

# Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi

Editör: Dr. Öğretim Üyesi Hakan ÇAĞLAR

ARALIK-2022 5(2)

ISSN: 2651-3544

İçindekiler

**Homogeneity Analysis of Turkish Rainfall Intensity Series**

Utku ZEYBEKOĞLU, Aslı ÜLKE KESKİN

**Bir Tekstil İşletmesinin Boyahane Bölümlerinde Yapılan Verimlilik Çalışmalarının İncelenmesi**

Sultan ARAS ELİBÜYÜK, Şaban YUMRU, Mustafa ÇÖREKÇİOĞLU

**Sürdürülebilir ve Esnek Mimari Yaklaşımlarına Tarihsel Süreçte Kuramsal Bir Bakış**

Halil YILMAZ, Leyla Yekdane TOKMAN

**Öğütülmüş Pomza Tozlu Harçların Hidroklorik Asit Direncinin İncelenmesi**

Meryem Rumeysa KAYIHAN, Behcet DÜNDAR, Emriye ÇINAR RESULOĞULLARI

**Geopolimer Tuğla Üretiminde Atık Kullanımı Üzerine Yapılan Akademik Çalışmalar**

Shahad Nadhım Abbas AL AMARA, Arzu ÇAĞLAR

**Cam Elyaf Takviyeli Precast Beton Cephe Panellerinin Uygunluğu (Ankara Örnekleme)**

Abdulgader BERRANİ, Hakan ÇAĞLAR, Arzu ÇAĞLAR

**Akaryakıt İstasyonuna Ait Klasik Fine Kinney Risk Analizinin Bulanık Fine Kinney Yöntemi**

**Karşılaştırılması**

Aslı Ece ACAR FİLİZCİ, Babek ERDEBİLLİ

**Exploration of the Effect of Carbon Fiber Ratio and Dimensions on Electrical Conductivity in**

**Mortars**

Hacer UZUNALIOĞLU, Salih YAZICIOĞLU, Adem AHISKALI, Hakan ÇAĞLAR

**Sürdürülebilir Yağmur Suyu Hasadı Üzerine Yapısal Bir İnceleme**

Pınar SELİMOĞLU, Ruşen YAMAÇLI

**Elektrikle Çalışmalarda İş Sağlığı ve Güvenliği Üzerine Bir Değerlendirme**

Samet TOSUN

**Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi uluslararası**

**bilimsel hakemli bir dergidir.**

Haziran ve Aralık Aylarında yılda 2 defa çevrimiçi olarak yayınlanır.

Taranmakta olunan indeks:



**Editör:**

Dr. Öğretim Üyesi Hakan ÇAĞLAR

Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi

**Editör Yardımcısı:**

Dr. Çağrı AVAN

Kastamonu Ölçme Değerlendirme Merkezi

**Editör Kurulu:**

Prof. Dr. Uğur ÖZCAN

Prof. Dr. Bahattin AYDINLI

Prof. Dr. Mustafa KURT

Prof. Dr. Hüseyin GÜNERHAN

Prof. Dr. Savaş CANBULAT

Prof. Dr. Serkan URANBEY

Prof. Dr. Yunus PAMUKOĞLU

Doç. Dr. Abdullah CANDAN

Doç. Dr. Ahmet BEYÇİOĞLU

Doç. Dr. Ali SAYGIN

Doç. Dr. Arzuhan Burcu GULTEKIN

Doç. Dr. Burak ARICAK

Doç. Dr. Cennet YAMAN

Doç. Dr. Gizem KARAKAN GÜNAYDIN

Doç. Dr. Gökhan SURUCU

Doç. Dr. Hüseyin Turan ARAT

Doç. Dr. Lenka KOUŘIMSKÁ

Doç. Dr. Arch. Milena Nanova

Doç. Dr. Arch. Panayot SAVOV

Doç. Dr. Arch. Sonia PARVANOVA-YONCHEVA

Doç. Dr. Selçuk Kürşat İŞLEYEN

Doç. Dr. Süleyman GÖKÇE

Doç. Dr. Yasin ERDOĞAN

Doç. Dr. Zeynel BAŞIBÜYÜK

Dr. Öğretim Üyesi Adem AHISKALI

Dr. Öğretim Üyesi Ali Kemal ÇAKIR

Dr. Öğretim Üyesi Asude ÇAVUŞ

Dr. Öğretim Üyesi Arzu ÇAĞLAR

Dr. Öğretim Üyesi Behçet DÜNDAR

Dr. Öğretim Üyesi Emin Sertaç ARI

Dr. Guang-jie Zhao

Dr. Öğretim Üyesi Melis ALPASLAN TAKAN

Dr. Mohamad Mazen HAMOUD-AGHA

Dr. Öğretim Üyesi Reza ABDİ

Dr. Öğretim Üyesi Tahir AKGÜL

Dr. Öğretim Üyesi Utku ZEYBEKOĞLU

Gazi Üniversitesi

Kastamonu Üniversitesi

Marmara Üniversitesi

Ege Üniversitesi

Kastamonu Üniversitesi

Ankara Üniversitesi

Süleyman Demirel Üniversitesi

Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi

Adana Bilim ve Teknoloji Üniversitesi

Gazi Üniversitesi

Gazi Üniversitesi

Bursa Teknik Üniversitesi

Yozgat Bozok Üniversitesi

Pamukkale Üniversitesi

Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi

Sinop Üniversitesi

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

University of Architecture Civil Eng. and Geodesy

University of Architecture Civil Eng. and Geodesy

University of Architecture Civil Eng. and Geodesy

Gazi Üniversitesi

Bayburt Üniversitesi

İskenderun Teknik Üniversitesi

Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi

Kastamonu Üniversitesi

Aydın Adnan Menderes Üniversitesi

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi

Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi

Beijing Forestry University

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi

Institute Polytechnique UnilaSalle

University of Bonab

Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

Sinop Üniversitesi

## Sayı Hakemleri:

Ahmet Celal Apay  
Arife Deniz OKTAÇ BEYCAN  
Behcet DÜNDAR  
Cemil ATAĞARA  
Ergun ERASLAN  
Gizem KARAKAN GÜNAYDIN  
Gonca ÖZER  
K. Pınar KIRKIK AYDEMİR  
Kadri AKÇALI  
Leyla TOKMAN  
Mehmet Eyyüp KAVŞUT  
Meliha OKTAV BULUT  
Meryem GEÇİMLİ  
Murat ÇAVUŞ  
Naz ORUÇ BAÇI  
Nihan GÜLMEZ  
Osman ORHAN  
Selim CEMALGİL  
Sinan NACAR  
Süleyman Sefa BİLGİLİOĞLU  
Utku ZEYBEKOĞLU  
Uğur DEMİRBAĞ  
Vahdettin DEMİR  
Yavuz Selim ÖZDEMİR  
Ümit YURT  
İbrahim YILMAZ  
İsmail İsa ATABEY

DÜZCE ÜNİVERSİTESİ  
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi  
ULUSLARARASI KIBRIS ÜNİVERSİTESİ  
Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi  
Pamukkale Üniversitesi  
BİNGÖL ÜNİVERSİTESİ  
Abant İzzet Baysal Üniversitesi  
BARTIN ÜNİVERSİTESİ  
Eskişehir Teknik Üniversitesi  
Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi  
Süleyman demirel Üniversitesi  
Kahramanmaraş İstiklal Üniversitesi  
Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi  
  
MUNZUR UNIVERSITY  
Mersin University  
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ  
TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ  
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ  
SİNOP ÜNİVERSİTESİ  
ÇANKIRI KARATEKİN ÜNİVERSİTESİ  
KTO KARATAY ÜNİVERSİTESİ, MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ  
ANKARA BİLİM ÜNİVERSİTESİ  
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ  
ANKARA YILDIRIM BEYAZIT UNIVERSITY  
NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ

## Homogeneity Analysis of Turkish Rainfall Intensity Series

### Türkiye Yağış Şiddeti Serilerinin Homojenlik Analizi

Utku Zeybekoğlu<sup>1</sup>, Aslı Ülke Keskin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Sinop University, Boyabat Vocational School of Higher Education, Department of Construction, Sinop Turkey

<sup>2</sup>Ondokuz Mayıs University, Engineering Faculty, Department of Civil Engineering, Samsun Turkey

Doi: 10.51764/smutgd.1097444

Geliş Tarihi :02.04.2022

Kabul Tarihi :08.08.2022

#### ABSTRACT

In this study, homogeneity checking the annual maximum rainfall intensity series for periods ranging from 30 to 78 years were obtained from 103 stations operated by the Turkish State Meteorological Service. Absolute homogeneity tests (AHT) namely Standard Normal Homogeneity Test (SNHT), Buishand Range Test (BRT), Pettitt Test (PT), and Von Neumann Ratio Test (VNRT) were applied at a confidence level of 95%. Stations were classified inhomogeneous if at least one of the standard durations data classified suspect or doubtful. Assuming that the factor destabilizing the homogeneity is the trend, a detrended methodology (DFA) was performed. After the implementation of DFA, absolute homogeneity tests were reapplied to the series of rainfall intensity. As a result of this study 49 of 103 stations called useful all 14 standard durations. 45 of the remaining 54 stations classified useful all standard durations after trend components separated from rainfall intensity series. As a result of the analysis, it was determined that the remaining 8 of 103 stations had inhomogeneous values after the trend components were separated.

**Keywords:** Homogeneity analysis, Turkey, Rainfall Intensity

#### ÖZET

Bu çalışmada, Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından işletilen 103 istasyondan 30 ile 78 yıl arasında değişen periyotlar için yıllık maksimum yağış şiddeti serilerinin homojenlik kontrolü yapılmıştır. Mutlak homojenlik testleri olarak bilinen Standart Normal Homojenlik Testi (SNHT), Buishand Aralık Testi (BRT), Pettitt Testi (PT) ve Von Neumann Oran Testi (VNRT) %95 güven aralığında uygulanmıştır. Standart süre verilerinden en az biri şüpheli veya sorunlu ise, istasyon homojen değil olarak sınıflandırılmıştır. Homojenliği bozan faktörün muhtemel trend bileşenleri olduğu varsayılarak, trend bileşenleri ayrılmıştır. Daha sonra, yağış şiddeti serilerinin mutlak homojenlik testleri yeniden uygulanmıştır. Analizler sonucunda 103 istasyonun 49'u 14 standart sürenin tamamında kullanılabilir olarak sınıflandırılmıştır. Kalan 54 istasyonun 45'i, trend bileşenlerinden sonra tüm standart süreleri kullanılabilir olarak sınıflandırılmıştır. 103 istasyondan geriye kalan 8'inin ise trend bileşenleri ayrıldıktan sonra da homojen olmayan değerlere sahip olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Homojenlik analizi, Türkiye, Yağış Şiddeti

Utku Zeybekoğlu, Orcid:0000-0001-5307-8563, utkuz@sinop.edu.tr, Corresponding author  
Aslı Ülke Keskin, Orcid: 0000-0002-9676-8377, asli.ulke@omu.edu.tr

## INTRODUCTION

Rapidly melting of ice masses in the poles, rising seawater level, and occurring large irregularities in the rain are powerful indicators of world ecosystem deterioration and global warming. These reasons might lead to water-related problems in the future. To date, researches have been conducted intensively by scientists to determine climate change. In these studies, they first tried to understand atmospheric events. The most basic study to understand atmospheric events are meteorological measurements. The main purpose of these measurements is to show the similarities and to make the necessary predictions by considering the occurrences and the situations that may occur in the future (Salarijazi et al., 2012; Zeybekoglu & Ulke Keskin, 2020).

Homogeneous climate series is defined as the series where changes are caused only by weather and climatic changes (Conrad & Pollak, 1950; Sahin, 2009; Sahin & Cigizoglu, 2010). It is essential for climate and hydrological studies to have long-term, homogeneous, and continuous precipitation series (Bickici Arikan, 2018; Bickici Arikan & Kahya, 2018). The homogeneity of precipitation series employed in climate change and hydrological studies poses a major problem in this respect (Em et al., 2007). The reliability of hydro meteorological observation data should be carefully investigated (Agha et al., 2017). The measurements made, the methods employed, the tools, and environmental factors disrupt the homogeneity. For this reason, measurements must be made with suitable devices and methods. In precipitation measurements, the technological development of the measuring devices can create an artificial and systematic increase (Hanssen-Bauer & Førland, 1994). Therefore, long-term climate changes and trends must be interpreted carefully. To achieve accurate results from climate analysis, it should be examined whether the data have homogeneous and non-homogeneous series, which must either be removed or homogenized (Sahin, 2009; Sahin & Cigizoglu, 2010). Many researchers around the world have investigated the quality and homogeneity of various climatic parameters (Peterson & Easterling, 1994; Tayanc et al., 1998; Gonzalez-Rouco et al., 2001; Yesilirimak et al., 2008; Suhaila et al., 2008; Mair & Fares, 2010; Eris & Agiralioglu, 2012; Sonmez, 2013; Pirnia et al., 2019; Ay 2020, 2021; Khalil, 2021; Ahmed et al., 2021; Demir et al., 2021; Aksu et al., 2022).

Hanssen-Bauer and Førland (1994) made a homogeneity analysis for the precipitation data of 165 precipitation stations in Norway by using the SNHT. Alexandersson and Moberg (1997) tested the homogeneity of monthly temperature series for Sweden by using a new method developed by them from the SNHT. Serra et al. (2001) examined the homogeneity of daily, monthly, seasonal, and annual temperature series of the 1917-1998 period of Barcelona in Spain with the VNRT. Wijngaard et al. (2003) examined the homogeneity of the temperature and precipitation series of the European geographical area by applying the SNHT, PT, BRT and VNRT, which are called the Absolute Homogeneity Tests (AHT), and classified the homogeneity of the stations according to the results of these four tests. Feng et al. (2004) examined and classified the homogeneity of daily, temperature, humidity, and wind speed values recorded between 1951-2000 in meteorological observation stations in China with the AHT. Kang and Yusof (2012) analyzed the homogeneity of the precipitation data of Peninsular Malaysia by using the SNHT, BRT, PT, and VNRT. Talaei et al. (2014) examined homogeneity of the annual and monthly precipitation datasets throughout Iran covering the years 1966–2005. Agha et al. (2017) used the AHT and reported that the annual, winter and spring precipitation series of stations in Northern Iraq were not homogeneous. Zaifoglu et al. (2017) examined the daily precipitation series of Northern Cyprus with the AHT. Tsega and Tibebe (2018) applied the AHT to the daily precipitation series of 54 stations in Ethiopia and reported that 42 stations were not homogeneous. Suhaila and Yusop (2018) examined the homogeneity of annual and seasonal temperature series of 10 stations in Malaysia by using the PT and Mann-Kendall test; and reported that there were breaks in the homogeneity of the precipitation series in 1996, 1997, and 1998.

Turkes (1996) analyzed the homogeneity of annual precipitation data of 91 stations in Turkey by using the Kruskal-Wallis test for the 1930-1993 period. Turkes et al. (1996) made the homogeneity analysis of seasonal and annual temperature series of 80 stations for the 1940-1993 period across Turkey by using the Kruskal-Wallis Method. As a result of the Kruskal-Wallis Homogeneity Test, they reported that 59 stations had homogeneous data. The homogeneity of monthly and annual temperature and precipitation series recorded between 1951-1990 of 82 meteorological observation stations in Turkey were examined by Tayanc et al. (1998) using the Kruskal-Wallis and Wald-Wolfowitz tests. They reported that the tests were an important means in testing the homogeneity of time series. Karabork et al. (2007) examined the homogeneity and breaking points of the precipitation series of 212 stations for the 1973-2002 period with SNHT and PT. They reported that 43 stations were not homogeneous. Gokturk et al. (2008) applied the SNHT and PT to the precipitation series of 267 stations in Turkey for the 1930-2004 period and found the years when the homogeneity was disrupted. Firat et al. (2010) examined the homogeneity of precipitation series for the 1968-1998 period of 229 meteorological observation stations in Turkey by using the SNHT and PT, and reported that 179 stations were

not homogeneous. Sahin and Cigizoglu (2010) applied the AHT to precipitation series between 1974-2002 in Turkey; and as a result of the AHT, they reported that 5 out of 232 stations were not homogeneous. Haktanir and Citakoglu (2014) examined the homogeneity of the maximum precipitation series of Turkey for the 1938-2010 period by using the VNRT and Mann-Whitney Homogeneity Test. They reported that the precipitation series was 90% homogeneous according to the Von Neumann Test, and 84% according to the Mann-Whitney test. Bickici Arikan and Kahya (2018) examined the homogeneity of 160 meteorological stations with the AHT and concluded that 5 stations were not homogeneous. They achieved homogeneity by applying the double additive curve method to inhomogeneous stations. Zeybekoglu and Ulke Keskin (2020) examined the homogeneity of the rainfall intensity series of 14 standard durations that were measured between 1965 and 2010 at Artvin in the Eastern Black Sea region of Turkey by using the SNHT and PT and examined their trends by using the Mann Kendall and Spearman's Rho tests. They reported that homogeneity was achieved when the trend component was eliminated from the intensities of the 5', 10', 15', and 30' duration rainfalls, and the trend disrupted the homogeneity.

In this study, the purpose was to determine the homogeneity of the maximum rainfall intensity series of 103 stations operated by the Turkish State Meteorological Service (TSMS) throughout Turkey. For this purpose, firstly, the quality and usability of the data that were obtained from Turkish State Meteorological Service (TSMS) were checked with the BRT, PT, SNHT, and VNRT, which are called AHT. The classes of the data will be identified at this stage with AHT. As a result of the AHT, the rainfall intensity series of the non-homogeneous stations were separated from possible trend components by applying the detrended methodology. Then, the data were classified by re-applying AHT.

