert, S. B. & Solantausta Y. (1991).** Developments in direct thermochemical liquefaction of biomass: 1983–1990. *Energy & Fuels*, 5(3):399–410.
 34. **Genç, N. (2009).** Biyolojik hidrojen üretim prosesleri. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11(2), 17-36.
 35. **Ghimire, A., Frunzo, L., Pirozzi, F., Trably, E., Escudie, R., Lens, P. N. L. & Esposito, G., (2015).** A review on dark fermentative biohydrogen production from organic biomass: Process parameters and use of by-products. *Applied Energy*, 144, 73–95.
 36. **Gopalakrishnan, B., Khanna, N. & Das, D. (2019).** Dark-fermentative biohydrogen production. In: Pandey A, Mohan SV, Chang JS, Hallenbeck PC, Larroche C, editors. *Biohydrogen. 2nd ed. Elsevier B.V.*; p. 79-122.
 37. **Guellout, Z., Francois-Lopez E., Benguerba Y., Dumas C., Kumar Yadav K., Fallatah A. M., Pugazhendhi A. & Ernst B. (2022).** Dark fermentative biohydrogen production from vinicultural biomass without exogenous inoculum in a semi-batch reactor: A kinetic study. *Journal of environmental management*, 305, 114393.
 38. **Guo, F., Dong, Y., Fan, P., Lv, Z., Shuai, Y. & Lei, D. (2016).** Detailed kinetic study of phenol decomposition under isothermal conditions to understand tar catalytic cracking process. *Journal of Analytical Applied Pyrolysis*; 118:155–63.
 39. **Guo, J-X., Tan, X., Zhu, K. & Gu, B. (2022).** Integrated management of mixed biomass for hydrogen production from gasification. *Chemical Engineering Research and Design*, 179, 41–55.
 40. **Gupta, J., Papadakis, K., Konyshva, E. Y., Lin, Y., Kozhevnikov, I. V. & Li, J. (2021).** CaO catalyst for multi-route conversion of oakwood biomass to value-added chemicals and fuel precursors in fast pyrolysis. *Applied Catalysis B: Environmental*, 285, 119858.
 41. **Hallenbeck, P. C. & Benemann, J. R. (2002).** Biological hydrogen production; fundamentals and limiting processes. *International Journal of Hydrogen Energy*, 27(11-12), 1185-1193.
 42. **Hitam, C. N. C. & Jalil, A. A. (2020).** A review on biohydrogen production through photo-fermentation of lignocellulosic biomass. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 1-19.
 43. **Hoang, A. T., Huang, Z. -H., Nižetić, S., Pandey, A., Nguyen, X. P., Luque, R., Ong, H. C., Said, Z., Le, T. H. & Pham, V. V. (2022).** Characteristics of hydrogen production from steam gasification of plant-originated lignocellulosic biomass and its prospects in Vietnam. *International Journal of Hydrogen Energy*. 47, 4394-4425.
 44. **Hosseini, S. E., Abdul Wahid, M., Jamil, M. M., Azli, A. A. M. & Misbah, M. F. (2015).** A review on biomass-based hydrogen production for renewable energy supply. *International Journal of Energy Research*, 39(12), 1597–1615.

45. **Hwang, H. T. & Varma, A. (2014).** Hydrogen storage for fuel cell vehicles. *Current Opinion in Chemical Engineering*, 5, 42-48.
46. **Hydrogen Council (2017).** Hydrogen scaling up. A sustainable pathway for the global energy transition; 2017 (Erişim tarihi: 22.12.2021)
47. **International Energy Agency (IEA).** Technology roadmap: hydrogen and fuel cells. Paris; 2015 (Erişim tarihi: 24.12.2021)
48. **Jahirul, M. I., Rasul, M. G., Chowdhury, A. A. & Ashwath, N. (2012).** Biofuels production through biomass pyrolysis—a technological review. *Energies*, 5(12), 4952-5001.
49. **Jalan R.K. & V.K. Srivastava, (1999).** Studies on pyrolysis of a single biomass cylindrical pellet-kinetic and heat transfer effects, *Energy Conversion and Management* 40, 467.
50. **Javed, M. A., Zafar, A. M., Hassan, A. A., Zaidi, A. A., Farooq, M., Badawy, A. E., Lundquist, T., Mohamed, M. M. A. & Al-Zuhair, S. (2022).** The role of oxygen regulation and algal growth parameters in hydrogen production via biophotolysis. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 10, 107003.
51. **Jin, F. Z., Sun, H., Wu, C. F., Ling, H. H., Jiang, Y. J., Williams, P. T. & Huang, J. (2018).** Effect of calcium addition on MgAlOx supported Ni catalysts for hydrogen production from pyrolysis-gasification of biomass, *Catalysis Today*, 309, 2–10.
52. **Jourabchi, S. A., Gan, S. & Ng, H. K. (2014).** Pyrolysis of Jatropha curcas pressed cake for bio-oil production in a fixed-bed system, *Energy Conversion Management*, 78, 518-526.
53. **Kalinci, Y., Hepbasli, A. & Dincer, I. (2009).** Biomass-based hydrogen production: A review and analysis. *International Journal of Hydrogen Energy*, 34(21), 8799–8817.
54. **Kannah, R. Y., Kavitha, S., Karthikeyan, O. P., Kumar, G., Dai-Viet, N. V. & Banu, J. R. (2021).** Techno-economic assessment of various hydrogen production methods—A review. *Bioresource Technology*, 319, 124175.
55. **Kaparaju, P., Serrano, M., Thomsen, A. B., Kongjan, P. & Angelidaki, I. (2009).** Bioethanol, biohydrogen and biogas production from wheat straw in a biorefinery concept. *Bioresource Technology*, 100(9), 2562–2568.
56. **Kapdan, I. K. & Kargi, F. (2006).** Bio-hydrogen production from waste materials. *Enzyme and microbial technology*, 38(5), 569-582.
57. **Kapdan, I. K., Kargi, F., Oztekin, R. & Argun, H. (2009).** Bio-hydrogen production from acid hydrolyzed wheat starch by photo-fermentation using different Rhodobacter sp. *International Journal of Hydrogen Energy*, 34(5), 2201-2207.
58. **Khanal S. (2003).** Biological hydrogen production: effects of pH and intermediate products. *International Journal of Hydrogen Energy*, 29(11), 1123–1131.
59. **Kim, D.H. & Kim, M.S. (2012).** Thermophilic fermentative hydrogen production from various carbon sources by anaerobic mixed cultures. *International Journal of Hydrogen Energy*, 37(2):2021–2027.
60. **Kongjan, P., O-Thong, S., Kotay, M., Min, B. & Angelidaki, I. (2010).** Biohydrogen production from wheat straw hydrolysate by dark fermentation using extreme thermophilic mixed culture. *Biotechnology and Bioengineering*, 105(5), 899-908.
61. **Kumar, G., Mathimani, T., Sivaramakrishnan, R., Shanmugam, S., Bhatia, S. K. & Pugazhendhi, A. (2020).** Application of molecular techniques in biohydrogen production as a clean fuel. *Science of The Total Environment*, 722, 137795.
62. **Kumar, G., Sivagurunathan, P., Pugazhendhi, A., Thi, N. B. D., Zhen, G., Chandrasekhar, K. & Kadier, A. (2017)** : A comprehensive overview on light independent fermentative hydrogen production from wastewater feedstock and possible integrative options. *Energy Conversion Management*, 141:390-402.
63. **Kumar, G., Zhen, G., Kobayashi, T., Sivagurunathan, P., Kim, S. H. & Xu, K. Q. (2016).** Impact of pH control and heat pre-treatment of seed inoculum in dark H₂ fermentation: a feasibility report using mixed microalgae biomass as feedstock. *International of Journal Hydrogen Energy*, 41:4382-4392.
64. **Kumar, R. & Strezov, V. (2021).** Thermochemical production of bio-oil: A review of downstream processing technologies for bio-oil upgrading, production of hydrogen and high value-added products. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 135, 110152.
65. **Kwon, G., Park, Y.-K., Ok, Y. S., Kwon, E. E. & Song, H. (2019).** Catalytic pyrolysis of low-rank coal using Fe-carbon composite as a catalyst. *Energy Conversion Management*, 199:111978.
66. **Larsen, H., Feidenhans'l, R. & Sønderberg Petersen, L. (2004).** Risoe energy report 3. Hydrogen and its competitors.
67. **Lazaro, C. Z. & Hallenbeck, P. C. (2019).** Fundamentals of biohydrogen production. In: Pandey A, Mohan SV, Chang J-S, Hallenbeck PC, Larroche C, editors. *Biohydrogen*. 2nd ed. Elsevier B.V.; p. 25-48.
68. **Lee, H.-S., Vermaas, W. F. & Rittmann, B. E. (2010).** Biological hydrogen production: prospects and challenges, *Trends Biotechnology*. 28, 262–271.

69. Leng, E., Zhang, Y., Peng, Y., Gong, X., Mao, M., Li, X. & Yu, Y. (2018). In situ structural changes of crystalline and amorphous cellulose during slow pyrolysis at low temperatures. *Fuel*, 216:313–21.
70. Lepage, T., Kammoun, M., Schmetz, Q. & Richel, A. (2021). Biomass-to-hydrogen: A review of main routes production, processes evaluation and techno-economical assessment. *Biomass and Bioenergy*, 144, 105920.
71. Levin, D. B. & Chahine, R. (2010). Challenges for renewable hydrogen production from biomass. *International Journal of Hydrogen Energy*, 35(10), 4962-4969.
72. Levin, D. B., Pitt, L. & Love, M. (2004). Biohydrogen production: prospects and limitations to practical application. *International Journal of Hydrogen Energy*, 29(2), 173-185.
73. Li, A., Han, H., Hu, S., Zhu, M., Ren, Q., Wang, Y. & Xu, J. (2022a). A novel sludge pyrolysis and biomass gasification integrated method to enhance hydrogen-rich gas generation. *Energy Conversion and Management* 254, 115205.
74. Li, Q., Guo, C. & Liu, C.-Z. (2014). Dynamic microwave-assisted alkali pretreatment of cornstalk to enhance hydrogen production via co-culture fermentation of *Clostridium thermocellum* and *Clostridium thermosaccharolyticum*. *Biomass and Bioenergy*, 64, 220–229.
75. Li, S., Li, F., Zhu, X., Liao, Q., Chang, J.-S. & Ho, S.-H., (2022b). Biohydrogen production from microalgae for environmental sustainability. *Chemosphere* 291, 132717.
76. Li, X., Krooss, B. M., Weniger, P. & Littke, R. (2017). Molecular hydrogen (H₂) and light hydrocarbon gases generation from marine and lacustrine source rocks during closed-system laboratory pyrolysis experiments. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 126, 275-287.
77. Liu, W., Cui, Y., Du, X., Zhang, Z., Chao, Z. & Deng, Y. (2016). High efficiency hydrogen evolution from native biomass electrolysis. *Energy & Environmental Science*, 9(2), 467-472.
78. Liu, W., Liu, C., Gogoi, P. & Deng, Y. (2020). Overview of biomass conversion to electricity and hydrogen and recent developments in low-temperature electrochemical approaches. *Engineering*, 6(12), 1351-1363.
79. Lopez, G., Garcia, I., Arregi, A., Santamaria, L., Amutio, M., Artetxe, M., Bilbao, J. & Olazar, M. (2020). Thermodynamic assessment of the oxidative steam reforming of biomass fast pyrolysis volatiles. *Energy Conversion Management*, 214, 112889.
80. Lopez-Hidalgo, A.M., Smolinski, A. & Sanchez, A. (2022). A meta-analysis of research trends on hydrogen production via dark fermentation. *International Journal of Hydrogen Energy*, 47, 13300-13339.
81. Lu, C., Zhang, Z., Ge, X., Wang, Y., Zhou, X., You, X., Liu, H. & Zhang, Q. (2016). Bio-hydrogen production from apple waste by photosynthetic bacteria HAU-M1. *International Journal of Hydrogen Energy*, 41(31), 13399–13407.
82. Lu, Y., Jin, H. & Zhang, R. (2019). Evaluation of stability and catalytic activity of Ni catalysts for hydrogen production by biomass gasification in supercritical water. *Carbon Resources Conversion*, 2(1), 95-101.
83. Lu, Y., Lai, Q., Zhang, C., Zhao, H., Ma, K., Zhao, X., Chen, H., Liu, D. & Xing, X.-H. (2009). Characteristics of hydrogen and methane production from cornstalks by an augmented two- or three-stage anaerobic fermentation process. *Bioresource Technology*, 100(12), 2889–2895.
84. Łukajtis, R., Holowacz, I., Kucharska, K., Glinka, M., Rybarczyk, P., Przyjazny, A. & Kamiński, M. (2018). Hydrogen production from biomass using dark fermentation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 91, 665–694.
85. Ly, H. V., Kim, S. -S., Choi, J. H., Woo, H. C. & Kim, J. (2016). Fast pyrolysis of *Saccharina japonica* alga in a fixed-bed reactor for bio-oil production, *Energy Conversion Management* 122, 526-534.
86. Manish, S. & Banerjee, R. (2008). Comparison of biohydrogen production processes. *International Journal of Hydrogen Energy*, 33(1), 279-286.
87. Marbán, G. & Valdés-Solís, T. (2007). Towards the hydrogen economy? *International Journal of Hydrogen Energy*, 32(12), 1625-1637.
88. Mazlan, M. A. F., Uemura, Y., Osman, N. B. & Yusup, S. (2015). Fast pyrolysis of hardwood residues using a fixed bed drop-type pyrolyzer, *Energy Conversion Management*, 98, 208-214.
89. Minowa, T. & Ogi, T. (1998). Hydrogen production from cellulose using a reduced nickel catalyst. *Catalysis Today*, 45(1-4), 411-416.
90. Mirza, S. S., Qazi, J. I., Zhao, Q. & Chen, S. (2013). Photo-biohydrogen production potential of *Rhodobacter capsulatus*-PK from wheat straw. *Biotechnology for Biofuels*, 6(1), 1-12.
91. Mishra, P., Krishnana, S., Rana, S., Singh, L., Sakinah, M. & Wahid, Z.Ab. (2019). Outlook of fermentative hydrogen production techniques: An overview of dark, photo and integrated dark-photo fermentative approach to biomass. *Energy Strategy Reviews* 24, 27–37.

92. **Mona, S., Kumar, S. S., Kumar, V., Parveen, K., Saini, N., Deepak, B. & Pugazhendhi, A. (2020).** Green technology for sustainable biohydrogen production (waste to energy): a review. *Science of Total Environment* 728, 138481.
93. **Morali, U. & Sensoz, S. (2015).** Pyrolysis of hornbeam shell (*Carpinus betulus* L.) in a fixed bed reactor: characterization of bio-oil and bio-char, *Fuel*, 150, 672-678.
94. **Morali, U., Yavuzel, N. & Sensoz, S. (2016).** Pyrolysis of hornbeam (*Carpinus betulus* L.) sawdust: characterization of bio-oil and bio-char, *Bioresource Technology*, 221, 682-685.
95. **Nagarajan, D., Lee, D-J., Kondo, A. & Chang, J-S. (2017).** Recent insights into biohydrogen production by microalgae – From biophotolysis to dark fermentation. *Bioresource Technology*, 227, 373–387.
96. **Ni, M., Leung, D. Y., Leung, M. K. & Sumathy, K. J. F. P. T. (2006).** An overview of hydrogen production from biomass. *Fuel Processing Technology*, 87(5), 461-472.
97. **Osada, M., Sato, T., Watanabe, M., Adschiri, T. & Arai, K. (2004).** Low-temperature catalytic gasification of lignin and cellulose with a ruthenium catalyst in supercritical water. *Energy & Fuels*, 18(2), 327-333.
98. **Ozmihci, S. & Kargi, F. (2010).** Bio-hydrogen production by photo-fermentation of dark fermentation effluent with intermittent feeding and effluent removal. *International Journal of Hydrogen Energy*, 35(13), 6674-6680.
99. **Pal, D. B., Singh, A. & Bhatnagar, A. (2021).** A review on biomass based hydrogen production technologies. *International Journal of Hydrogen Energy*.
100. **Pandey, B., Prajapati, Y. K. & Sheth, P. N. (2019).** Recent progress in thermochemical techniques to produce hydrogen gas from biomass: A state of the art review. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44(47), 25384-25415.
101. **Parthasarathy, P. & Narayanan, K. S. (2014).** Hydrogen production from steam gasification of biomass: Influence of process parameters on hydrogen yield – A review. *Renewable Energy*, 66, 570–579.
102. **Prasertcharoensuk, P., Bull, S. J. & Phan, A. N. (2019).** Gasification of waste biomass for hydrogen production: Effects of pyrolysis parameters. *Renewable Energy*, 143, 112-120.
103. **Prins, M. J., Ptasinski, K. J. & Janssen, F. J. J. G. (2003).** Thermodynamics of gas-char reactions: first and second law analysis. *Chemical Engineering Science*, 58(3-6), 1003-1011.
104. **Quan, C., Gao, N. & Wu, C. (2018).** Utilization of NiO/porous ceramic monolithic catalyst for upgrading biomass fuel gas. *Journal of the Energy Institute*, 91(3), 331–8.
105. **Rafieenia, R., Pivato, A., Schievano, A. & Lavagnolo, M. C. (2018).** Dark fermentation metabolic models to study strategies for hydrogen consumers inhibition. *Bioresource Technology*. 267, 445-457.
106. **Rai, P. K. & Singh, S. P. (2016).** Integrated dark- and photo-fermentation: Recent advances and provisions for improvement. *International Journal of Hydrogen Energy*, 41(44), 19957–19971.
107. **Rai, P. K., Singh, S. P., Asthana, R. K. & Singh, S. (2014).** Biohydrogen production from sugarcane bagasse by integrating dark-and photo-fermentation. *Bioresource Technology*, 152, 140-146.
108. **Rand, D. A. J. (2011).** A journey on the electrochemical road to sustainability. *Journal of Solid State Electrochemistry*, 15(7-8), 1579–1622.
109. **Reungsang, A., Zhong, N., Yang, Y., Sittijunda, S., Xia, A. & Liao, Q. (2018).** Hydrogen from Photo Fermentation. *Bioreactors for Microbial Biomass and Energy Conversion*, 221–317.
110. **Rezaeitavabe, F., Saadat, S., Talebbeydokhti, N., Sartaj, M. & Tabatabaei, M. (2020).** Enhancing biohydrogen production from food waste in single-stage hybrid dark-photo fermentation by addition of two waste materials (exhausted resin and biochar). *Biomass and Bioenergy* 143, 105846.
111. **Salam, M. A., Ahmed, K., Akter, N., Hossain, T. & Abdullah, B. (2018).** A review of hydrogen production via biomass gasification and its prospect in Bangladesh. *International Journal of Hydrogen Energy* 43(32):14944-14973.
112. **Saleem, M., Lavagnolo, M. C. & Spagni, A. (2018).** Biological hydrogen production via dark fermentation by using a side-stream dynamic membrane bioreactor: effect of substrate concentration. *Chemical Engineering Journal*, 349, 719-727.
113. **Santamaria, L., Arregi, A., Lopez, G., Artetxe, M., Amutio, M., Bilbao, J. & Olazar, M. (2020).** Effect of La₂O₃ promotion on a Ni/Al₂O₃ catalyst for H₂ production in the in-line biomass pyrolysis-reforming. *Fuel*; 262, 116593.
114. **Saravanan, A., Kumar, P. S., Aron, N. S. M., Jeevanantham, S., Karishma, S., Yaashikaa, P. R., Chew, W.K. & Show, P. L. (2021).** A review on bioconversion processes for hydrogen production from agro-industrial residues. *International Journal of Hydrogen Energy*. Article in Press.
115. **Sawai, O., Nunoura, T. & Yamamoto, K. (2014).** Supercritical water gasification of sewage sludge using bench-scale batch reactor: advantages and drawbacks. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 16(1), 82-92.

116. Saxena, R. C., Seal, D., Kumar, S. & Goyal, H. B. (2008). Thermo-chemical routes for hydrogen rich gas from biomass: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(7), 1909-1927.
117. Setiabudi, H.D., Aziz, M.A.A., Abdullah, S., Teh, L.P. & Jusoh, R. (2020). Hydrogen production from catalytic steam reforming of biomass pyrolysis oil or bio-oil derivatives: A review. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45, 18376-18397.
118. Shayan, E., Zare, V. & Mirzaee I. (2018). Hydrogen production from biomass gasification; a theoretical comparison of using different gasification agents. *Energy Conversion Management*, 159:30-41.
119. Shin, J. H. & Park, T. H. (2013). Advancement of biohydrogen production and its integration with fuel cell technology. *Bioprocessing Technologies in Biorefinery for Sustainable Production of Fuels, Chemicals, and Polymers*, 263-278.
120. Shirley, J., Duarte, J. L., Alviso, D. & Rolon, J. C. (2016). Effect of temperature and particle size on the yield of bio-oil, produced from conventional coconut core pyrolysis, *International Journal Chemical Engineering Applications*. 7 (2), 102-108.
121. Show, K. Y., Lee, D. J., Tay, J. H., Lin, C. Y. & Chang, J. S. (2012). Biohydrogen production: Current perspectives and the way forward. *International Journal of Hydrogen Energy*, 37(20), 15616–15631.
122. Show, K.-Y. & Lee, D.-J. (2013). Bioreactor and Bioprocess Design for Biohydrogen Production. *Biohydrogen*, 317–337.
123. Show, K.-Y., Yan, Y.-G. & Lee, D.-J. (2019). Biohydrogen Production: Status and Perspectives. *Biofuels: Alternative Feedstocks and Conversion Processes for the Production of Liquid and Gaseous Biofuels*, 693–713.
124. Sivagurunathan, P., Kumar, G., Mudhoo, A., Rene, E. R., Saratale, G. D., Kobayashi, T., Xu, K., Kim, S.-H. & Kim, D.-H. (2017). Fermentative hydrogen production using lignocellulose biomass: an overview of pretreatment methods, inhibitor effects and detoxification experiences. *Renewable Sustainable Energy Review*, 77:28-42.
125. Siwal, S. S., Zhang, Q., Sun, C., Thakur, S., Gupta, V. K. & Thakur, V. K. (2020). Energy production from steam gasification processes and parameters that contemplate in biomass gasifier—A review. *Bioresource Technology*, 297, 122481.
126. Song, Z.-X., Wang, Z.-Y., Wu, L.-Y., Fan, Y.-T. & Hou, H.-W. (2012). Effect of microwave irradiation pretreatment of cow dung compost on bio-hydrogen process from corn stalk by dark fermentation. *International Journal of Hydrogen Energy*, 37(8), 6554–6561.
127. Sorensen B. (2012). Hydrogen and Fuel Cells: Emerging Technologies and Applications, (2012). *Academic Press*, 2012, 492.
128. Srivastava, N., Srivastava, M., Kushwaha, D., Gupta, V. K., Manikanta, A., Ramteke, P. W. & Mishra, P. K. (2017). Efficient dark fermentative hydrogen production from enzyme hydrolyzed rice straw by *Clostridium pasteurianum* (MTCC116). *Bioresource Technology*, 238, 552-558.
129. Su, H., Yan, M. & Wang, S. (2022). Recent advances in supercritical water gasification of biowaste catalyzed by transition metal-based catalysts for hydrogen production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 154, 111831.
130. Tan, Y. L., Abdullah, A. Z. & Hameed, B. H. (2017). Fast pyrolysis of durian (*Durio zibethinus* L) shell in a drop-type fixed bed reactor: pyrolysis behavior and product analyses, *Bioresource Technology* 243, 85-92.
131. Tezer, Ö., Karabag, N., Ongen, A., Colpan, C. O. & Ayol, A. (2022). Biomass gasification for sustainable energy production: A review. *International Journal of Hydrogen Energy*, 47, 15419- 15433.
132. Tian, Q.-Q., Liang, L. & Zhu, M.-J. (2015). Enhanced biohydrogen production from sugarcane bagasse by *Clostridium thermocellum* supplemented with CaCO₃. *Bioresource Technology*, 197, 422–428.
133. Tursun, Y., Xu, S., Abulikemu, A. & Dilinuer, T. (2019). Biomass gasification for hydrogen rich gas in a decoupled triple bed gasifier with olivine and NiO/olivine. *Bioresour Technology*, 272:241–8.
134. Valle, B., García-Gómez, N., Remiro, A., Bilbao, J. & Gayubo, A.G. (2020). Dual catalyst-sorbent role of dolomite in the steam reforming of raw bio-oil for producing H₂-rich syngas. *Fuel Process Technology*; 200, 106316.
135. Varma, A. K. & Mondal, P. (2017). Pyrolysis of sugarcane bagasse in semi batch reactor: Effects of process parameters on product yields and characterization of products. *Industrial Crops and Products*, 95, 704-717.
136. Waheed, Q. M. K., Wu, C. & Williams, P. T. (2016). Hydrogen production from high temperature steam catalytic gasification of bio-char. *Journal of the Energy Institute*, 89(2), 222–230.
137. Wang, J. & Wan, W. (2009). Factors influencing fermentative hydrogen production: a review. *International Journal of Hydrogen Energy*, 34(2), 799-811.

138. Wang, J. & Yin, Y. (2018). Fermentative hydrogen production using various biomass-based materials as feedstock. *Renewable Sustainable Energy Review*, 92, 284-306.
139. Wang, J., Zhao, B., Liu, S., Zhu, D., Huang, F., Yang, H., Guan, H., Song, A., Xu, D., Sun, L., Xie, H., Wei, W., Zhang, W. & Pedersen, T. H. (2022). Catalytic pyrolysis of biomass with Ni/Fe-CaO-based catalysts for hydrogen-rich gas: DFT and experimental study. *Energy Conversion and Management* 254, 115246.
140. Xu, C., Chen, S., Soomro, A., Sun, Z. & Xiang, W. (2018). Hydrogen rich syngas production from biomass gasification using synthesized Fe/CaO active catalysts. *Journal of the Energy Institute*, 91, 805-816.
141. Yamaguchi, A., Hiyoshi, N., Sato, O., Bando, K. K., Osada, M. & Shirai, M. (2009). Hydrogen production from woody biomass over supported metal catalysts in supercritical water. *Catalysis Today*, 146(1-2), 192-195.
142. Yang, H., Wang, D., Li, B., Zeng, Z., Qu, L., Zhang, W. & Chen, H. (2018). Effects of potassium salts loading on calcium oxide on the hydrogen production from pyrolysis-gasification of biomass. *Bioresource Technology*, 249:744–50.
143. Yang, M., Shao, J., Yang, H., Zeng, K., Wu, Z., Chen, Y., Bai, X. & Chen, H. (2019). Enhancing the production of light olefins and aromatics from catalytic fast pyrolysis of cellulose in a dualcatalyst fixed bed reactor. *Bioresource Technology*; 273:77–85.
144. Yang, S., Chen, L., Sun, L., Xie, X., Zhao, B., Si, H., Zhang, X. & Hua, D. (2021). Novel Ni-Al nanosheet catalyst with homogeneously embedded nickel nanoparticles for hydrogen-rich syngas production from biomass pyrolysis, *International Journal of Hydrogen Energy*. 46, 1762–1776.
145. Yang, Z., Kumar, A., Huhnke, R. L., Buser, M. & Capareda, S. (2016). Pyrolysis of eastern redcedar: distribution and characteristics of fast and slow pyrolysis products, *Fuel*, 166, 157-165.
146. Yanik, J., Ebale, S., Kruse, A., Saglam, M. & Yüksel, M. (2008). Biomass gasification in supercritical water: II. Effect of catalyst. *International Journal of Hydrogen Energy*, 33(17), 4520-4526.
147. Yao, D., Hu, Q., Wang, D., Yang, H., Wu, C., Wang, X. & Chen, H. (2016). Hydrogen production from biomass gasification using biochar as a catalyst/support. *Bioresource Technology*, 216, 159–164.
148. Yorgun, S. & Yıldız, D. (2015). Slow pyrolysis of paulownia wood: effects of pyrolysis parameters on product yields and bio-oil characterization, *Journal of Analytical Applied Pyrolysis* 114, 68-78.
149. Yoshida, T., Oshima, Y. & Matsumura, Y. (2004). Gasification of biomass model compounds and real biomass in supercritical water. *Biomass and Bioenergy*, 26(1), 71-78.
150. Zagrodnik, R. & Łaniecki, M. (2017). Hydrogen production from starch by co- culture of *Clostridium acetobutylicum* and *Rhodobacter sphaeroides* in one step hybrid dark and photofermentation in repeated fed-batch reactor, *Bioresource Technology* 298–306.
151. Zhang, Z., Yue, J., Zhou, X., Jing, Y., Jiang, D. & Zhang, Q. (2014). Photo-fermentative bio-hydrogen production from agricultural residue enzymatic hydrolyzate and the enzyme reuse. *Bioresources*, 9(2), 2299-2310.
152. Zhao, B., Yang, H., Zhang, H., Zhong, C., Wang, J., Zhu, D., Guan, H., Sun, L., Yang, S., Chen, L. & Xie, H. (2021). Study on hydrogen-rich gas production by biomass catalytic pyrolysis assisted with magnetic field. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 157, 105227.
153. Zhao, B., Zhang, X., Sun, L., Meng, G., Chen, L. & Xiaolu, Y. (2010). Hydrogen production from biomass combining pyrolysis and the secondary decomposition. *International Journal of Hydrogen Energy*, 35(7), 2606-2611.
154. Zhao, B., Zhang, X., Xu, A., Ding, W., Sun, L., Chen, L., Guan, H., Yang, S. & Zhou, W. (2018). A study of the in-situ CO₂ removal pyrolysis of Chinese herb residue for syngas production. *Sci Total Environ*; 626:703–9.

KÜTAHYA YÖRESİ BAZI SİLVİKÜLTÜREL UYGULAMALARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Gülnur Saba Ertuğrul¹, Nebi Bilir^{2,*}

¹Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, ISPARTA

²Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Orman Fak., Orman Müh. Böl., ISPARTA

*Sorumlu Yazar: nebibilir@isparta.edu.tr

Öz

Bu çalışmada, önemli silvikültürel faaliyetlerden olan, yanan orman alanlarının ağaçlandırılması, doğal gençleştirme ve normal ağaçlandırma uygulamaları, Kutahya Orman Bölge Müdürlüğü ölçeğinde, her bir uygulamadan örneklenen 1000 m² büyüklüğündeki 3'er örnek saha verileri irdelenerek değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular ışığında, en yüksek ortalama fidan sayısına 266 fidanla gençleştirme sahalarının, ortalama en yüksek fidan boyuna (295.5 cm) gençleştirme sahalarının, ortalama en yüksek dip çapa ise normal ağaçlandırma sahalarının (8.5 cm) sahip olduğu ortaya çıkmıştır. Yangın ve normal ağaçlandırma sahaları yaş bakımından benzer (8.8 ve 8.9 yıl) değerlere sahipken, gençleştirme sahaları bunlardan daha yüksek (10.5 yıl) yaş değerine sahiptir. Uygulamalar ve uygulama içi alanlar, çalışmaya konu özellikler bakımından anlamlı ($p<0.01$) farklılıklar göstermiştir. Bu sonuçlar, ormancılık faaliyetlerinde yöresellik kanununun önemini vurgulamıştır. Duncan testi sonucunda boy, diğer özelliklere göre daha heterojen bir yapı göstermiştir. Çalışmaya konu özellikler arasındaki istatistiksel bakımdan anlamlı ($p<0.01$) pozitif ilişkiler belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar ışığında, bakım, yöntem seçimi gibi silvikültürel uygulamalara yönelik önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Ağaçlandırma, büyüme, fidan, gençleştirme, varyans

EVALUATION OF SOME SILVICULTURAL PRACTICES IN KUTAHYA DISTRICT

Extended Abstract

Afforestation of forest fire area, natural regeneration and routine afforestation areas which were basic silvicultural practices were investigated based on Kutahya Forest District by three sampled areas which was each 1000 m² of each practices by height, diameter, age and number of seedlings/reproductions to contribute forestry practices, in this study. Results of study showed that number of individuals (266) and average height (295.5 cm) were the highest in natural regeneration areas, while diameter at base was the highest (8.5 cm) in routine afforestation areas. Ages of forest fire area and routine afforestation areas were similar (8.8 and 8.9 years), while it was higher (10.5 years) in natural regeneration area. There were large differences among sampled areas within method for the characteristics. The variation could be because of mother tree or also called seed tree which were used in the practices. Significant differences ($p<0.01$) were found among forest fire, natural regeneration, and routine afforestation areas, and within practice among sampled areas by results of analysis of variance. The results emphasized importance of local forestry practices and regeneration methods. However, there could be many environmental and biological factors in the variation such as species, method, edaphic and age. Duncan's multiple range's test showed that height had the highest heterogeneous than other characteristics. It showed importance of height as a selection criterion for forestry practices to obtain higher quality and quantity forest products. Positive and significant ($p<0.01$) relations among the characteristics were estimated by results of phenotypic correlation analysis. The results could be used for early tending practices such as early and cultural stages. Some suggestions were given such as tending, method of silvicultural practices and for other practices based on results of the study. However, the present study had limited areas. New studies should be carried out in different regions and species, and also characteristics to give accurate conclusions for the forestry practices.

Key Words: Afforestation, growth, seedling, regeneration, variance

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author): Nebi BİLİR; Isparta University of Applied Sciences, Forestry Faculty, Isparta-Turkey.

Geliş (Received) : 31.05.2022

Kabul (Accepted) : 19.07.2022

Basım (Published) : 31.07.2022

1. Giriş

Doğal gençleştirme, ağaçlandırma ve yangın sahalarının rehabilitasyonu, silvikültürel uygulamalara konu öncelikli alanlardandır. Orman yangını; çevresinin açık olması sebebiyle serbest yayılma özelliği göstererek ormanda bulunan ot, çalı, kuru dal, dikili kuru, kütük, yaprak gibi yanıcı maddeleri ve belirli miktarda canlı ağacı yakan bir yangındır (Çanakçıoğlu, 1993). Orman yangınları, Dünya'da her yıl yaklaşık 350 milyon hektarlık alanını etkileyerek maddi kayıplarla birlikte, can kayıplarına da neden olmaktadır. Orman yangınları, küresel iklim değişikliğinin ilerlemesine, hava kirliliğinin ve atmosfere karbon salınımının artmasına sebep olmakla birlikte, ormanların sunduğu ürün ve hizmetlerde değer kaybı oluşturmaktadır (Ferrare vd., 1990; Stocks vd., 1998; Garcia-Ruiz vd., 2013). Türkiye'de her yıl çok sayıda alanda yetiştirme ortamı, mevsimsel hava şartları, meşcere kuruluşu, ağaç türü ve yaşı gibi birçok etkene bağlı olarak orman yangınları meydana gelmektedir. Bu yangınlar, ormanların sürdürülebilirliğini engelleyen ve büyük bir kısmının da yok olmasının en önemli nedenlerinden biridir (Baş, 1977). Orman Genel Müdürlüğü'nün 2020 yılı istatistik değerlerine göre, son 30 yılda 66.562 adet orman yangını çıkmış ve bu yangınlar sonucu 314.493 hektar orman alanı zarar görmüş olup, 2016-2020 yıllarında 11.442 adet orman yangınında 47.103 hektar orman alanı etkilenmiştir. Türkiye genelinde 2020 yılında ise 3399 adet orman yangınında 29.971 ha orman alanı zarar görmüş olup 2020 yılında çalışmaya konu Kütahya ilinde 58 adet yangında 52.0 ha orman alanı etkilenmiştir (Anonim, 2021).

Küresel ısınmanın sıcaklığı ve kuraklığı arttıracığı, yağışları düzensizleştireceği, rüzgârın yönünü ve şiddetini farklılaştıracağı ve bu sebeple orman yangınları açısından olumsuz etkilerinin olacağı öngörülmektedir (Flannigan vd., 2000). Ancak, bu yangınların zararları yanında sahadaki yanıcı maddelerin azalması nedeniyle yangın riskini düşürme ve potansiyel ağaçlandırma sahalarında diri örtü temizliği, tohum tahriki bakımından da olumlu rol oynayabilmektedir ve bu etki ormancılıkta yangın kültürü yani bilinçli yangın ya da orman yangınlarında karşı ateş olarak adlandırılmaktadır. Denetimli yakma olarak ta adlandırılan orman yangını gençleştirme alanında ölü ve diri örtü ile alana yayılmış kesim artıklarının belirli bir şiddet derecesinde yakılması olarak tanımlanmaktadır (Odabaşı vd., 2004). Bu uygulama insana ilk başta ters gelse de önemli silvikültürel müdahalelerden biridir ve temel amacı gençleştirmeye yardımcı olmaktır (Ata, 1995).

Doğal gençleştirme ise alandaki mevcut bireylerin tohumlarının doğal yollarla dökülerek gençliğin getirilmesi esasına dayalı uygulamalardır. Doğal gençleştirme koşulları bulunmayan ya da doğal gençleştirmenin düşünülmediği ormanlık alanlarda, ekim veya dikim yoluyla, yani insan eliyle gerçekleştirilen gençleştirme çalışmalarına “yapay gençleştirme” veya “ağaçlandırma” olarak tanımlanmaktadır ve ormanların ıslahına yönelik en önemli uygulamalardandır. Güncel ormancılık verilerine göre 22.9 milyon hektar Türkiye orman varlığının 9.7 milyon hektarı (%42) verimsiz orman olup, doğal gençleştirme ve ağaçlandırma uygulamalarına konu alanlardandır (Anonim, 2021).

Bu çalışmada, Kütahya yöresi örneğinde, orman yangını geçirmiş sahalardaki ağaçlandırma; normal ağaçlandırma sahası ve doğal gençleştirme sahası olmak üzere üç farklı uygulamaya konu alanlardan örnekleme yapılarak, sahalarda boy, dip çap ve yaş bakımından karşılaştırılmış ve elde edilen bulgular ışığında, silvikültürel uygulamalara katkı sağlanması amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Çalışma Kütahya Orman Bölge Müdürlüğü sorumluluk alanındaki Simav Orman İşletme Müdürlüğü, Emet Orman İşletme Müdürlüğü ve Gediz Orman İşletme Müdürlüğü'ne bağlı Orman İşletme Şefliklerinde yer alan, her biri 1000 m² (20x50 m) büyüklüğünde 3'er adet yangın sonrası ağaçlandırma yapılan saha (YAS), gençleştirme sahası (GES) ve normal ağaçlandırma sahası (NAS) olmak üzere, tesadüfi olarak tamamı güney bakıda 9 alan örneklenmiştir (Tablo 1, Şekil 1).

Yangın sonrası ağaçlandırma sahası: Kütahya ili Simav ilçesinde, Kütahya Orman Bölge Müdürlüğü Simav Orman İşletme Müdürlüğü Söğüt Orman İşletme Şefliği (YAS-2 ve YAS-3) ve Emet Orman İşletme Müdürlüğü Hisarcık Orman İşletme Şefliği (YAS-1) sorumluluk alanında 25.07.2007 tarihinde orman yangını başlamış olup, bu yangın 06.08.2007 tarihinde tamamen söndürülmüştür. Emet Orman İşletme Şefliği sınırlarında başlayan bu yangın, tepe yangınına dönüşmesi neticesinde büyüyerek Simav Orman İşletme Müdürlüğü sınırlarına geçmiştir. 2007 tarihinde çıkan orman yangını neticesinde 410.5 ha karaçam koru ormanının yandığı tespit edilmiş ve yanan sahada aynı yıl üretim faaliyetleri başlamıştır. Üretim işi tamamlandı, saha boşaltıldıktan

sonra aynı yıl arazi hazırlığı devam etmiştir. Yanan sahanın bir bölümünün kumlu olması nedeniyle makineli toprak işleme ve fidan dikimi düşünülmemiştir. Arazi hazırlığından sonra çizgi ekimi yöntemi ile suni gençleştirme çalışmalarına başlanmıştır. Tohum elde etmek için gerekli çalışmalar yapılmış, aynı yıl ekim ayından itibaren yanık saha civarındaki meşcerelerden kozalak toplatılmış ve tohum hasadı gerçekleştirilmiştir. 2008 yılı mart ayı başında sahada dozerle üretim artıkları 40 metrelik şeritlere toplatılmıştır. Bu işlem 150 ha sahada yaptırılmıştır. 1.5-2 m ara ile tesviye eğrilerine paralel olarak işçilerle çapa kullanılarak 15 cm derinlik, 25 cm genişlikte toprak işleme yapılmıştır. Tohumlar günlük ilaçlanarak sahaya sevk edilmiş ve ekilmiştir. Ekilen tohumların üzeri 1-1.5 cm derinlikte kalacak şekilde fırça ile kapatılmıştır. Yanan sahalarının tamamında bu yöntem uygulanmıştır ve saha dikenli tel çitle çevrilmiştir. Yangın sonrası arazi hazırlığı yapılan sahanın 6.0 hektarlık kısmında makineli toprak işleme yapılmış, hem çizgide tohum ekimi yapılmış hem de 2+0 yaşında 12000 Anadolu Karaçamı [*Pinus nigra* Arnold. subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe] fidanı dikilmiştir. 2009 yılı mayıs ayı ortalarında yoğun çimlenmeler elde edilmiştir. Mayıs ayı sonunda ortalama %95 oranında çimlenme tespit edilmiştir. Fidanlarda kurumalar %15 civarında olmuştur. Bu sahalar, III. ve IV. bonitette bulunmaktadır.

Tablo 1. Örneklenen sahalarının genel özellikleri

Örnek Alan	Ağaç Türü	Meşcere Tipi	Tesis Yılı	Enlem (N)	Boylam (E)	Rakım (m)
YAS-1	Karaçam	Çka0	2008	39°11'4"	29°6'32"	1375
YAS-2	Karaçam	Çka0	2008	39°9'12"	29°6'55"	1392
YAS-3	Karaçam	Çka0	2008	39°10'32"	29°6'25"	1410
GES-1	Karaçam	Çka	2004	39°19'05"	29°2'52"	1362
GES-2	Kızıldağ	Çza0	2009	38°55'44"	29°15'23"	924
GES-3	Kızıldağ	Çza	2008	38°57'28"	29°14'46"	758
NAS-1	Karaçam	Çka	2009	39°3'16"	29°1'26"	850
NAS-2	Karaçam	ÇkSa	2010	38°50'57"	29°4'53"	1288
NAS-3	Fıstık çamı	Çfa	2010	39°7'59"	29°0'36"	979



Şekil 1. Örnek alanlardan genel görünüm

Gençleştirme sahaları: Gençleştirme uygulamalarından örneklenen ilk saha (GES-1) Simav Orman İşletme Müdürlüğü Korucuk Orman İşletme Şefliği Çkd1 ve Çkd2 meşcere tipi olan 12.0 ha alanda doğal gençleştirme programı kapsamında 2004 yılında tohumlama kesimi uygulanmış ve 2009 yılı fidan sayım tutanaklarına göre başarı oranı %82 bulunmuştur. Gediz Orman İşletme Müdürlüğü Şaphane Orman İşletme Şefliği meşcere tipi Çzd1 olan 6.5 ha alanda (GES-2), 2009 yılında doğal gençleştirme programı kapsamında büyük alan tıraşlama kesimi uygulanmıştır ve 2009 yılı fidan sayım tutanaklarına göre başarı oranı %85'dir. Örneklenen bir diğer gençleştirme sahası (GES-3) Gediz Orman İşletme Müdürlüğü meşcere tipi Çzcd1 olan 20.0 ha alanda 2008 yılı doğal gençleştirme programı kapsamında büyük alan tıraşlama kesimi uygulanmıştır. 2009 yılı fidan sayım tutanaklarına göre başarı oranı %90'dır.

Normal ağaçlandırma sahaları: Simav Orman İşletme Müdürlüğü Simav Orman İşletme Şefliği'nde yer alan ilk ağaçlandırma sahasında (NAS-1) meşcere tipi BÇk olan 12.0 ha alan 2009 yılı rehabilitasyon programı kapsamında tüplü karaçam fidanı ile ağaçlandırılmıştır. 2014 yılı fidan sayım tutanaklarına göre başarı oranı %85'dir. Simav Orman İşletme Müdürlüğü Simav Orman İşletme Şefliği meşcere tipi BÇk olan 30.0 ha alan (NAS-2), 2010 yılı rehabilitasyon programı kapsamında tüplü Anadolu Karaçam fidanı ve çıplak köklü Toros Sediri (*Cedrus libani* A. Rich.) fidanı ile ağaçlandırılmıştır. 2014 yılı fidan sayım tutanaklarına göre başarı oranı %85'dir. Simav Orman İşletme Müdürlüğü Söğüt Orman İşletme Şefliği'ndeki diğer ağaçlandırma sahasında (NAS-3) aktüel meşcere tipi BMBt olan 16.0 ha alan 2010 yılı rehabilitasyon programı kapsamında tüplü Fıstık çamı (*Pinus pinea* L.) fidanı ile ağaçlandırılmıştır. 2014 yılı fidan sayım tutanaklarına göre başarı oranı %80'dir.

2.2. Metot

2.2.1. Büyüme özellikleri

Silvikültürel çalışmalarda deneme alanı büyüklüğü, meşcere gelişim çağına göre farklılık göstermektedir. Yapılan arazi çalışmalarında, genç meşcerelerde genellikle Odabaşı (1976), 20x50 m (1000 m²), Özalp (1989) 20x20 m (400 m²) büyüklüğünde alanlar örneklenmiştir. Araştırmada, genç bireylerde yapılacak dip çap, yaş ve boy ölçümleri ve arazinin fizyografik yapısı dikkate alınarak deneme alanları dikdörtgen olarak belirlenmiştir. Bu bağlamda, bu çalışmada 20x50 m olmak üzere 1000 m² büyüklüğünde 9 adet alan örneklenmiştir.

Örneklenen alanlarda öncelikle sahanın coğrafik özellikleri (enlem, boylam, yükselti, bakı vb.) ve yangın (yangın tarihi, yangın sonrası uygulamalar vb.) sonrası ile ormancılık geçmişi (ağaçlandırma tarihi, fidan yaşı, gençleştirme yöntemi vb.) belirlenmiştir. Yukarıda detaylandırılan 1000 m² büyüklüğünde örneklenen sahalarda (Tablo 1) 2019 yılı büyüme dönemi sonunda sağlıklı bireylerde boy (**B**, cm), dip çap (**D₀**, cm), ve sürgün sayısı yardımıyla yaş (**Y**, yıl) ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

2.2.2. Verilerin değerlendirilmesi

Örnek alanlarda yapılan ölçümler sonucu elde edilen veriler SPSS istatistik paket programı ile değerlendirilmiştir (SPSS, 2011). Fidan boyu, fidan dip çapı ve fidan yaşı arasındaki fenotipik ilişkiler (r_p), pearson korelasyonuyla aşağıdaki eşitlik yardımıyla tahmin edilmiştir (Sokal & Rohlf, 1995).

$$r_p = \frac{\sum xy}{\sqrt{\sum x^2 \sum y^2}} \quad (1)$$

Eşitlikte;

$$\sum xy \quad : x \text{ ve } y \text{ karakterlerinin çarpanlar toplamını,}$$

$$\sum x^2, \sum y^2 \quad : \text{karakterlerin fenotipik varyanslarını ifade etmektedir.}$$

Aynı uygulama içi sahaların (**YAS**, **NAS**, **GES**) boy, yaş ve çap bakımından karşılaştırılması amacıyla aşağıdaki doğrusal varyans (ANOVA) analizi modeli uygulanmıştır.

$$Y_{ij} = \mu + F_i + e_{ij} \quad (2)$$

Modelde;

Y_{ij} : i. sahanın, j. bireyinin özelliğini,
 μ : genel ortalamayı,
 e_{ij} : hatayı göstermektedir.

Uygulamaları (YAS, GES, NAS) büyüme özellikleri bakımından karşılaştırmak amacıyla aşağıdaki çoklu varyans (MANOVA) analizi modeli uygulanmıştır.

Modelde;

$$Y_{ijk} = \mu + B_i + P_j + BP_{ij} + e_{ijk} \quad (4)$$

Y_{ijk} : i. yöredeki j. sahanın k. bireyinin değerini,
 μ : örnek alanların ortalamasını,
 B_i : i. yörenin etkisini,
 P_j : j. sahanın etkisini,
 BP_{ij} : yöre x saha etkileşimini
 e_{ijk} : hatayı göstermektedir.

Uygulamalar arasında istatistiksel bakımdan anlamlı ($p < 0.01$) farklılığın belirlenmesi durumunda Duncan testi uygulanarak homojen gruplar oluşturulmuştur.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Büyüme Özellikleri ve Fidan Sayıları

Değerlendirmeler sonucunda, en yüksek ortalama fidan sayısı 266 fidanla gençleştirme alanında, en düşük ortalama fidan sayısı ise 123 fidan ile normal ağaçlandırma sahalarında görülmüştür (Tablo 2). Gençleştirme sahalarında fidan sayısının ağaçlandırma sahalarına göre fazla olması, gençleştirme çalışmalarının ilk yıllarında yapılan gençlik bakımının yeterli olmamasından ve tamamlama ile sahaya fazla tohum serpilmesinden kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Normal ağaçlandırma alanlarında fidan türüne göre dikim mesafesi dikkate alındığı için birim alana düşen fidan sayısı idealdir. Özellikle doğal gençleştirme sahalarında, doğal yolla gelen gençlik bakımlarında hektarda bulunması gereken fert sayısı dikkate alınarak uygulama yapılmaktadır. Yapılan gençlik bakımı çalışmalarında, sadece hektarda bulunması gereken birey sayısına göre değil, meşcerenin bulunduğu edafik, fizyolojik, fizyografik, biyotik ve abiyotik etmenler dikkate alınarak müdahale derecesi belirlenmelidir.

Tablo 1. Örneklenen alanlarda ortalama fidan sayısı (N), boy (B), dip çap (D_0) ve yaş (Y) değerleri

Örnek alan	N*	\bar{X}_B	\bar{X}_{D_0}	\bar{X}_Y
YAS-1	204	263.5c**	7.6b	9.0b
YAS-2	323	191.0a	6.3a	8.4a
YAS-3	189	227.3b	6.3a	9.2b
Genel	237	221.3	6.7	8.8
GES-1	366	295.7ef	8.3bc	11.6e
GES-2	222	274.1cd	7.5b	9.0b
GES-3	209	317.9g	7.6b	10.3d
Genel	266	295.5	7.9	10.5
NAS-1	192	289.8de	8.5bc	9.2b
NAS-2	134	312.3fg	8.5bc	8.3a
NAS-3	43	191.4a	9.1c	9.6c
Genel	123	286.5	8.5	8.9

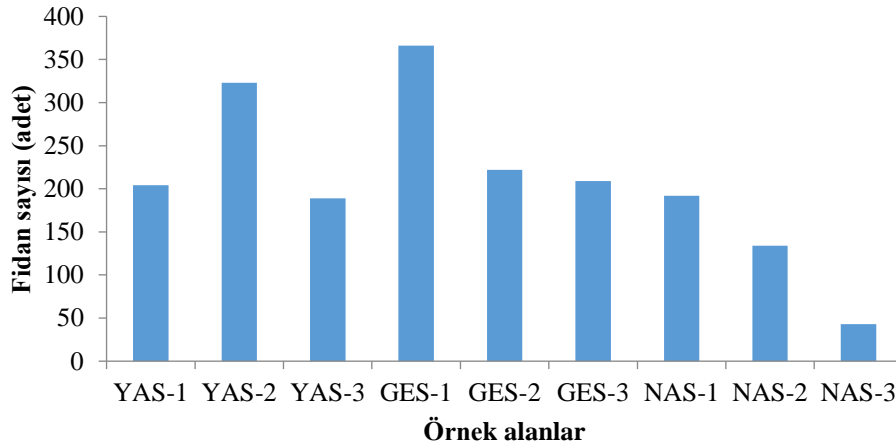
*: Ölçüm yapılan fidan sayısı; **: aynı harfler benzer grupları göstermektedir.