## STUDY AREA

In the present study, the maximum rainfall intensity series of a 103 stations that had different observation periods between a minimum of 42 years (1974-2015) and a maximum of 78 years (1938-2015), operated by the TSMS, distributed homogeneously in geographical terms in Turkey as given in Figure 1. The latitude, longitude, altitude, and observation periods of these stations are given in Table 1.

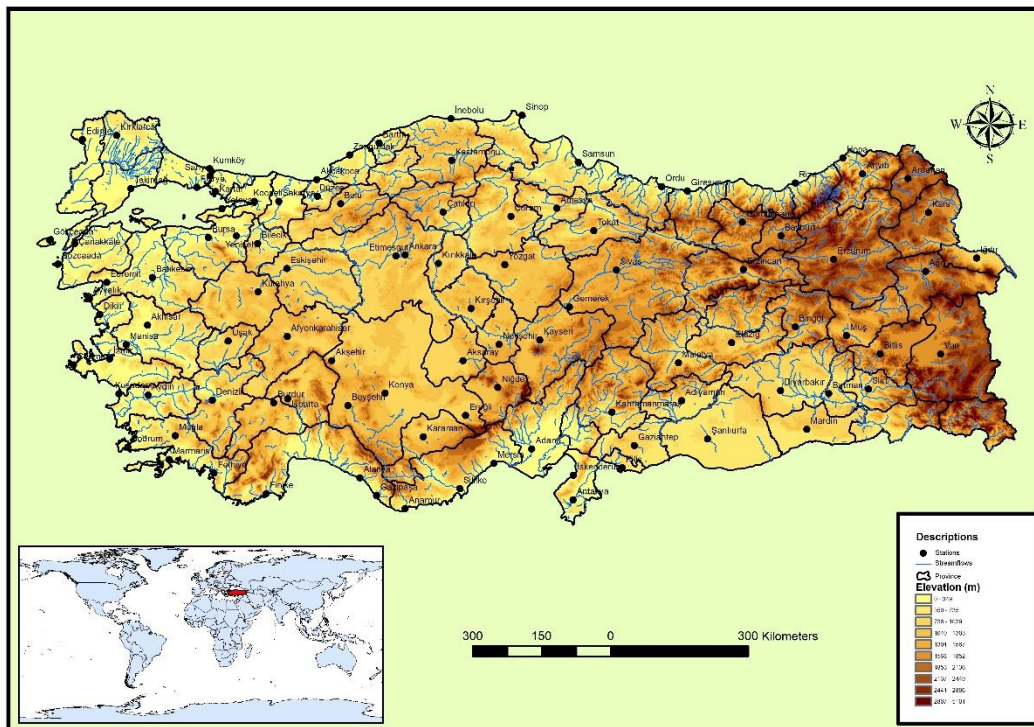


Figure 1. Geographical distribution of meteorological stations

**Table 1.** List of meteorological stations and geographical details

ID	Name	Period	Elevation (m)	Lat. (N)	Long. (E)	ID	Name	Period	Elevation (m)	Lat. (N)	Long. (E)
17015	Akçakoca	1968-2015	10	41.0895	31.1374	17172	Van	1956-2015	1675	38.4693	43.346
17020	Bartın	1966-2015	33	41.6248	32.3569	17175	Ayvalık	1967-2015	4	39.3113	26.6861
17022	Zonguldak	1945-2015	135	41.4492	31.7779	17180	Dikili	1959-2015	3	39.0737	26.888
17024	İnebolu	1959-2015	64	41.9789	33.7636	17184	Akhisar	1965-2015	92	38.9118	27.8233
17026	Sinop	1965-2015	32	42.0299	35.1545	17186	Manisa	1958-2015	71	38.6153	27.4049
17030	Samsun	1957-2015	4	41.3435	36.2553	17188	Uşak	1941-2015	919	38.6712	29.404
17033	Ordu	1965-2015	5	40.9838	37.8858	17190	Afyonkarahisar	1957-2015	1034	38.738	30.5604
17034	Giresun	1966-2015	38	40.9227	38.3878	17192	Aksaray	1965-2015	970	38.3705	33.9987
17040	Rize	1940-2015	3	41.04	40.5013	17193	Nevşehir	1965-2015	1260	38.6163	34.7025
17042	Hopa	1965-2015	33	41.4065	41.4330	17196	Kayseri	1950-2015	1094	38.687	35.5
17045	Artvin	1965-2015	613	41.1752	41.8187	17199	Malatya	1958-2015	950	38.3367	38.2173
17046	Ardahan	1967-2015	1827	41.1061	42.7055	17201	Elazığ	1957-2015	989	38.6443	39.2561
17050	Edirne	1949-2015	51	41.6767	26.5508	17203	Bingöl	1966-2015	1139	38.8847	40.5007
17052	Kırklareli	1966-2015	232	41.7382	27.2178	17204	Muş	1966-2015	1322	38.7509	41.5023
17056	Tekirdağ	1963-2015	4	40.9585	27.4965	17208	Bitlis	1966-2015	1785	38.475	42.1625
17059	Kumköy	1965-2015	38	41.2505	29.0384	17210	Siirt	1959-2015	895	37.9319	41.9354
17061	Sarıyer	1955-2015	59	41.1464	29.0502	17220	İzmir	1938-2015	29	38.3949	27.0819
17064	Kartal	1974-2015	18	40.9113	29.1558	17221	Çeşme	1966-2015	5	38.3036	26.3724
17066	Kocaeli	1945-2015	74	40.7663	29.9173	17232	Kuşadası	1966-2015	25	37.8597	27.2652
17069	Sakarya	1962-2015	30	40.7676	30.3934	17234	Aydın	1959-2015	56	37.8402	27.8379
17070	Bolu	1949-2015	743	40.7329	31.6022	17237	Denizli	1959-2015	425	37.762	29.0921
17072	Düzce	1965-2015	146	40.8437	31.1488	17238	Burdur	1964-2015	957	37.722	30.294
17074	Kastamonu	1948-2015	800	41.371	33.7756	17239	Akşehir	1964-2015	1002	38.3688	31.4297
17080	Çankırı	1959-2015	755	40.6082	33.6102	17240	İsparta	1957-2015	997	37.7848	30.5679
17084	Çorum	1958-2015	776	40.5461	34.9362	17242	Beşşehir	1965-2015	1141	37.6777	31.7463
17085	Amasya	1965-2015	40	40.6668	35.8353	17245	Konya	1950-2015	1029	37.8687	32.4713
17086	Tokat	1966-2015	611	40.3312	36.5577	17246	Karaman	1965-2015	1018	37.1932	33.2202
17088	Gümüşhane	1966-2015	1216	40.4598	39.4653	17248	Ereğli	1970-2015	1046	37.5255	34.0485
17089	Bayburt	1966-2015	1584	40.2547	40.2207	17250	Niğde	1959-2015	1211	37.9587	34.6795
17090	Sivas	1958-2015	1294	39.7437	37.002	17255	Kahramanmaraş	1966-2015	572	37.576	36.915
17094	Erzincan	1957-2015	1216	39.7523	39.4868	17261	Gaziantep	1957-2015	854	37.0585	37.351
17095	Erzurum	1956-2015	1860	39.9058	41.2544	17262	Kilis	1966-2015	640	36.7085	37.1123
17097	Kars	1965-2015	1777	40.6042	43.1073	17265	Adıyaman	1965-2015	672	37.7553	38.2775
17099	Ağrı	1967-2015	1646	39.7253	43.0522	17270	Şanlıurfa	1959-2015	550	37.1608	38.7863
17100	Iğdır	1966-2015	856	39.9227	44.0523	17275	Mardin	1966-2015	1040	37.3103	40.7284
17110	Gökçeada	1970-2015	79	40.191	25.9075	17281	Diyarbakır	1940-2015	680	37.9094	40.2133
17111	Bozcaada	1970-2015	30	39.8326	26.0728	17282	Batman	1969-2015	610	37.8636	41.1562
17112	Çanakkale	1958-2015	6	40.141	26.3993	17290	Bodrum	1965-2015	26	37.0328	27.4398
17116	Bursa	1951-2015	100	40.2308	29.0133	17292	Muğla	1944-2015	646	37.2095	28.3668
17118	Yenişehir	1986-2015	238	40.2552	29.5624	17296	Fethiye	1960-2015	3	36.6266	29.1238
17119	Yalova	1962-2015	4	40.6589	29.2796	17298	Marmaris	1966-2015	16	36.8395	28.2452
17120	Bilecik	1960-2015	539	40.1414	29.9772	17310	Alanya	1964-2015	6	36.5507	31.9803
17126	Eskişehir	1940-2015	801	39.7656	30.5502	17320	Anamur	1965-2015	2	36.0686	32.8649
17129	Etimesgut	1968-2015	806	39.9558	32.6854	17330	Silifke	1964-2015	10	36.3824	33.9373
17130	Ankara	1940-2015	891	39.9727	32.8637	17340	Mersin	1958-2015	7	36.7808	34.6031
17135	Kırıkkale	1967-2015	751	39.8433	33.5181	17351	Adana	1944-2015	23	37.0041	35.3443
17140	Yozgat	1960-2015	1301	39.8243	34.8159	17370	İskenderun	1965-2015	4	36.5924	36.1582
17145	Edremit	1965-2015	19	39.5592	27.0253	17372	Antakya	1957-2015	104	36.2048	36.1513
17150	Balıkesir	1957-2015	102	39.6326	27.9201	17375	Finike	1966-2015	2	36.3024	30.1458
17155	Kütahya	1941-2015	969	39.4171	29.9891	17636	Florya	1938-2015	37	40.9758	28.7865
17160	Kırşehir	1942-2015	1007	39.1639	34.1561	17974	Gazipaşa	1983-2015	21	36.2715	32.3045
17162	Gemerek	1966-2015	1182	39.185	36.0805						

Since the final observation year of the data employed in this study was 2015, the data that include the maximum rainfall intensities recorded until this date, and the place and dates of the observations are given in Table 2.

**Table 2.** Summary of historical maximum rainfall intensity series (TSMS)

Duration	Intensity (mm/min)	Location	Date
5'	10.10	Hopa	07.07.1988
10'	6.06	Hopa	07.07.1988
15'	4.71	Hopa	07.07.1988
30'	3.03	Hopa	07.07.1988
60'	2.18	Antalya	03.11.1995
120'	1.50	Antalya	03.11.1995
180'	1.28	Marmaris	11.12.1992
240'	1.38	Antalya	03.11.1995
300'	1.25	Antalya	03.11.1995
360'	1.08	Antalya	03.11.1995
480'	0.86	Antalya	03.11.1995
720'	0.59	Antalya	03.11.1995
1080'	0.43	Marmaris	10-11.12.1991
1440'	0.32	Marmaris	10-11.12.1991

As seen in Table 2, the highest values at 5', 10', 15' and 30' rainfall intensities were measured at

Hopa(07.07.1988); 180', 1080' and 1440' rainfall intensities were measured at Marmaris (10-11.12.1991); and 60', 120', 240', 300', 360', 480' and 720' rainfall intensities were measured at Antalya (03.11.1995). It was also seen that the rainfall intensities decreased as the duration increased.

### ABSOLUTE HOMOGENEITY TESTS (AHT)

The Standard Normal Homogeneity Test (SNHT), Buishand Rank Test (BRT), Pettitt Test (PT), and Von Neuman Ratio Test (VNRT), which are called AHT were used for the quality of meteorological data. These tests perform homogeneity analysis after examining the distributions of the data, and its logic is to identify the deviations from the means in the data. According to the results of the AHT, the data are analyzed in three classes as shown in Table 3 (Schonwiese & Rapp, 1997; Wijngaard, et al., 2003).

**Table 3.** Classes suggested by absolute homogeneity test results

Class	Code	Information
Useful	I	one or zero tests reject the null hypothesis ( $H_0$ ) at the selected level.
Doubtful	II	two tests reject the null hypothesis ( $H_0$ ) at the selected level.
Suspect	III	three or four tests reject the null hypothesis ( $H_0$ ) at the selected level.

### Standard Normal Homogeneity Test (SNHT)

This method, which was developed by Alexandersson (1986), was used successfully in testing many climatic and hydrological variables (Alexandersson, 1986). According to the  $H_0$  the hypothesis that was accepted for the test, the data were distributed independently and randomly. The test is sensitive to detect the breaks or distortions at the beginning and end of the data series (Kahya et al., 2006). With let  $Y_i$  be the value at any instant,  $\bar{Y}$  be the mean, and  $s$  the standard deviation, Alexandersson (1986) identified a  $T(k)$  statistic comparing the mean of the first  $k$  years with the last  $n-k$  years and is shown in Eq. 1.

$$T(k) = k\bar{z}_1^2 + (n - k)\bar{z}_2^2; k = 1, \dots, n \tag{1}$$

The  $\bar{z}_1$  and  $\bar{z}_2$  values given in Eq. 1 are calculated by using Eqs. 2-3.

$$\bar{z}_1 = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \left( \frac{Y_i - \bar{Y}}{s} \right) \tag{2}$$

$$\bar{z}_2 = \frac{1}{n-k} \sum_{i=1}^k \left( \frac{Y_i - \bar{Y}}{s} \right) \tag{3}$$

If the change occurs at a "k" point,  $T_{(k)}$  reaches its maximum value at  $k = K$  point.  $T_0$  test statistics is given in Eq. 4.

$$T_0 = \max_{1 \leq k \leq n} T_{(k)}. \tag{4}$$

The 95% Confidence Rank critical values for this test are given in Table 4 (Alexandersson, 1986; Jaruskova, 1996). If  $T_0$  does not exceed the critical value, the  $H_0$  hypothesis is accepted, in other words, it is considered to be homogenous (Alexandersson & Moberg, 1997).

### Buishand Range Test (BRT)

The BRT assumes that the data are distributed normally, and according to the  $H_0$  hypothesis, the data are distributed independently and randomly. This method is sensitive in detecting the distortions in the middle of the time series (Wijngaard et al., 2003). In this test, the partial sums are calculated as given in Eq. 5.

$$S_0^* = 0 \text{ and } S_k^* = \sum_{i=1}^k (Y_k - \bar{Y}); k = 1, \dots, n \tag{5}$$

When the data series is homogeneous, the  $S_0^*$  value will be "0" since there will be no systematic deviation of  $Y_i$ . The rate of the difference between the maximum and minimum  $S_k$  to the number of the data yields the  $R$  correction rate, which is calculated as the standard deviation as given in Eq. 6 (Wijngaard et al., 2003).



$$R = \frac{\max_{0 \leq k \leq n} S_k^* - \min_{0 \leq k \leq n} S_k^*}{s} \tag{6}$$

Buishand (1982) gave the critical  $\frac{R}{\sqrt{n}}$  values that corresponded 95% Confidence Rank for this test in Table 4. If the  $\frac{R}{\sqrt{n}}$  value does not exceed the critical value, the  $H_0$  hypothesis is accepted, in other words, it is acceptable, and the data are homogenous.

**Pettitt Test (PT)**

This non-parametric method, which was developed by Pettitt (1979) to identify the change point in a time series, can find the change point on a monthly or annual scale (Pettitt, 1979). The null hypothesis denotes that the series has independent and random distribution, but the alternative hypothesis denotes that there is a sudden change. The test statistic is related to the Mann-Whitney Statistic (Wijngaard et al., 2003; Yerdelen, 2013). This test is least affected by outliers. Let the ranks of  $Y_1, \dots, Y_n$  series be  $r_1, \dots, r_n$ , the test statistic is calculated according to Eq. 7;

$$X_k = 2 \sum_{i=1}^k r_i - k(n + 1); k = 1, \dots, n \tag{7}$$

The result of this test is shown as  $E$  chart. If there is a break in  $E$  year, the statistic is maximum or minimum when close to  $k=E$  year (Eq. 8).

$$X_E = \max_{1 \leq k \leq n} |X_k| \tag{8}$$

The evaluation is made by considering the critical  $X_k$  values given in Table 4 identified for 95% Confidence Interval by Pettitt (1979) (Wijngaard et al., 2003).

**Von Neumann Ratio Test (VNRT)**

According to the  $H_0$  hypothesis in the VNRT, the data are not randomly distributed. According to the opposite hypothesis; however, the time series considered is distributed randomly. This test does not detect a specific place where the homogeneity is disrupted and does not provide data on when the homogeneity is disrupted (Wijngaard et al. 2003).

Von Neuman Ratio  $N$  is calculated as in Eq. 9 and is defined as the ratio of the sum of the year-to-year mean values to the variance value (Von Neuman, 1941).

$$N = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (Y_i - \bar{Y}_{i+1})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \tag{9}$$

If the resulting value of the test is greater than the identified critical value, the dataset is considered to be homogeneous. The critical values at 95% confidence interval are given in Table 4 (Owen, 1962; Buishand, 1981).

**Table 4.** Critical values of AHT based on data count at 95% Confidence Interval

N	20	30	40	50	70	100
SNHT	6.95	7.65	8.10	8.45	8.80	9.15
BRT	1.43	1.50	1.53	1.55	1.59	1.62
PT	57	107	167	235	393	677
VNRT	1.30	1.42	1.49	1.54	1.61	1.67

**RESULTS**

It is required in hydrological studies that the data be homogeneous. However, meteorological data such as precipitation and temperature, the errors stemming from the tools and methods used during measurements, environmental factors, etc. sometimes have an inhomogeneous structure because of many factors. For this reason, the series of the stations must be tested with homogeneity analysis methods before the analyses (Sahin, 2009; Sahin and Cigizoglu, 2010). In this context, the results of the Absolute Homogeneity Test regarding the rainfall intensity series of the 103 stations across Turkey are evaluated and classified according to Table 3 (results are given in Table 5).

**Table 5.** AHT class results of the stations

ID	5'	10'	15'	30'	60'	120'	180'	240'	300'	360'	480'	720'	1080'	1440'
17015														
17020							III	III	III	III	III	III	III	
17022														
17024							III	III	III	III	III	III	III	III
17026						III	III	III	III					
17030								III	III	III	III	III		
17033														
17034														
17040									III	III	III	III	III	
17042							III	III	III	III	III	III	III	
17045	III	III	III	III	III									
17046														
17050							III	III	III	III	III			
17052														
17056							III			III		III	III	II
17059			III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	II
17061	III	III	III		III	III	III	III	III	III	III	III	III	III
17064	III	III												
17066				III		III	III	III	III	III	III			
17069				III	III	III	III	III	III	III				
17070														
17072														
17074														
17080														
17084														
17085														
17086														
17088														
17089														
17090														
17094														
17095														
17097							III	III	III		III	III	III	III
17099														
17100														
17110												III	III	
17111														
17112														
17116														
17118														
17119	III													
17120						III	III	III	III	III	III			
17126														
17129	III			III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	
17130	III	III												
17135														
17140														
17145														
17150	III													
17155													III	
17160				III	III	III	III	III	III	III	III	III	III	II
17162														
17172														
17175														
17180				III	III	III	III	III	III		III	III		
17184						III	III	III	III		III	III	III	
17186										III				
17188														
17190														II
17192								III						
17193														
17196		II											II	
17199	III													
17201								III	II	II	III	II	II	
17203														
17204														
17208					II							III	III	

ID	5'	10'	15'	30'	60'	120'	180'	240'	300'	360'	480'	720'	1080'	1440'
17210														
17220					II	III	III	III	III	III	III	III	III	II
17221							II	II	II	III	III		II	II
17232						II	III	III	III	III	III	III	III	III
17234			II	II	II	III	III	III	II	II	II	II	II	
17237														
17238														
17239	II													
17240										II	II			
17242														II
17245														
17246														
17248														
17250					II									
17255	II							II	III	II				II
17261														
17262														
17265														
17270														
17275														III
17281					II			II	II	III	III	II	III	
17282														
17290				II				II		II	III	III	II	II
17292			II			II	II							
17296		II	II	II	II	II	III	III	III	III	III	III	III	
17298						II	II		II	II	II	III	II	III
17310	II													
17320	III													
17330	II	II	II											
17340												II		
17351	III	II		II	II	III	III	III	II	II	II	II		
17370	II													
17372														
17375														
17636				II	III	III	III	III	III	III	III	III		
17974														
<b>I</b>	<b>88</b>	<b>95</b>	<b>96</b>	<b>92</b>	<b>88</b>	<b>85</b>	<b>78</b>	<b>75</b>	<b>75</b>	<b>74</b>	<b>77</b>	<b>77</b>	<b>79</b>	<b>88</b>
<b>II</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>9</b>
<b>III</b>	<b>10</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>14</b>	<b>22</b>	<b>24</b>	<b>22</b>	<b>22</b>	<b>22</b>	<b>21</b>	<b>18</b>	<b>6</b>

As a result of the AHT, the rainfall intensity series of 49 stations were classified to be useful. As it is seen in Table 5, the classification of all rainfall intensity series was obtained. The most appropriate series for using was at rainfall with 15' duration, the least series appropriate for using was determined at 360' rainfall with 74 stations. The geographical distribution of the stations identified to be homogeneous for 14 standard durations is given in Figure 2.

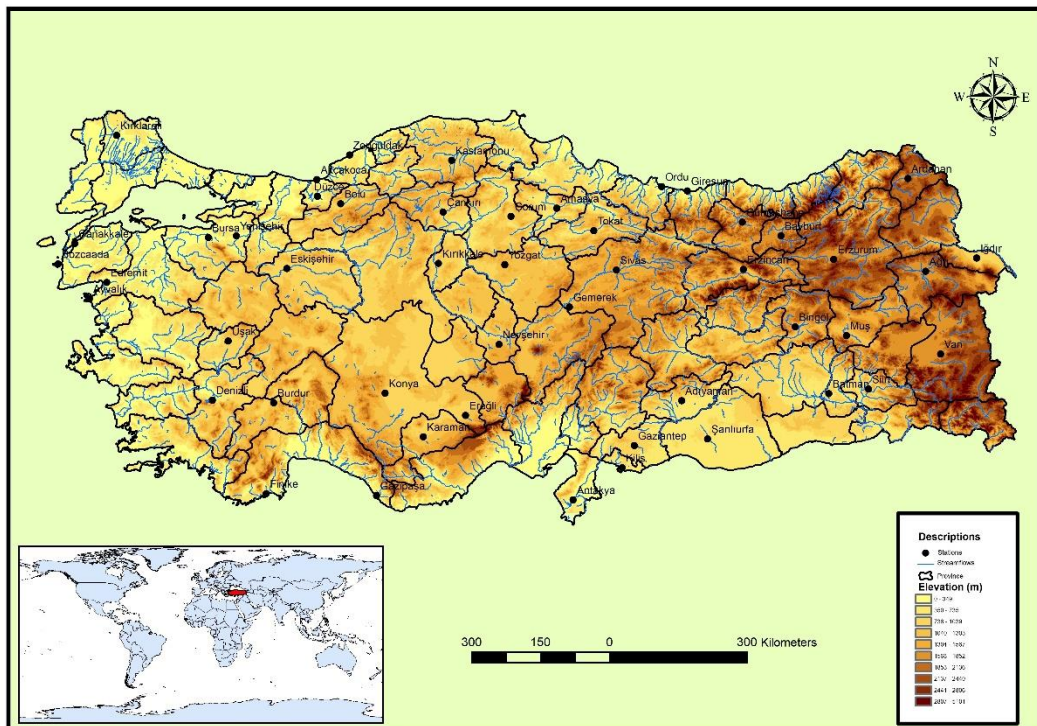
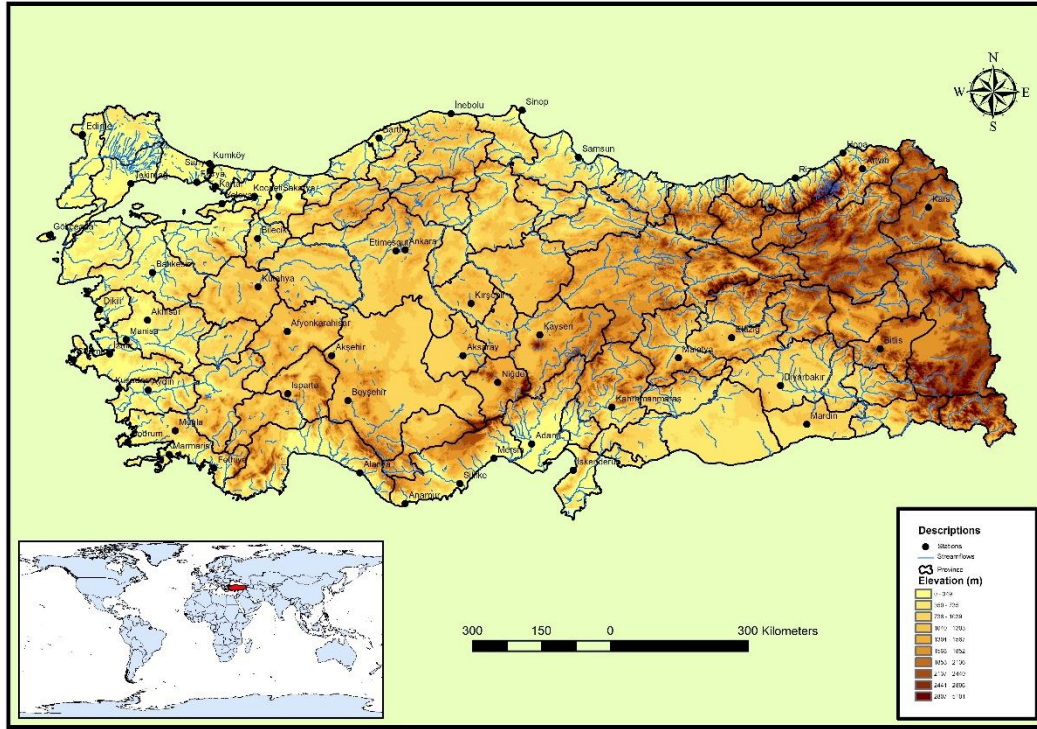


Figure 2. Geographical distribution of the useful stations

According to the results of AHT, the datas of the 54 meteorological observation stations were identified as doubtful or suspect for at least 1 standard duration. The station that had the lowest measurement quality was found to be Sariyer with 13 problematic series, which was followed by Kumköy and Fethiye with 12 problematic series. The geographical distribution of the stations that had doubtful/suspect values as a result of the AHT is shown in Figure 3.



**Figure 3.** Geographical distribution of the doubtful/suspect stations

The disruption of the homogeneity in rainfall intensities of stations may occur because of a sudden rise or fall trends in temperatures with factors such as urbanization, as well as artificial reasons such as changing the location of the stations (Turkes et al., 2002; Sahin & Cigizoglu, 2010). For this reason, long-term climate changes and trends must be interpreted with care (Houghton et al., 1992; Sahin, 2009; Sahin & Cigizoglu, 2010). It was considered that the reason for the loss of homogeneity in stations with doubtful/suspect data of the 54 stations that were not suitable for use is possible trends, and therefore, the trend component in the time series was removed (Zeybekoglu & Ulke Keskin, 2020) by using the methodology suggested by Peng et al. (1994, 1995). The AHT were re-applied to the datasets which were free from the trend. The classes determined according to the results of the AHT of the series of the 54 stations that were not suitable for use at the end of the first stage and were separated from the trend component are given in Table 6.

**Table 6.** Absolute Homogeneity Test results of the stations that underwent DFA

ID	5'	10'	15'	30'	60'	120'	180'	240'	300'	360'	480'	720'	1080'	1440'
17020														
17024														
17026														
17030														
17040														
17042														
17045														
17050														
17056														
17059														
17061														
17064	III	III												
17066														
17069														
17097														
17110														
17119	II													
17120														
17129				II	II	II	II	II	II	II	II	II	II	II
17130	III													
17150														
17155														
17160														
17180														
17184														
17186														
17190														
17192														
17196														
17199														
17201								II						
17208														
17220														
17221														II
17232														
17234														
17239														
17240														
17242														
17250														
17255														
17281														
17290										II	II	II	II	II
17292														
17296														
17298														
17310														
17320														
17330														
17340														
17351		II			II	III	II	II						
17370														
17636														
<b>I</b>	<b>51</b>	<b>52</b>	<b>54</b>	<b>53</b>	<b>52</b>	<b>52</b>	<b>52</b>	<b>51</b>	<b>53</b>	<b>52</b>	<b>52</b>	<b>52</b>	<b>52</b>	<b>52</b>
<b>II</b>	<b>1</b>	<b>1</b>		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>
<b>III</b>	<b>2</b>	<b>1</b>					<b>1</b>							

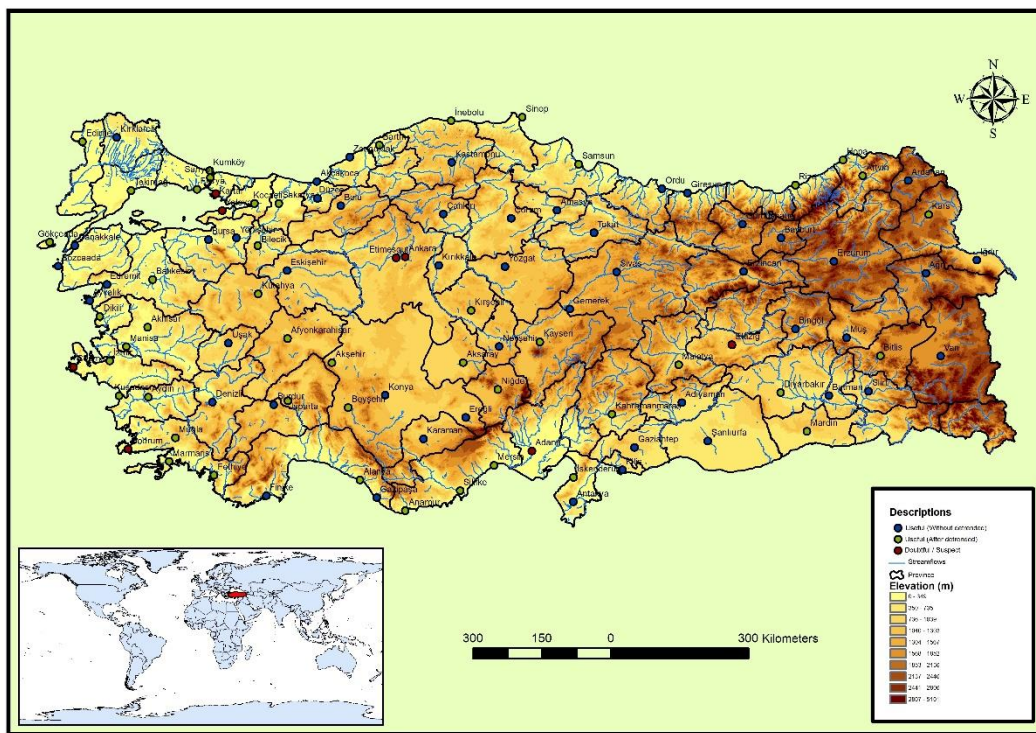
When Table 6, which shows the Absolute Homogeneity Test results of the rainfall intensity series separated from the trend component by the DFA process is examined, it is found that Yalova (17119), Elazığ (17201), Çeşme (17221), and Ankara (17130) yielded doubtful/suspect values in 1 standard duration, Kartal (17064)

yielded doubtful/suspect values in 2 durations, Bodrum (17290) and Adana (17351) in 5 standard durations, and Etimesgut (17129) in 10 standard durations. The rainfall intensity series of the 14 standard durations of the 46 stations other than these 8 stations were classified as useful as a result of AHT.

## CONCLUSION

The reliability of the observation data that are employed in hydro-meteorological studies is evaluated before the water resources, hydrological processes, and climate change studies are conducted. In this study, the maximum rainfall intensity series of a total of 103 stations across Turkey were examined by employing AHT. In the application of the homogeneity tests, which was made in two stages, the rainfall intensity data of useful and non-useful (doubtful/suspect) periods for use at the stations were determined in the first stage. In the second stage, the trend component is allocated to the rainfall intensities of the stations that are not suitable for use. Homogeneity Tests were applied again. After the second stage, an approach was preferred to suggest that stations with problematic or suspicious data, in other words, inhomogeneous data, must not be employed in future studies in at least 1 standard duration.

The geographical distribution of the 95 stations, 49 of which were at the end of the first stage and 46 of which were at the second stage, is given in Figure 4. Yalova, Elazığ, Çeşme, Ankara, Kartal, Bodrum Adana, and Etimesgut were found to have doubtful/suspect values according to the results of the homogeneity analysis performed after the trend component was separated.



**Figure 4.** Geographical distribution of the station classes

The stations shown with black circles in Figure 4 are the stations that are suitable for use after the first stage, and the stations that are suitable for use after the second stage are indicated with black circles. The stations with a green circle show those that are recommended not to be used because of doubtful/suspect values in the AHT and DFA.

It is considered that the rainfall intensity series of 95 stations can be employed easily in climatic and hydrological studies. It is recommended that it would not be accurate to use the rainfall intensity series of the remaining 8 stations, and if they are used, it is recommended to carefully investigate the reasons for the deterioration of homogeneity.

## Acknowledgements

The Authors would like to thank the Turkish State Meteorological Service for providing the data. The authors also thank the anonymous reviewers who expressed their opinions on the development of the manuscript.

## Conflict of Interest

The authors declare no competing interests.

## REFERENCES

- Agha OMAM., Bagcaci SC., Sarlak N. Homogeneity analysis of precipitation series in North Iraq. *IOSR Journal of Applied Geology and Geophysics* 2017; 5(3) Ver. II: 57–63.
- Ahmed K., Nawaz N., Khan N., Rasheed B., Baloch A. Inhomogeneity detection in the precipitation series: case of arid province of Pakistan. *Environment, Development and Sustainability* 2021; 23:7176–7192. <https://doi.org/10.1007/s10668-020-00910-y>
- Aksu H., Cetin M., Aksoy H., Yaldiz SG., Yildirim I., Keklik G. Spatial and temporal characterization of standard duration-maximum precipitation over Black Sea Region in Turkey. *Natural Hazards* 2022; 111: 2379–2405. <https://doi.org/10.1007/s11069-021-05141-6>
- Alexandersson H. A homogeneity test applied to precipitation data. *Journal of Climate* 1986; 6(6):661–675 <https://doi.org/10.1002/joc.3370060607>
- Alexandersson H., Moberg A. Homogenization of Swedish temperature data. Part I: Homogeneity test for linear trends. *International Journal of Climatology* 1997; 17(1): 25-34. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0088\(199701\)17:1<25::AID-JOC103>3.0.CO;2-J](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0088(199701)17:1<25::AID-JOC103>3.0.CO;2-J)
- Ay M. Trend and homogeneity analysis in temperature and rainfall series in western Black Sea region, Turkey. *Theoretical and Applied Climatology* 2020; 139: 837–848. <https://doi.org/10.1007/s00704-019-03066-6>
- Ay M. Trend tests on maximum rainfall series by a novel approach in the Aegean region, Turkey. and *Atmospheric Physics* 2021; 133: 1041–1055. <https://doi.org/10.1007/s00703-021-00795-0>
- Bickici Arıkan B. Prediction of drought indices based on hydroclimatological data. Istanbul Technical University PhD Thesis, Istanbul, Turkey, 2018.
- Bickici Arıkan B., Kahya E. Homogeneity revisited: analysis of updated precipitation series in Turkey. *Theoretical and Applied Climatology* 2018; 135(1–2): 1–10. <https://doi.org/10.1007/s00704-018-2368-x>
- Buishand TA. The analysis of homogeneity of long-term rainfall records in the Netherlands. The Royal Netherlands Meteorological Institute, 1981
- Buishand TA. Some methods for testing of rainfall records. *Journal of Hydraulics* 1982; 58(1-2): 11–27. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(82\)90066-X](https://doi.org/10.1016/0022-1694(82)90066-X)
- Conrad V., Pollak C. *Methods in climatology*. Cambridge: Harvard University Press, 1950.
- Demir S., Karakaya K., Kavuncu O., Akdoğan, Y. trend analysis of climate parameters of Ordu province and determination of change point. *Gaziosmanpasa Journal of Scientific Research* 2021; 10(1): 128-141.
- Em A., Hamidi N., Toprak, ZF. Variation in annual total precipitation and its homogeneous analysis at GAP Region. 1st Turkey Climate Change Congress, 11-13 April 2007, 379-393, Istanbul.
- Eris E., Agiralioglu N. Homogeneity and trend analysis of hydrometeorological data of the Eastern Black Sea Region, Turkey. *Journal of Water Resource and Protection* 2012; 4(2): 99-105. <https://doi.org/10.4236/jwarp.2012.42012>
- Feng S., Hu Q., Qian W. Quality control of daily meteorological data in China, 1951–2000: a new dataset.