Boy bakımından (295.5 cm) ise gençleştirme sahalarının (GES), dip çap (8.5 cm) bakımından ise normal ağaçlandırma sahalarının (NAS), diğer sahalarla göre daha yüksek büyüme performansı gösterdiği ortaya

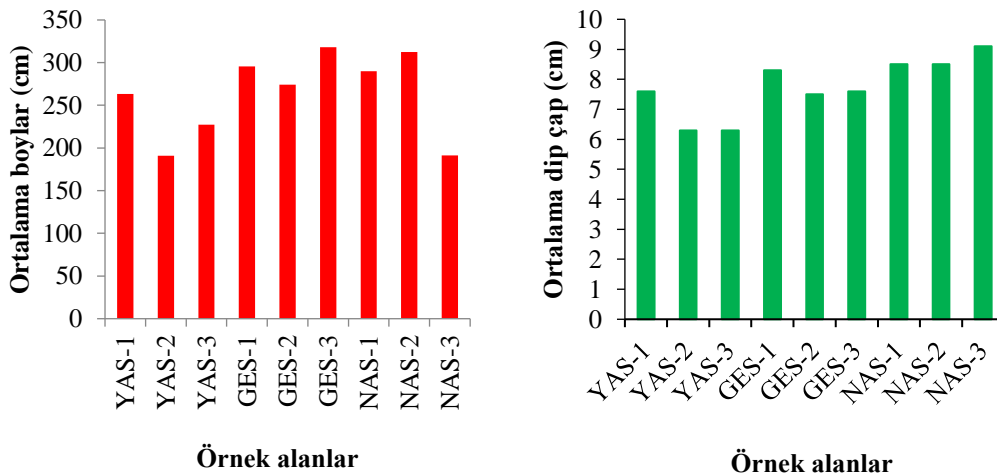
çıkıştır (Tablo 2). Boy gelişimin gençleştirme sahalarında normal ağaçlandırma sahalarından fazla olması bireyler arasında ışık rekabetinin artmasına bağlıdır. Özellikle Kızılcım meşcereleri Karaçam meşcerelerine göre gençliğin ilk yıllarında ışık isteği daha fazladır. Yangın sahaları ise bu özellikler bakımından diğer sahalara göre en düşük büyüme performansı göstermiştir. Orman yangınlarıyla, yangın sonrasında bitki örtüsünün yok olmasına bağlı olarak toprakta bulunan organik maddenin büyük ölçüde alandan uzaklaşması ile toprak verimliliği (Certini, 2005; Çetin, 2016) ve diğer toprak özelliklerini olumsuz etkilemektedir (Wells, 1979; Ghuman vd., 1991; Verma & Jayakamur, 2012; Alameda & Villar, 2012). Yangın sahalarındaki bu performans düşüklüğünün toprak özelliklerinin orman yangınından olumsuz etkilenmesi ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Bununla birlikte bu farklılıkta birçok faktör rol oynayabilmektedir (Yavuz vd., 2004; Yücedağ & Carus, 2005; Özel vd., 2010; Özel vd., 2011; Yazıcı & Turan, 2016; Yazıcı, 2018; Ertuğrul, 2022).

Yangın ve normal ağaçlandırma sahaları yaş bakımından benzer (8.8 ve 8.9 yıl) yaş değerlerine sahipken, gençleştirme sahaları bunlardan daha yüksek (10.5 yıl) yaş değerine sahiptir (Tablo 2). Gençleştirme sahası içi boy farklılıkları türde birden fazla bol tohum yılından yararlanılabileceğini göstermektedir.

Çalışmaya konu sahalar, örnek alan bazında incelendiğinde, ortalama fidan sayısının 43 (NAS-3) - 366 (GES-1) arasında (Şekil 2); ortalama fidan boyunun 191.0 cm (YAS-2) - 295.7 cm (GES-1) arasında (Şekil 3); ortalama dip çapın 6.3 cm (YAS-2 ve YAS-3) - 9.1 cm (NAS-3) arasında (Şekil 3); yaşın ise 8.3 yıl (NAS-2) - 11.6 yıl (GES-1) arasında değiştiği belirlenmiştir (Tablo 2). Bu farklılık lokal ormancılık uygulamalarının önemini vurgulamaktadır.



Şekil 2. Örnek alanlardaki fidan sayıları



Şekil 3. Örnek alanlardaki ortalama boy ve dip çaplar

Uygulamaların, boy, dip çap ve yaş bakımından karşılaştırılması amacıyla gerçekleştirilen varyans analizi sonucunda, uygulamalar ve örnek alanlar arasında istatistiksel bakımdan anlamlı ($p<0.01$) fark olduğu ortaya çıkmıştır. Benzer sonuçlara diğer yörelerde gerçekleştirilen, türün doğal gençleştirme (Ertuğrul & Bilir, 2020) ve ağaçlandırma (Kartal & Bilir, 2022) sahalarında da ulaşılmıştır. Bu sonuçlar, sahaya uygun silvikültürel uygulamalarının önemini göstermektedir. Duncan testi sonuçlarına göre örnek alanlar; çap bakımından üç homojen grup, boy bakımından yedi homojen grup ve yaş bakımından ise dört farklı homojen grup oluşturduğu anlaşılmıştır (Tablo 2). Bu farklılık bakım çalışmaları boyun kriter alınması durumunda uygulayıcıya daha kolaylık sağlayacağını göstermektedir.

3.2. Özellikler Arasındaki İlişkiler

Çalışmaya konu özellikler arasındaki ilişkilerin belirlenmesi için uygulanan korelasyon analizi sonucunda çalışmaya konu özellikler arasında tamamı istatistiksel bakımdan anlamlı ($p<0.01$) pozitif ilişkiler belirlenmiştir (Tablo 3).

Tablo 3. Büyüme özelliklerine ait korelasyon analizi sonuçları

Özellik	Örnek Alanı (r)	D_0	B
B	YAS	0.822*	-
	GES	0.762*	-
	NAS	0.608*	-
Y	YAS	0.636*	0.580*
	GES	0.646*	0.616*
	NAS	0.618*	0.377*

*; İlişkiler % 99 önem düzeyinde anlamlıdır.

Anadolu Karaçamı ağaçlandırma (Özel, 2018; Kartal & Bilir, 2022) ve doğal gençleştirme sahalarında (Ertuğrul & Bilir, 2020) yapılan çalışmalarda da boy ve çap arasında anlamlı ($p<0.05$) ve pozitif ilişkiler tahmin edilmiş olup bu ilişkilerin türün gençlik ve sıklık bakımı uygulamalarına katkı sağlayacağı aşikardır.

4. Sonuç ve Öneriler

Fidan sayısı ve fidan boyu bakımından gençleştirme sahaları, dip çap bakımından ise normal ağaçlandırma sahaları diğer sahalarla göre daha yüksek performans göstermiştir (Tablo 2). Ancak, gençlik bakımı çalışmalarında sadece hektarda bulunması gereken birey sayısı değil, diğer etmenler de dikkate alınmalıdır.

Doğal gençleştirme sahalarındaki saha içi yaş farklılığı birden fazla bol tohum yılından yararlanılabileceğini ortaya çıkarmıştır.

Çalışmaya konu özellikler bakımından, uygulamalar ve uygulama içi alanlar arası anlamlı ($p<0.01$) farklılıklar yöresel ormancılık uygulamaları ve yöntemin önemini vurgulamıştır. Boydaki yüksek varyasyon, bu özelliğin uygulayıcılara daha yüksek bakım/seleksiyon olanağı sağlayacağını göstermektedir.

Özellikler arasındaki anlamlı ($p<0.01$) pozitif ilişkiler (Tablo 3), türün gençlik ve kültür bakımı için önem arz etmektedir.

Teşekkür

Bu makale, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nde, Prof. Dr. Nebi Bilir danışmanlığında yürütülen Doktora tez çalışmasının bir bölümünü içermekte olup, emeği geçenlere teşekkür ederiz.

Kaynaklar

1. Alameda, D. & Villar, R. (2012). Linking Root Traits to Plant Physiology and Growth in *Fraxinus angustifolia* Vahl. Seedlings Under Soil Compaction Conditions. *Environmental and Experimental Botany*, 79, 49-57.
2. Anonim, (2021). Orman Genel Müdürlüğü İstatistikleri-2020 (www.ogm.gov.tr). Ankara.
3. Ata, C. (1995). *Silvikültür Tekniği*. Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Bartın Orman Fakültesi Yayınları, Zonguldak.
4. Baş, R. (1977). Türkiye’de Orman Yangınları Nedenleri, Zararları ve Yangınlara Karşı Alınacak Önlemler. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 27(2), 52-73.
5. Certini, G. (2005). Effects of Fire on Properties of Forest Soils: a Review. *Oecologia*, 143(1), 1- 10.
6. Çanakçıoğlu, H. (1993). *Orman Koruma*. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, İstanbul.
7. Çetin, M. (2016). Determination of Bioclimatic Comfort Areas in Landscape Planning: A Case Study of Cide Coastline. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 4(9), 800-804.
8. Ertuğrul, G.S. & Bilir, N. (2020). Kütahya-Simav yöresi Anadolu Karaçamı doğal gençleştirme sahasında bazı değerlendirmeler. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 21, 75-81.
9. Ertuğrul, G.S. (2022). *Kütahya Yöresi Orman Yangını Sahalarında Silvikültürel Uygulamaların Değerlendirilmesi*. Doktora Tezi, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Isparta.
10. Ferrare, R.A., Fraser, R.S. & Kaufman, Y.J. (1990). Satellite Measurements of Large - Scale Air Pollution: Measurements of Forest Fire Smoke. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 95, 9911-9925.
11. Flannigan, M.D., Stocks, B.J. & Wotton, B.M. (2000). Climate Change and Forest Fires. *The Science of the Total Environment*, 262(3), 221-229.
12. Garcia-Ruiz, J.M., Nadal-Romero, N., Renault, L. & Begueria, S. (2013). Erosion in Mediterranean Landscapes: Changes and Future Challenges. *Geomorphology*, 198, 20-36.
13. Ghuman, B.S., Lal, R. & Shearer, W. (1991). Land Clearing and Use in the Humid Nigerian Tropics: I. Soil Physical Properties. *Soil Science Society of America Journal*, 55(1),178-183.
14. Kartal, R. & Bilir, N. (2022). Isparta Yöresi Ehrami Karaçam Ağaçlarının Değerlendirilmesi: 30. Yıl Sonuçları. *Bartın University International Journal of Natural and Applied Sciences*, 5(1), 10-17.
15. Odabaşı, T. (1976). *Türkiye’de Baltalık ve Korulu Baltalık Ormanları ve Bunların Koruya Dönüştürülmesi Olanakları Üzerine Araştırmalar*. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, İstanbul.
16. Odabaşı, T., Çalışkan, A. & Bozkuş, H.F. (2004). *Silvikültür Tekniği (Silvikültür II)*. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, İstanbul.
17. Özalp, G. (1989). *Çitdere (Yenice – Zonguldak) Bölgesindeki Orman Toplulukları ve Silvikültürel Değerlendirilmesi*. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.
18. Özel, H.B., Ertekin, M. & Tufanoğlu, G.Ç. (2010). Devrek-Akçasu Yöresindeki Karaçam (*Pinus nigra* Arnold. ssp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe) ve Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) Ağaçlandırmalarında Boy Artımı ile Bazı İklim Faktörleri Arasındaki İlişkinin İncelenmesi. *Ecological Life Science* 5(4), 376-389.
19. Özel, H.B., Kırdar, E., Demirci, A. & Görmez, Y. (2011). Bazı Yetiştirme Ortamı Koşulları ile Kızılcım (*Pinus brutia* Ten.) Fidanlarının Büyüme Performansı Arasındaki İlişkiler. I. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu. 26-28 Ekim, Kahramanmaraş.
20. Özel, S. (2018). *Isparta-Yalvaç Yöresi Ağaçlandırma Çalışmalarının Silvikültürel Değerlendirilmesi*. Y. Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
21. Sokal, R.R. & Rohlf, F.J. (1995). *Biometry*. Wh Freeman and Company.
22. SPSS (2011). IBM SPSS Statistics for Windows, Version 20.0., NY: IBM Corp.
23. Stocks, B.J., Fosberg, M.A., Lynham, T.J., Mearns, L.B., Wotton, M., Yang, Q., Jin, J.Z., Lawrence, K., Hartley, G.R., Mason, J.A. & Mckenney, D.W. (1998). Climate Change and Forest Fire Potential in Russian and Canadian Boreal Forests. *Climatic Change*, 38(1), 1-13.
24. Verma, S. & Jayakumar, S. (2012). Impact of Forest Fire on Physical, Chemical and Biological Properties of Soil: a Review. *Proceedings of the International Academy of Ecology and Environmental Sciences*, 2(3), 168.
25. Wells, C. (1979). *Effects of Fire on Soil*. USDA Forest Service General Technical Report No:7.
26. Yavuz, H., Mısır, N. & Mısır, M. (2004). Karaçam Ağaçlandırmalarına İlişkin Büyüme Modelleri. TOGTAG-274, Proje Sonuç Raporu.
27. Yazıcı, N. & Turan, A. (2016). Effect of Forestry Afforestation on Some Soil Properties: A Case Study from Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin*, 25 (7), 2509-2513.
28. Yazıcı, N. (2018). Effect of Species and Environmental Factors on Growth Performances in Afforestation of *Cedrus libani* and *Pinus brutia*. *Fresenius Environmental Bulletin*, 27, 6913-6917.

29. **Yücedağ, C. & Carus, S. (2005).** Kovada Gölü Milli Parkı Ormanlarının Meşcere Kuruluşları. *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*,1(2), 62-77.

BUILDING RESIDENCE AREA EXTRACTION PROCESS WITH POLYNOMIAL APPROACH IN FREE BUILDING IDENTITY ZONING PLOTS

Selim Taşkaya^{1*}

¹ Artvin Vocational School, Department of Architecture and Urban Planning, ARTVİN

*Sorumlu Yazar: selim_taskaya@artvin.edu.tr

Abstract

The zoning islands in the identity of free buildings are one of the island types in the zoning plan. It has an aspect that distinguishes it from the zoning islands with certain definite features such as separate, block and adjacent. It is a building regulation in the identity of a zoning island, which is applicable in application zoning plans, especially in new development and settlement areas. On the islands with the identity of free construction, the building permit withdrawal dimensions are given on the basis of different precedents. As a method, it has been tried to be explained with examples on how to draw the parcels to the base according to certain rules with polynomial nesting. The polynomial is mathematically the process of constructing subsets or subsets from the universal set. In planning applications, it is the process of creating the right building stock by specifying the garden distances from the outside to the inside. Especially in the identity of free building, the most important part in these garden distances is to create the building sitting area by pulling the right side garden. In this way, an examination was made about how a different approach in the zoning plans will be given to the zoning islands with the identity of free buildings from general to specific.

Keywords: Free order, reconstruction island, polynomial approach

1. Introduction

The interest gained by the concept of the city has inevitably brought importance to concepts and fields such as urbanization, urbanization and urban planning. With the increase in the urban population and migration from rural to urban areas, the urbanization process has also gained momentum. Urbanization and the increase in the urban population, along with many other dimensions, have brought the organization of public services in the city and the planning of urban areas to a position that deserves special attention. Fixed or limited land supply as opposed to a growing urban population; The limited availability of land with infrastructure ready for development or with low disaster risk brings along various difficulties in the implementation of urbanization policy and zoning planning (Ulutaş, 2021). In accordance with Article 8 of the Zoning Law No. 3194, zoning plans consist of a master zoning plan and an implementation zoning plan. If there are regional plan and environmental plan decisions, the plans should be in accordance with them. In the zoning planning, regional distribution of duties and powers was made between municipalities and other institutions. Accordingly, within the boundaries of the municipality that is the subject of master and implementation development plans, the relevant plans will be made or made by the municipalities and will enter into force after being approved by the municipal councils (Ulutaş, 2021). If the area subject to the planning is outside the municipality and the adjacent area, it will be done or will be done by the governor's office or the relevant person. These plans, if deemed appropriate by the governorship, come into effect after being approved. Master and implementation zoning plans made or commissioned by municipalities are announced by the mayor as of the date they are approved by the municipal council, and master and implementation zoning plans for places other than the municipality and the adjacent area are announced by the governorship. During the announcement, these plans can be objected to by those concerned. Objections are examined and finalized within 15 days by the city council or the governorship, taking into account the institution authorized to plan (Ulutaş, 2021). In this context, in terms of zoning law, the country development plan, which also has a strong spatial discourse, design and dimensions, finds its application

***Sorumlu Yazar (Corresponding Author):** Selim TAŞKAYA; Artvin University, Artvin Vocational School, Department of Architecture and Urban Planning, Artvin-Turkey.

Geliş (Received) : 18.04.2022
Kabul (Accepted) : 19.07.2022
Basım (Published) : 31.07.2022

area theoretically by being at the top of the hierarchy of plans (Şanlı, 2009). The development plans, whose main purpose is to ensure the social and economic development and progress of the country, also reflect an urbanization policy in line with this purpose. The development of cities and solving problems related to urbanization are important in terms of development (Arslan, 2016; Ulutaş, 2021). It is possible to examine the mistakes made in zoning applications by dividing them into two parts. One of the sections is the problems experienced in the implementation of the zoning plans, while the other is the problems arising from the construction of the zoning plan (Yomralıoğlu, 1997; Akyol, 1997). In this respect, a study has been carried out that can be beneficial in the solution of zoning implementation problems in Turkey by examining the errors and separating the errors into two parts. In this study, the problem of unjust zoning plans has been addressed. Two different solutions have been proposed for this problem. The first of these is to implement the zoning application in accordance with Article 18 of the Zoning Law No. 3194, and the second is to expropriate the mass housing areas selected from the areas open to development of the cities, parceling them out in accordance with the law and putting them up for sale. For the first solution, the municipalities only have to cover the implementation costs, but in the second solution, the municipalities have to pay significant expropriation costs. Determining the developing regions of cities is an important detail for these solution proposals (Büyükaslan, 2021).

2.Theoretical Framework and Scope

It is noteworthy that the master zoning plan is a whole with the plan notes and the report. The report, which is an integral part of the plan, is a document describing the principles introduced in the plan. No matter how detailed the master plan is made due to its technical plan structure, it is not possible to show all the views of the planner regarding the implementation, the determinations at the planning stage and all the targets aimed with the plan. For this reason, the report, which includes the explanation, general principles, mandatory provisions, suggestions and advice regarding the plan, is seen as a complement to the plan and is made compulsory (Yıldız, 2016; Ulutaş, 2021). The application development plan is drawn on the existing map such as the master development plan and includes all the details such as the building blocks, roads, density order in the building blocks, implementation phases for the implementation of the plan. Again, the layout of the building, the number of floors and heights, the size of the parcels, the region is determined in the plan, and the details of the application relations with the infrastructure facilities are also included (Keleş, 2013; Ulutaş, 2021). As a matter of fact, the implementation development plan prepared without processing the cadastral situation may result in a shared ownership on the land, especially at the stage of land and land arrangement. However, whether or not the cadastral situation is written on the map, the boundaries of the real estate are not decisive for the plans (Kalabalık, 2017; Yıldız, 2016; Ulutaş, 2021). The zoning applications made within the scope of the purpose explained with article one in the Zoning Law are the practices carried out in the settlements. The realization of these applications is to make the land and lands as specified in the zoning plan (Büyükaslan, 2021). It should be carried out in a way that can meet the social needs as well as the basic needs of the society, with zoning practices, to increase the welfare in the cities and to have healthy environmental conditions. The Zoning Law covers all of the prohibitions and rules that must be followed within the scope of meeting these basic and social needs and the implementation of zoning plans (Büyükaslan, 2021). Planned Areas Zoning Regulation entered into force with the Official Gazette No. 30113 published on 03.07.2017. This regulation has been prepared based on the provisions of the Zoning Law No. 3194 dated 03.05.1985 and the Decree Law No. 644. Purpose; It is to determine the provisions regarding the construction and inspection of buildings in accordance with health, science, plan and sustainable environmental conditions (Planned Areas Zoning Regulation, 2017). The presentation of the construction, beautification and improvement activities that we use while explaining the concept of zoning within a plan and program revealed the zoning plans. The development plans, which provide a modeling for the future in line with a certain hierarchy from the smallest administrative unit to the whole of the country, allow the main objectives in economic, social and cultural dimensions to spread all over the country (Gelir, 2021; Utkucu and Çağlan, 2019). Although many public institutions and organizations on behalf of the central administration and local governments participate in the preparation process of the zoning plans, from the highest level to the lowest level plans, the coordination between them is extremely limited. Since the upper and lower scales of the plans must be compatible as a whole in order to achieve the aim desired to be achieved by planning, it is inevitable that there will be an interaction, priority of implementation and order between the wills embodied as a result of planning activities (Gelir, 2021; Çolak, 2014).

3. Material and Method

One of the methods of mathematically approximating the residential area of the building on the basis of parcels in free-range zoning blocks is the polynomial approach. Orthogonal polynomials are used in many areas of mathematics such as coding theory, number theory, harmonic analysis, numerical analysis, approximation theory; It has many applications in many other fields such as probability theory, stochastic processes, quantum mechanics, solid state physics, optics (Yıldırım, 2022).

Polynomial array $\{P(x)\}$ ($k=0,1,\dots$) that is orthogonal to the weight function $p(x)$ in a (a,b) interval

$$\int P_k(x)P_l(x)p(x) dx = 0 \quad (1 \neq k) \quad (1) \quad (\text{Yıldırım, 2022}).$$

Realizes the orthogonality relation. Examples of this polynomial sequence are continuous Laguerre, Jacobi and Hermite classical orthogonal polynomials (Rainville, 1960; Chihara, 1978; Szegő, 1975; Yıldırım, 2022).

a_1, b_1, c_1, d_1, e_1 real parameters and r is a positive integer;

$$(a_1x^2+b_1x+c) y_r''(x)+(d_1x+e_1) y_r'(x)-r(d_1+(r-1)a_1) y_r^1(x)=0 \quad (2) \quad (\text{Lekesiz, 2021}).$$

$n \in \mathbb{N}, k > 0$ including;

$$J_{k,n+2} = kJ_{k,n} + 2J_{k,n-1}; J_{k,0} = \begin{pmatrix} k & 2 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \quad (3) \quad (\text{Taştan, 2021}).$$

In the figure, k -Jacobsthal Lucas defined the matrix sequence with $\{Ck,n\} n \in \mathbb{N}, n \in \mathbb{N}, k > 0$ including;

$$C_{k,n+2} = C_{k,n} + 2C_{k,n-1}; C_{k,0} = \begin{pmatrix} k^2 + 4 & 2k \\ k & 4 \end{pmatrix} \quad (4) \quad (\text{Taştan, 2021}).$$

is He has included some identities that give the relations between these two matrices. To define Gauss Fibonacci and Gauss Lucas polynomials, to investigate their relations with known polynomial families, to define Gauss k -Fibonacci polynomials, Gauss k -Lucas number sequences and polynomials given by recurrence relations, Gauss k -Jacobsthal and Gauss k -Jacobsthal-Jacobsthal number sequences and Lucas number sequences The main purpose of the study is to define the polynomials and to investigate the properties of these defined number sequences. The recurrence relations to be defined are to establish a connection between the Gaussian families known as new number sequences, and thus to establish a link between number theory and matrix theory. Thanks to the relationship to be established, while the properties of new number sequences are investigated, at the same time, information about the properties of derivatives of Gaussian number sequences polynomials is obtained (Taştan, 2021).

Matrix representation of the Jacobsthal-Lucas polynomial;

$$n \geq 1 \quad \text{and} \quad Q = \begin{bmatrix} 1 & 2x \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \quad \text{and} \quad R = \begin{bmatrix} 1 + 4x & 1 \\ 1 & 2 \end{bmatrix} \quad \text{for}; \quad Q^n R = \begin{bmatrix} 1 & 2x \\ 1 & 0 \end{bmatrix}^n \begin{bmatrix} 1 + 4x & 1 \\ 1 & 2 \end{bmatrix}$$

(Tereshkiewicz; Wawreniuk, 2015; Taştan, 2021).

t_i ($i=1,\dots,M$) let D_i be all the failures that occur at the time. Let R_i be the set of all units at risk just before time T_i . This set includes all units that failed after time t_i and those that were stopped or failed at a later time than t_i . R_i members of the set $r=1, \dots, n_i$ be in shape. Let X denote the explanatory variables. These variables are indexed by i,j,k . T_d values of variables at failure time, $x_{1d}, x_{2d}, \dots, x_{id}$ It is written as (Dinç, 2019).

$$\log(B) = \sum_{t=1}^M \sum_{i=n}^p (x_{it} B_i) - \ln \sum \exp \sum_{i=n}^p x_{ir} B_i \quad (5) \quad (\text{Dinç, 2019}).$$

In the absence of simultaneous observation, the log-likelihood function is defined as above (Dinç, 2019; Kalbfleisch and Prentice, 1980).

4. Findings and Discussion

As a result of the zoning plans, ground gravity measurements can be given with different approaches for building settlement to the parcels that fall within the zoning islands created in a certain region. In the study, descriptions of how the measurements will be applied in the so-called free building blocks with their own indeterminate height, apart from the distinct, separate, block and adjacent orders of the zoning islands, are given by giving descriptions of the sample applications.