- Firat M., Dikbas F., Koc AC., Gungor M. Missing data analysis and homogeneity test for Turkish precipitation series. *Sadhana-Academy Proceedings in Engineering Sciences* 2010; 35(6): 707–720. <https://doi.org/10.1007/s12046-010-0051-8>
- Gokturk OM., Bozkurt D., Sen OL., Karaca M. Quality control and homogeneity of Turkish precipitation data. *Hydrological Processes* 2008; 22(16), 3210–3218. <https://doi.org/10.1002/hyp.6915>
- Gonzalez-Rouca JF., Jimenez JL., Quesada V., Valero F. Quality control and homogeneity of precipitation data in the Southwest of Europe. *Journal of Climate* 2001; 14: 964-978. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2001\)014<0964:QCAHOP>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2001)014<0964:QCAHOP>2.0.CO;2)
- Haktanir T., Citakoglu H. Trend, independence, stationarity and homogeneity tests on maximum rainfall series of standard durations recorded in Turkey. *Journal of Hydrologic Engineering* 2014; 19(9): 1–13. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0000973](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000973)
- Hanssen-Bauer I., Førland J. Homogenizing long Norwegian precipitation series. *Journal of Climate* 1994; 7: 1001–1013. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1994\)007<1001:HLNPS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1994)007<1001:HLNPS>2.0.CO;2)
- Houghton J., Callendar BA., Varney SK., Eds. (1992): *Climate Change: The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment*. Cambridge University Press.
- Jaruskova D. Change-point detection in meteorological measurement. *Monthly Weather Review* 1996; 124: 1535-1543. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1996\)124<1535:CPDIMM>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1996)124<1535:CPDIMM>2.0.CO;2)
- Kahya E., Cigizoglu HK., Dorum A., Karabork MC., Kömüçü UA., Cengiz MT., Martı IA., Tarhan M. El Nino ve La Nina Olaylarının Etkileri ile Türkiye'deki Yağış Zaman Serilerinin Karakteristik Özelliklerindeki ve Dağılımlarındaki Değişkenlerin Analizi, YDABAG 102Y146, Research Project. The Scientific and Technological Research Council of Turkey (TUBITAK), Turkey (in Turkish), 2006.
- Kang HM., Yusof F. Homogeneity tests on daily rainfall series in Peninsular Malaysia. *International Journal of Contemporary Mathematical Sciences* 2012; 7(1): 9-22.
- Karabork MC., Kahya E., Komuscu AU. Analysis of Turkish precipitation data homogeneity and the Southern Oscillation forcings on frequency distributions. *Hydrological Processes* 2007; 21(23): 3203–3210. <https://doi.org/10.1002/hyp.6524>
- Khalil A. Inhomogeneity detection in the rainfall series for the Mae Klong River Basin, Thailand. *Applied Water Science* 2021; 11:147. <https://doi.org/10.1007/s13201-021-01474-6>
- Mair A., Fares A. Assessing rainfall data homogeneity and estimating missing records in Mākaha Valley, O'ahu, Hawai'i. *Journal of Hydrologic Engineering* 2010; 15(1): 61-66. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0000145](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000145)
- Owen DB. *Handbook of Statistical Tables*. Addison-Wesley, Reading, Mass: Addison-Wesley Pub. Co., 1962.
- Peng CK., Buldyrev SV., Havtin S., Simons IM., Stanley HE., Goldberger AL. Mosaic organization of DNA nucleotides. *Physical Review E* 1994; 49(2): 1685–1689. <https://doi.org/10.1103/physreve.49.1685>
- Peng CK., Havlin S., Stanley HE., Goldberger AL. Quantification of scaling exponents and crossover phenomena in nonstationary heartbeat time series. *Chaos* 1995; 5(1): 82-87. <https://doi.org/10.1063/1.166141>
- Peterson, TC., Easterling DR. Creation of homogeneous composite climatological reference series.



- Pettitt AN. A non-parametric approach to the change-point detection. *Applied Statistics* 1979; 28(2): 126–135. <https://doi.org/10.2307/2346729>
- Pirnia A., Golshan M., Darabi H., Adamowski J., Rozbeh S. Using the Mann–Kendall test and double mass curve method to explore stream flow changes in response to climate and human activities. *Journal of Water and Climate Change* 2019; 10(4): 725–742. <https://doi.org/10.2166/wcc.2018.162>
- Sahin S. Applying artificial neural networks on determining climate zones and comparison with the Ward's Method. Istanbul Technical University PhD Thesis, Istanbul, Turkey, 2009.
- Sahin S., Cigizoglu HK. Homogeneity analysis of Turkish meteorological data set. *Hydrological Processes* 2010; 24(8): 981–992. <https://doi.org/10.1002/hyp.7534>
- Salarijazi M., Akhond AA., Adib A., Daneshkhah A. Trend and change-point detection for the annual stream-flow series of the Karun river at the Ahvaz hydrometric station. *African Journal of Agricultural Research* 2012 7(32): 4540–4552. <https://doi.org/10.5897/AJAR12.650>
- Schonwiese CD., Rapp J. *Climate Trend Atlas of Europe Based on Observations 1891–1990*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1997.
- Serra C., Burguen A., Lana X. Analysis of maximum and minimum daily temperatures recorded at Fabra Observatory (Barcelona, NE Spain) in the period 1917–1998. *International Journal of Climatology* 2001; 21(5): 617–636. <https://doi.org/10.1002/joc.633>
- Sonmez I. Quality control tests for western Turkey Mesonet. *Meteorological Application* 2013; 20(3): 330–337. <https://doi.org/10.1002/met.1286>
- Suhaila J., Deni SM., Jemain AZ. Detecting inhomogeneity in Peninsular Malaysian rainfall series. *Asia-Pacific Journal of the Atmospheric Sciences* 2008; 44(4): 369-380.
- Suhaila J., Yusop Z. Trend analysis and change point detection of annual and seasonal temperature series in Peninsular Malaysia. *Meteorology and Atmospheric Physics* 2018; 130(5): 565–581. <https://doi.org/10.1007/s00703-017-0537-6>
- Talae PH., Kouchakzadeh M., Shifteh Some'e B. Homogeneity analysis of precipitation series in Iran. *Theoretical and Applied Climatology* 2014; 118(1–2): 297–305. <https://doi.org/10.1007/s00704-013-1074-y>
- Tayanc M., Dalfes H., Karaca M., Yenigün O. A comparative assessment of different methods for detecting inhomogeneities in Turkish temperature data set. *International Journal of Climatology* 1998; 18(5): 561–578. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0088\(199804\)18:5<561::AID-JOC249>3.0.CO;2-Y](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0088(199804)18:5<561::AID-JOC249>3.0.CO;2-Y)
- Tsega M., Tibebe D. Homogeneity tests on rainfall records for selected meteorological stations in Ethiopia. *Advanced Journal of Agricultural Research and Reviews* 2018; 2(3): 72–78.
- Turkes M. Spatial and temporal analysis of annual rainfall variations in Turkey. *International Journal of Climatology* 1996; 16: 1057–1076. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0088\(199609\)16:9<1057::AID-JOC75>3.0.CO;2-D](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0088(199609)16:9<1057::AID-JOC75>3.0.CO;2-D)
- Turkes M. Spatial and temporal variations in precipitation and aridity index series of Turkey. In: Bolle HJJ. (ed.) *Mediterranean Climate*. Heidelberg: Springer Verlag 2002; 181-213. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-55657-9\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-642-55657-9_11)

- Turkes M., Sumer UM., Kilic G. Observed changes in maximum and minimum temperatures in Turkey. International Journal of Climatology 1996; 16(4): 463-477. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0088\(199604\)16:4<463::AID-JOC13>3.0.CO;2-G](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0088(199604)16:4<463::AID-JOC13>3.0.CO;2-G)
- Turkes M., Sumer UM., Kilic G. Persistence and periodicity in the precipitation series of Turkey and associations with 500 hPa geopotential heights. Climate Research 2002; 21: 59-81. <https://doi.org/10.3354/cr021059>
- Turkish State Meteorological Service (TSMS). Standart Zamanlardaki Maksimum Yağışlar ve Tekerrür Analizi. Ankara, Turkey. <https://mgm.gov.tr/genel/hidrometeoroloji.aspx?s=6> .
- Von Neumann J. Distribution of the ratio of the mean square successive difference to the variance. Annals of Mathematical Statistics 1941; 13: 367– 395. <https://doi.org/10.1214/aoms/1177731677>
- Wijngaard JB., Klein Tank AMG., Konnen GP. Homogeneity of 20th century European daily temperature and precipitation series. International Journal of Climatology 2003; 23: 679–692. <https://doi.org/10.1002/joc.906>
- Yerdelen C. Investigation of trend analysis and change point detection for annual mean streamflows of Susurluk Basin. Dokuz Eylul University Faculty of Engineering Journal of Engineering Sciences 2013; 15(44): 77-87.
- Yesilirmak E., Akcay S., Dagdelen N., Gurbuz T., Sezgin F. Quality Control and Homogeneity of Annual Precipitation Data in Büyük Menderes Basin, Turkey. International Meeting on Soil Fertility Land Management and Agroclimatology. Turkey, 29 October - 01 November 2008; pp. 225-233, Aydin.
- Zaifoglu H., Akintug B., Yanmaz AM. Quality control, homogeneity analysis and trends of extreme precipitation indices in Northern Cyprus. Journal of Hydrologic Engineering 2017; 22(12): 1–14. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0001589](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001589)
- Zeybekoglu U., Ulke Keskin A. Detrended fluctuation analyses of rainfall intensities: a case study. International Journal of Global Warming 2020; 21(2): 141-154. <https://doi.org/10.1504/IJGW.2020.108175>

**Bir Tekstil İşletmesinin Boyahane Bölümlerinde Yapılan Verimlilik Çalışmalarının İncelenmesi**  
**Investigation of the Productivity Studies Made in the Dye Shop Department of a Textile Enterprise**

Sultan ARAS ELİBÜYÜK, Şaban YUMRU, Mustafa ÇÖREKÇİOĞLU  
Ozanteks Tekstil San. ve Tic. A.Ş. Ar-Ge Merkezi, Denizli, Türkiye

Doi: 10.51764/smutgd.1110604

Geliş Tarihi : 29.04.2022

**ÖZET**

Kabul Tarihi : 21.10.2022

Gün geçtikçe artan nüfusun beraberinde getirdiği sorunlardan olan küresel ısınma, su kaynaklarının hızla tükenmesi su kullanımı konusunda kısıtlamaları artırmakta ve bunun sonucunda su tüketim yasaları çıkarılmaktadır. Böylece üreticiler ve tüketiciler tarafından daha çevreci ve sürdürülebilir üretim prosesleri geliştirilmektedir. Tekstil boyahane işletmelerinde hammadde kullanımında en az seviyeye indirmek için yapılan çalışmaların sayısı her geçen gün artmaktadır. Ön terbiye, boyama ve diğer proseslerden kaynaklanan yüksek kimyasal yük, atık su kullanım oranı ve enerji maliyeti tekstil fabrikalarında kullanılan proseslere göre değişkenlik göstermektedir.

Firmamız üretim işlemlerinde çevre ile dost, ekonomiye katkı sağlayan çalışmaları desteklemeyi amaçlamaktadır. Boyahane bölümünde de üretim yaparken enerji, su, kimyasal vb. gibi hammadde kaynaklarını da tasarruflu kullanmayı hedeflemektedir. Bu çalışmada boyahane işletmesinde Parça boyama, Pad Batch ve HT boyama işletmelerinde yapılan verimlilik çalışmaları incelenmiştir. Boyama adımlarında en çok enerji, su ve kimyasal harcanan adımlar ortaya çıkarılmıştır. Bu kapsamda yeni alternatif çözümlerle verimlilik çalışmaları yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar eski yöntemlerle karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda yeni uygulanan yöntemlerin kumaşlar üzerinde sorun yaratmadığını ve eski yöntemle göre daha iyi haslık verimi sağladığı sonuçlarda gösterilmiştir. Yapmış olduğumuz iyileştirmelere benzer çalışmalar, literatürde yer almaktadır. Fakat işletmemizde ilk defa uygulanmış, başarılı olunmuş ve diğer fabrikalara örnek olunacak proses adımları ortaya çıkmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Tekstil sanayisi, Boyahane verimliliği, Sürdürülebilirlik, Çevreci Üretim

**ABSTRACT**

Global warming, which is one of the problems brought by the increasing population day by day, and the rapid depletion of water resources have increased the restrictions on water use, and water consumption laws are enacted. Thus, producers and consumers develop more environmentally friendly and sustainable production processes. The number of studies carried out to minimize the use of raw materials in textile dyehouse enterprises is increasing day by day. The high chemical load, waste water usage rate and energy cost resulting from pretreatment, dyeing and other processes vary according to the processes used in textile factories.

Our company aims to support environmentally friendly studies that contribute to the economy in production processes. While producing in the dyehouse, energy, water, chemicals, etc. It also aims to use raw material resources sparingly. In this study, the efficiency studies carried out in the Part dyeing, Pad Batch and HT dyeing plants in the dye house of our company were examined. The steps that consumed the most energy, water and chemicals in the dyeing steps were revealed. In this context, efficiency studies were carried out with new alternative solutions. Obtained results were compared with old methods. As a result of the comparison, it has been shown in the results that the newly applied methods do not cause any problems on the fabrics and provide better fastness efficiency than the old method. Studies similar to the improvements we have made are available in the literature. However, the process steps that were applied for the first time in our enterprise, were successful and set an example for other factories emerged.

**Keywords:** Textile industry, Dyehouse efficiency, Sustainability, Environmentally friendly production

Sultan ARAS ELİBÜYÜK: ORCID: 0000-0002-1866-6332, [saras@ozanteks.com.tr](mailto:saras@ozanteks.com.tr)

Şaban YUMRU, ORCID: 0000-0001-9102-6078, [syumru@ozanteks.com.tr](mailto:syumru@ozanteks.com.tr)

Mustafa ÇÖREKÇİOĞLU, ORCID: 0000-0001-7976-6049, [mcorekcioglu@ozanteks.com.tr](mailto:mcorekcioglu@ozanteks.com.tr)

## GİRİŞ

Nüfusun artması ile beraberinde getirdiği üretim ve tüketim sayılarındaki yükselmeler, hızla gelişen teknoloji, çevre kirliliğini artması sonucunda sınırlı olan doğal kaynakların korunması ve enerji tasarrufu sağlamak gibi sebepler geri dönüşüm kavramı ve sürdürülebilir üretimin önemini artırmıştır (Karahana, 2021) .

Tekstil firmaları, üretimin her sürecinde sürdürülebilir faaliyetlerin yer almasını gerekli kılmaktadır. Tekstil sektörü, dünya genelinde petrol sektöründen sonra en çok kirlilik yaratan ikinci sektördür. Bu sektörler için uluslararası çözümler üretmek isteyen kuruluşlar, geri kazanım ve yeniden kullanım alanlarında çalışmalar yürütmektedirler (Öcal, 2006).

Artan dünya nüfusu ile birlikte azalan kaynaklar, gelecek nesillerin yaşamını tehdit altına alıyor olması sebebi ile bilim insanlarını çözüm arayışına girmiştir. Sanayileşmenin artmasıyla birlikte giderek daha hızlı azalmaya başlayan kaynaklarımız, eko sistemdeki tüm canlıları etkilemiştir. İnsanlar yaşamlarını sorunsuz sürdürebilmek için farklı arayışlara ve çözüm yollarına girmişlerdir. Böylece bu sorunlara yanıt bulabilmek için sürdürülebilirlik kavramı ortaya çıkmıştır (Koca vd., 2016:221).

Sürdürülebilirlik, günümüzde üretim şirketleri için giderek daha önemli bir ihtiyaç haline gelmiştir. Sürdürülebilirliğe olan ilginin artmasında; çevresel kaygılar, yenilenemeyen kaynakların azaltılması, daha katı yasalar, şişirilmiş enerji maliyetleri ve çevre dostu ürünler için tüketici tercihini artırmak vb.dir (Giret vd., 2015: 126).

Tekstil sanayisi, katma değerli üretim, istihdam ve ihracattaki payı ile Türk ekonomisinin önemli bir dalıdır. Son yıllarda bu sektöründe rekabet etmek de son derece zor duruma gelmiştir. Rekabet edilebilirliğin en önemli şartı da maliyetleri aşağıya çekebilme (Cabak, 2018: 76).

Tekstil ürünlerinin imalatı sektörü, özellikle de terbiye işlemlerini içeren tekstil ürünlerinin bitirilmesi, su tüketiminin fazlalığı ile üretim içerisinde önemli bir yere sahiptir. Yüksek miktardaki su ihtiyaçları genellikle yeraltı su kaynaklarından karşılanmaktadır. Yeraltı su kaynaklarından temin edilen ham sular, su yumuşatma işleminin ardından yoğun olarak boyama ve terbiye işlemlerinde ve buhar kazanlarında kullanılmaktadır. Su değerlerinin tüketimi; mamulde kullanılan lif türüne, tekstil materyalinin formuna, uygulanan tekniklere ve proses sürelerine göre farklılaşmaktadır (Öztürk, 2014; Tekstil Ürünlerinin Bitirilmesi Kaynak Verimliliği Rehberi, 2018; US EPA, 1979; TSKR, 2012).

Tekstil sektöründe en fazla kimyasal madde ve boyarmaddenin kullanıldığı, en fazla enerjinin harcandığı bölüm de terbiye daireleridir. Ham kumaşlar boyahaneye geldiği takdirde boyama öncesinde haşıl sökme ağartma ve ön yıkama gibi işlemlere tabi tutulmaktadır. Boyama ve boyama sonrası işlemlerde ise tekrarlı yıkamalar, apre uygulamaları vb. gibi ard işlemlerle fazla miktarlarda temiz su kullanılmaktadır. Kullanım sonucunda da atık su yükü oluşmaktadır. Tekstil sektöründe yaklaşık olarak 28 milyar kg/yıl ürün boyanmakta ve 1 kg tekstil malzemesinin boyama işlemlerinde genel olarak yaklaşık 100-150 litre suya ihtiyaç bulunmaktadır (Textile Machinery 3, 2010; Nandhakumar et al. 2012).

Su ve enerjiden tasarruf edebilmek için aynı anda boyama, ön işlem ve yıkama adımlarının birlikte yapılması gibi bazı proses adımları beraber yapılmaktadır. Aynı banyo içinde gerçekleştirilen bu işlemlerde kimyasal maddelerin birbirleriyle olan etkileşimi önemlidir. Bu durum göz önünde bulundurularak işlemler uygulanmaktadır. Sektörde özellikle tekstil terbiye işlemlerinde gerçekleştirilen su ve kimyasal tüketimlerine bağlı olarak oluşan atık sular, hem kirlilik yükü hem de miktar bakımından önemli bir yer tutmaktadır. Tekstil ürünlerinin boyanmasında kullanılan boyarmaddeler, toksik ve biyolojik olarak zor parçalanabilen yabancı maddeler kirliliği artırır (European Commission, 2003).

Tekstil ürünlerinin imalatı genel olarak ısı enerjisi ve elektrik tüketiminin yoğun olduğu sektörler arasındadır. Tekstil ürünlerinin bitirilmesi alt sektöründe kullanılan ısı enerjisi, kızgın yağ ve buhar ile sağlanmaktadır. Üretim süreçlerinde özellikle tüm boyama işlemlerinde yoğun şekilde ısı enerjiden yararlanılmaktadır. Ayrıca tekstil firmalarında tüm makine sistemlerinde elektrik tüketimi ile gerçekleştirilmektedir (Öztürk, 2014; Tekstil Ürünlerinin Bitirilmesi Kaynak Verimliliği Rehberi, 2018).

Tekstil firmalarında boyahanelerde sadece boyama işleminin yapılmamaktadır. Kumaşın işletmeye ham olarak girişinden başlayıp işlenmiş olarak konfeksiyona gönderilmesinde birçok ön işlem, yıkama, kurutma, gazeleme, şardonlama, apre vb. gibi prosedürlerin de yapıldığı tesislerdir. Tüm üretim süreçlerinde yoğun

olarak suya, enerjiye, iş gücüne ihtiyaç duyan ve bunları hızla tüketen bir sektördür. Başka bir deyiş ile tekstil boyama sektörü; su ve enerji tasarruf çalışmalarının en yoğun olarak gerçekleştiği bölümlerdir.

Denizli'de yer alan firmamız xxxxx Tekstil, tüm üretim işlemleri hedeflerinin başında, kaynakları en yüksek verimde ve en yüksek performansta kullanmayı göz önünde bulundurur. Bu kapsamda çevre ile dost, ekonomiye katkı sağlayan çalışmalarla desteklemeyi amaçlar. Diğer tekstil boyahaneleri gibi boyahane bölümümüzde de prosedürlerde ve üretim işlemlerinde sürekli iyileştirmeler yapılmaktadır.

Bu çalışmada boyahane işletmesinde, HT boyama, pad batch boyama ve poliamid boyama bölümlerinde yapılan verimlilik incelemelerinde boyama prosedürleri incelenmiş, işletmedeki en yüksek kullanım miktarları tespit edilmiş, her işlem için yeni alternatif çözümler araştırılmış ve bunlara bağlı olarak farklı yöntemlerle su, enerji ve kimyasal tasarrufu çalışmaları yapılmıştır. Yapılan değişimler sonucunda kumaşlar üzerinde değişiklikler araştırılmış, değişimlerin boyama adımlarına uygunluğu tespit edilmiş ve kumaşlar üzerindeki etkileri incelenirken yapılan tasarrufların maliyete sağladığı faydalar verilmiştir.

## **LİTERATÜR ARAŞTIRMASI**

Endüstriyel tesislerde hammadde tüketimlerinin kontrol altına alınmasında en önemli etmenler tüm firma çalışanlarının bilinçlendirilmesinden ve sürdürülebilir bir üretim öneminin arz edilmesinden geçmektedir. Tüm üretim işlemlerinde yer alan tüm çalışanların bu konularda uyarılması, sürdürülebilirlik ve verimlilik gibi eğitimlerin verilmesi, üretim verimliliğinin artması, kullanılan kaynaklarda tasarruf yapılması için ekip olarak hareket edilmesi şarttır. Tekstil boyahanelerinde yapılan bazı su, enerji ve hammadde (kimyasal) tasarrufları literatürde incelenmiştir.

Tekstil boyahane işletmelerinde 2006 yılında çalışmalar yapan İçoğlu, temiz suyun nerelerde kullanıldığını araştırmıştır. Bu kapsamda suyun işletme ve kazan suyu olarak iki farklı şekilde kullanıldığını belirtmiştir. Kazan suyu, su buharı üretmek için işletme suyu ise tekstil terbiyesinde ve kumaş kalitesi üzerinde etkili olan su olduğunu belirtmiştir (İçoğlu, 2006).

Farklı bir literatür kaynağında yaptıkları çalışmalarda Yazır ve Temtürk; pamuğun ve pamuklu kumaşların hatasız, düzgün boyamaların yapılabilmesi ve aprenin uygulanabilmesi için ön terbiye işlemlerinin tekstil terbiyesinde öneminden bahsetmişlerdir. Yapmış oldukları değerlendirmeler göre terbiye işlemleri sonucu ürünlerde görülen hataların yalnızca %11'i apre hatası, %23'ü boyamalar olup geri kalanı yaklaşık %66'sı ön terbiye hatası olduğunu belirtmişlerdir (Tamtürk, 2007; Yazır, 2011).

Melo ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmalarındaki başlıca amaç mevcut enerji kayıplarını inceleyip verimliliğini artırmak olmuştur. Bu kapsamda Brezilya Tekstil sektöründe enerji verimliliği ve üretim arasındaki bağlantıları incelemişlerdir (Melo, Moreira ve Pereira, 2015).

Çalışmalarında Mısır tekstil endüstrisinde uygulanabilecek ISO 50001 enerji yönetim sistemi hakkında bilgilere yer veren Hassouna, Yacout ve Kawi, yapılacak olan hammadde tasarruflarında sadece tekstil endüstrisi değil diğer birçok endüstri alanlarında da uygulanabileceğini belirtmişlerdir (Yacout vd., 2014).

Tüm bu çalışmalara ek olarak çalışmalara ilave olarak da Üner ve Başaran (2016), Micheletti ve Boström (2016), Koca vd. (2016), Eser vd. (2016), Ayvaz ve Can (2017) ve Gardas vd. (2018) de tekstil üretimlerinde farklı sürdürülebilirlik konularında çalışmalar yapmışlardır.

Firmamızda yapılmış olan bu çalışmada ek bilgi olarak tekstil üretim süreçlerinde ve sektördeki sürdürülebilirlikte karşılaşılan zorluklar ele alınmış, literatüre katkı sağlanmaya çalışılmıştır.

## **YÖNTEM**

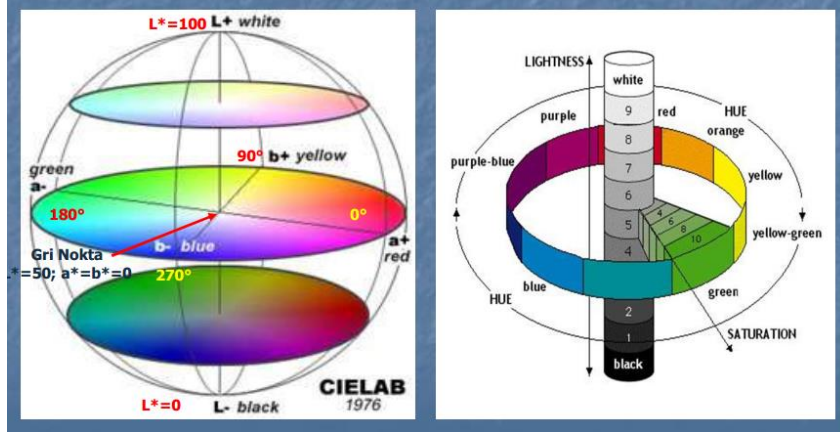
Bu çalışmada boyahane bölümünün üç ayrı işletmesi olan HT boyama, poliamid boyama olarak adlandırılan parça boyama ve pad batch boyama işletmesinde su enerji ve kimyasaldan tasarruf etmek için boyama işlem basamakları değiştirilmiştir. Yapılan verimlilik çalışmalarının kumaşlar üzerindeki etkileri incelenirken yapılan tasarrufların maliyete sağladığı faydalar verilmiştir. Çalışma yönteminde her bölüm ayrı ayrı ele alınmıştır. Firma kalite kriteri içerisinde yer alan boyahane renk haslığı testleri ( ticari yıkamaya karşı (ISO 105-C06) ve sürtünmeye karşı renk (TS EN ISO 105-E04)), hidrofilit (AATC79 ve EN ISO 14697), kumaşlarda kopma mukavemeti tespiti (TS EN ISO 13934-1), kumaşlarda yırtılma mukavemeti tayini (TS EN ISO 13937-2) gibi testlere tabi tutulmuştur. Deney tasarımlarında kullanılacak çıktı değişkenlerinin belirlenebilmesi için literatür

analizleri yapılmış, yapılan testler ve yöntemleri aşağıda verilmiş, firma kalite kriterlerinden bahsedilmiştir.

Rengin değerlendirilebilmesi için öncelikle renk konusu incelenmiş ve kullanılacak çıktı değişkenleri belirlenmiştir. Spektrofotometre cihazı renk değerlerini sayısal olarak verebilmektedir. Renk koordinatları aşağıdaki şekilde verilebilir; (Becerir, 2017)

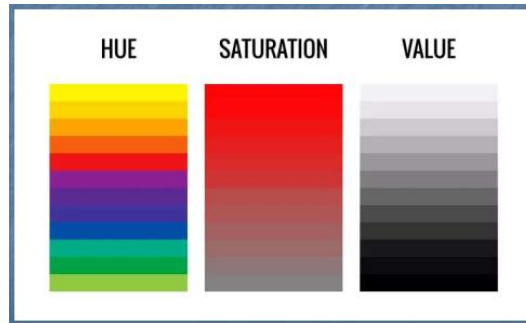
- $L^*$  ; rengin açıklık koyuluk değerlerini (Lightness)
- $a^*$  ; rengin kırmızılık-yeşillik değerlerini
- $b^*$  ; rengin sarılık-mavilik değerlerini
- $C^*$  ; rengin doygunluk değerlerini (Chroma)
- $h_o$  ; renk açısı değerlerini (hue angle)

CIELAB uzayı Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. CIELab uzayı (Becerir, 2017)

Rengi tanımlayabilmek için kullanılan kroma, hue ve açıklık-koyuluk bilgisi Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Kroma, hue ve açıklık-koyuluk değeri (Becerir, 2017)

CIELAB değerlerine göre renk farkı değeri ( $\Delta E^*$ ) formülü de aşağıdaki gibi verilebilir (Sarıdereli, 2010);

$$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$$

$\Delta$  = numunenin rengi değeri – standart rengin değeri

Renk farkı değerleri, renk kalitesinin değerlendirilmesinde kullanılan tek yöntemdir. Kabul edilebilir bir renk eşleştirme yapılabilmesi için iki rengin değerlendirilmesi sırasında belli sınır değerlerinin belirlenmesi gerekmektedir. CIELAB ile toleranslama yapılırken aşağıdaki değerler için fark sınırları belirlenmelidir. Bu karşılaştırma neticesinde rengin kalır ya da geçer toleransları belirlenmiş olur. CIELAB sistemine göre tolerans değerleri aşağıda verilmiştir;

- $\Delta L^*$  ; açıklık koyuluk toleransı
- $\Delta a^*$  ; kırmızılık-yeşillik toleransı
- $\Delta b^*$  ; sarılık-mavilik toleransı
- $\Delta C^*$  ; doygunluk toleransı
- $\Delta h_o$  ; renk açısı toleransı

Boyahane işletmemizde yapılacak boyamalarda işletme-laboratuvar renk farklılıklarının değerlendirilebilmesi için kullanılan renk farkı değerleri de tecrübelerden ve müşteri anlaşmalarından elde edilmiştir. Bu çalışma için Firmaya ait renk farkı tolerans değerleri (çıktı değişkenleri) şu şekilde verilebilir;

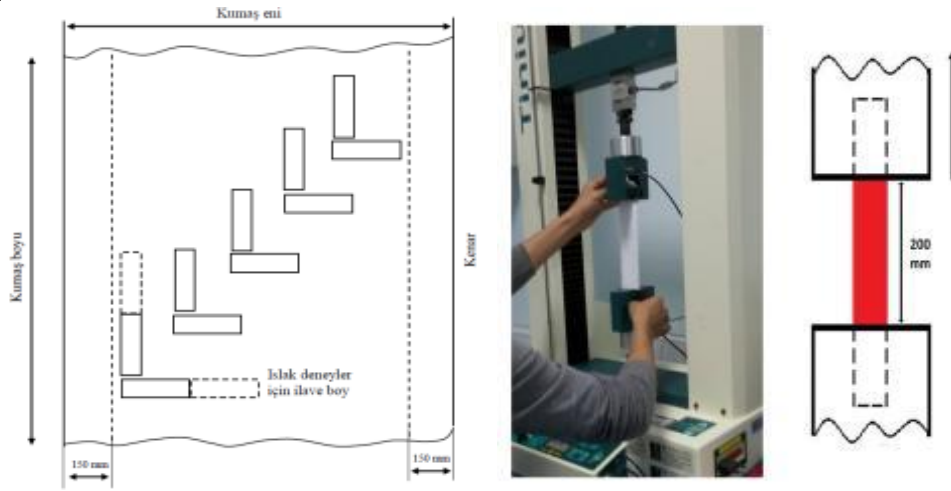
- $\Delta E^*$  ; renk farkı (<1,5)

- $\Delta L^*$  ; açıklık koyuluk toleransı (<0,5)
- $\Delta a^*$  ; kırmızılık-yeşillik toleransı (<0,3)
- $\Delta b^*$  ; sarılık-mavilik toleransı (<0,3)
- $\Delta C^*$  ; doygunluk toleransı (<0,3)
- $\Delta h_o$  ; renk açısı toleransı (<0,3)

Bu tolerans değerleri arasında olan boyamalar renk bakımından geçerli ve kabul edilebilir sayılmaktadır.

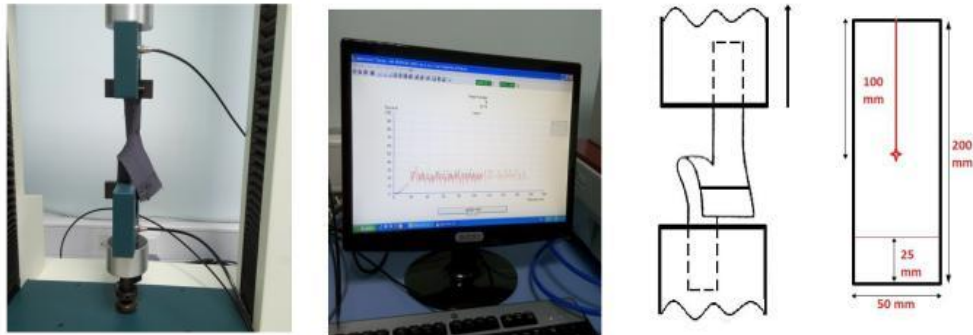
Hidrofilite ve emicilik test yöntemleri, kumaşların taşıması gereken özellikleri gösteren bir spesifikasyon niteliğindedir. Bu test metodunun çalışmada kullanılan numunelerin hidrofiliği ile ilgili olan kısımları kullanılmıştır. Kumaşların Emiciliği (AATCC 79-2007), test yöntemi ile damlatılan suyun yüzeyde kaybolma süresi ölçülmektedir. AATCC 79 testine göre ise damla absorpsiyon süresinin <5 sn olması beklenmektedir. Hidrofilite (EN ISO 14697-2005) yönteminde testler yapılmadan önce kumaşlar  $\pm\%65$  nem ve  $21\pm 1^\circ\text{C}$  derecede kondüsyonlanmıştır. Hidrofilite testi sonucunda batma süresinin <15 sn olması beklenmektedir.