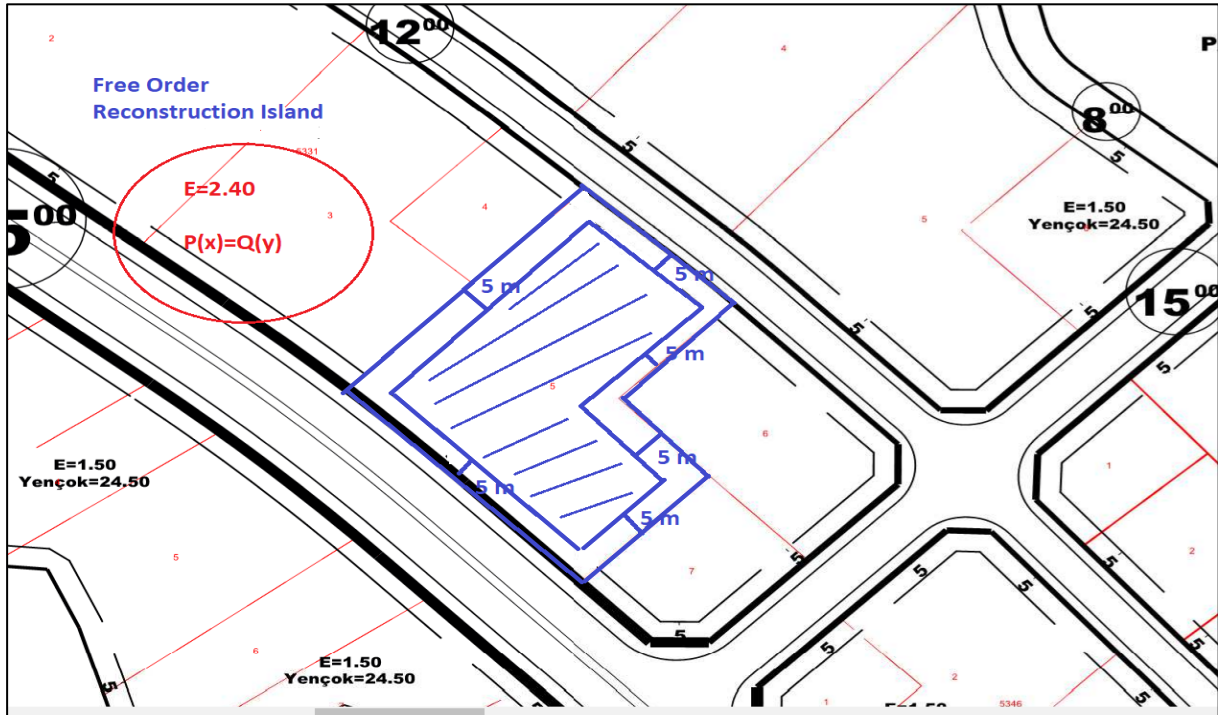


Fig. 1. Representation of the free building zoning island with a total construction area of 2.40

The most important feature of this type of building identity is that no information about the height is given. Since all parcels will have a frontage to at least one point, although there is no problem in towing operations on the islands where there is no construction from the front, problems may arise in the approaching borders of neighboring parcels. When looking for an answer to the question of how the building will be placed on the ground in free-standing building blocks, general procedures will be carried out only based on the precedent values, the phrase 0.30 coefficient should be taken on the average ground of the planned type zoning regulation. When the average coefficient of 0.30 is evaluated as each ground floor and upper floor, it is revealed that the building will be built normally from $2.40=0.30 \times 8$ to eight floors on average. According to the planned type zoning regulation, if it is not commercial in maximum residential areas, this equivalent value is deducted up to 0.40 on the ground. When the boundaries of the residential area on the ground were determined based on eight floors, it was emphasized that the approach limits should be determined by increasing the approach limit of the adjacent plots up to four floors by three meters, and by increasing half a meter per floor after four floors, according to the planned areas type zoning regulation. From this point of view, with the logic of $P(x)=Q(x)=P(Q(x))=y$, the approach distance to the building where the building will sit is determined by pulling 5 meters from the neighboring parcel borders as a function from the nested cluster.

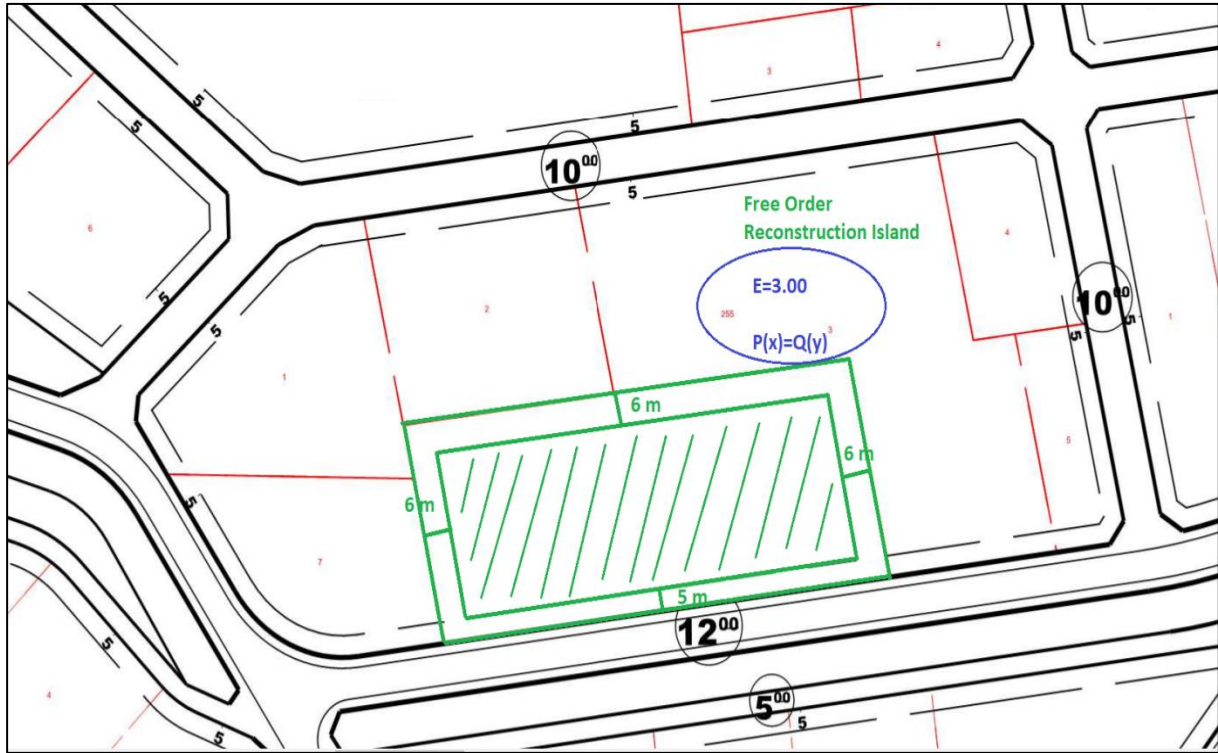


Fig. 2. Representation of the free building zoning island with a total construction area of 3.00

The most distinctive feature of the island with the free building identity shown in Figure 2 is that only the total construction area is given. The total construction area, on the other hand, defines the amount consisting of the multiplication of the title deed area of the relevant parcel with this precedent value, how many floors the parcel owner will build, the limit will be in that way. When we examine the building approach limit of a parcel on the south side of the island with only one side to the road, regardless of the precedent, the approach limit to the road will not exceed 5 meters. After 2017, in the planned type zoning regulation, since the neighboring parcels should be applied both on the sides of the parcel and on the back sides of the parcel, the average ground coefficient of 0.30 was taken at the base, and the building boundaries were formed to correspond to 10 floors. Therefore, by drawing 6 meters from the sides and the backyard, the sitting area of the building is determined as $P(x)=Q(x)=P((Q(x)))=y$ with a polynomial approach.

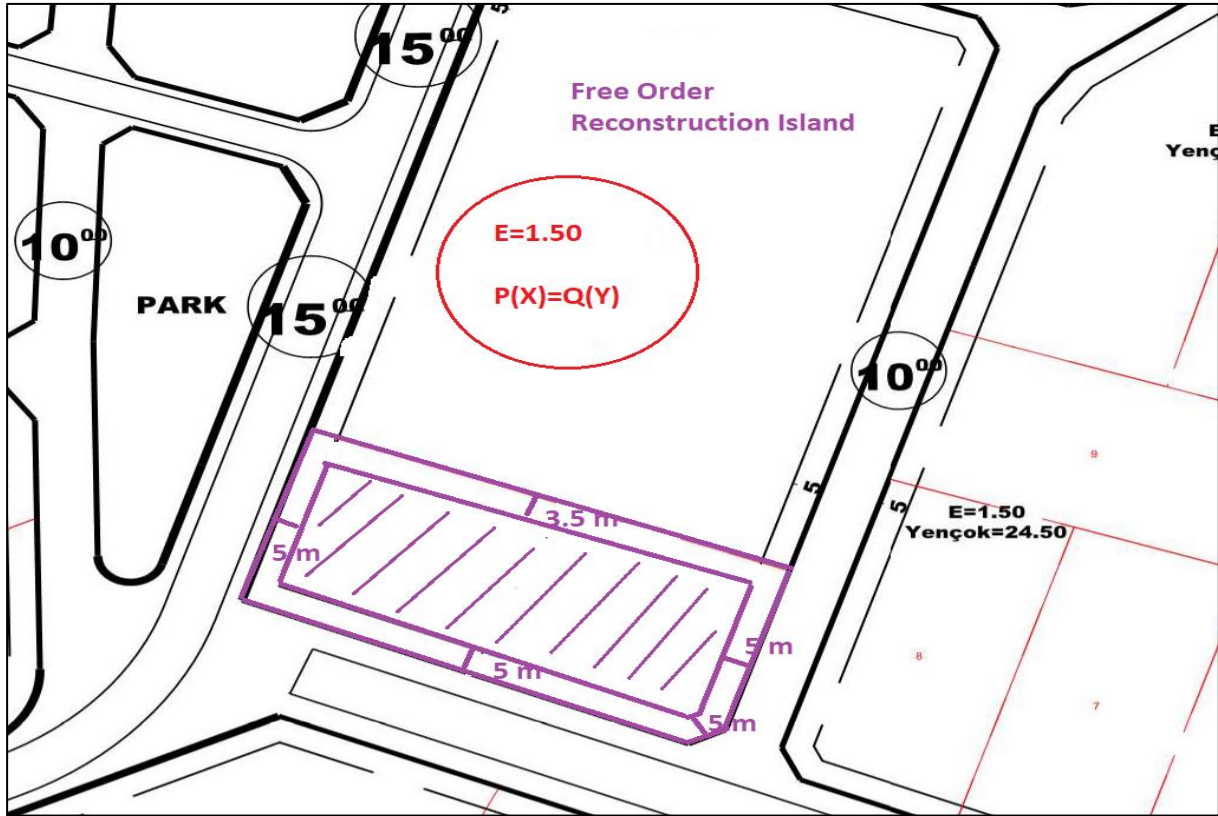


Fig. 3. Representation of the free building zoning island with a total construction area of 1.50

Especially in parcels with the identity of free buildings, it is to determine the adjacent and rear settlement building approach boundaries elastically according to the number of facades of the parcel and the maximum number of floors to be built. Here, too, 5 meters from the parts facing the road and 3.5 meters from the neighboring approach limit were taken, due to the possibility of building up to 5 floors on average, with a total construction area of 1.50. However, it should be stated in the project that if the amount of precedent on the ground is increased and the number of floors is reduced, then the adjacent parcel approach border will change.



Fig. 4. Representation of the free building zoning island with a total construction area of 1.20

The building block with a coefficient of 1.20 in the total construction area and the building adjacent to a parcel in the identity of a free structure will be within 3 meters of the approach boundaries. It does not change as a result of increasing or decreasing the amount of coat. In the figure, the areas planned on a parcel in the west and east directions to the road are fixed to the type zoning regulation, 5 meters from their front sides, and the neighboring approach limit is 3 meters.

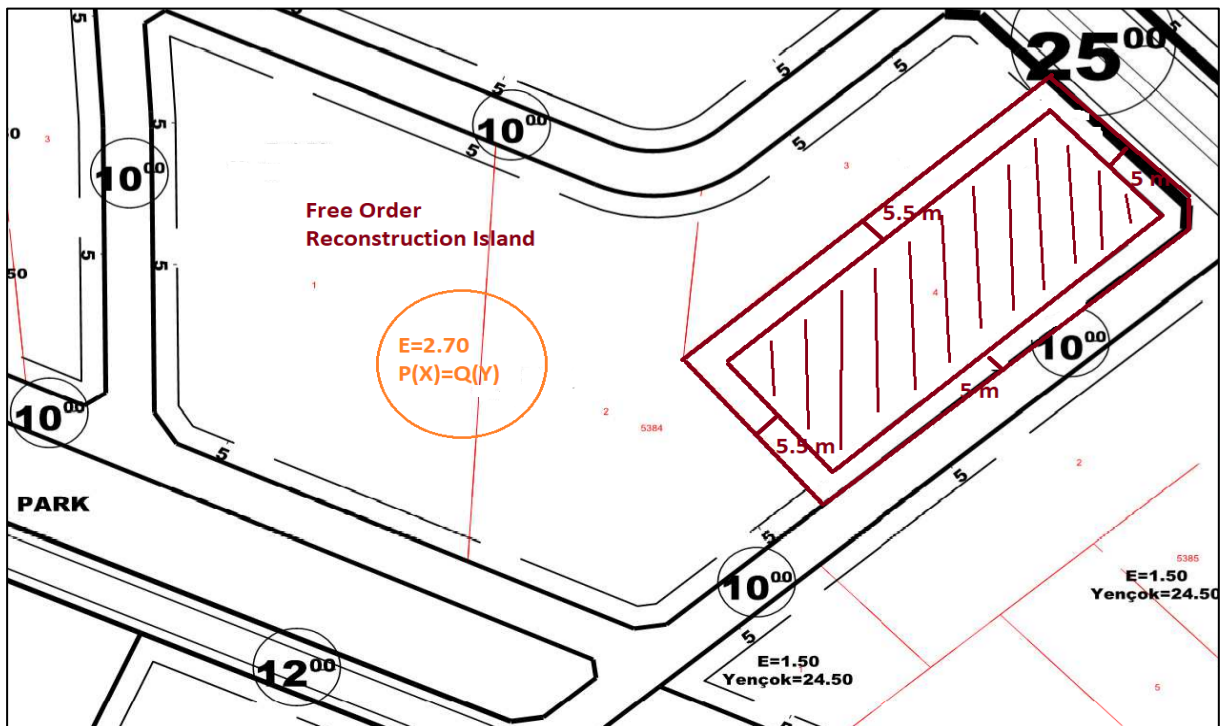


Fig. 5. Representation of the free building zoning island with a total construction area of 2.70

Since the total construction area has a coefficient of 2.70 in the display area of the parcel on the free identity zoning island, which has a geometrically convex structure, the double-fronted zoning parcel, which is considered as a corner parcel, is assumed to be 0.30 on the ground, and the approximation amount of the adjacent parcel is 5.5, assuming that it corresponds to 9 floors. meters will be. As we mentioned in the previous example, this amount will definitely increase or decrease in case of a decrease or increase in the floor in the project. $P(x)=P(x+1)+\dots\dots\dots+P(x+n)$ and $Q(x)=Q(x+1)+\dots\dots\dots+Q(x+n)$ to $P((Q(x)))$ will be expressed mathematically.

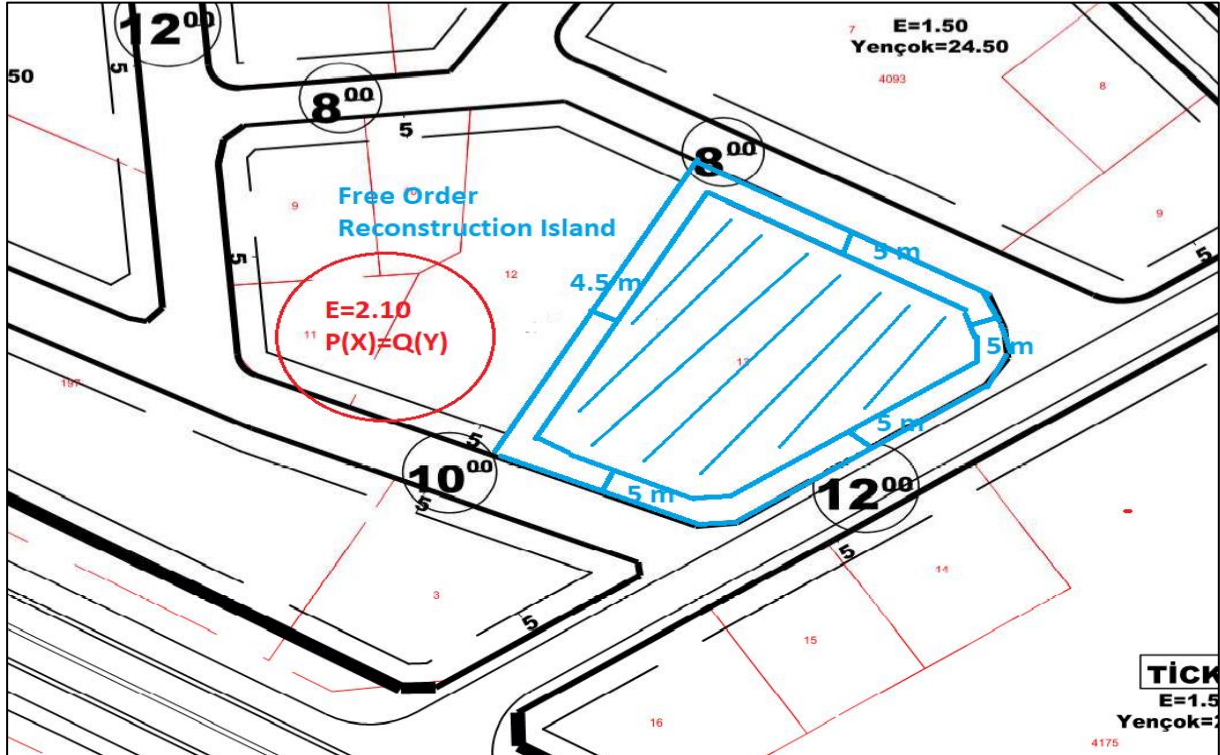


Fig. 6. Representation of the free building zoning island with a total construction area of 2.10

Considering the building residence area of the parcel with a total construction area of 2.10 in Figure 6, this part is important since the most important part will be the approach to the neighboring parcel. From here, we will evaluate the approximation part of the residential building on the ground of the parcel, which is 7 floors above the average, as 4.5 meters. We will argue that whatever $P(x)+Q(x)$ or $P(x)-Q(x)$ is, it should be provided in a single equality and approached with the logic of the outside-in.

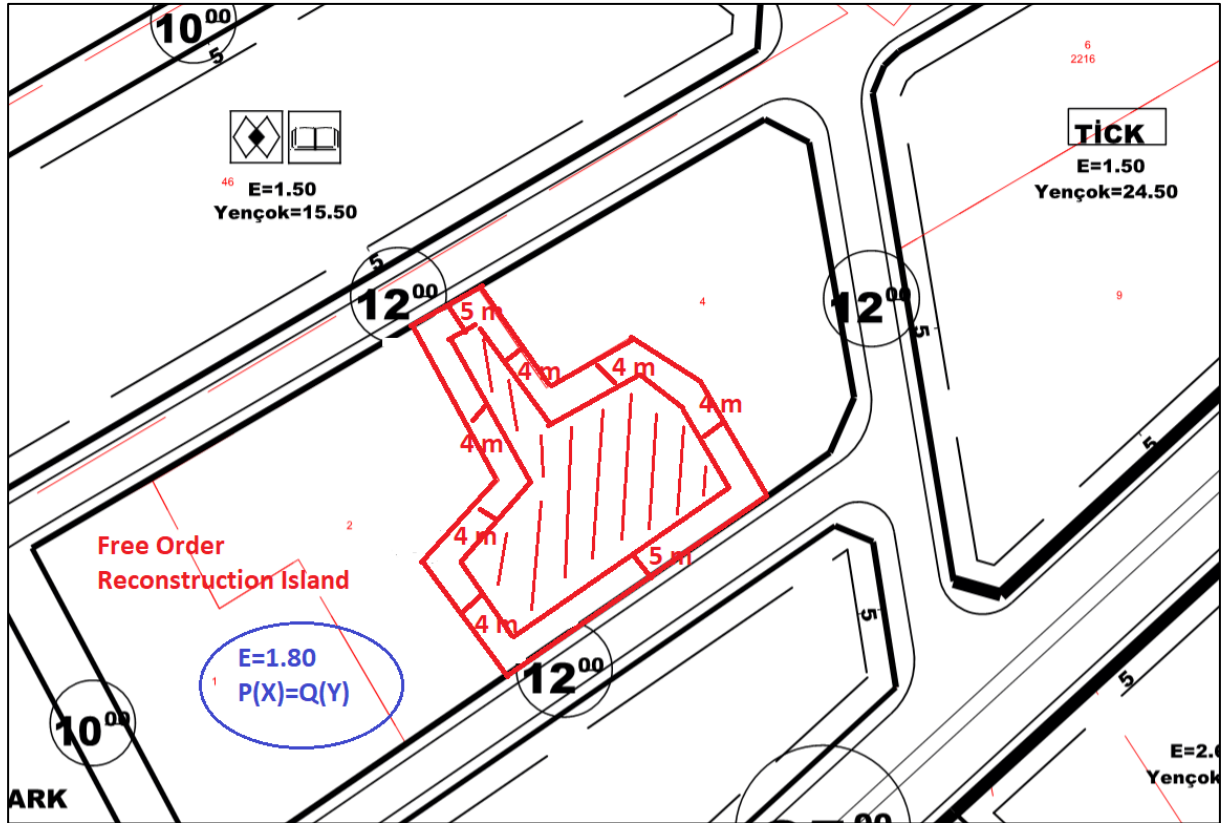


Fig. 7. Representation of the free building zoning island with a total construction area of 1.80

In Figure 7., when it is asked how to make an inference according to the identity of the building residence area, especially on a parcel that looks like a mixed shape, it is necessary to draw 4 meters as a side-by-side approach to the parcel with a free building identity, corresponding to 6 floors, in the same way as on the back side. The draw distance to be given to the relevant area will be evaluated in this way and the seating area will be determined with the same measure.

Table 1. Session area limit representation

Total equivalent P(x)	Front approach Q(x) m	Side approach Q(x) m	Rear approach Q(x) m
0.30	5	3	3
0.60	5	3	3
0.90	5	3	3
1.20	5	3	3
1.50	5	3.5	3.5
1.80	5	4	4
2.10	5	4.5	4.5
2.40	5	5	5
2.70	5	5.5	5.5
3.00	5	6	6
3.30	5	6.5	6.5

In the table, especially when the P(x) polynomial is expressed as peers, the Q(x) polynomial structure approximation limits of the zoning parcels on the islands with free structure identity are expressed.

5. Conclusion and Recommendation

It is extremely important that the zoning plans are made properly and that they are functional. In particular, while creating the island with special identities, except for the islands with the basic split, block and adjacent building identity, some parameters should be created by gaining certainty. The precedent value, which is one of these important factors in the identity of the free building, should be included in the plan. From the total construction areas to the relevant parcel, how the settlement chart will be formed on the ground should be applied based on this parameter. The number of floors should be determined in a certain amount and the adjacent and rear distances should be determined according to this number. Our suggestion is to eliminate the relative part of the residential area by giving the height coefficient along with the total construction area in these types of islands in the plans, so that the height of the building becomes certain.

Acknowledgment

He would like to thank Semih TAŞKAYA, MSc Metallurgical and Materials Engineer, for his contributions to the mathematical approach in the article.

Kaynaklar

1. **Arslan, C. (2016).** *Evaluation of Urbanization Policies in Development Plans in Turkey*, (Unpublished Master's Thesis), Ardahan University, Institute of Social Sciences, Ardahan.
2. **Akyol, N. (1997).** Problems Encountered in Zoning Practices, Trabzon.
3. **Büyükaslan, S. (2021).** *Problems Encountered in Zoning Practices and Solution Suggestions*, Çanakkale Onsekiz Mart University, Graduate Education Institute, Department of Geographical Information Technologies, Master's Thesis, Çanakkale.
4. **Chihara, T.S. (1978).** *An Introduction to Orthogonal Polynomials (1st Edition)*, Gordon and Breach, New York.
5. **Çolak, N. I. (2014).** Zoning Law, Twelve Plates, Istanbul.
6. **Dinç, H. (2019).** *Life Models with Fractional Polynomials*, Hacettepe University Graduate School of Education, Department of Statistics, Master Thesis, Ankara.
7. **Gelir, M. (2021).** *Centralization Tendency in Zoning Plans*, Yeditepe University Institute of Social Sciences, Department of Law, Master's Thesis, Istanbul.
8. **Kalabalık, H. (2017).** *Zoning Law Courses, Updated, Enlarged Eighth Edition*, Seçkin Publishing House, Ankara.
9. **Kalbfleisch, J.;Prentice, R. L. (1980).** *The Statistical Analysis of Failure Time Data, Second Edition*, John Wiley & Sons, Inc, New York, Chapter 4.
10. **Keleş, R. (2013).** *Urbanization Policy*, 13th Edition, Imge Bookstore, Ankara.
11. **Lekesiz, E.G. (2021).** *Bivariate Finite Orthogonal Polynomial Families and Some Properties*, Ankara University, Institute of Science, Department of Mathematics, PhD Thesis, Ankara.
12. **Planned Areas Zoning Regulation. (2017).** *Official Gazette* (No: 30113, Date: 03/07/2017).
13. **Rainville, E.D. (1960).** *Special Functions. 1st ed., The Macmillan Company*, New York.
14. **Szego, G. (1975).** *Orthogonal Polynomials. American Mathematical Society Colloquium Publications, 23*, 4th ed. American Mathematical Society, Providence, Rhode Island.
15. **Sanli, D. (2009).** "Analysis of Planning Authority", *Journal of Ankara Bar Association*, 3, p. 47-58.
16. **Taştan, M. (2021).** *Gaussian Number Sequences and Polynomials*, Erzincan Binali Yıldırım University, Institute of Science and Technology, Department of Mathematics, PhD Thesis, Erzincan.
17. **Tereszkiewicz, A., Wawreniuk, I. (2015).** *Generalized Jacobsthal polynomials and special points for them*, *Applied Mathematics and Computation*, 268, 806–814. DOI:10.1016/j.amc.2015.07.002.
18. **Ulutas, T. B. (2021).** *Public Interest Criteria in Judicial Supervision of Zoning Plans*, Pamukkale University Institute of Social Sciences, Department of Political Science and Public Administration, PhD Thesis, Denizli.
19. **Utkucu, T.;Çağlan, E. (2019).** *Rant İmar İtibarı*, Twelve Plates, Istanbul.
20. **Yıldırım, S.M. (2022).** *Discrete Bivariate Orthogonal Polynomials*, Ankara University, Institute of Science and Technology, Department of Mathematics, Master's Thesis, Ankara.
21. **Yıldız, F. (2016).** *Zoning Information. Planning, Implementation, Legislation*, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara.
22. **Yomralıoğlu, T. (1997).** *Development Plan Implementation Techniques in Urban Area Arrangements*, Trabzon. 32- 39.

ÜZÜMCÜ ÇAYI (BALIKESİR) FİTOPLANKTON EKOLOJİSİ

Kemal Çelik¹

¹Biyoloji Bölüm, Fen-Edebiyat Fakültesi, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir, Türkiye

Öz

Akarsu ve durgun su kaynaklarının su kalitesinin belirlenmesinde algler büyük önem arz ederler. Üzümcü Çayı'nın fitoplankton ekolojisini incelemek amacıyla ilkbahar (Nisan), yaz (Haziran) ve son bahar (Ekim) 2020 dönemlerinde 2 istasyonda örnekleme gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu çalışmada, Bacillariophyta grubundan 28, Chlorophyta grubundan 11, Cyanobacteria grubundan 6 ve Euglenophyta grubundan 2 olmak üzere toplamda 47 planktonik alg türü tespit edilmiştir. Planktonik alg türlerinin %59'unu Bacillariophyta grubu, %23'ünü Chlorophyta grubu, %12'sini Cyanobacteria grubu ve %4'ünü Euglenophyta grubu oluşturmuştur. Üzümcü Çayında, Bacillariophyta grubundan *Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen, *Cymbella affinis* Kütz., *Nitzschia sigmaidea* (Nitzsch) W. Smith ve *Pinnularia major* (Kützling) Rabenh, Chlorophyta grubunda *Scenedesmus quadricauda* (Turpin) Brab., *Tetraedron minimum* (A. Braun) Hansgirg ve *Pediastrum simplex* Meyen Lemm., Cyanobacteria grubundan *Oscillatoria subtilissima* Kützling ve Euglenophyta grubundan *Trachelomonas hispida* (Perty) baskın olarak tespit edilmişlerdir. CCA analizi, Bacillariophyta grubundan, *A. granulata* NO₃ ile, *C. affinis* TP ile, *N. sigmaidea* ve *P. major* TN ve PO₄ ile, Chlorophyta grubunda *S. quadricauda*, *T. minimum* ve *P. simplex* pH ile, Cyanobacteria grubundan *O. subtilissima* ve Euglenophyta grubundan *T. hispida* çözülmüş oksijen ile ilişkili olduğunu göstermiştir. Su sıcaklığı 13°C ile 24°C, çözülmüş oksijen 3.35 mg l⁻¹ ile 8.1 mg l⁻¹, pH 6.85 ile 7.94, elektriksel iletkenlik 1456 µScm⁻¹ ile 1661 µScm⁻¹, nitrat azotu (NO₃) 0.45 mg l⁻¹ ile 0.87 mg l⁻¹, toplam azot (TN) mg l⁻¹ 1.91 ile 5.95 mg l⁻¹, fosfat (PO₄) 0.07 mg l⁻¹ ile 0.09 mg l⁻¹ ve toplam fosfor (TP) 0.07 mg l⁻¹ ile 0.18 mg l⁻¹ aralıklarında ölçülmüşlerdir. Tespit edilen değerler, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği kriterleri ışığında değerlendirildiğinde, Üzümcü Çayı'nın IV. sınıf su kalitesinde olduğunu göstermiştir. Üzümcü Çayı'nda tespit edilen baskın planktonik alg türleri daha çok ötrofik karakterli su kütlelerinde dağılım göstermektedir. Dolayısıyla, Üzümcü Çayı, biyolojik su kalitesi öğelerine göre ötrof bir akarsudur. Üzümcü Çayı'nın korunması için özelde Üzümcü Çayı etrafında genelde is havza bazında ekolojik tarıma öncelik verilmeli, evsel ve endüstriyel atık suların iyice arıtıldıktan sonra dereye verilmesi önerilir.

Anahtar Kelimeler: Fitoplankton, ötrofikasyon, Üzümcü Çayı, su kalitesi

THE PHYTOPLANKTON ECOLOGY OF ÜZÜMCÜ STREAM (BALIKESİR)

Abstract

Algae are of great importance in determining the water quality of streams and stagnant water sources. In order to examine the phytoplankton ecology of the Üzümcü Stream, sampling was carried out at 2 stations in the spring (April), summer (June) and autumn (October) 2020 periods. In this study, a total of 47 planktonic algal species were identified, 28 from the Bacillariophyta group, 11 from the Chlorophyta group, 6 from the Cyanobacteria group and 2 from the Euglenophyta group. Bacillariophyta group constituted 59%, Chlorophyta group 23%, Cyanobacteria group 12% and Euglenophyta group 4% of planktonic algal species. In Üzümcü Stream, *Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen, *Cymbella affinis* Kütz., *Nitzschia sigmaidea* (Nitzsch) W. Smith and *Pinnularia major* (Kützling) Rabenh from the Bacillariophyta group, *Scenedesmus quadricauda* (Turpin) Brab. Hansgirg and *Pediastrum simplex* Meyen Lemm., *Oscillatoria subtilissima* Kützling from the Cyanobacteria group, and *Trachelomonas hispida* (Perty) from the Euglenophyta group were predominantly detected. CCA showed that the diatoms, *A. granulata* correlated with NO₃, *C. affinis* with TP, *N. sigmaidea* and *P. major* with TN and PO₄. The green algae, *S. quadricauda*, *T. minimum* and *P. simplex* were correlated with pH. The cyanobacterium, *O. subtilissima* and Euglenophyta, *T. hispida* were correlated with dissolved oxygen.

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author):

Kemal ÇELİK; Balıkesir Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Balıkesir, Türkiye

Geliş (Received) : 22.04.2022

Kabul (Accepted) : 19.07.2022

Basım (Published) : 31.07.2022

Water temperature ranged from 13°C to 24°C, dissolved oxygen from 3.35 mg^l⁻¹ to 8.1 mg^l⁻¹, pH from 6.85 to 7.94, electrical conductivity from 1456 µScm⁻¹ to 1661 µScm⁻¹, nitrate nitrogen (NO₃) from 0.45 mg^l⁻¹ to 0.87 mg^l⁻¹, total nitrogen (TN) from mg^l⁻¹ 1.91 to 5.95 mg^l⁻¹, phosphate (PO₄) from 0.07 mg^l⁻¹ to 0.09 mg^l⁻¹ and total phosphorus (TP) from 0.07 mg^l⁻¹ to 0.18 mg^l⁻¹. When the measured values are evaluated in the light of the Water Pollution Control Regulation criteria, Üzümcü Stream had the IV. class water quality. The dominant planktonic algal species detected in Üzümcü Stream are mostly distributed in water bodies with eutrophic character. Therefore, Üzümcü Stream is an eutrophic stream based on biological water quality elements. For the protection of Üzümcü Stream, priority should be given to ecological agriculture, especially around the Üzümcü Stream, and it is recommended that the domestic and industrial waste water be thoroughly treated before discharged to the stream.

Keywords: Eutrophication, pytoplankton, Üzümcü Stream, water quality

1. Giriş

Mikro algler, sucul ekosistemlerde ekolojik durumun belirlenmesi amacıyla incelenmesi gereken en önemli canlı gruplardan biridir. Çünkü algler yayılış gösterdikleri ortamın ekolojik durumunu gösteren indikatör türler içermektedir (Søndergaard vd., 2005).

Tarihsel olarak nehirler, içme suyu, balıkçılık, ulaşım ve sulama için kullanılmıştır. Günümüzde akarsuların kullanımı, insan ihtiyaçları ile ekolojik bütünlük arasında bir denge gerektirmektedir (Bao vd. 2022). Akarsu fitoplankton dinamiklerini etkileyen faktörlerin daha iyi anlaşılması için ötrofikasyon sebeplerinin araştırılması esastır(Wehr ve Descy, 1998).

Reynolds (1988) akarsulardaki alg popülasyonlarının suda kalış sürelerini etkileyen en önemli faktörlerin debi ve türbülans olduğunu bildirmiştir. Buna göre, akarsularda fitoplankton yoğunluğu barınabileceği sığınak bölgelerinin varlığına bağlıdır.

Türkiye akarsularındaki fitoplankton topluluklarının tür içeriği ve zamansal değişimleri üzerine yapılmış birçok araştırma mevcuttur (Yıldız, 1987; Altuner, 1988; Altuner & Gürbüz, 1990; Atıcı & Yıldız, 1996; Atıcı & Obalı, 1999; Temel, 2001; Dere vd., 2002; Sungur, 2005). Akarsu sistemleri farklı yoğunluk ve sayıda alg türleri barındırırlar. Söz konusu sistemlerin su kalitesi tayininde son yıllarda algler yoğun bir şekilde kullanılmaktadır (Barlas, 1995; Fore & Grafe, 2002; Eloranta & Kwandrans, 2004; Atıcı & Ahıska, 2005; Solak vd., 2007; Smucker & Vis, 2010; Piirsoo vd., 2010; Tokatlı & Dayıoğlu, 2011;).

Akarsularımızın trofik seviyesinin tespitinde bölgelerindeki organizma topluluklarının durumu oldukça önemlidir. Fitoplankton, su kütlelerinde su kalitesinin ve biyolojik verimliliğinin belirlenmesinde primer üretici olması dolayısıyla büyük önem arz etmektedir (Şen vd., 2003)

Son dönemlerde gösterge alglere dayalı su kalitesi araştırmaları yükseliş eğilimine girmiştir (Fakıoğlu vd., 2012). Üzümcü Çayının planktonik algleri şimdiye kadar çalışılmamıştır. Dolayısıyla, bu araştırma Üzümcü Çayının fitoplanktonu üzerinde yapılan ilk çalışma niteliğindedir.

Bu çalışmada, Susurluk havzası içerisinde yer alan Üzümcü Çayı'nda planktonik alglerin çeşitliliği ve ekolojisinin tespit edilip Türkiye akarsu alglerinin envanter oluşturulmasına katkı sağlama hedeflenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Balıkesir merkez Altıeylül ilçesinde yer alan Üzümcü Çayı 20 km uzunluğunda olup İsadere mevkiinden çıkıp Ovaköyde Nergis Çayı ile birleşip Kepsut ilçesinde Susurluk Çayına karışmaktadır (Şekil 1). Üzümcü Çayı'nın ortalama debisi 0.1 M³S⁻¹ olup kış aylarında bazen çok yüksek (10×10³ M³S⁻¹) kurak mevsimlerde bazen kuruyabilmektedir (0 M³S⁻¹). Örnekleme için iki istasyon seçilmiştir. 1.İstasyon: Üzümcü Çayının Nergis Çayına karışmadan önceki alanda yer almaktadır. 2. İstasyon: Nergis Çayına karıştıktan sonraki alandan seçilmiştir.



Şekil 1. Üzümcü Çayı çalışma istasyonları

Fitoplankton için Nisan 2019 ve Ekim 2019 da örnekler alınıp tür sayıları ve yoğunlukları bazı fizikokimyasal değişkenlerle ilişkilendirilmiştir.

Fiziksel ve kimyasal parametrelerden çözülmüş oksijen, pH, su sıcaklığı, elektriksel iletkenlik örnek alma anında, arazi tipi bir YSI marka probla ölçülmüştür. NO₃, TN, PO₄ ve TP analizleri ise laboratuvarında standart metotlara göre (APHA, 2017) spektrofotometrik olarak ölçülmüştür.

Planktonik alg yoğunluğunun ve tür çeşitliğinin tayini için örnekler yüzeyin hemen altından 0,5 litrelik ışık geçirmez plastik şişelerle direkt olarak alınıp Lugol solüsyonu damlatılarak tespit edilmiştir. Örnekler laboratuvara getirildikten sonra, 50 ml'lik mezürlere konularak bir gece bekletilmiştir. Örneklerin üstünde biriken 45 ml'lik su sifonlanarak boşaltıldıktan sonra kalan 5 ml hacmindeki örnek mikroskopik incelenme için cam bir şişeye aktarılmıştır. Türlerin teşhisi ve sayımı için, mikro pipetle alınan 0.1 ml'lik numune Palmer-Maloney sayım hücrelerine aktarılıp bir araştırma mikroskobu altında tür teşhisi ve sayımları yapılmıştır. Türlerden en az 100 adet sayılmıştır (LeGresley & McDermott, 2010).

Planktonik alg türlerinin teşhisi için yaygın tayin anahtarlarından yararlanılmıştır (Huber-Pestalozzi, 1969; 1982; John vd., 2003; Sims, 1996; Komárek & Anagnostidis, 2008; Round vd., 1990). Tayin edilen dominant türlerin yoğunlukları ile fiziksokimyasal değişkenler arasındaki ilişkiler CCA ile tespit edilmiştir. CCA analizi CANOCO v.4.5 paket programı kullanılarak yapılmıştır (ter Braak ve Smilauer, 2002).

3. Bulgular

Üzümcü Çayında ölçülen fiziksel ve kimyasal parametrelerden su sıcaklığı 13.05 ile 24.05°C, çözülmüş oksijen 3.35 ile 8.1 mg l⁻¹, pH 6.85 ile 7.94, elektriksel iletkenlik 1456 ile 1667 µS cm⁻¹, nitrat azotu (NO₃) 0.45 ile 0.87 mg l⁻¹, toplam azot (TN) 1.91 ile 5.95 mg l⁻¹, fosfat (PO₄) 0.07 ile 0.09 mg l⁻¹ ve toplam fosfor (TP) 0.07 ile 0.18 mg l⁻¹ aralıklarında ölçülmüşlerdir (Tablo 1). Tespit edilen değerler Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği kriterleri ışığında değerlendirildiğinde Üzümcü Çayının IV. sınıf su kalitesinde olduğunu göstermiştir.

Tablo 1. Ölçülen fiziksel ve kimyasal parametrelerin maksimum, minimum, ortalama ve standart sapma değerleri

	En Küçük	En Büyük	Ortalama	Std. Sapma
T (°C)	13.05	24.05	18.5	4.3
DO (mg ^l ⁻¹)	3.35	8.10	5.50	3.96
EC (µScm ⁻¹)	1456	1667	1561	89.25
pH	6.85	7.94	7.09	2.99
NO ₃ (mg ^l ⁻¹)	0.45	0.87	0.85	0.39
TN (mg ^l ⁻¹)	1.91	5.95	3.65	0.56
PO ₄ (mg ^l ⁻¹)	0.07	0.09	0.087	0.044
TP (mg ^l ⁻¹)	0.07	0.18	0.089	0.36

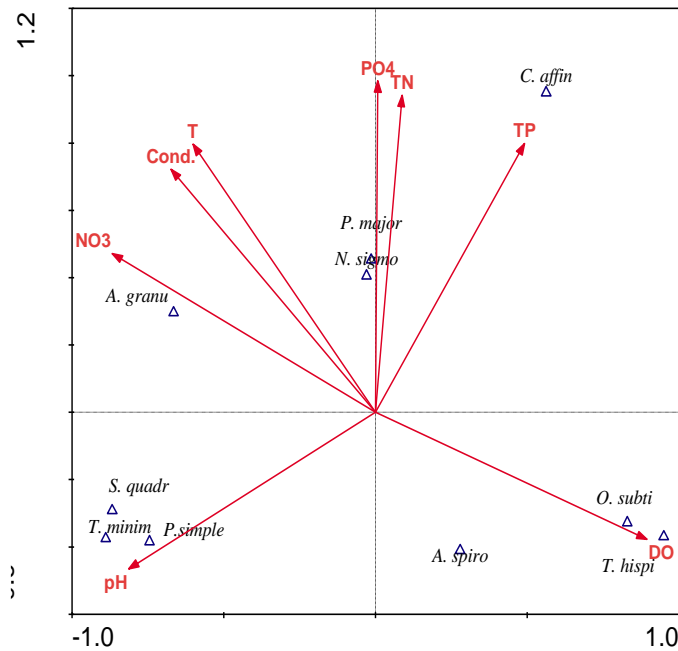
Üzümcü Çayında yapılan bu araştırmada, Bacillariophytadan 28, Chlorophytadan 11, Cyanobacteriadan 6 ve Euglenophytadan 2 olmak üzere toplamda 47 fitoplankton türü tespit edilmiştir (Tablo 2). Tespit edilen fitoplankton türlerinin %59'unu Bacillariophyta, %23'ünü Chlorophyta, %12'sini Cyanobacteria ve %4'ünü Euglanophyta grupları oluşturmuştur.

Tablo 2. Üzümcü Çayında tespit edilen fitoplankton türleri

Grup	İlkbahar		Yaz		Sonbahar	
	İst.1	İst.2	İst.1	İst.2	İst.1	İst.2
Bacillariophyta						
<i>Achnanthydium minutissimum</i> (Kützing) Czarnecki	+	+	-	+	+	+
<i>Amphora ovalis</i> (Kütz.) Kütz.	+	-	+	+	-	+
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenberg) Simonsen	-	+	+	+	+	-
<i>Cocconeis pediculus</i> Ehrenb.	+	+	+	+	+	-
<i>Craticula accomoda</i> (Hustedt) D.G. Mann	+	-	+	-	+	+
<i>Craticula cuspidata</i> (Kütz.) D.G.Mann	+	+	+	+	+	+
<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kützing	+	-	+	-	+	+
<i>Cyclotella ocellata</i> Pantocsek	-	+	+	+	+	+
<i>Cymbella affinis</i> Kütz.	+	-	+	-	+	+
<i>Cymbella lanceolata</i> (Ehrenberg) Kirchner	-	+	+	+	+	-
<i>Diatoma vulgare</i> Bory	-	+	+	+	+	+
<i>Encyonema silesiacum</i> (Bleisch) D.G. Mann	+	-	+	-	+	+
<i>Epithemia turgida</i> (Ehrenb.) Kütz.	+	+	+	+	-	+
<i>Fragilaria capucina</i> Desmazières	-	-	+	-	-	-
<i>Gomphonema augur</i> Ehrenberg	+	+	+	+	-	+
<i>Gyrosigma attenuatum</i> (Kütz.) Rabenh.	+	-	+	-	+	+
<i>Hantzschia amphioxys</i> (Ehrenberg) Grunow	+	+	+	+	+	+
<i>Luticola nivalis</i> (Ehrenberg) D.G. Mann	+	-	+	-	+	+
<i>Melosira italica</i> (Ehrenberg) Kützing	+	+	+	+	+	+
<i>Meridion circulare</i> (Greville) C.A. Agardh	+	-	+	-	+	+
<i>Navicula capitatoradiata</i> Germain	+	+	+	+	+	+
<i>Navicula trivialis</i> Lange-Bertalot	+	-	+	-	+	+
<i>Nitzschia palea</i> (Kuetz.) W.S.M.	+	+	+	+	+	+
<i>Nitzschia sigmoidea</i> (Nitzsch) W. Smith		-	+	-		
<i>Planothidium lanceolatum</i> (Bréb. Ex Kütz) Lange-Bert.	+	+	+	+	-	-
<i>Pinnularia major</i> (Kützing) Rabenh.	+	-	+	-	+	+
<i>Stephanodiscus neoastraea</i> Håkansson & Hickel	+	+	+	+	+	+
<i>Ulnaria acus</i> (Kützing) M. Aboal	+	-	+	-	-	+
Chlorophyta						
<i>Ankistrodesmus falcatus</i> (Corda) Ralfs	+	-	+	-	-	-
<i>Chlamydomonas globosa</i> Ehrenb.	+	+	+	+	-	+
<i>Franceia ovalis</i> (Francé) Lemmermann	+	-	+	-	-	+
<i>Golenkiniopsis solitaria</i> (Korshikov) Korshikov	+	+	+	+	-	+
<i>Lagerheimia ciliata</i> (Lagerheim) Chodat	+	-	+	-	-	+

<i>Monoraphidium arcuatum</i> (Korshikov) Hindák	+	+	+	+	+	-
<i>Pediastrum duplex</i> Meyen var. <i>Rugulosum</i> Raciborski	+	-	+	-	+	-
<i>Pediastrum simplex</i> Meyen Lemm.		+	+	+	-	-
<i>Scenedesmus quadricauda</i> (Turpin) Breb.	+	-	+	-	+	-
<i>Tetraedron minimum</i> (A. Braun) Hansgirg	-	+	+	+	-	-
<i>Tetraedron trilobatum</i> (Reinsch) Hansgirg	+	-	+	-	-	-
Cyanobacteria						
<i>Arthrospira gigantea</i> (Schmidle) Anagnostidis	-	-	+	-	+	+
<i>Chroococcus turgidus</i> (Kützing) Nägeli	+	+	+	+	-	-
<i>Gomphosphaeria aponin</i> Kützing	-	-	+	-	+	+
<i>Oscillatoria minutissima</i> P. González	-	+	+	+	+	-
<i>Oscillatoria subtilissima</i> Kützing	-	-	+	-	-	-
<i>Phormidium limosum</i> (Dillwyn) P.C. Silva	-	+	+	+	-	-
Euglenophyta						
<i>Trachelomonas granulata</i> Svirenko	-	+	+	+	-	-
<i>Trachelomonas hispida</i> (Perty) Stein.	-	-	+	-	-	-

CCA, Üzümcü Çayında Bacillariophyta grubundan baskınlık gösteren *Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen 'nin NO₃, *Cymbella affinis* Kütz. TP ile, *Nitzschia sigmaidea* (Nitzsch) W. Smith ve *Pinnularia major* (Kützing) Rabenh TN ve PO₄ ile, Chlorophyta grubunda baskın olan *Scenedesmus quadricauda* (Turpin) Breb., *Tetraedron minimum* (A. Braun) Hansgirg ve *Pediastrum simplex* Meyen Lemm. pH ile, Cyanobacteria üyelerinden *Oscillatoria subtilissima* Kützing ve Euglenophyta grubundan *Trachelomonas hispida* (Perty) Stein çözünmüş oksijen ile ilişkili olduğunu göstermiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Üzümcü Çayında dominant planktonik alg türleri ile fiziksel ve kimyasal değişkenler arasındaki ilişkileri gösteren şekil

4. Tartışma ve Sonuç

Üzümcü Çayı'nın planktonik alg kompozisyonunu ve mevsimsel değişimini tespit etmek için yapılan bu çalışmada, Bacillariophytadan 28, Chlorophyta dan 11, Cyanobacteriadan 6 ve Euglenophytadan 2 olmak üzere toplamda 47 fitoplankton türü tespit edilmiştir. Bacillariophytadan toplam türlerin %59'unu oluşturarak baskın grup olmuştur. Bacillariophytadan *A. granulata*, *C. affinis*, *N. sigmaidea* ve *P. major* türleri diğer akarsularda da yaygın olarak bulunmuştur (Gönülol & Arslan, 1992; Aysel, 2005). Bu türlerden bazıları gerçek planktonik tür olmalarına rağmen bazıları sediman ve kayalar üstündeki alglerin su hareketleri ile su kolonuna karışabileceği bilinmektedir (Kalyoncu vd., 2009; Solak vd., 2012; Varol & Şen, 2014).

Bacillariophyta üyeleri bahar ve güz dönemlerinde sayısal olarak baskınlık göstermişlerdir. Araştırmada, *A. granulata*, *C. affinis*, *N. sigmoidea* ve *P. major* türleri diğer türlere göre kantitatif olarak daha fazla görülmüşlerdir. Üzümcü Çayındaki suyun devamlı akış halinde olması, diyatomeleler dışındaki alglerin gelişmesini engellemekte ve sadece akıntılara dirençli Bacillariophyta türlerinin çoğunlukta olduğu bir fitoplankton florasını hâkim kılmaktadır. Akarsu ekosistemlerde *A. granulata*, *C. affinis*, *N. sigmoidea* ve *P. major* gibi türler taş ve bitki yüzeylerine tutunabilme kabiliyetine sahiptirler (Çiçek & Ertan, 2015).

Mohanty vd. (2022) Ganj Nehrinde yaptıkları çalışmada, *A. granulata*'nın blooming (aşırı çoğalması) durumunun su sıcaklığı, klorofil-a ve çözülmüş oksijenden etkilendiği göstermişlerdir. blooming durumunun söz konusu nehir sisteminin ötrofik durumu ile ilgili olduklarını bildirmişlerdir. Bere ve Tundisi (2011) Brezilyadaki Monjolinho nehrinde yaptıkları çalışmada *Pinnularia* türlerinin ötrofikasyonla ilişkili olduklarını bilermişlerdir.

Wu vd. (2011) Almanya'daki Kielstau Deresinde yaptıkları çalışmada, *N. sigmoidea*'nın insan aktiviteleri sonucu dereye yüksek seviyede bulunan askıda katı madde ile korelasyon gösterdiğini belirlemişlerdir. Üzümcü Çayı da insan etkilerinden olduk etkilenecek bir akarsudur. Fakıoğlu vd. (2013) ötrofik karakterli Tortum Deresinde yaptıkları çalışmada *C. Affinis* en sık rastlanan türlerden biri olmuştur.

Yeşil algler, Cyanobacteria ve Eugneophyta gruplarına ait türlerin akış nedeni diğer grupların türlerine nazaran akarsuda daha az yoğunlukta geliştiği ancak su sıcaklığının yükseldiği ve ortamın elverişli olduğu yaz ve sonbahar dönemlerinde geliştikleri tespit edilmiştir. Özellikle, *S. quadricauda*, *T. minimum*, *P. simplex*, *O. Subtilissima* ve *T. hispida* diğer akarsularında yapılan araştırmalarda rapor edilmişlerdir (Yıldız, 1987).

Zhao vd. (2017). Çin'deki ötrofik Hai Nehrinde yaptıkları çalışmada *S. quadricauda*'nın dominant türlerden biri olduğunu ve yüksek azot seviyeleriyle ilişkili olduklarını belirtmişlerdir. Dokulil (2014) Avrupa'nın insan faaliyetlerinden en fazla etkilenen akarsularından Tuna Nehri fitoplanktonunu detaylı olarak çalışmış ve genel anlamda Chlorophyta üyelerinin (*Pediastrum simplex* ve *T. minimum* dahil) düşük akıntı hızının olduğu orta kesimlerde yoğunlaştığını bildirmiştir.

Lebkuecher vd. (2014) Cyanobacteria'dan *O. Subtilissima*'nın Amerika Birleşik Devletlerindeki Sulphur Fork Deresinin ötrofik kısmında yoğun olarak bulunduğunu tespit etmişlerdir. Yılmaz (2012) Riva Deresi fitoplanktonu üzerine yaptığı çalışmada derenin yoğun olarak kirletildiği ve *T. hispida* (Euglenophyta)'nın da dereye sıklıkla rastlanan türlerden biri olduğunu belirtmiştir.

Sonuç olarak, Üzümcü Çayında yapılan bu çalışmada çayın fitoplankton florası ilk defa ortaya çıkarılmış olup daha çok ötrof sularda yayılım gösteren türler, özellikle yaz ve sonbahar döneminde yaygın olarak kaydedilmişlerdir (Memiş, 2019). Ölçülen fiziksel ve kimyasal parametreler Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKKY 2008) kriterlerine göre değerlendirildiğinde, derenin IV. sınıf su kalitesinde olduğunu göstermişlerdir. Su kaynaklarımızın korunması için ekolojik tarıma öncelik verilmeli, evsel ve endüstriyel atık suların da tersiyer olarak arıtıldıktan sonra alıcı ortamlar olan akarsulara verilmesi önerilir.