Kumaşlarda Kopma Mukavemeti Tespiti (TS EN ISO 13934-1); ile tekstil kumaşların uygulanan kuvvete karşı dayanımı ve uzaması şerit metodu ile ölçülmektedir (TS ISO EN 13934-1, Kumaşlarda Kopma Mukavemeti tespiti şartnamesi).



Şekil 3. Kopma mukavemeti ölçümü

Kumaşlarda Yırtılma Mukavemeti Tayini (TS EN ISO 13937-2), Yırtılma mukavemeti, kumaşlarda daha önceden açılmış bir yırtığın ilerlemesi için gerekli olan kuvveti verir. Dokuma kumaşların yırtılma dayanımları dil metodu, balistik sarkaç, pantolon metodu, kanat metodu gibi farklı yöntemler kullanılarak tespit edilebilir (TS ISO EN 13937-2)



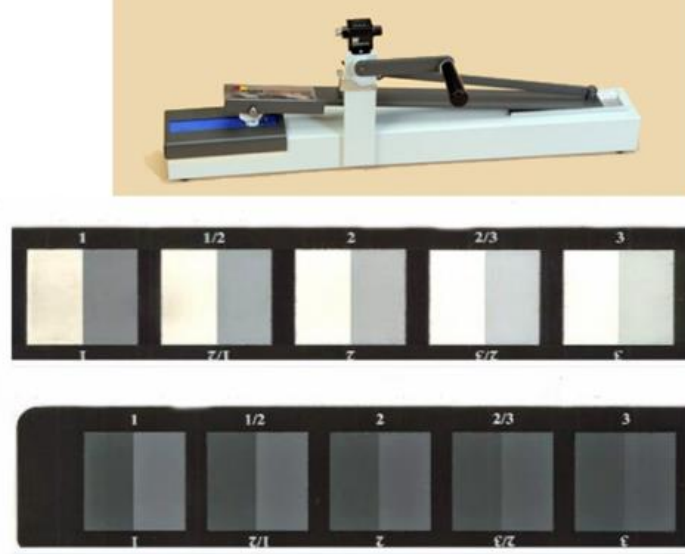
Şekil 4. Yırtılma mukavemeti ölçümü

Yıkamaya Karşı Renk Haslığının Tespiti (TS EN ISO 105-C06);

Evlerde kullanılan tekstil malzemelerine uygulanan yıkama işlemlerine karşı renk haslığının tespitidir. Bazı ürünlerde boyanın bir kısmının serbest halde olmasından dolayı yıkama sıvısını renklendirmesi ve bu boyalı sıvının da diğer tekstil ürünlerini veya aynı ürünün açık renkli kısımlarını boyayarak kirletmesi riski vardır (TS ISO EN 105-C06, Yıkamaya Karşı Renk Haslığının Tespiti Şartnamesi). Değerlendirme sonucunda haslık değerinin 4-5 çıkması beklenmektedir.

Sürtmeye Karşı Renk Haslığının Tespiti (TS EN ISO 105-X12);

Bu deney tekstil mamullerinin sürtmeye karşı ve diğer malzemelere renk bulaşmasına karşı dayanımının tespitini yapmaktadır. Sürtme haslığı, bir kumaşın temas halinde bulunduğu bir başka kumaşa sürtünme ile rengini ona transfer etmeye karşı direncidir (TS ISO EN 105-X12, Sürtmeye Karşı Renk Haslığının Tespiti Şartnamesi). Gri sıklıkla değerlendirme sonucunda sürtme haslık değerlerinin 5 olması beklenmektedir.



**Şekil 5.** Sürtme haslığı cihazı ve griskala değerleri

### **Pad Batch Bölüm Çalışması Uygulaması**

Pad batch bölümünde denemeler için ipliği boyalı havlı ürünlerden oluşan Ne 16/1 ring iplikten dokunmuş, 50 kg iki top ürün yıkama için işleme alınmıştır.

Faaliyetler kapsamında yapılan pad batch işletmesi uygulamasında: İpliği boyalı ürünlerde pad batch yıkama süresinin azaltılması için ürünlere uygulanacak olan boyama - yıkama prosedürlerinin aşamalarına göre araştırmalar yapılmıştır. Literatürden de elde edilen bilgiler ışığında uygulanacak olan prosedürlere alternatif yöntemler belirlenmiştir. Firma içi toplantılarda gerçekleştirilerek tasarruf adımları belirlenmiştir. Yeni prosedürler için deney planları oluşturulmuş ve denemeler kalite kriterlerine göre yapılmıştır. Çıkan sonuçlar renk haslığı testleri ( ticari yıkamaya karşı (ISO 105-C06) ve sürtünmeye karşı renk (TS EN ISO 105-E04)), hidrofilite (AATC79 ve EN ISO 14697) ve haşıl varlığı tayini için testlere tabi tutulmuştur.

### **Poliamid Boyama Bölüm Çalışması Uygulaması**

Poliamid boyamada denemeleri için parça numune makinasında koyu, açık ve orta renklerde boyanması için ikişer kg olacak şekilde, poliamid numuneler Santoni M8 dikişsiz örme makinesinde örülmüştür. Eski sitem olarak adlandırılan hâlihazırda uygulanan prosedür ve yeni uygulanması düşünülen prosedürler için numuneler üretime alınmıştır. Deney planı kapsamında çalışma, dokuz farklı adımda tüm süreçleri ve analizleri içeren bir planlama ile kontrollü olarak gerçekleştirilmiştir.

Poliamid boyama adımlarına göre kumaşlar için uygulanan taşar ve ön işlem adımlarına yönelik literatür incelenmiş, farklı uygulanabilir prosesler seçilmiştir. Çalışma kapsamında çıkabilecek riskler belirlenmiştir. Bunların içerisinde en önemlisi ve en büyük risk olan suyun en yoğun harcandığı taşar adımlarının kaldırılması ile ürünlerde yöntem kısmında belirtilmiş olan kalite kriterlerinin düşmesidir. Yani spektrofotometre renk kriterlerinin, renk haslıklarının (ISO 105-C06 ticari ve evsel yıkama renk haslığı ve sürtünmeye karşı renk haslığı TS EN ISO 105-E04) test sonuçlarının istenilen sonuçları vermemesidir. Yapılan test sonuçları tek tek değerlendirilmiştir.

### **HT Bölüm Çalışması Uygulaması**

16/1 Open-End %100 pamuk havlu kumaş kullanılmıştır. 50 kg' lık 2 top havlu kumaşa HT boyama yapılmıştır. Orta ve koyu renkler boyamalarda kasar adımı kaldırılarak, asidik enzimler yerine nötral enzimler uygulanmış ve tek banyoda HT boyama yapılmıştır. Çıkan sonuçlar standart şartlarda yapılan boyama sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

Tasarruf sonucunda kumaşlara, ticari ve evsel yıkamaya karşı renk haslığı (ISO 105-C06), sürtünmeye karşı



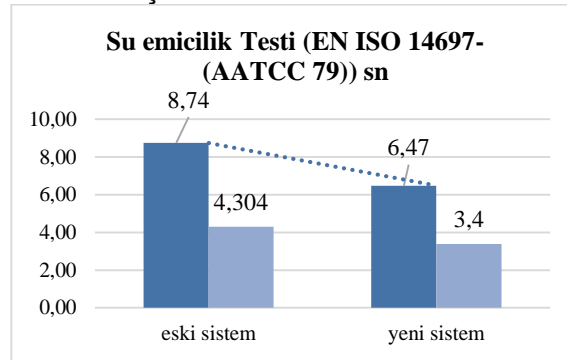
renk haslığı (TS EN ISO 105-E04), hidrofilitte (AATC79 ve EN ISO 14697), mukavemet testleri olan yırtılma mukavemeti (TS EN ISO 13937-2) ve kopma mukavemeti (TS EN ISO 13934-1(Strip) testleri yapılmıştır.

## BULGULAR

### Pad Batch Uygulaması için Bulgular

Pad batch bölümü boyama uygulamaları öncesinde ipliği boyalı havlı ürünlerde, numunelerin yıkama işlemleri sırasında makina fulard küveti için 20-25 litre su alımı ile başlarken işlem boyunca su azalmasına göre su alımı devam ederek tüketim gerçekleşmektedir. Çalışma sonrası 1 kg ürün için 1 L su tüketilmektedir. Renk farkı olan ürünler de de bu durum değişmemiş, 1 kg ürün için su tüketimi yine aynı bire bir olmaktadır. En çok su tasarrufu, ürünlerin ilk yıkama adımına girdiğinde pad batch makinesinde fulard küveti dolumu ile gerçekleştirilmiştir.

Proses geliştirme ve yenileme süreç alan ve denemeleri tekrarlanan bir sistemdir. Denemeler sırasında numunelere yapılan Hidrofilitte testleri EN ISO 14697 ve ATCC 79 standartlarına göre yapılmıştır. Hidrofilitte test değerlerinin sonuçları Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Pad Batch Boyama Uygulaması Su Emicilik-Hidrofilitte Testi (EN ISO 14697-(AATCC 79)) sn

Renk haslık testleri için yıkama haslıkları Gyrowash makinesinde ve kuru-yaş sürtme haslığı da crockmeter cihazı ile yapılmıştır. Haslık ölçümleri Tablo 1 'de verilmektedir.

Tablo 1. Eski sistem ve yeni sistem haslık test sonuçları

		(ISO 105-C06) Yıkama Haslığı Testi					
		Yün	Akrilik	Polyester	Naylon	Pamuk	Asetat
Pad Batch İpliği Boyalı	1 Eski	5	5	5	5	4	5
	2 Yeni	5	5	5	5	5	5
		(TS EN ISO 105-X12) Sürtmeye karşı renk haslığı tayini					
		Sürtme Haslığı (Yaş)			Sürtme Haslığı (Kuru)		
Pad Batch İpliği Boyalı	1 Eski	4			5		
	2 Yeni	5			5		

Yapılan testler sonucunda proses iyileştirme ile hidrofilitte değerlerinin çoklu yıkama sistemini içeren eski prosedür ve tek yıkamalı sıcaklık değişimi ile gerçekleştirilen yeni prosedür arasında iyileşmelerin olduğu görülmüştür. Haslık değerlerinde ise iki sistem arasında fark çok olmamakla birlikte ürünlerin haslık kalitesinde artış yaşandığı da görülmektedir. Söz konusu yapılan optimizasyon sonucunda, aşağıda verilen tablo 2'de yapılan tasarruflar özetlenmiştir.

Tablo 2. Eski sistem ve yeni sistem yapılan tasarrufların karşılaştırması

	Eski Sistem	Yeni Sistem
Süreç Maliyeti	0,25 €/kg	0,15 €/kg

<b>Su Tasarrufu</b>	6,67 L su/1 kg ürün için	1 L/1 kg ürün için
<b>Kapasite</b>	Ek mesai	Kapasite artışı

Boyama işlem prosedüründe, kontinü yıkamalarda kabin sayısı düşürülerek yapılan işlem adımlarının kısaltılması ile zamandan da tasarruf sağlanmıştır. Süreç maliyeti 0,25€/kg oluyor iken, yeni süreçte bu durum 0,15 €/kg olmakta ve %40 iyileşme gerçekleşmiştir. Su kullanımı 6,67L su/1 kg ürün için 1 L/1 kg ürün için tasarruf sağlanmıştır. Kapasite artışı su, buhar, elektrik, işçilik kazancı sağlanmıştır.

### Poliamid Boyama Uygulaması için Bulgular

Numunelerinin yıkama haslıkları ticari ve evsel yıkamaya karşı renk haslığı ve sürtünmeye karşı renk haslığı yöntemine göre yapılmıştır. Test sonuçları Tablo 3'de verilmiştir. Haslıklar, 40°C'de, 50 ml flotte hacminde ve 25 çelik top kullanılarak C1S kullanılarak yapılmıştır.

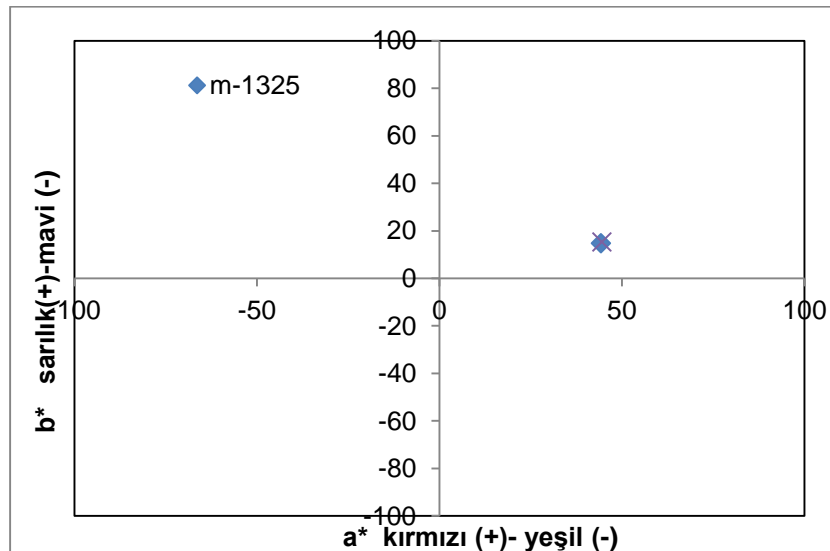
**Tablo 3.** Poliamid Boyama Yıkama Haslığı Testi

		<b>(ISO 105-C06) Yıkama Haslığı Testi</b>					
		Yün	Akrilik	Polyester	Naylon	Pamuk	Asetat
<b>Poliamid Boyama</b>	1 Stand. m1325	4-5	5	4-5	5	5	5
	2 Sonrası m1325	5	4-5	5	4-5	5	4-5
		<b>(TS EN ISO 105-X12) Sürtmeye karşı renk haslığı tayini</b>					
		Sürtme Haslığı (Yaş)			Sürtme Haslığı (Kuru)		
<b>Poliamid Boyama</b>	1 Stand. m1325	4			5		
	2 Sonrası m1325	5			5		

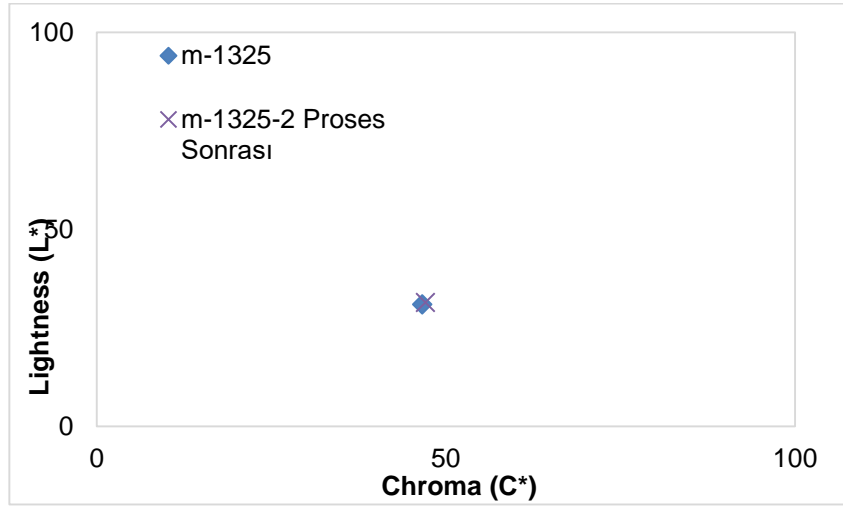
Yıkama ve sürtme haslığı test sonuçlarında standart yöntemde kullanılan değerlerin yeni proses yönteminde daha çok iyileştiği gözlemlenmiştir. Renk ölçümleri spektrofotometre cihazı ile yapılmıştır. Renk ölçümlerinin sonuçlarından bir tanesi proses öncesi ve sonrası olarak numunelerin spektrofotometre renk değerleri Tablo 4'te, renk yoğunlukları olan sarılık ve kırmızılık değerleri Şekil 7 ve Şekil 8' de de doygunluk değerleri (açıklık koyuluk) verilmiştir.

**Tablo 4.** Proses Öncesi ve Sonrası Numunelerin Spektrofotometre Renk Değerleri

	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$C^*$	$h$	$dE^*$
m-1325	30,96	44,25	14,79	46,66	18,48	
m-1325 Proses Sonrası	31,44	44,52	15,34	47,09	19,02	0,779

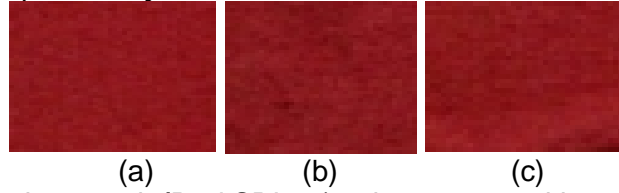


Şekil 7. a\* (kırmızılık)- b\*(sarılık) değerleri



Şekil 8. L\* (açıklık-koyuluk)- C\*(doğunluk) değerleri

Renk ile ilgili grafikler olan, kırmızılık-(b\*) ve sarılık (a\*) grafikleri (Şekil 8), açıklık-koyuluk (L\*)- kroma (C\*) (Şekil 9) grafikleri incelendiğinde tüm renk verilerin birbirine çok yakın olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum tüm renkler arasında bir farklılık olmadığını göstermektedir. Yapılan test numune çalışmalarından biri olan koyu renk Red SRL- 1 renk çalışmasının karşılaştırması Şekil 9'da verilmiştir. Yapılmış bütün denemelerde bu değerlere benzer sonuçlarla karşılaşılmıştır ve yapılan denemeler sonucunda boyahane işletmesinde poliamid boyama prosesinde yıkamalar kaldırılarak yerine doldurup boşaltma işleminin yapılması ürünlerin renk değerlerinde negatif etkiye sebep olmamıştır.