Kaynaklar

1. **APHA (2017)**. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd ed. Washington, D.C., USA: American Public Health Association.
2. **Altuner, Z. (1988)**. Study of the diatom flora of the Aras River Turkey. *Nowa Hedwigia*, 46, 255-263.
3. **Altuner, Z. & Gürbüz, H. (1990)**. Karasu (Fırat) Nehri'nin epilitik ve epifitik algleri üzerine bir araştırma. X. Ulusal Biyoloji Kongresi Botanik Bildirileri, 18-20 Temmuz, Erzurum, Türkiye.
4. **Atıcı, T. & Obalı, O. (1999)**. A study on diatoms in upperpart of Çoruh River, Turkey. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 12, 473-496.
5. **Atıcı, T. & Yıldız, K. (1996)**. Sakarya Nehri diyatomları. *Turkish Journal of Botany*, 20, 119-134.
6. **Atıcı, T. & Ahıska, S. (2005)**. Pollution and algae of Ankara Stream. *Gazi University Journal of Science*, 18, 51-59.
7. **Aysel, V. (2005)**. Check-list of the freshwater algae of Turkey. *Journal of Black Sea/Mediterranean Environment*, 11, 1-124.
8. **Bao, L., Chen, J., Tong, H., Qian, J., & Li, X. (2022)**. Phytoplankton dynamics and implications for eutrophication management in an urban river with a series of rubber dams. *Journal of Environmental Management*, 311, 114865).

9. **Barlas, M. (1995).** Akarsu kirlenmesinin biyolojik ve kimyasal yönden değerlendirilmesi ve kriterleri. Doğu Anadolu Bölgesi II. Su Ürünleri Sempozyumu, 14-16 Haziran, Erzurum, Türkiye.
10. **Bere, T. & Tundisi, J.G. (2011).** The Effects of Substrate Type on Diatom-Based Multivariate Water Quality Assessment in a Tropical River (Monjolinho), São Carlos, SP, Brazil. *Water Air Soil Pollution*, 216, 391–409. <https://doi.org/10.1007/s11270-010-0540>
11. **Çiçek, N.L. & Ertan, Ö.O. (2015).** Köprüçay Nehri (Antalya) su kalitesinin epilifitik diatomlarla belirlenmesi. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 32, 65-78.
12. **Dere, Ş., Karacaoğlu, D. & Dalkıran, N. (2002).** A study on the epiphytic algae of the Nilufer Stream (Bursa). *Turkish Journal of Botany*, 26, 219-234.
13. **Dokulil, M. (2014).** Phytoplankton of the River Danube: Composition, Seasonality and Long-Term Dynamics. In: The Danube River Basin. Berlin, Heidelberg, Verlag Springer: pp. 412-422. DOI 10.1007/698_2014_293
14. **Eloranta, P. & Kwandrans, J. (2004).** Indicator value of freshwater red algae in running waters for water quality assessment. *International Journal of Oceanography and Hydrobiology*, 32, 47- 54.
15. **Fakioğlu, Ö., Atamanalp, M., Şenel, M., Şensurat, T. & Arslan, H. (2012).** Pulur Çayı (Erzurum) epilifitik ve epififitik diatomları. *Süleyman Demirel Üniversitesi Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*, 8, 1-8.
16. **Fakioğlu, Ö., Köktürk, M. & Atamanalp, M. (2013).** The application of some biodiversity indices in the Tortum Stream, Erzurum, Turkey. *International Journal of Physical Sciences*, 8(46), 2069-2076.
17. **Fore, L.S. & Grafe, C. (2002).** Using diatoms to assess the biological condition of large rivers in Idaho (USA). *Freshwater Biology*, 47, 2015-2037.
18. **Gönülol, A. & Arslan, N. (1992).** Samsun-İncesu Çayı'nın alg florası üzerinde araştırmalar. *Turkish Journal of Botany*, 16, 311-334.
19. **Huber – Pestalozzi, G. (1969).** Das phytoplankton des süßwassers systematik und biologie, 4.Teil, Euglenophyceae. Stuttgart, Germany.: E. Schweizerbarth'sche Verlagsbuchhandlung.
20. **Huber–Pestalozzi, G. (1982).** Das phytoplankton des süßwassers systematik und biologie, 8.Teil, 1. Halffe Conjugatophyceae Zygnematalesund Desmidiaceae (excl. Zygnemataceae). Stuttgart, Germany: E. Schweizerbarth'sche Verlagsbuchhandlung.
21. **John, D.M., Whitton, B.A. & Brook, A.J. (2003).** The freshwater algal flora of the British isles: An identification guide to freshwater and terrestrial algae. The Natural History Museum and The British Phycological Society. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
22. **Kalyoncu, H., Barlas, M. & Ertan, Ö. O. (2009).** Aksu Çayının su kalitesinin biyotik indekslere (diatomlara ve omurgasızlara göre) ve fizikokimyasal parametrelere göre incelenmesi, organizmaların su kalitesi ile ilişkileri. *TÜBAV Bilim Dergisi*, 2, 46-57.
23. **Komárek, J. & Anagnostidis, K. (2008).** Cyanoprocaryota, 2. Teil/Part 2: Oscillatoriales, Süßwasser Flora von Mitteleuropa (Freshwater Flora of Central Europe). Jena, Germany: GustavFischerVerlag.
24. **Lebkuecher, J.G., Tuttle, E.N., Johnson, J.L. & Willis, N.K.S. (2015).** Use of Algae to Assess the Trophic State of a Stream in Middle Tennessee. *Journal Freshwater Ecology*, 30(3), 346-379.
25. **LeGresley, M. & McDermott, G. (2010).** Counting Chamber Methods for Quantitative Phytoplankton Analysis: Haemocytometer, Palmer-Maloney Cell and Sedgewick-Rafter Cell In: Karlson B, Cusack C & Bresnan E, Editors. Microscopic and Molecular Methods for Quantitative Phytoplankton Analysis, IOC Manuals and Guides No. 55. Paris, France: UNESCO, pp. 25-30.
26. **Memiş, Y. (2019).** Boğacık Çayı (Giresun) algleri üzerine floristik bir çalışma. Yüksek lisans tezi, Giresun Üniversitesi, Giresun, Türkiye.
27. **Mohanty, T.R., Tiwari, N.K., Kumari, S. & Ray, A. (2022).** Variation of *Aulacoseira granulata* as an eco-pollution indicator in subtropical large river Ganga in India: a multivariate analytical approach. *Environmental Science Research*, 29, 37498–37512. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-18096-9>
28. **Piirsoo, K., Pall, P., Tuvikene, A., Viik, M. & Vilbaste, S. (2010).** Assessment of water quality in a large lowland river (Narva, Estonia/Russia) using a new Hungarian potamoplanktic method. *Estonian Journal of Ecology*, 59, 243-258.
29. **Reynolds, C.S. (1988).** Potamoplankton: paradigms, paradoxes and prognoses. In: Round FE, editör. Algae and the Aquatic Environment. Bristol, UK: Biopress Ltd, pp. 285–311.
30. **Round, F.E., Crawford, R.M. & Mann, D.G. (1990).** The diatoms: Morphology and biology of the genera. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
31. **Sims, P.A. (1996).** An Atlas of British Diatoms. Bristol, UK: Biopress Ltd.
32. **Smucker, N.J. & Vis, M.L. (2010).** Using diatoms to assess human impacts on streams benefits from multiple-habitat sampling. *Hydrobiologia*, 654, 93–109.
33. **Sungur, D. (2005).** Melen Çayı (Düzce-Adapazarı) bentik algleri ve yoğunluğundaki mevsimsel değişimi. Doktor Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye.

34. Solak, C.N., Feher, G., Barlas, M. & Pabuçcu, K. (2007). Use of epilithic diatoms to evaluate water quality of Akçay Stream (Büyük Menderes River) in Muğla/Turkey. *Large Rivers*, 17, 327-338.
35. Solak, C.N., Barinova, S., Acs, E. & Dayioğlu, H. (2012). Diversity and ecology of diatoms from Felent creek (Sakarya River Basin) Turkey. *Turkish Journal of Botany*, 36, 191-203.
36. Søndergaard, M., Jeppesen, E., Jensen, J. & Amsinck, S. (2005). Water Framework Directive: ecological classification of Danish lakes. *Journal of Applied Ecology*, 42, 616-629.
37. Şen, B., Alp, M.T., Koçer, M.A.T. (2003). Hazar Gölü (Elazığ) ve Özellikleri. XII. Ulusal Su Ürünleri Sempozyumu, 2-5 Eylül, Elazığ, Türkiye.
38. SKKY (2008). <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2008/02/20080213-13.htm>
39. Temel, M. (2001). Algal flora of Goksu Stream (Istanbul), Turkey. Proceedings of the 2nd Balkan Botanical Congress. Plants of the Balkan Peninsula: into the next Millenium, 14-18 May, Istanbul, pp. 343-352.
40. ter Braak, P. & Smilauer, C.J.F. (2002). Reference Manual and CanoDraw for Windows User's Guide: Software for Canonical Community Ordination. Ithaca, USA: Microcomputer Power.
41. Tokatlı, C. & Dayioğlu, H. (2011). Use of epilithic diatoms to evaluate water quality of Murat Stream (Sakarya River basin, Kütahya): Different saprobity levels and pH status. *Journal of Applied Biological Sciences*, 5, 55-60.
42. Varol, M. & Şen, B. (2014). Dicle Nehri'nin planktonik alg florası. *Journal of Fisheries Sciences.com*, 8, 252-264.
43. Wehr, J.D., & Descy, J.P. (1998). Use of phytoplankton in large river management. *Journal of Phycology*, 34(5), 741-749.
44. Wu, N., Schmalz, B. & Fohrer, N. (2011). Distribution of phytoplankton in a German lowland river in relation to environmental factors. *Journal of Plankton Research*, 33(5), 807-820.
45. Yıldız, K. (1987). Diatoms of the Porsuk River, Turkey. *Turkish Journal of Biology*, 11, 162-182.
46. Yılmaz, N. (2012). The Relationship Between Phytoplankton Density and Chlorophyll-a in Riva Stream (Istanbul, Turkey). Balkan Water Observation and Information System (BALWOIS) 5th Conference on Water Observation and information System for Decision Support. May 27-June 2, 2012, Ohrid, Republic of Macedonia.
47. Zhao, W., Li, Y., Jiao, Y., Zhou, B., Vogt, R.D., Liu, H., Ji, M., Ma, Z., Li, A., Zhou, B. & Xu, Y. (2017). Spatial and Temporal Variations in Environmental Variables in Relation to Phytoplankton Community Structure in a Eutrophic River-Type Reservoir. *Water*, 9(10), 754. <https://doi.org/10.3390/w910075>

AĞIR METAL (Cu^{2+} , Cd^{2+}) STRESİ UYGULANAN *Lavandula angustifolia* (LAVANTA) VE *Salvia rosmarinus* (BİBERİYE) BİTKİLERİNİN TOPLAM FENOLİK, ANTİOKSİDAN, KLOROFİL VE KAROTENOİD MİKTARININ BELİRLENMESİ

Abayhan Buran^{1*}, Murat Ersin Durğun², Erhan Karaman¹

¹ Firat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomühendislik Bölümü, ELAZIĞ

² Firat Üniversitesi, Merkez Laboratuvarı, ELAZIĞ

Öz

Bu çalışmada, ağır metal stresi uygulanan *Lavandula angustifolia* (Lavanta) ve *Salvia rosmarinus* (Biberiye) bitkilerinin Toplam Fenolik, Antioksidan, Klorofil ve Karotenoid miktarları belirlenmiştir. Ağır metal olarak bakır (II) ve kadmiyum (II) kullanılmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, ağır metal stresi uygulanan grupta toplam karotenoid miktarında bir düşüş yaşanmıştır. Kontrol grubu kıyas alınarak ağır metal grubuna ait sonuçlara bakıldığında, her iki bitki için toplam klorofil, klorofil-a ve klorofil-b miktarlarında bir azalma gözlemlenmiştir. Yapılan analizler ve ölçümler sonucunda 1 mM bakır çözeltisi ve 100 µM kadmiyum çözeltisi ile ağır metal stresi uygulanan bitkilerin etanol, metanol ve su çözücüleri için toplam fenolik, toplam antioksidan, toplam klorofil ve karotenoid miktarları belirlenmiştir. Ağır metal ve kontrol gruplarına uygulanan analizlerle birlikte ağır metal stresi uygulanan bitkiler ve kontrol grubundaki bitkiler için gözlemlenen farklılıklar ortaya konmuştur. Ağır metal uygulanan grupta, kontrol grubuna kıyasla, toplam antioksidan madde ve toplam flavonoid madde miktarında bir miktar artış gözlemlenmiştir. Çalışmadaki ağır metal uygulamasının, bitki yaprakları üzerindeki değişikliklere sebep olup olmadığını gözlemlemek için SEM görüntüleri incelenmiştir. Sonuç olarak ağır metal stresinde antioksidan ve fenolik madde miktarının arttığı, toplam klorofil ve toplam karotenoid miktarının ise azaldığı gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ağır metal, antioksidan, *Lavandula angustifolia*, *Salvia rosmarinus*, toplam klorofil.

DETERMINATION OF TOTAL PHENOLIC, ANTIOXIDANT, CHLOROPHYLL AND CAROTENOID AMOUNTS OF *Lavandula angustifolia* (LAVENDER) AND *Salvia rosmarinus* (ROSEMARY) UNDER HEAVY METAL (Cu^{2+} , Cd^{2+}) STRESS

Extended Abstract

In this study, Total Phenolic, Antioxidant, Chlorophyll and Carotenoid amounts of *Lavandula angustifolia* and *Salvia rosmarinus* plants subjected to heavy metal stress were determined. Copper and cadmium were used as heavy metals. A decrease in total chlorophyll (Cl), chlorophyll-a (Cl-a), chlorophyll-b (Cl-b) and carotenoid amounts was observed for both plants. It was observed that there was an increase in the amount of total antioxidant and total phenolic substance. According to the results of *S. rosmarinus* for the amount of phenolic substances, 81.70±1.68 mg/g GAE for the control group; 84.60±2.09 mg/g GAE for the heavy metal group. According to the antioxidant substance content results, 3.92±0.08 mmol/g TEAC for the control group; 4.02±0.01 mmol/g TEAC for the heavy metal group. According to the results for *L. angustifolia* for phenolic amounts, 80.05±2.25 mg/g GAE for the control group; 88.65±2.52 mg/g GAE for the heavy metal group. According to the antioxidant substance content results, 3.91±0.01 mmol/g TEAC for the control group; It was obtained as 3.99±0.01 mmol/g TEAC for the heavy metal group. Total Cl amount was determined 1.71±0.03 mg/g for *S. rosmarinus* control group, 1.04±0.02 mg/g for heavy metal group. Cl-a amount was 0.42±0.02 mg/g for the control group, 0.25±0.02 mg/g for the heavy metal group. Cl-b amount was 0.69±0.02 mg/g for the control group, 0.35±0.01 mg/g for the heavy metal group. The total amount of carotenoids was determined as

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author):

Abayhan BURAN; Firat University, Engineering Faculty, Department of Bioengineering, 23119, Elazig-Turkey.

Geliş (Received) : 20.04.2022

Kabul (Accepted) : 20.07.2022

Basım (Published) : 31.07.2022

0.24±0.01 mg/g for the control group and 0.20±0.01 mg/g for the heavy metal group. Total Cl amount was 0.80±0.02 mg/g for *L. angustifolia* control group, 0.68±0.03 mg/g for heavy metal group. The amount of Cl-a was 0.25±0.01 mg/g for the control group, 0.22±0.01 mg/g for the heavy metal group. The amount of Cl-b was 0.30±0.01 mg/g for the control group, 0.29±0.01 mg/g for the heavy metal group. Total carotenoid amount was determined as 0.14±0.02 mg/g for the control group and 0.11±0.01 mg/g for the heavy metal group. As a result of the analyzes, the total phenolic, total antioxidant, total chlorophyll and carotenoid amounts of rosemary and lavender plants were determined. SEM images were examined to observe whether the heavy metal application in the study caused changes on the plant leaves. It was observed that there was a decrease in the amounts of chlorophyll and carotenoids, and an increase in the amounts of antioxidants and phenolic substances.

Key Words: Heavy metal, antioxidant , *Lavandula angustifolia*, *Salvia rosmarinus*, total chlorophyll.

1. Giriş

Artan dünya nüfusu ve sınırlı alan sebebiyle yapılan araştırmalar sonucu 2050 yılına kadar insan nüfusunun 10 milyarı bulacağı tahmin edilmekle beraber besin oranının nüfusa kıyasla daha düşük kalacağı düşünülmektedir (Carvalho, 2017). Temel besin kaynağı olarak bitkiler ve hayvanlar görülmektedir. Bu sebeple üretim esaslarına verilecek zararların minimuma indirilmesi öngörülmektedir. Bitkilerde gelişimi yavaşlatan, verimi azaltan ve durduran tüm etkiler stres faktörü olarak adlandırılmaktadır. Stres faktörleri biyotik ve abiyotik olmak üzere iki grup altında incelenmektedir (Taiz & Zieger, 2002). Biyotik stres faktörleri, canlı sistemleri (yabani bitkiler, hayvanlar, böcekler, mikroorganizmalar) ele alırken, abiyotik faktörler daha çok çevresel sorunlar (kuraklık, radyasyon, zirai ilaçlar, tuzlar ve ağır metaller, yüksek ve düşük sıcaklık) olarak belirtilmektedir. Abiyotik şartlar genel olarak bitki türünün yetiştiği coğrafyalar hakkında bilgi veren grup olarak nitelendirilmektedir.

Bitkisel üretim aşamalarında verim ve kaliteyi düşüren, toprağın, suyun ve havanın yapısında bozulmalara neden olan en büyük faktörlerden biri ağır metallerin sebep olduğu kirliliktir (Ruis-Jiménez vd., 2003). Ağır metaller doğada doğal olarak bulunmakla birlikte endüstriyel atıklar ile de havaya salınabilmektedir (Urano vd., 2010). Ekosisteme verdiği zararlardan sonra besin zinciri vasıtasıyla canlı sistemden sisteme aktarılan ağır metaller uzun yıllar boyunca zararlarını sürdürebilmekte ve havada, suda ve toprakta artarak bitkisel üretim ve kalitesinde azalmalara neden olmaktadır. Bitkiler ağır metallere maruz kaldığında toksik etkiyi azaltmak için birçok işleme ihtiyaç duyarlar. Bu işlemler gen ekspresyonu, protein modifikasyonları, biyokimyasal işlevler, fizyolojik işlevler, metabolik içeriklerdeki değişimler olarak gösterilebilir (Urano vd., 2010).

Ağır metaller bitkinin büyümesi ve gelişmesi için gerekli besin elementlerine benzedikleri için köklerden rahatlıkla bitkiye girebilmektedirler. Yapısal benzerlikleri sebebiyle taşınım mekanizmalarıyla ile bitkinin diğer bölgelerine yayılmaktadır (Ma vd., 2008). Zararlı etkisini gösteren ağır metaller bitkide hasarlar oluşturmada, insan ve tüm ekosistemi tehdit etmektedir (Satarug vd., 2003). Bu sebeple ağır metallerin uzaklaştırılması çevreye salınımının önlenmesi oldukça önem arz etmektedir.

Ağır metaller, atom numarası 20'den büyük olup yoğunluğu 5 g/cm³'den fazla olan metaller olarak tanımlanmışlardır. Ağır metaller, fizyologlar tarafından toksik etkisi olan ve biyolojik yapıda biriken metaller olarak adlandırılmıştır. Kadmiyum, çinko, demir, krom, kobalt, nikel, civa ağır metallerin başlıca bilinenleridir.

Ağır metaller toprakta iyon değişimi ve kolloidal adsorpsiyona sebep olur ve bunun sonucunda bu zararlı bileşenler toprakta birikerek biyoelverişliliği azaltmaktadır (Algan & Bilen, 2005). Birikme ile artan toksik etkinin büyümesiyle beraber bitkinin kökünde oluşan hasarlar nedeniyle, bitki tarafından alınan besin elementlerinin miktarında azalma, bununla birlikte büyüme ve gelişmesinde yavaşlamasına ve enzim aktivitesinde bozulma meydana gelmektedir (Ahsan vd., 2009). Bunun yanında ağır metal stresi hücrede serbest radikalin artışı teşvik ettiği için oksidatif hasarlar oluşmaktadır. Serbest radikallerin artması ile kloroplasttaki fotosentez reaksiyonu zarar vermektedir. Ağır metal stresine maruz kalmış bitkilerde özellikle bitkinin fotosentez ile ilgili proteinleri zarar gördüğü yapılan araştırmalarla tespit edilmiştir. Fotosentezde önemli bir rolü bulunan ve karbon metabolizmasının ön basamağında yer alan RuBisCo (ribuloz 1,5-bifosfat karboksilaz/oksijenaz) çözünebilir yaprak proteininin yaklaşık olarak %30-70'ini oluşturmaktadır. Ağır metal stresine maruz kalan bitkilerde RuBisCo aktive oranının oldukça düştüğü belirtilmiştir (Nováková vd., 2004). Ayrıca ağır metallere maruz kalmış bitkilerde, fotosentezin ışık evresiyle ilgili proteinlerin, klorofil sentezi ile ilgili proteinlerin ve karbon bağlanması sağlayan proteinlerin azaldığı görülmüştür.

Bu çalışmada lavanta (*Lavandula angustifolia*) ve biberiye (*Salvia rosmarinus*) bitkileri kullanılmış ve ağır metal uygulamalarının bu bitkiler üzerindeki çeşitli etkileri incelenmiştir. Toplam fenolik ve toplam antioksidan madde miktarları ile toplam klorofil ve karotenoid miktarı tayini yapılmıştır. Bunlara ek olarak ağır metal ve kontrol gruplarının SEM görüntüleri alınmış ve incelenmiştir.

2. Literatür Bilgileri

Çevre kirleticiler son zamanlarda insanlığın en büyük sorunlarından biridir. Çevre sorunları arasında ağır metallerin sebep olduğu kirlilikler de yerini almaktadır. Ağır metallerin toprakta birikmesi, toprak verimliliği ve ekosistem üzerinde olumsuz etkiler yaratıyor olsa da negatif etkileri bununla sınırlı kalmamaktadır. Ağır metallerin toprakta birikmesiyle birlikte besin zincirine dahil olduğu, bu zincirin halkalarını oluşturan havyan ve insan sağlığı üzerinde negatif etkileri olduğu bilinmektedir. Bitkilerin topraktan aldığı ağır metalleri bünyesine dahil etmesiyle bitkilerde; verim ve fizyolojik aktivite düşüşleri, ürünlerde metal birikimi, kalite ve miktarda düşüş ve hatta bitki ölümleri gibi etkiler meydana gelmektedir. Bitkilerin ağır metal stresine karşı dayanımları hangi tür bitki olduğuna, ağır metal stresine maruz kaldığı zamana, ağır metalin türüne ve bitkinin strese maruz kalan kısımlarına bağlı olarak değişmektedir. Tüm bunlar göz önüne alındığında ağır metal türleri ve toksik konsantrasyonları, bitki için gerekli olduğu miktarlar, bitkinin toleransı, zararın şiddeti ve oluşum süreci iyi bilinmelidir. Bu faktörler gibi bitkilerin gelişimi ve canlılığı açısından kritik olan bilgiler göz önünde bulundurulmalıdır (Öktüren Asri & Sönmez, 2007).

2.1. Ağır Metaller ve Çevre

Ağır metalin tanımı daha çok çevresel problemler olduğunda ortaya çıkmaktadır. Bu metaller nispeten yüksek yoğunluğa sahip metaller olarak tanımlanmaktadır. Ağır metaller düşük konsantrasyonlarda bile zehirleyici ya da toksik etki gösterirler. Ağır metaller yoğunluğu 5 g/cm³'ten büyük olan metaller olarak tanımlanmıştır. Bu grubun içine 60'tan fazla metal girmektedir. Bunlardan bazıları ve en önemlileri kadmiyum (Cd), kobalt (Co), krom (Cr), demir (Fe), bakır (Cu), nikel (Ni), kurşun (Pb), civa (Hg) ve çinko (Zn)'dur (Kahvecioğlu vd., 2006). Ağır metallerin toksisiteyi bulduğu yapıya, ağır metalin konsantrasyonuna, etki süresine, etki yerine, etkileşimde olduğu türlere vb. değişkenlere bağlı olarak değiştiği bildirilmektedir (Okcu vd., 2009). Metaller doğal olarak meydana gelmekte ve bazıları küresel ekosistemlerin gerçek parçalarını oluşturmaktadır (Raven vd., 1999). Bu durumun bir sonucu olarak ağır metaller toprakta birikmekte ve bu birikme bir kirlilik oluşturmaktadır. Bu metal kirliliği global ölçekte canlı ekosistemi bir şekilde etkilemektedir (Cunningham vd., 1997; Meagher, 2000).

Ağır metallerin bir üyesi olan bakırın kullanımı oldukça yaygın olduğu için bakırın sebep olduğu kirliliğin birçok farklı kaynağı mevcuttur. Bu ağır metalin proseslerde veya paketlemelerde kullanılması ürünleri kirlitebilir ve çevreye zarar verebilir (Nuhoğlu vd., 2002).

Önemli bir ağır metal olan kadmiyum ise oldukça toksik, çevre kirliliği ve toksisite konusunda gündeme gelen ve çeşitli sayıda kullanım alanına sahip bir elementtir. Kadmiyum doğada saf olarak bulunmamakla birlikte nadir bir elementtir. Çok düşük dozlarda bile toksik etki yaratması ve biyolojik yarılanma ömrünün uzun olması sebebiyle çevresel açıdan oldukça önemli bir kirleticidir (Goyer, 1991; Lyons-Alcantara vd., 1996).