Şekil 9. Parça Boyama bölümü koyu renk (Red SRL- 1) çalışmasının eski prosedür (a-b) ve yeni prosedür (c) karşılaştırması

Çalışmada işlem eski sistem uygulama adımlarında 100 kg koyu renkli poliamid bir ürünlerin boyaması için 16200 L su tüketimi gerçekleşirken yeni sistem olan çalışmada 8100 L su tüketimi gerçekleşmektedir. Orta ve açık renk ürünler de 100 kg ürün boyamak için ürün için 9400 L su tüketimi gerçekleşirken yapılan verimlilik çalışmaları ile su tüketimi tüm proses boyunca 3700 L'ye düşmüştür. Koyu, orta ve açık renkli ürünlerde her renk boyama adımları farklılıklar içerdiğinden dolayı en fazla su tasarrufu koyu renkli poliamid ürünlerin yıkamalarında gerçekleştirilmiştir.

Boyama işlem basamaklarında taşar ve yıkamaların kalkması ile de boyama süresinde zamandan da tasarruf sağlanmıştır. Optimizasyon öncesi uygulamalarda koyu renkli ürünlerin boyanma işleme süresi 8 saat iken yeni uygulanan sistemde 4,5 saate indirilmiş %44 sürede iyileşme gerçekleştirilmiştir. Diğer renklerde de aynı şekilde zamandan tasarruf sağlanmış, boyama işlemi 5 saat iken bu süre yeni prosedür uygulaması ile 4 saate indirilmiştir. Böylelikle açık ve orta renklerde %20 iyileşme gerçekleştirilmiştir. İyileşmeler sayesinde üretimde mesai ihtiyacı ortadan kalkmış, maliyetten de tasarruf edilmiştir. Kapasite üzerinde çalışmada eski sistemde mesai %3,7 iken yeni proses ile %0 olmuştur.

### HT Boyama Bölümü Uygulama Bulguları

Pamuklu ürünler için uygulanan boyama prosedüründe kasar işlem adımının kaldırılması için literatür incelenerek farklı prosesler seçilmiştir. Firma içi toplantıları gerçekleştirilmiş, ürünlerde su çekici özellikleri iyileştirmek yeni hammaddeler belirlenmiştir. Deney planları yapıları yapılarak yeni uygulamalar için optimum prosesler belirlenmiştir. Deneme sonucuna göre yeni numuneler üzerinde hidrofilitte test çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Renk haslıkları olan evsel ve ticari yıkamaya karşı (ISO 105-C06) ve sürtünmeye karşı (TS EN ISO 105-E04) renk haslığı testlerinin sonuçları Tablo 5' de gösterilmiştir. Kasar işlemi uygulanmış ve kasar yapılmamış ürünlerin karşılaştırılması yapılmıştır.

Tablo 5. Kasarlı ve Kasarsız haslık test sonuçları

		(ISO 105-C06) Yıkama Haslığı Testi					
		Yün	Akrilik	Polyester	Naylon	Pamuk	Asetat
Kasarlı/Kasarsız ürünler	1 Kasarlı	5	5	5	5	5	5
	2 Kasarsız	5	5	5	5	4-5	5
		(TS EN ISO 105-X12) Sürtmeye karşı renk haslığı tayini					
		Sürtme Haslığı (Yaş)			Sürtme Haslığı (Kuru)		
Kasarlı/Kasarsız ürünler	1 Kasarlı	4			4-5		
	2 Kasarsız	4			5		

Tablo 5' te de görüldüğü üzere kasarlı ve kasarsız ürünler benzer sonuçlar göstermiş olup kasarsız ürünlerin sürtme haslıkları daha iyi sonuçlar vermiştir. Şekil 4' teki hidrofilitte testi sonuçlarına bakıldığında kasar adımı kaldırılarak uygulanan yeni sistemde su emicilikte iyileşme olduğu görülmektedir.

Kasarlı ve kasarsız numunelerin yırtılma ve kopma mukavemeti sonuçları Tablo 6'da gösterilmiştir.

Tablo 6. Kasarlı ve Kasarsız kopma ve yırtılma mukavemet sonuçları

Numune	Kopma Mukavemeti (N)		Yırtılma Mukavemeti (N)	
	Atkı	Çözücü	Atkı	Çözücü
Kasarlı	245.57	268.27	25.06.	28.39.
Kasarsız	341.4	340.18	33.37	35.84.

Kasar işleminin sebep olduğu mukavemet kaybı iyileştirilmiş, kasar adımının kaldırılmasıyla mukavemet değerlerinde artış sağlamıştır.

## SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Tekstil endüstri açısından sürdürülebilirlik kavramı, tüm üretim süreçlerini kapsamaktadır (Koca vd., 2016: 221). Firmalar düşük üretim maliyetleri arayışı içerisinde girmişlerdir. Tekstil sektöründe en fazla kimyasal madde ve boyarmaddenin kullanıldığı, en fazla enerjinin harcandığı bölüm boyahane ve terbiye daireleridir. Bu çalışmada su maliyetlerinden bahsedilmemesinin nedeni işletmenin kuyu suyu kullanmasıdır. Kuyu suyu yumuşatma işlemlerinden geçirildikten sonra işletmeye verilmektedir. Yumuşatma işlemleri esnasında yine enerji, işçilik ve kimyasal madde maliyeti ortaya çıkmaktadır. Bu giderler, bu kalemlerin içerisinde yer almaktadır. Arıtma tesisine ait giderler de yine atık su olarak değil de tek tek diğer kalemler içerisinde bulunmaktadır. İşletmede su ve enerji tasarrufu için bazı işlemler aynı banyo içerisinde gerçekleştirilmektedir.

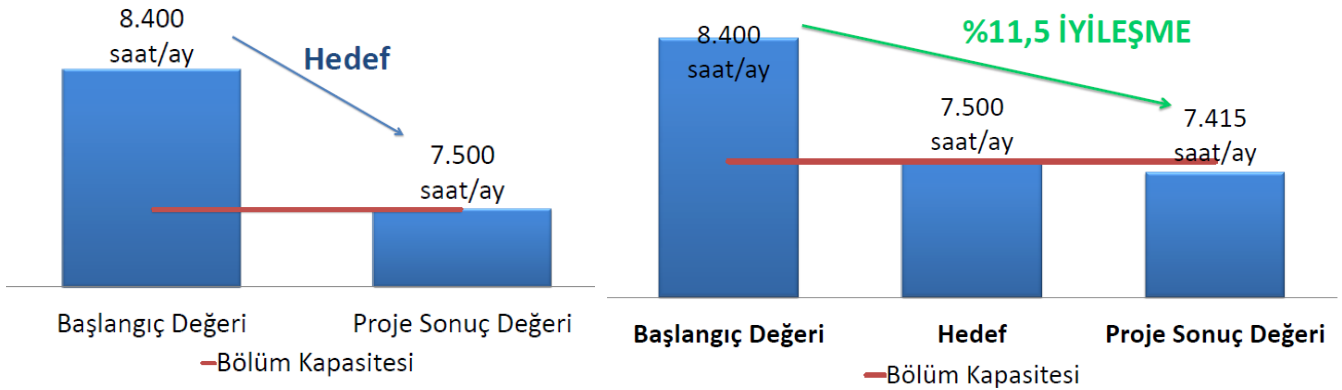
Bu çalışmaların benzerlerine literatürde sınırlı sayıda rastlanmaktadır. Fakat işletmemizde Pad Batch, HT Boyama ve Poliamid Boyama bölümlerinde ilk defa uygulanmış ve başarılı tasarruflar sağlanmıştır. Pad Batch ipliği boyalı ürünlerde yıkama ve kurutma işlem adımlarının kısaltılması aşamaları ilk defa denenmiştir. Bu kapsamda çalışmanın sonucu, işletmemiz için yeni bir boyama proses süreci niteliği taşımaktadır. Çalışma ile boyahane işletmemizin ipliği boyalı ürünlerde boyama- yıkama ve kurutma adım süreçleri iyileştirilmiştir. Pad Batch bölümünde ipliği boyalı ürünlerde 1 kg ürün için 20-25 kg su le yıkama yapılıyor iken yeni sistemde bu tamamen değiştirilmiş ve 1kg ürüne 1 kg su yeterli olmuştur. Böylece suyun tekrarlı yıkamalarda ısıtılma sorununu da ortadan kalmış, 15 kW /saat de 20°C'den 50°C' ye çıkıp inmesi kaldırılmış, tek seferde yıkama yapılarak enerji tasarrufu sağlanmıştır. Kg başına verilen yumuşatıcı yardımcı maddesi kullanımı ile de kimyasal kullanımından tasarruf sağlanmıştır. Yıkama adımının teke düşürülmesi ile zamandan da tasarruf edilmesi mesai ihtiyacını kaldırmış, kapasite artışı olarak bize geri dönüş sağlamıştır. Kurutma ve yıkamada kullanılan işlem adımları ve proses talimatı revize edilmiştir.

Poliamid içerikli orta, açık ve koyu renkli ürünlerde taşarlı yıkama adımının kaldırılması ile üretimin hızlanması sağlanarak firmanın pazardaki rekabet gücünün artmıştır. Çevreye dost ve sürdürülebilir üretime katkı sağlamıştır. Ayrıca işlem adımlarının kısaltılması 5 farklı aşamada gerçekleştirilmiş ve her aşama yeni bir yöntem ve alternatif çözümler oluşturmuştur. Tablo 7’ de poliamid açık, orta ve koyu renklerde yapılan proses optimizasyonu sonucunda elde edilen iyileştirmeler özetle verilmiştir.

**Tablo 7.** Poliamid Boyamada Proses Optimizasyonu Sonucunda Elde Edilen İyileştirmeler

100 Kg Ürünler İçin	Açık ve Orta Renk		Koyu Renk	
	Çalışma Öncesi	Çalışma sonrası	Çalışma Öncesi	Çalışma sonrası
<b>Su Tasarrufu</b>	9400 L	3700 L	16200 L	8100 L
<b>Zaman Tasarrufu (proses süresi- saat)</b>	5	4	8	4,5
<b>Kimyasal Tasarrufu</b>	1.600 parti ürün boyamada; 16,800 kg kimyasal tasarruf			
<b>Enerji tasarrufu</b>	Eski sistemde; 30 °C den 80 °C' ye 3 defa çıkılıyordu. Daha sonraki adımda ise 30 °C den, 95 °C çıkılarak boyama adımı Yeni sistemde boyama adımından sonra bir defa 60 °C' ye çıkılmaktadır.			
<b>Genel olarak tasarruflar ele alındığında ise;</b>	Kömürden: 61 Ton Su: 6.975 Ton Elektrik: 353.935 kwh Mesai: %0			

HT bölümünde koyu ve orta renkli ürünlerde kasar işlem adımının kaldırılması işletmemizde ilk defa denenmiştir. Koyu ve orta renklerin 500 kg parti için kasar işlem süresi 8400 saat/ay’ dan bölümün kendi kapasitesi olan 7500 saat/ay ‘a indirilmesi hedeflenmiştir. Çalışma sonucunda koyu ve orta renkli ürünlerde prosedür aşamalarında kasarın kaldırılması ile parti başına, 105 dk. süre azaltılarak aylık boyama süresi %11,5 oranında iyileşme sağlanmıştır (Şekil 10). Artan sipariş talebi yapılan iyileşmeler sayesinde mesai yapılmadan karşılanmıştır. Boyama adımlarında gerçekleştirilen reçeteler revize edilmiştir.



**Şekil 10.** Çalışma değeri değerlendirme grafiği

Tüm çalışmalar sonucunda elde edilen enerji, su ve kimyasal tasarrufu sayesinde firmamız boyahane için çevreye saldırdığı atık su yükü ve enerji kullanımı azaltılıp sınırlı su ve enerji kaynaklarının hızlıca tükenmesi engellenmiş, hammaddelerin etkin kullanımı gerçekleştirilerek maliyet açısından da uzun vadede kazanım elde edilmesi sağlanmıştır. Bu kapsamda işletmemizin karbon ayak izi hedefine de katkıda bulunulmuş ve sürdürülebilirliğinin devamlılığı sağlanmıştır.

Ayrıca boyahane üretim bölümünde yapılmış olan bu proses iyileştirmeleri denemelerinde nitel ya da nicel yaklaşımlarla yürütülen bir çalışma gerçekleştirilmemiştir. Tüm bu çalışmaların etik kurul izni gerektirmeyen çalışmalar arasında yer aldığını beyan etmekteyiz.

### **Teşekkür**

Bu çalışmalar, Ozanteks Tekstil Ar-Ge merkezi tarafından, Öz kaynak 21S02, 21S03 ve 21S05 proje numarası ile desteklenmiştir. Ayrıca çalışma kapsamı, 119C070 nolu TÜBİTAK 2244 Sanayi Doktora

Programı Projesi kapsamında sürdürülebilir ürünler geliştirilmesine destek vermektedir.

## **Çıkar Çatışması Beyanı**

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

## **Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti**

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

## **KAYNAKLAR**

- Becerir, B. (2017). Endüstriyel Renk Fiziği ve Renk Ölçümü Eğitim Notları, Bursa Teknoloji Koordinasyon ve Ar-Ge Merkezi (BUTEKOM).
- Bostrom, M., ve Micheletti, M. (2016). "Introducing The Sustainability Challenge Of Textiles And Clothing". Journal of Consumer Policy, 39(4): 367-375.
- Cabak, B.. (2018), Tekstil Fabrikasında Enerji Verimliliği Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Edirne
- Can, Ö., ve Ayvaz, K. M. (2017). "Tekstil ve Modada Sürdürülebilirlik". Akademik Sosyal Bilimler Dergisi, 1(3): 110-119.
- Eser, B., Çelik, P., Çay, A. ve Akgümüş, D., (2016). Tekstil ve Konfeksiyon Sektöründe Sürdürülebilirlik ve Geri Dönüşüm Olanakları, Journal of Textiles and Engineer, 23(101): 43-60.
- European Commission, (2003), Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Reference Document on Best Available Techniques for the Textile Industry. EC IPPC Bureau, 747s., Seville, Spain
- Gardas, B. B., Raut, R. D., ve Narkhede, B. (2018). "Modelling the challenges to sustainability in the textile and apparel (T&A) sector: A Delphi-DEMATEL approach". Sustainable Production and Consumption, 15: 96-108.
- Giret, A., Trentesaux, D. ve Prabhu, V. (2015). "Sustainability in Manufacturing Operations Scheduling: A State of The Art Review". Journal of Manufacturing Systems, 37: 126-140.
- İçoğlu, H. İ., (2006). Pamuklu Dokunmuş Kumaşların Reaktif Boyarmaddelerle Boyanması Ve Uygulama Yöntemlerinin İncelenmesi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi. Adana. 179syf.
- Karahan, M., (2021) Tekstilde Sürdürülebilirlik, <https://btsoekonomi.com/haber-detay/tekstilde-surdurulebilirlik> erişim tarihi: 05.04.2022
- Kıroğlu, M., Fettahov, R., Kaplan, M., (2017). "Reaktif Boyama Sonrası İşletme ve Laboratuvar Yıkama Uygulamalarının Renk Değişimine Etkisinin İncelenmesi", Bartın Üniversitesi Mühendislik ve Teknoloji Bilimleri Dergisi, Cilt: 5/1, 35-39.
- Koca, E., Öz, C., ve Artaç, B. Y. (2016). "Hazır Giyim Sektöründe Sürdürülebilirliğin Yöneticiler Açısından Değerlendirilmesi". Journal of Textiles & Engineers/Tekstil ve Mühendis, 23(103): 220-230.
- MEB, (2011) Tekstil Teknolojisi Temel Boyama, [http://www.megep.meb.gov.tr/mte\\_program\\_modul/moduller\\_pdf/Temel%20Boyama.pdf](http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Temel%20Boyama.pdf) adresinden 30.05.2022 tarihinde indirilmiştir.
- Nandhakumar, R., Kaviyarasu, R., Kalidass, M., (2012), Dyeing of fabrics without water: A review The Indian Textile Journal, 2, 37-39.
- Öcal, F., (2006). Tekstil Sanayiinde Madde Ve Enerji Bilançoları, Örnek Boya Sanayii, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kimya Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Denizli
- Öztürk, E., (2014), Tekstil Sektöründe Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrolü ve Temiz Üretim Uygulamaları, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Sarıdereli, A. (2010). Boyahanelerde Laboratuvar ile İşletme Arasındaki Renk Değişimlerinden Kaynaklanan Hataların Azaltılması, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Tamtürk, H. F., 2007. Pamuklu Dokuma Kumaşlara Uygulanan Seçilmiş Ön Terbiye İşlemlerinin Kumaş Performansına Etkisi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana.

Tekstil Ürünlerinin Bitirilmesi Kaynak Verimliliği Rehberi Yayın No: e-7 Sanayide Kaynak Verimliliği Rehberi-1 Aralık 2018

Textile Machinery 3, (2010), [www.dyecoo.com/pdfs/colourist.pdf](http://www.dyecoo.com/pdfs/colourist.pdf) 8.

TSKR, (2012), Türkiye Sürdürülebilir Kalkınma Raporu, Geleceği Sahiplenmek Sürdürülebilir Kalkınma En İyi Uygulama Örnekleri, Kalkınma Bakanlığı, Haziran 2012, ISBN 978-605-4667-12-3, 76s.