2.1.1. Kadmiyum

Kadmiyum, 48 atom numarasına sahip olup periyodik tablonun 5. periyodunun 2B grubunda yer almaktadır. Kısaca "Cd" ile gösterilir. Doğada toprakta, havada, suda bulunan ağır bir metal olup önemli bir çevre kirleticisidir. Toprak kabuğunda yaklaşık olarak 0.1-1.0 ppm konsantrasyon aralığında bulunmaktadır. Toprakta saf bir halde bulunmayan kadmiyum, sülfid, kadmiyum klorür, kadmiyum sülfat ve kadmiyum oksit gibi temsil edilmektedir. İnsan ve hayvan sağlığı için toksik etkisi bulunan kadmiyumun, parçacıkları ve dumanları birçok organda hasarlara sebebiyet vermektedir (Swiergosz vd., 1998; Fornazier vd., 2002). Kadmiyum, ayrıca hücre membranına, hücrenin enzim aktivitesine ve DNA'ya zarar vererek protein sentezindeki engellemelere sebebiyet vermektedir.

2.1.2. Bakır

Bakır, 29 atom numarasına sahip olup periyodik cetvelin 4. periyodunun 1B grubunda yer almaktadır ve "Cu" ile gösterilmektedir. Bakır elementi bitkilerde enzim aktivasyonu, karbonhidrat ve lipid metabolizmasında yer alan

bitkilerin gelişmesi ve yaşam koşulları için çok önemli bir mikro besin elementidir. (Kacar & Katkat, 2006). Bakır miktarının toprakta 100 mg/kg fazla ise ve incelenen bitki kuru maddesinde 30 mg/kg mevcut ise toksik etkiye sebep olduğu belirtilmektedir. Bakır kirliliğine atmosferik olaylar, zirai ilaçların kullanımı, gübre sektöründe kanalizasyon atıklarının kullanılması ve kömür ve maden yataklarının mevcut durumu etkili olabilmektedir. Bakırın toksik etkisi sonucu bitkinin özellikle kök sistemleri zarar görerek fotosentez olaylarında, enzim aktivitesinde, solunum ve membran stabilitesinde bozulmalar meydana gelmektedir (Sossé vd., 2004; Ouzounidou, 1994).

2.2. *Lavandula angustifolia* (Lavanta)

Ülkemizde İngiliz Lavantası olarak da bilinen *Lavandula angustifolia*, çiçekli bitkilerin ana familyası olarak kabul edilen Lamiaceae familyası Lavandula L. cinsine ait bir türdür (Şahin, 2017; Upson, vd., 2004; Benabdelkader vd., 2011). Lamiaceae familyası, dünyanın her yerinde yetişen bir familya olmakla birlikte güzel kokusu ve çiçekleri sebebiyle birçok türünün yapıldığı belirtilmiştir.

Lavanta çiçekleri, sapların üst bölümünde dairesel olarak dizilmiş ve her dairede birkaç adet çiçek bulunmaktadır. Genel olarak mor renkle bilinse de, mavi, pembe ve beyaz tonlu lavantalar da mevcuttur (Góra vd., 2005). Kurutulmuş lavanta çiçekleri ve çiçeklerinden elde edilen yağlar, güzel kokuları sebebiyle kozmetikte ve içerdikleri antimikrobiyal ve antioksidan bileşikleri sebebiyle yiyeceklerin ve kozmetik sektörünün raf ömrünü uzatmada kullanılmaktadır (Deans, 2002). Lavanta, yılda 300 mm - 1400 mm yıllık yağışlı bölgelerde kolaylıkla yetişebilmekle beraber kışın soğuğuna ve yaz kuraklığına dayanabilmektedir (Balyemez, 2014).

2.3. *Salvia rosmarinus* (Biberiye)

Salvia rosmarinus, ülkemizde Biberiye olarak da bilinen uzun ömürlü ve yaprakları iğneye benzer şekilde uzayan ve yaprak dökmeyen aromatik bir bitkidir. (Bousbia vd., 2009). Tracheophyta Şubesi, Angiosperms Sınıfı, Lamiales takımı, Lamiaceae ailesi; *Salvia* cinsine aittir. 2017 yılına kadar (*Rosmarinus officinalis* L.) olarak bilinmektedir. Özellikle Akdeniz ülkelerinde yetişen Biberiye bitkisi ağırlıklı olarak İtalya, İspanya, Türkiye, Mısır, Portekiz, Yunanistan, Fransa ve Kuzey Afrika gibi ülkelerde yetişmektedir (Atti-Santos vd., 2005). *S. rosmarinus*, yoğun hoş koku, lavanta benzeri yaprakları ve her zaman yeşil kalma özelliklerine sahip kokulu bir çalıdır ve çiçeklenme mevsimi Nisan'dan Ağustos'a kadar sürebilmektedir (Lo Presti vd., 2005).

2.4. Karotenoidler

Bitkinin dokularındaki plastidlerde yerleşik durumda bulunan, hem fotosentetik olan hem de olmayan, C40 izoprenoidleri veya tetraterpenlerdir. Fotosentetik komplekslerin ışık ile uyarılmasıyla oluşan triplet klorofil ve bazı reaktif oksijen türlerini (ROS) detoksifiye ederler. Aynı zamanda bitkide ışık alımında aksesuar pigment fonksiyonları bulunmaktadır. Karotenler ve ksantofiller karotenoidlerin iki sınıfını oluşturmaktadır. Karotenler hidrokarbon yapıdadırlar, ksantofiller ise karotenlerin bir türevidir. Genel olarak bir veya iki oksijen atomu içermektedir (McKersie & Leshem, 1994).

3. Materyal ve Metot

3.1. Materyal

Yapılan çalışmada biberiye (*Salvia rosmarinus*) ve lavanta (*Lavandula angustifolia*) bitkileri kullanılmıştır. Yaprak yapıları benzer bitkilerdir. İki bitki de Lamiaceae familyasına mensuptur. Biberiye ve lavanta bitkileri bir seradan satın alım yoluyla elde edilmiştir. Bitkiler 5-6 aylık bitkilerden seçilmiştir. Bitkilerin çalışmaya başlanmadan hemen önceki 3 sulamalarında saf su kullanılmıştır.

3.1.1. Kullanılan Çözeltiler ve Cihazlar

Ağır metal uygulamalarında 1 mM bakır çözeltisi ve 100 µM kadmiyum çözeltisi birlikte kullanılmıştır. Bakır çözeltisi için CuSO₄.7H₂O ve kadmiyum çözeltisi için CdSO₄ kimyasalları kullanılmıştır.

Toplam fenolik madde analizleri için 2 N Folin-Ciocalteu çözeltisi stok olarak kullanılmıştır. Analizler sırasında Folin-Ciocalteu reaktifi 10 kat seyreltilerek kullanılmıştır. %7.5'lik Na₂CO₃ çözeltisi ve %2'lik AlCl₃ çözeltisi hazırlanmıştır.

Fosfat tampon çözeltisi (50 mmol/L) K₂HPO₄ ve KH₂PO₄ kullanılarak hazırlanmıştır. Fosfat tamponu için pH 7.2-7.4 aralığında sabitlenecek şekilde ayarlanmıştır. 7 mM ABTS stok çözeltisi hazırlanmıştır. ABTS stok çözeltisi en az 16 saat ışıktan korunan bir erlen içinde karanlık ortamda saklanmıştır. Analiz sırasında ABTS stok çözeltisi seyreltilerek kullanılmıştır.

Kalibrasyon eğrileri ve denklemleri elde etmek için Gallik Asit stok çözeltisi (0,5 mg/ml) ve Troloks (2,5 mmol/L) stok çözeltisi hazırlanmıştır. Kalibrasyon için bu stok çözeltilerin belirli konsantrasyonları seyreltilerek kullanılmıştır.

Yapraklardan elde edilen ekstraktlarda toplam fenolik ve toplam antioksidan madde tayinleri için çözücü olarak metanol (Sigma-Aldrich), etanol (Merck) ve saf su çözücülerini kullanılmıştır. Etanol ve metanol çözücülerini %99 saflıkta olup eşit miktarda kuru örneğe eşit miktarda çözücü ilave edilmiştir. Klorofil ve karotenoid miktarı tayini için %80'lik (w/w) aseton çözeltisi kullanılmıştır. Çözelti, aseton (TEKKİM - %99,5) ve saf su ile hazırlanmıştır.

Spektrofotometrik ölçümlerde Rayleigh VIS-723G Visible spektrofotometre kullanılmıştır. Kurutma işlemleri Nükleon NST55 marka etüvde gerçekleştirilmiştir. SEM görüntüleri ZEISS EVO – MA10 marka SEM cihazı ile alınmıştır.

3.2. Metot

Biberiye (*Salvia rosmarinus*) ve lavanta (*Lavandula angustifolia*) bitkilerinin yaprakları gövdeyle birleşim noktalarından ayrılmıştır. Yaprak kısımları 60 °C'de 48 saat etüvde kurumaya bırakılmıştır. Kuruyan yapraklar yüzey alanının artması maksadıyla küçük parçalara ufaltılmıştır. Ağır metal ve kontrol grupları ayrılmış ve 0.1 g kuru materyale 4 ml çözücü oranıyla kuru yapraklar çözücülerle karıştırılmıştır. 4 °C'de 48 saat boyunca muhafaza edilmiştir. Klorofil ve karotenoid analizleri için aseton çözücüsü kullanılmıştır. Asetonla muamele edilen kuru yaprak örnekleri 24 saat 4 °C'de muhafaza edilmiştir. Daha sonra hazırlanan ekstraktlar filtre kâğıdı yardımıyla süzülerek analizler için kullanılmıştır.

3.2.1. Ağır Metal Uygulaması

Ağır metal ve kontrol olmak üzere iki gruba ayrılan bitkilerin son üç sulamaları saf su ile yapılmıştır. Saf su ile yapılan son sulamadan 48 saat sonra ağır metal uygulamasına başlanmıştır. Bu süreçten sonra ağır metal grubu 1 mM bakır çözeltisi ve 100 µM kadmiyum çözeltisi ile üç defa sulanmış ve kontrol grubu ise saf su ile üç kez daha yeterli miktarda sulanmıştır. Son ağır metal uygulamasından 24 saat sonra bitki yapraklarının toplanması işlemi gerçekleştirilmiş ve etüvde kurutulmuştur.

3.2.2. Klorofil ve Karotenoid Miktarı Tayini

Klorofil ve karotenoid miktarının ölçümü için örnekler hazırlanmıştır. Örneklerin konsantrasyonu Arnon (1949) yöntemiyle hesaplanmıştır. Bu yöntemde ağır metal ve kontrol grupları hacimce %80 aseton çözeltisiyle muamele edilmiştir. Filtre kâğıdı ile süzülen ekstraktların absorbansı UV-VIS spektrofotometrede ölçülmüştür. Toplam klorofil miktarı için 652 nm dalga boyunda, klorofil-a miktarı için 663 nm dalga boyunda, klorofil-b miktarı için 645 nm dalga boyunda ve karotenoid miktarı için de 470 nm dalga boyunda ekstraktların absorbansları ölçülmüştür. Farklı dalga boylarında ölçülen absorbanslar Lichtenthaler & Wellburn (1983) tarafından verilen formüllerde yerine koyularak hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Formüller aşağıda gösterilmiştir.

$$\text{Toplam Klorofil Miktarı (mg/g)} = (A_{652} \times 27.8) / g$$

$$\text{Klorofil - a Miktarı (mg/g)} = ((11.75 \times A_{663}) - (2.35 \times A_{645})) \times V / g$$

$$\text{Klorofil - b Miktarı (mg/g)} = ((18.61 \times A_{645}) - (3.96 \times A_{663})) \times V / g$$

$$\text{Karotenoid Miktarı (mg/g)} = [((1000 \times A_{470}) - (2.27 \times K_{la}) - (81.4 \times K_{lb})) / 227] \times V / g$$

Burada V: ekstrakt hacmini, g: örnek hacmini (mg), K_{1a}: Klorofil-a, K_{1b}: Klorofil-b ve A^{xxx}: belirli dalga boylarındaki absorpsanları ifade etmektedir.

3.2.3. Toplam Fenolik Madde Miktarı Tayini

Bu çalışmada toplam fenolik madde analizi Folin-Ciocalteu metoduna göre uygulanmıştır (Singleton & Rossi, 1995). 300 µl ekstrakt ile 10 kat seyreltilmiş 1.5 ml 2 N Folin-Ciocalteu reaktifi cam tüpler içinde karıştırılmış ve 2 dakika bekleme süresinden sonra 1.2 ml %7.5 Na₂CO₃ çözeltisi eklenmiştir. Karışımlar vorteks ile karıştırılmış ve 25 °C'de 90 dakika karanlıkta bekletilmiştir. Karanlık ortamdan çıkarılan örneklerin absorpsansı 765 nm dalga boyunda kör olarak saf suya karşı okunmuştur.

Toplam fenolik madde içeriği gallik asit kalibrasyon grafiğinden elde edilen denklem ile gallik asit eşdeğeri (GAE) olarak verilmiştir. Gallik asidin 5 farklı konsantrasyonuyla (0.1-0.2-0.3-0.4-0.5 mg/ml) ölçülen absorpsans değerleriyle kalibrasyon grafiği oluşturulmuştur.

3.2.4. Toplam Antioksidan Madde Tayini

Ağır metal ve kontrol gruplarının antioksidan kapasitesi ABTS (2,2'-azonobis(3-etilbenzothiazoline-6-sulfonat)) radikal katyon yakalama yeteneğine göre analiz edilmiştir. Hazırlanan mavi renkteki ABTS çözeltisinde, antioksidan içerik nedeniyle ABTS^{•+} katyonu parçalanmıştır ve bu sayede çözeltinin renginde bir açılma görülmüştür. Rengin açılması antioksidan içeriğinin olduğunu gösteren bir işlemdir (Miller vd., 1995).

ABTS stok çözeltisi, çözeltinin absorpsansı yaklaşık olarak 0,7'ye sabitleninceye kadar fosfat tamponuyla seyreltilmiştir ve olabildiğince ışıktan korunmuştur. Analiz için 1900 µl seyreltilmiş ABTS ve 100 µl ekstrelerden eklenmiş ve karıştırılmıştır. Bu karışımların absorpsansı 734 nm dalga boyunda UV-VIS spektrofotometrede fosfat tamponuna karşı okunmuştur. Bu yöntemle elde edilen sonuçlar troloks eşdeğer antioksidan kapasite (TEAC) olarak adlandırılır. Kalibrasyon grafiği troloksun 5 ayrı konsantrasyonuna (0,05-0,1-0,2-0,3-0,4 mmol/L) karşı hesaplanan absorpsans değerlerinin tanık ile farkı alınarak oluşturulmuştur.

3.3. İstatistiksel Bilgiler

Ağır metal ve kontrol grupları için yapılan analizlerde her ölçüm 3 tekrarlı olarak yapılmış ve elde edilen standart sapmalar sonuçlarla birlikte "±" olarak ifade edilmiştir.

4. Sonuçlar

Yapılan analizler ve ölçümler sonucunda 1 mM bakır çözeltisi ve 100 µM kadmiyum çözeltisi ile ağır metal stresi uygulanan biberiye (*Salvia rosmarinus*) ve lavanta (*Lavandula angustifolia*) bitkilerinin toplam fenolik, toplam antioksidan, toplam klorofil ve karotenoid miktarları belirlenmiştir. Ağır metal ve kontrol gruplarına uygulanan aynı analizler sayesinde ağır metal stresi uygulanan bitkilerin ve kontrol grubundaki bitkilerde gözlemlenen farklılıklar ortaya konmuştur. Sonuçlar standart sapmaları ile birlikte verilmiştir. Her iki grup için de toplanan yaprakların SEM görüntüleri elde edilmiş ve yapısal değişiklikler incelenmiştir.

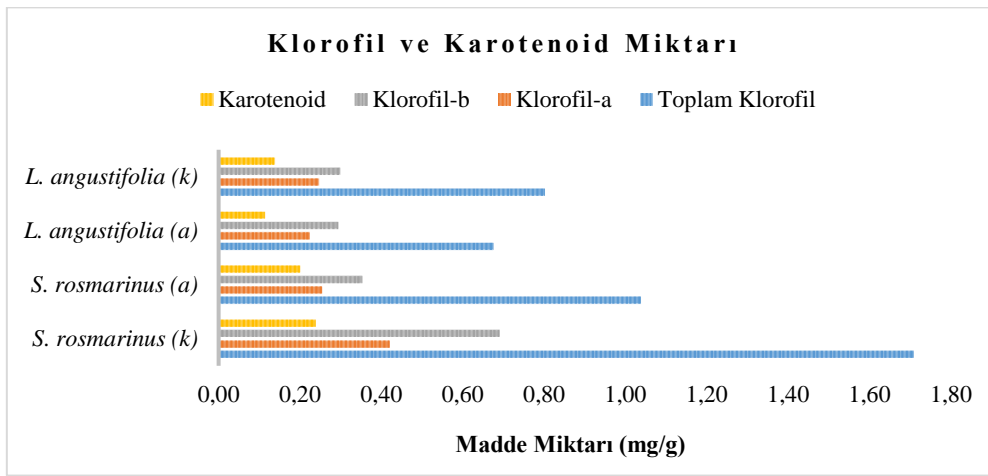
4.1. Klorofil ve Karotenoid Miktarı

Arnon (1949) yöntemiyle hesaplanan miktarlar Tablo 1'de verilmiştir. Belirli dalga boylarında absorpsanları okunan ekstraktların toplam klorofil, klorofil-a, klorofil-b ve karotenoid miktarları belirlenmiştir. Sonuçlara ulaşılırken absorpsanslar Lichtenthaler & Wellburn (1983) tarafından verilen formüllerde yerine yazılmıştır. Deneyler 3 tekrarlı yapılmış ve sonuçlar standart sapmalarıyla birlikte verilmiştir. Sonuçların karşılaştırmalı grafiği Şekil 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Ağır Metal (a) ve Kontrol (k) Gruplarının Toplam Klorofil, Klorofil-a, Klorofil-b ve Karotenoid Miktarları (mg/g).

Gruplar	Toplam Klorofil	Klorofil-a	Klorofil-b	Karotenoid
<i>S. rosmarinus</i> (a)	1,04 ± 0,02	0,25 ± 0,02	0,35 ± 0,01	0,20 ± 0,01
<i>S. rosmarinus</i> (k)	1,71 ± 0,03	0,42 ± 0,02	0,69 ± 0,02	0,24 ± 0,01
<i>L. angustifolia</i> (a)	0,68 ± 0,03	0,22 ± 0,01	0,29 ± 0,01	0,11 ± 0,01
<i>L. angustifolia</i> (k)	0,80 ± 0,02	0,25 ± 0,01	0,30 ± 0,01	0,14 ± 0,02

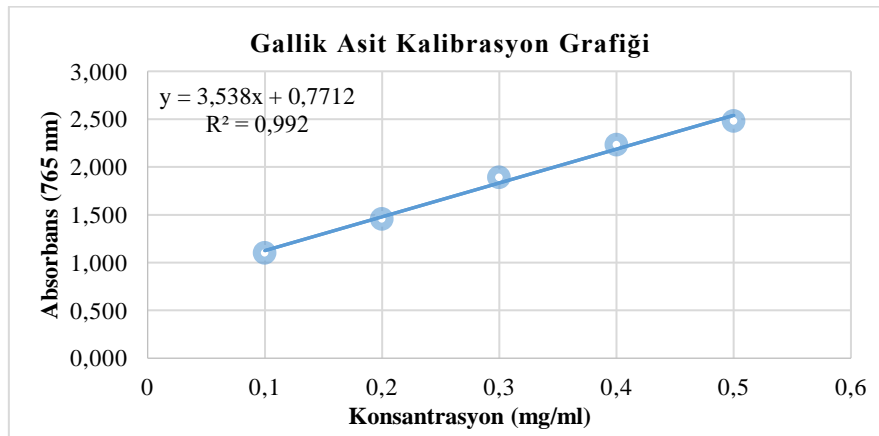
Buna göre ağır metal stresi altında klorofil miktarında bir miktar azalma görülmüştür. Stres faktörleri karotenoid birikimine neden olurken, ağır metal stresi esnasında toplam karotenoid miktarında da bir azalma görülebilmektedir (Munné-Bosch & Penvelas, 2004).



Şekil 1. Ağır metal (a) ve Kontrol (k) Gruplarının Toplam Klorofil, Klorofil-a, Klorofil-b ve Karotenoid Miktarlarının Karşılaştırmalı Grafiği.

4.2. Toplam Fenolik Madde Miktarı

Toplam fenolik madde miktarı analizlerinde kullanılmak üzere bir kalibrasyon eğrisi grafiği oluşturulmuştur. Gallik asidin 5 farklı konsantrasyonu (0.1-0.2-0.3-0.4-0.5 mg/ml) elde edilen absorbans değerleriyle elde edilen grafikte (Şekil 2) R^2 değeri ve doğru denklemi belirlenmiştir (Şekil 2). Analizlerden elde edilen absorbanslar bu kalibrasyon eğrisinden elde edilen $y = 3,538x - 0,771$ denklemine yerine yazılarak sonuçlar gallik asit eşdeğeri (mg/g GAE) olarak elde edilmiştir.



Şekil 2. Gallik Asit Kalibrasyon Grafiği.

Folin-Ciocalteu metoduna göre yapılan analizlerde, 765 nm dalga boyunda okunan değerler kalibrasyon eğrisi yardımıyla GAE olarak Tablo 2’de verilmiştir.

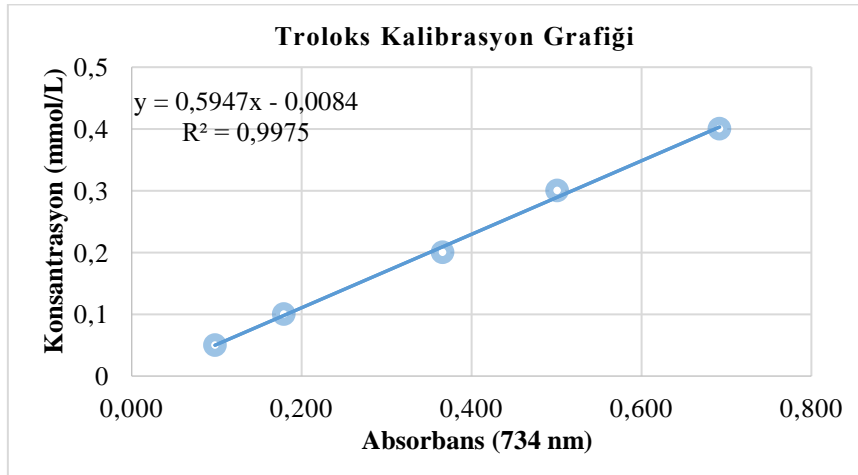
Tablo 2. Ağır metal (a) ve Kontrol (k) Grubu Etanol, Metanol ve Saf Su Ekstraktlarında Toplam Fenolik Madde Miktarları (mg/g GAE).

Gruplar	Etanol	Metanol	Saf Su
<i>S. rosmarinus</i> (a)	69,63 ± 0,78	82,80 ± 0,75	84,60 ± 2,09
<i>S. rosmarinus</i> (k)	55,40 ± 2,41	65,81 ± 2,19	81,70 ± 1,68
<i>L. angustifolia</i> (a)	23,85 ± 1,16	51,03 ± 1,43	88,65 ± 2,52
<i>L. angustifolia</i> (k)	18,80 ± 0,39	65,97 ± 2,35	80,05 ± 2,25

Elde edilen sonuçlara göre her iki bitki için de genel olarak ağır metal uygulanan grupta kontrol grubuna kıyasla daha fazla fenolik madde miktarı elde edilmiştir. Aynı zamanda fenolik madde analizleri için çözücü olarak su kullanılan ekstraktlardan daha fazla fenolik madde miktarı elde edilmiştir. Her iki bitki için de su ekstraktlarından daha yüksek sonuçlar elde edilmiştir.

4.3. Toplam Antioksidan Madde Miktarı

Toplam antioksidan madde miktarı analizlerinde kullanılmak üzere bir kalibrasyon eğrisi grafiği oluşturulmuştur. Troloksun 5 ayrı konsantrasyonundan (0,05-0,1-0,2-0,3-0,4 mmol/L) elde edilen absorbans değerleriyle oluşturulan grafikte (Şekil 3) R² değeri ve doğru denklemi belirlenmiştir. Analizlerden elde edilen absorbanslar bu kalibrasyon eğrisinden elde edilen $y = 0,5947x - 0,0084$ denkleminde yerine yazılarak sonuçlar troloks eşdeğer antioksidan kapasite (mmol/g TEAC) olarak elde edilmiştir.



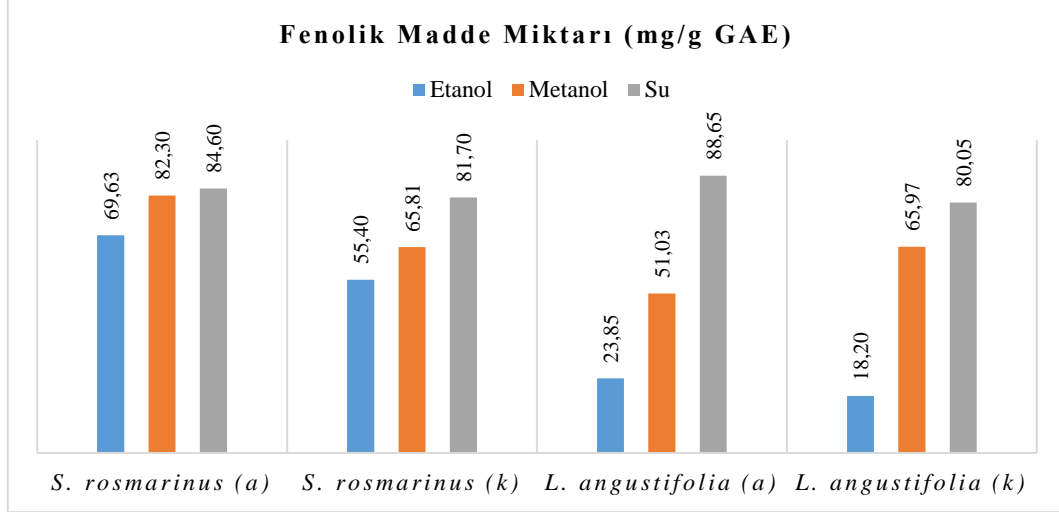
Şekil 3. Troloks Kalibrasyon Grafiği.

ABTS'nin radikal katyon yakalama yeteneğine göre yapılan analizlerde, 734 nm dalga boyunda okunan değerler kalibrasyon eğrisi yardımıyla TEAC olarak Tablo 3'te verilmiştir.

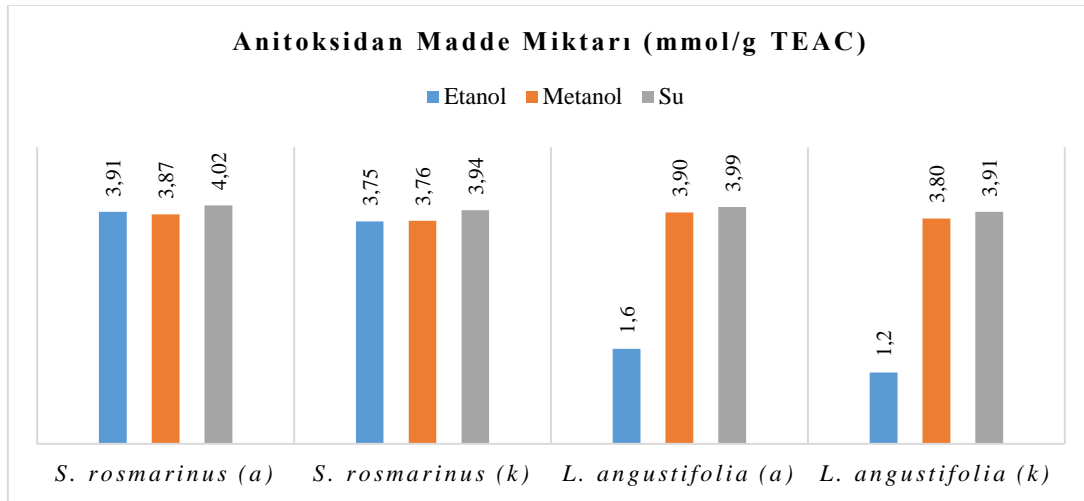
Tablo 3. Ağır Metal (a) ve Kontrol (k) Grubu Etanol, Metanol ve Saf Su Ekstraktlarında Toplam Antioksidan Madde Miktarları (mmol/g TEAC).

Gruplar	Etanol	Metanol	Saf Su
<i>S. rosmarinus</i> (a)	3,92 ± 0,08	3,87 ± 0,04	4,02 ± 0,01
<i>S. rosmarinus</i> (k)	3,75 ± 0,04	3,76 ± 0,04	3,92 ± 0,08
<i>L. angustifolia</i> (a)	1,60 ± 0,05	3,90 ± 0,05	3,99 ± 0,01
<i>L. angustifolia</i> (k)	1,20 ± 0,05	3,80 ± 0,07	3,91 ± 0,01

Elde edilen sonuçlara göre her iki bitki için de ağır metal uygulanan grupta (a) kontrol grubuna (k) kıyasla daha fazla antioksidan madde miktarı elde edilmiştir. *S. rosmarinus* için etanol ve metanol çözücülerinde arasında belirgin bir fark görülmemiştir ancak *L. angustifolia* bitkisinin su ekstraktlarında metanol ve etanol ekstraktlarına kıyasla daha fazla antioksidan madde elde edilmiştir. Toplam fenolik madde ve toplam antioksidan madde miktarları için çözücülerin karşılaştırmalı grafiği Şekil 4 ve Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 4. Toplam Fenolik Madde Miktarları için Çözücülerin Karşılaştırmalı Grafiği.

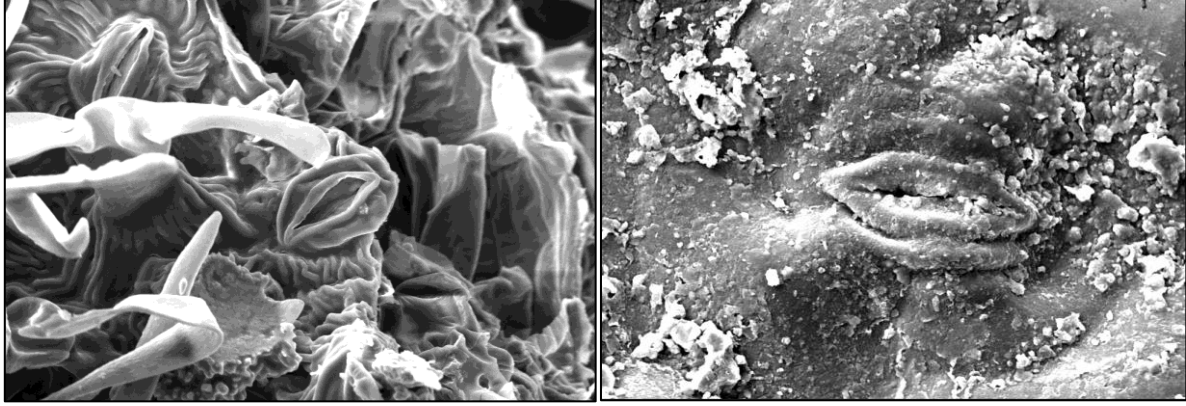


Şekil 5. Toplam Antioksidan Madde Miktarları için Çözücülerin Karşılaştırmalı Grafiği.

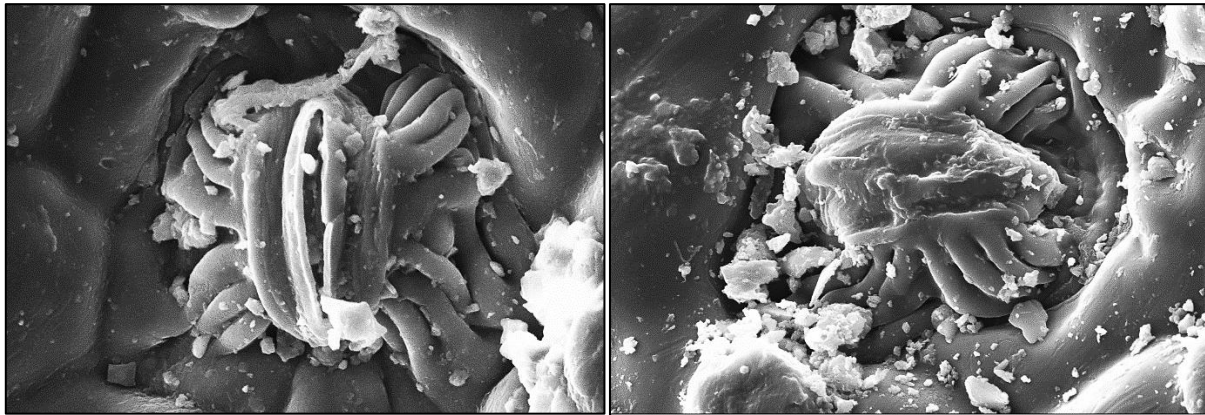
4.4. Yaprak Örneklerine ait SEM Görüntüleri

Bitkilerin ağır metallere nasıl etkilendikleri konusunda birçok araştırma yapılmıştır. Yapılan çalışmalar göz önüne alındığında ağır metal stresi uygulanan bitkilerde stomaların kapandığı, bunu takiben fotosentez oranında bir azalma olduğu ve ayrıca klorofil miktarında düşüşlerin olduğu görülmektedir. Yapılan bir çalışmada bakır stresinin salatalık bitkisindeki fotosentez oranına etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmada bitkiye 0 ve 10 µg/g bakır (Cu) uygulanmıştır. Kontrol grubuyla karşılaştırıldığında olgun yapraklar için %52, genç yapraklar için de %27 oranında bir fotosentez kaybı görülmüştür. Olgun yapraklardaki stoma hareketleri ve CO₂ asimilasyonun daha fazla azalmasıyla birlikte fotosentez miktarındaki düşüşün genç yapraklara kıyasla olgun yapraklarda daha fazla olduğu belirtilmiştir (Dunand vd., 2002).

Kadmiyum metali bitki bünyesinde birçok fizyolojik değişikliğe sebebiyet vermektedir. Bunlardan en önemlileri fotosentezi engellemesi, stomaların kapanmasına sebebiyet vermesi, transpirasyon ile su kaybının azalması ve klorofil biyosentezinin bozulmasına neden olmasındır (Sheoran vd., 1990). Kadmiyum stresi uygulanan bitkilerde stomaların kapanması ve buna bağlı olarak su kaybının azalmasıyla birlikte bitkide kadmiyum taşınımı da engellenmektedir (Salt vd., 1995).



Şekil 6. Biberiye Bitkisi Kontrol (solda, MAG: 2.50 K X) ve Ağır Metal (sağda, MAG: 4.00 K X) Gruplarına ait Yaprakların SEM Görüntüleri.



Şekil 7. Lavanta Bitkisi Kontrol (solda, MAG: 4.00 K X) ve Ağır Metal (sağda, MAG: 4.00 K X) Gruplarına ait Yaprakların SEM Görüntüleri.

Barceló vd. (1986-a,b) yaptıkları çalışmalarda, kadmiyum (Cd) stresinin, bekçi hücrelerinde su ve iyon (K^+ ve Ca^{+2}) transportunu etkilediğini ve buna bağlı olarak da stoma açılmasının inhibe olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmadaki ağır metal uygulamalarının, bitki yaprakları üzerindeki etkilerini gözlemek için SEM görüntüleri incelenmiştir (Şekil 6 ve Şekil 7).

5. Tartışma

Sonuçlar karşılaştırıldığında, ağır metal stresi uygulanan gruptaki klorofil miktarında, kontrol grubuna kıyasla, bir düşüş yaşanmıştır. Literatürde de çeşitli çalışmalarda ağır metal stresinin klorofil miktarında azalmaya sebep olduğu belirtilmiştir. Toplam antioksidan ve fenolik madde miktarlarındaki değişimlerine bakıldığında, literatürle uyumlu olmak üzere, ağır metal stresi uygulanan bitkilerde antioksidan ve fenolik madde miktarı açısından bir artış yaşanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre her iki bitki için toplam karotenoid miktarında bir düşüş gözlemlenmiştir. Literatüre bakıldığında çalışmanın sonuçlarıyla uyumlu olarak stres faktörlerinin karotenoid birikimine neden olduğu gibi stres sırasında klorofiller gibi karotenoid miktarında da azalma görülebildiği belirtilmiştir (Munné-Bosch & Penvelas, 2004).

Chen & Djuric (2001), tarafından yapılan bir çalışmada ağır metal konsantrasyonlarının artmasıyla, bitkilerde fotosentetik pigmentlerin (klorofil ve karotenoid) değerlerinin strese bağlı olarak düştüğü gözlemlenmiştir.

Saxena & Saiful-Arfeen (2009), *Racomitrium crispulum* karayosunu türünde belirli konsantrasyonlarda bakır (Cu) ve kadmiyum (Cd) uygulamışlardır. Çalışmadan elde ettikleri sonuçlarda toplam klorofil miktarının azaldığını bildirmişlerdir.

Aydoğan (2012) yapmış olduğu tez çalışmasında, *Timmiella barbulooides*'in toplam karotenoid miktarının nikel (Ni) uygulanan örnekte %21 arttığını bildirmiştir. β -karoten miktarları nikel uygulanan örneğinde %33 ve kurşun (Pb) uygulanan örneğinde %25 artarken bakır (Cu) uygulanan örneğinde ise %37 azaldığı bildirilmiştir.

Yıldız vd. (2011), yaptıkları bir çalışmanın sonucu olarak *Pseudevernia furfuracea*'de ağır metal uygulamalarının klorofil miktarında azalmaya sebep olduğunu bildirmişlerdir.

Gecheva & Yurukova (2008), *Fontinalis antipyretica*'nın fotosentetik pigment oranları üzerine ağır metallerin (Cu, Cd, Pb) etkisi araştırmışlardır. Klorofil miktarının değişimi incelenmişlerdir. Sonuç olarak %47'ye kadar klorofil kaybının tespit edildiğini bildirmişlerdir.

Shakya vd. (2008), ağır metal uygulamaları ile bir çalışma yapmışlardır. Bu ağır metal uygulamasının *Thuidium delicatulum* (L.) Mitt. ve *T. sparsifolium* (Mitt.) ile *Ptychanthus striatus* (Lehm ve Linderb)'un klorofil içeriğine olan etkisini araştırmışlardır. Yaptıkları çalışmada ağır metal olarak bakır (Cu), çinko (Zn), kurşun (Pb) kullanmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre karayosunlarında ve ciğerotunda bakır birikmesinin klorofil-a, klorofil-b ve toplam klorofil miktarını önemli ölçüde düşürdüğünü bildirmişlerdir.

Sandalio vd. (2001), tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, bezelye bitkisinde kadmiyum metalinin bitkideki fizyolojik etkinlikler ve antioksidatif enzimler üzerine etkisi araştırılmıştır. Yapılan bu çalışmada 50 μ M Cd'un bezelye bitkisinin yapraklarındaki transpirasyonu, klorofil miktarını ve fotosentez oranını düşürdüğü belirtilmiştir.

Bouazizi vd. (2010), yapmış oldukları bir çalışmada fasulye bitkisine yüksek konsantrasyonda bakır stresinin uygulamasıyla yapraklardaki antioksidan enzim sisteminin aktivitesinin değiştiğini bildirilmiş, ayrıca ağır metal stresinin bitki homeostazını negatif etkilediği belirtilmiştir.

6. Sonuç ve Öneriler

Sonuç olarak 1 mM bakır çözeltisi ve 100 μ M kadmiyum çözeltisi uygulanan her iki bitki için de toplam klorofil miktarında azalma görülmüştür. Toplam karotenoid miktarında da beklenenin aksine bir azalma görülmüştür. Toplam antioksidan ve fenolik madde miktarlarında ise bir artış görülmüştür. Ağır metal stresi altındaki bitkilerde toplam antioksidan madde miktarında bir artış olduğu kontrol grubu ile yapılan karşılaştırmalar ile ortaya konmuştur. Bununla birlikte kullanılan çözücülerin ve metotların da sonuçları etkileyeceği bilinmektedir. Antioksidan madde miktarına bakıldığında en yüksek sonuçların metanol ve saf su ekstraktlarından elde edildiği görülmüştür. Biberiye bitkisinde antioksidan madde miktarı tayini için kullanılan her çözücüden yakın sonuçlar elde edilmiştir. Fenolik madde miktarına bakıldığında en yüksek sonuçlar saf su ile hazırlanan ekstraktlardan elde edilmiştir. Toplam antioksidan ve fenolik madde miktarının tayininde kullanılan etanol, metanol ve su çözücülerini için en yüksek sonuçlara genel anlamda saf su ile hazırlanan ekstraktlarda ulaşılmıştır. Farklı ağır metal uygulama süreleri, farklı ağır metal konsantrasyonları, farklı ekstraksiyon ve tayin yöntemleriyle daha verimli sonuçlar elde edilebilecektir.

Kaynaklar

1. **Ahsan, N., Renaut, J. & Komatsu, S. (2009).** Recent developments in the application of proteomics to the analysis of plant responses to heavy metals. *Proteomics*, 9, 2602-2621.
2. **Algan, F.T.K. & Bilen, S. (2005).** Toprak Kirlenmesi ve Biyolojik Çevre. Atatürk Üniversitesi. *Ziraat Fakültesi Dergisi*, 36/1. 83-88.
3. **Arnon, DI. (1949).** "Copper enzymes in isolated chloroplasts Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*". *Journal of Plant Physiology*, 24, 1-15.

4. Atti-Santos, A. C., Rossato, M., Pauletti, G. F., Rota, L. D., Rech, J. C., Pansera, M. R., Agostini, F., Serafini, L. A. & Moyna, P. (2005). Physico-chemical Evaluation of *Rosmarinus officinalis* L. Essential Oils. *Brazilian Archives of Biology and Technology An International Journal*, 1035-1039.
5. Aydoğan, S. (2012). “*Pleurochaete squarrosa* (Brid.) Lindb. ve *Timmiella barbuloidea* (Brid.) Moenk. 'in Ağır Metal Stresine Verdiği Cevapların Araştırılması” Doktora Tezi. Adnan Menderes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Aydın, Türkiye.
6. Balyemez, Ö., (2014). “*Harran Ovası Koşullarında Farklı Lavanta (Lavandula spp.) Türlerinin Verim ve Bazı Bitkisel Özelliklerini Belirlenmesi*”, Yüksek lisans tezi, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa, Türkiye.
7. Barceló, J., Cobot, C. & Poschenrieder, C. (1986-a). Cadmium-induced decrease of water stress resistance in bush bean plants (*Phaseolus vulgaris* L. Cv. Contender). II. Effects of Cd on endogenous abscisic acid level. *J. Plant Physiol.* 125, 27-34.
8. Barceló, J., Poschenrieder, C., Andreu, I. & Gunse, B. (1986-b). Cadmium-induced decrease of water stress resistance in bush bean plants (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Contender). I. Effects of Cd on water potential, relative water content and cell wall elasticity. *J. Plant Physiol.* 125, 17-25.
9. Benabdelkader, T., Zitounic, A. & Guitton, Y., (2011). “Essential oils from wild populations of algerian *Lavandula stoechas* L.: composition, chemical variability, and in vitro biological properties”, *Chemistry & Biodiversity*, 8 (5): 937-953.
10. Bouazizi H., Jouili H., Geitmann A. & ElFerjani, E. (2010). Copper toxicity in expanding leaves of *Phaseolus vulgaris* L.: antioxidant enzyme response and nutrient element uptake. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 73: 1304–1308.
11. Bousbia, N., Vian, M. A., Ferhat, M. A., Petitcolas, E., Meklati, B. Y., & Chemat, F. (2009). Comparison of two isolation methods for essential oil from rosemary leaves: Hydrodistillation and microwave hydrodiffusion and gravity. *Food Chemistry*, 355–362.
12. Carvalho, (2017). FP Carvalho Böcek İlacı, Çevre ve Gıda Güvenliği Gıda Enerjisi Güvencesi, 6 (2017), 48-60.
13. Chen, G. & Djuric, Z. (2001). “Carotenoids are degraded by free radicals but do not affect lipid peroxidation in unilamellar liposomes under different oxygen tensions” *FEBS Letters*, 505, 151-154.
14. Cunningham, S.D., Shann J.R., Crowley D.E. & Anderson T.A., (1997). Phytoremediation of Contaminated Water and Soil. *Phytoremediation of Soil and Water Contaminants*, American Chemical Society, Washington, D.C., 2-17.
15. Deans, S.G. (2002). “Antimicrobial properties of lavender volatile oil”, Chapter :15, Ed: Maria Lis-Balchin: *Lavender*. Taylor&Francis, London, pp: 283.
16. Dunand, V.F., Epron, D., Sossé, A.B. & Badot, P.M., (2002). Effects of copper on growth and on photosynthesis of mature and expanding leaves in cucumber plants. *Plant Science*, 163:53-58.
17. Fornazier, R.F., Ferreira, R.R., Pereira, G.J.G., Molina, S.M.G., Smith, R.J., Lea, P.J. & Azevedo, R.A. (2002). Cadmium Stress in Sugar Cane Callus Cultures: Effect on Antioxidant Enzymes. *Plant Cell Tissue Organ Cult.*, 71:125-131.
18. Gecheva, G.M. & Yurukova, L.D. (2008). “Chlorophyll Response of aquatic moss *Fontinalis antipyretica* Hedw. To Cu, Cd and Pb contamination ex situ” *Proceedings of the Anniversary Scientific Conference of Ecology*, 293-299.
19. Góra, J., Lis, A., Gibka, J., & Wołoszyn, A. (2005). “Najcenniejsze olejki eteryczne”. Toruń: Wydawnictwo Uniwersytetu Mikołaja Kopernika.
20. Goyer, R. A. (1991). Toxic effects of metals. In: Caserett and Doull's Toxicology. The Basic Science of Poisons (Eds. Amdur M. O., Doull, J., Klaassen, C. D.) Pergamon Press, New York, 1032.
21. Kacar, B. & Katkat, V. (2006). Bitki besleme, Nobel Yayın no: 849.
22. Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A & Timur, S. (2006). Metallerin Çevresel Etkileri-I. www.metalurji.org.tr/dergi/dergi136/d136_4753.pdf. (11.03.2022)
23. Lichtenthaler, H. & Wellburn, A.R., (1983). “Determination of total carotenoids and chlorophyll a and b of leaf extracts in different solvents” *Biochemical Society Transactions* 603, 591-593.
24. Lo Presti, M., Ragusa, S., Trozzi, A., Dugo, P., Visinoni, F., Fazio, A., Dugo, G. & Mondello, L. (2005). A comparison between different techniques for the isolation of rosemary essential oil. *Journal of Separation Science*, 273–280.
25. Lyons-Alcantara, M., Tarazona J.V. & Mothersill C. (1996). The differential effect of cadmium exposure on the growth and survival of primary and established cells from fish and mammals. *Cell Biol. and Toxicol.*, 12: 29-38.

26. Ma, J.F., Yamaji, N., Mitani, N., Xu, X.Y., Su, Y.H., McGrath, S.P. & Zhao, F.J. (2008). Transporters of arsenite in rice and their role in arsenic accumulation in rice grain. *Proceedings of the National Academy of Science USA*, 105, 9931-9935.
27. McKersie D. B. & Leshem Y.Y. (1994). *Stress and Stress Coping in Cultivated Plants*. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands.
28. Meagher, R.B., (2000). "Phytorematadion of Toxic elemental and organic pollutants". *C.Op.İn Plant Biol.*, 3, 153-162.
29. Miller N.J., Diplock A.T. & Rice-Evans C.A. (1995). Evaluation of the Total Antioxidant Activity as a Marker of the Deterioration of Apple Juice on Storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 43 (7), 1794-1801.
30. Munné-Bosch, S. & Penvelas, J. (2004). Drought-induced oxidative stres in strawberry tree (*Arbutus Unedo* L.) growing in mediterranean field conditions. *Plant Science*, 166:1105-1110.
31. Nováková, M., Matějova, E. & Sofrová, D. (2004). Cd²⁺ effect on photosynthetic apparatus in *Synechococcus elongatus* and spinach (*Spinacia oleracea* L.). *Photosynthetica*, 42, 425-430.
32. Nuhoğlu, Y., Malkoç E., Gürses A. & Canpolat N. (2002). Removal of Cu(II) from aqueous solution by *Ulothrix zonata*. *Bioresource Technology* 85(3), 331-333.
33. Okcu M., Tozlu E, Kumlay A.M. & Pehlivan M. (2009). Ağır Metallerin Bitkiler Üzerine Etkileri. *Alnteri Zirai Bilimler Dergisi*. 17(2): 14-26.
34. Ouzounidou, G. (1994). "Copper Induced Changes on Growth, Metal Content and Photosynthetic Functions of *Alyssum montanum* L.Plants" *Environmental and Experimental Botany*, 34,165-172.
35. Öktüren Asri, F. & Sönmez, S. (2006). Ağır metal toksisitesinin bitki metabolizması üzerine etkileri. *Derim*, 23 (2) , 36-45.
36. Raven J.A., Evans M.C.W. & Korb R.E. (1999). The role of trace metals in photosynthetic electron transport in O₂-evolving organisms. *Pho. Res.* 60:111-149.
37. Ruis-Jiménez, J., Luque-García, J.L. & Luque de Castro, M.D. (2003). Dynamic ultrasound-assisted extraction of cadmium and lead from plants prior to electrothermal atomic absorption spectrometry. *Analytica Chimica Acta*, 480: 231-237.
38. Salt, D., Price, R., Pickering, I & Raskin, I. (1995). Mechanisms of cadmium mobility and accumulation in Indian mustard. *Plant Physiol.*, 109, 1427-1433.
39. Sandalio, L.M., Dalurzo, H.C., Gómez, M., Puertas-Romero, M.C. & del Rio, L.A. (2001). Cadmium-induced changes in the growth and oxidative metabolism of pea plants. *Journal of Experimental Botany*, 52 (362): 2115-2126.
40. Satarug, S., Baker, J.R., Urbenjapol, S., Haswell-Elkins, M., Reilly, E.B., Wiliams, D.J. & Moore, M.R. (2003). A global perspective on cadmium pollution and toxicity in nonoccupationally exposed population. *Toxicology Letters*, 137, 65-83.
41. Saxena, D.K. & Md. Saiful-Arfeen (2009). "Effect of Cu and Cd on Oxidative Enzymes and Chlorophyll Content of Moss *Racomitrium crispulum*" *Physiol. Mol. Biol. Plants*. 54(4), 365-374.
42. Singleton, V.L. & Rossi, J.A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic phosphotungstic acid reagents. *Am. J. Enol. Viticul.*, 16(3):144-158.
43. Shakya, K., Chettri, M.K. & Sawidis, T. (2008). "Impact of Heavy Metals (Copper, Zinc, and Lead) on the Chlorophyll Content of Some Mosses" *Arch Environ Contam Toxicol* 54, 412-421.
44. Sheoran, I.S., Singal, H.R & Singh, R. (1990). Effect of cadmium and nickel on photosynthesis and enzymes of the photosynthetic carbon reduction cycle in pigeon pea (*Cajanus cajan* L.). *Photosynthesis Research*, 23, 345-351.
45. Sossé, B.A., Genet, p., Dunand-Vinit, F., Toussaint, L.M., Epron, D. & Badot, P.M. (2004). Effect of copper on growth in cucumber plants (*Cucumis sativus*) and its relationships with carbohydrate accumulation and changes in ion contents. *Plant Science*, 166; 1213-1218.
46. Swiergosz, R., Zakrzewska, M., Sawicka-Kapusta, K., Bacia, K. & Jankowska, I. (1998). Accumulation of Cadmium And İts Effect On Bank Vole Tissues After Chronic Exposure. *Ecotoxicol Environ.* 41:130-136.
47. Şahin, Ö., (2017). "Muğla karabaşının (*Lavandula stoechas* l.) yiyecek ve içecek olarak değerlendirilmesine yönelik bir öneri", *Journal of Tourism and Gastronomy Studies* 5: 37-49.
48. Taiz, L. & Zieger, E. (2002). *Plant Physiology*, 3rd edn., Sunderland, MA:Sinauer Associates, Inc.
49. Upson, T., Andrews, S., (2004). "The Genus *Lavandula*", Timber Press, Portland, Oregon, USA.
50. Urano, K., Kurihara, Y., Seki, M. & Shinozaki, K. (2010). 'Omics' analyses of regulatory networks in plant abiotic stress responses. *Current Opinion in Plant Biology*, 13, 132-138.
51. Yıldız, A., Aksoy, A., Akbulut, G., Demirezen, D., İlek, C., Altuner, EM. & Duman, F. (2011). "Correlation Between Chlorophyll Degradation and the Amount of Heavy Metals Found in *Pseudevernia Furfuracea* in Kayseri (Turkey)" *Ekoloji*, 20 (78), 82-88.