TS ISO EN 13934-1, Kumaşlarda Kopma Mukavemeti tespiti

TS ISO EN 13937-2, Kumaşlarda Yırtılma Mukavemeti tayini (Tek-dil metodu)

TS ISO EN 105-C06, Yıkamaya Karşı Renk Haslığının Tespiti

TS ISO EN 105-X12, Sürtmeye Karşı Renk Haslığının Tespiti

US EPA, (1979), «Development Document for Effluent Limitations Guidelines and Standards for Textile Mills, Environmental Pollution Control in Textile Processing Industry,» United States Environmental Protection Agency, Washington, DC, 1979.

Üner, İ., ve Başaran, F. N. (2016). "Tekstilde Sürdürülebilirlik İçin Yöresel Ürünlerin Yaşam Döngüsü Değerlendirmesindeki Rolü: Çaput Dokumacılığı Örneği". Akdeniz Üniversitesi, IV. Yöresel Ürünler Sempozyumu ve Uluslararası Kültür/Sanat Etkinlikleri, Antalya.

Yacout, M., El-Kawi, M.A., & Hassouna M.S. (2014). Applying Energy Management in Textile Industry, Case Study: An Egyptian Textile Plant. International Energy Journal, 14, 87-94.

Yazır, E., 2011. Boyama Kalitesinin İyileştirilmesi Yöntemleri. Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Müh. Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi. Denizli. 62 Syf.

**Sürdürülebilir Ve Esnek Mimari Yaklaşımlarına Tarihsel Süreçte Kuramsal Bir Bakış**

**A Theoretical Overview Of Sustainable And Flexible Architectural Approaches In The Historical Process**

Halil YILMAZ<sup>1</sup>, Leyla Y. TOKMAN<sup>2</sup>

Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, Bina Bilgisi Anabilim Dalı

Geliş Tarihi : 08.09.2022

Doi: 10.51764/smutgd.1172454

Kabul Tarihi : 27.10.2022

**ÖZET**

Dünya nüfusunun artması, teknolojinin ilerlemesi ve küreselleşme nedeniyle doğal kaynaklara duyulan ihtiyaç hızla artmaktadır. Doğanın kendini yenileme hızı bu artışa cevap veremediği için ekosistemin dengesi bozulmaktadır. Ekosistemin dengesini korumak ve doğal kaynakların gelecek nesillere aktarımını sağlamak için sürdürülebilirlik kavramı ortaya çıkmıştır. Yapılar yaşam döngüsü içerisinde malzeme ve enerji tüketiminin fazla olması nedeniyle sürdürülebilirlik kapsamında büyük paya sahiptir. Günümüzde insanların istek/gereksinimlerinin farklılaşması, sürdürülebilir kalkınmanın gerekliliğinin artması sonucunda sürdürülebilir mimari ve esnek mimari yaklaşımları hızla önem kazanmaktadır. Bu çalışmada, insanların istek/gereksinimlerine cevap verebilmek ve doğal çevreyi korumak amacıyla, sürdürülebilir mimari ve esnek mimari yaklaşımları genel bir çerçeve içerisinde ele alınmıştır. Tarihsel süreç içerisinde uluslararası toplum nezdinde düzenlenen toplantı ve konferanslar incelenmiştir. Bu toplantı ve konferanslarda alınan kararlar sürdürülebilir mimari ve esnek mimari yönünden değerlendirilmiştir. Çalışma ile hedeflenen, sürdürülebilir mimarinin ve esnek mimarinin sürdürülebilirlik için önemli bir bileşen olduklarını vurgulamaktır. Bu anlamda, "gelecek nesiller için çevre ve insan istek / gereksinimlerine cevap verebilme" anlayışı içerisinde literatüre katkı sağlamak hedeflenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Sürdürülebilirlik, Sürdürülebilir Mimari, Esnek Mimari.

**ABSTRACT**

Due to the increase in the world population, the advancement of technology and globalization, the need for natural resources is increasing rapidly. Since nature's self-renewal rate cannot respond to this increase, the balance of the ecosystem is disturbed. The concept of sustainability has emerged to protect the balance of the ecosystem and to transfer natural resources to future generations. Buildings have a large share in the scope of sustainability due to the high consumption of materials and energy in their life cycle. Today, as a result of the differentiation of people's wishes/needs and the increase in the necessity of sustainable development, sustainable architecture and flexible architectural approaches are gaining importance rapidly. In this study, sustainable architecture and flexible architectural approaches are discussed in a general framework in order to respond to people's wishes/needs and to protect the natural environment. Meetings and conferences held before the international community in the historical process have been examined. The decisions taken at these meetings and conferences were evaluated in terms of sustainable architecture and flexible architecture. The aim of the study is to emphasize that sustainable architecture and flexible architecture are an important components for sustainability. In this sense, it is aimed to contribute to the literature within the understanding of "to be able to respond to the environment and human desires/needs for future generations".

**Keywords:** Sustainability, Sustainable Architecture, Flexible Architecture.

Halil YILMAZ, Orcid: 0000-0002-6486-4081, y.halil@gmail.com

Leyla Y. TOKMAN, Orcid: 0000-0002-8293-0871, tokmanly@gmail.com



## **GİRİŞ**

Nüfusun hızla artması, teknolojik ilerlemeler ve küreselleşme nedeniyle doğal kaynaklara duyulan ihtiyaç artmaktadır. Fakat doğanın kendini yenileme hızı bu ihtiyaçları karşılayamamaktadır. Canlıların yaşamı ekosistemin dengesinin bozulması sonucunda tehlikeye girmektedir. İnsanların doğaya ve kendilerine karşı yükümlülüklerini belirleyerek ekosistemin dengesini korunması amacıyla sürdürülebilirlik kavramı ortaya çıkmıştır.

Sözlük anlamı devam ettirilebilirlik olan sürdürülebilirlik kavramı; İngilizce’de “sustainability”, Fransızca’da “soutenabilité”, Almanca’da ise “nachhaltigkeit” şeklinde kullanılmaktadır (http-1). 1712’de Alman bilim adamı Johann Carl von Carlowitz’in “Sylvicul tura Oeconomica” adlı çalışmasında Almanca olarak ilk defa ormanlar için kullanmıştır. Carlowitz, sürdürülebilir bir ormancılık için kesilen ağaç sayısının dikilen ağaç sayısından az olması gerektiğini savunmuştur (Pittel, 2002).

Gelişmiş toplumlarda, mevcut doğal kaynakların %30-40’ı yapı inşasına harcanması nedeniyle sürdürülebilirlik, çevreye ve doğal kaynaklara verilen zararın giderek artması ve konut yapımının da bu hasarda büyük pay sahibi olması nedeniyle gün geçtikçe daha fazla önem verilmesi gereken bir kavram haline gelmiştir (Pulselli vd., 2007). Sistemlerin esnekliğini ve uyulanabilirliğini geliştirmek sürdürülebilirliği sağlamanın en önemli unsurlarından birisidir (Moffatt ve Russell, 2001).

İnsan istek ve gereksinimlerinin çeşitlilik ve süreklilik göstermesi ancak mevcut kaynakların sınırlı olması birçok alanda olduğu gibi mimarlıkta da yeşil, sürdürülebilir, enerji etkin, esnek ve akıllı yapılar gibi farklı kavramlarla açıklanan yeni yapı modellerinin ortaya çıkmasına ve gelişen teknolojiler ile yeni tasarım süreçlerinin gelişmesine neden olmuştur.

Yeni yapı modelleri ve yeni tasarım süreçleri mimaride sadece “sürdürülebilirliği” değil, aynı zamanda “esnekliği” de zorunlu hale getirmiştir. Bu da sürdürülebilir mimariyi temel alan, aynı zamanda yapıyı sistemler bütünü olarak inceleyen, bütünün optimizasyonunu sağlamayı amaçlayan esnek yapılar ile mümkündür. Sürdürülebilir esnek mimari ile amaç; tasarım-kullanım esnekliği sağlayan ve çevresel- ekonomik- sosyal yönden sürdürülebilir binalar tasarlamaya imkan sağlamaktır.

Tarihsel süreç içerisinde sürdürülebilirlik bağlamında yapılan çalışmalar, araştırmalar ve uluslararası toplum nezdinde düzenlenen toplantı ve konferanslar sürdürülebilir toplum ve sürdürülebilir yaşamın önemine dikkat çekmiştir. Bu nedenle toplumların kaynaklarının önemli bir bölümünü harcadıkları konut ve yaşam alanlarının sürdürülebilir ve esnek olması da önem kazanmıştır.

Bu çalışmada, insanların istek/gereksinimlerine cevap verebilmek ve ekosistemin geleceğini korumak amacıyla, sürdürülebilir mimari ve esnek mimari yaklaşımları genel bir çerçeve içerisinde ele alınmıştır. Sürdürülebilirliğin gelişimine önemli katkı sağlayan ve uluslararası düzeyde düzenlenen toplantı ve konferanslar kronolojik sırayla incelenmiştir. Bu toplantı ve konferanslarda alınan kararlarda sürdürülebilir mimarinin ve esnek mimarinin sürdürülebilirlik yönünden gelişimi değerlendirilmiştir. Çalışma ile hedeflenen, sürdürülebilir mimarinin ve esnek mimarinin sürdürülebilirlik için önemli bir bileşen olduklarını vurgulamaktır. Ayrıca gelecekte inşa edilecek yapıların sürdürülebilir ve esnek tasarımlı olmasına teşvik etmektir. Bu anlamda, “gelecek nesiller için çevre ve insan istek / gereksinimlerine cevap verebilme” anlayışı içerisinde literatüre katkı sağlamak hedeflenmiştir.

## **SÜRDÜRÜLEBİLİR MİMARİ**

Uzun bir tarihsel süreci olan sürdürülebilir mimarlık çeşitli toplumlarda farklı biçimlerde ortaya çıkmıştır. Toplumların yaşam biçimleri, coğrafi koşullar, sosyal fiziksel gereksinimler ve ekonomik nedenler sürdürülebilir mimarlığın şekillenmesinde önemli pay sahibidir. Gelişen ve değişen çevresel koşullar, iklim değişiklikleri, nüfus artışı ve doğal kaynakların hızla azalması sürdürülebilir mimarinin gelişmesine katkı sağlamıştır.

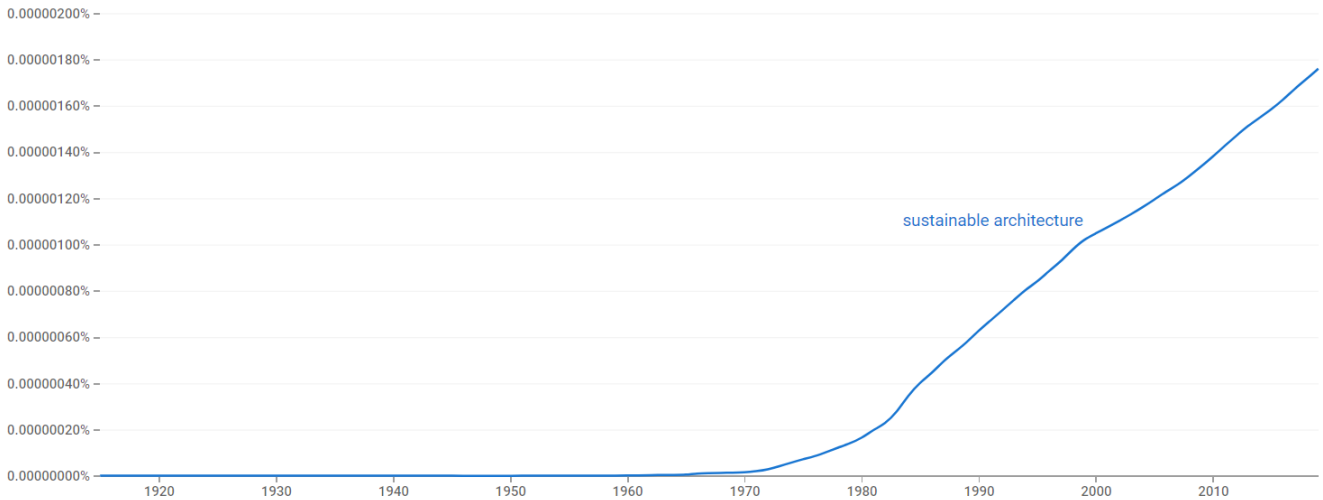
Fisher’e (1993) göre sürdürülebilir mimarlık, enerjiyi koruyan, geri dönüşümlü malzeme kullanılmasını sağlayan fosil yakıt kullanımı az olan binalar ve topluluklar yaratmaya çalışmaktır. Foster (2001)’ e göre sürdürülebilir tasarım, en azla en çoğu gerçekleştirmektir. Sürdürülebilir mimarlık iklime uyumlu, enerji etkin, yerin sosyal ve kültürel hayatına saygılı, doğal kaynaklar konusunda ekonomik, yeşil ve ekosistem üzerinde minimum etkilere sahip bir yapı tasarımı bilincini ifade etmektedir (Williamson, Radford, Bennetts, 2003).

Mimarlıkla ilgili olarak sürdürülebilirlik kavramı aynı zamanda, yapı malzemeleri, yerel malzemeler, yenilenebilir kaynaklar ve geri dönüştürülmüş malzemelerin kullanımını ve bina sakinlerinin fiziksel rahatlığını

vurgulamaktadır. Ayrıca sürdürülebilir mimari, bir binanın çevresiyle uyumlu hale getirilmesi için tasarlanmasını gerektirmektedir (Milosevic, 2004).

Sürdürülebilir mimari, binaların yaşam döngüsü içerisinde büyük miktarda enerji ve malzeme tüketmeleri nedeniyle bu malzeme ve enerji tüketimini azaltmak için ortaya çıkmıştır. İnşa edilen bina mevcut koşullar ve kullanıcının ihtiyaçlarına cevap verebiliyorsa ve gelecekte farklılaşan kullanıcı istek ve ihtiyaçlarını da karşılayabiliyorsa önemli miktarda enerji ve malzeme tasarrufu sağlanabilir. Bu nedenle mimarlıkta karşılaşılan en temel sorunlardan biri hızla değişen ihtiyaç ve gereksinimlerdir. Binalar, hızla değişen talepleri karşılayabilmek için esnek bir yapıya ve esnek bir mekânsal yapılandırmaya ihtiyaç duyar (Estaji, 2017).

Sürdürülebilir mimari kavramı, 1987 Brundtland raporunda “Sürdürülebilir Kalkınma” kavramının konferansa katılan ülkeler tarafından fikir birliğine varılmasından sonra yıllar içerisinde oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Çizelge 1’ de nitekim sürdürülebilir mimari kavramının kullanımında, 1988 yılından itibaren bir yükselmenin olduğu, bu kullanımın 2000’li yıllara gelindiğinde büyük bir artış gösterdiği ve 2008 yılına gelindiğinde ise hemen hemen zirve yaptığı görülmektedir. Bu sayede sürdürülebilir mimarinin günümüz koşullarında da büyük bir önem arz ettiği anlaşılmaktadır.



**Çizelge 1. Sürdürülebilir mimari kavramının yıllar içerisindeki kullanımı (http-2)**

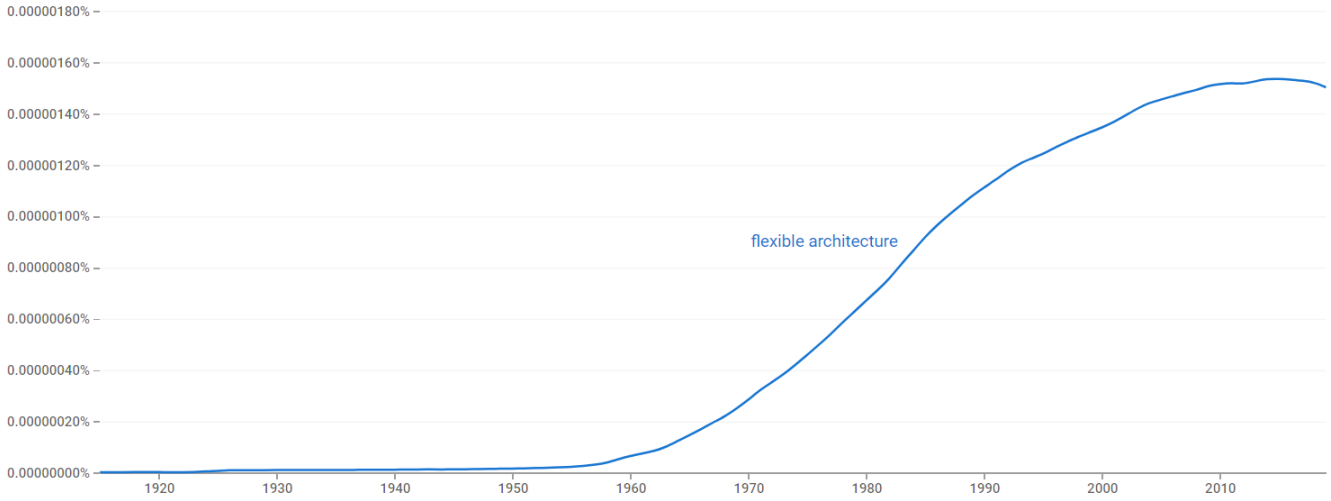
## ESNEK MİMARİ

Yapılarda kullanıcı ve gereksinimlerinin değişmesinden, teknolojinin ilerlemesinden ve ekonomik gelişmelerden dolayı pek çok değişim gözlenmektedir. Fakat bu değişimlerin etkileri, ne zaman gerçekleşecekleri ve süreçleri önceden bilinmediği için belirsizliklere neden olmaktadır. Bu nedenle yapıda karşılaşılan belirsizliklerin kısmen de olsa çözülebilmesi için esnek tasarımların kullanılması gerekliliği söz konusu olmuştur.

Till ve Schneider’e göre adaptasyon kullanıcıların sosyal kullanım kapasitesini, esneklik ise fiziksel düzenlemelerin farklılaştırılmasını kapsamaktadır. Sosyal istek ve gereksinimlerin farklılaşması fiziksel değişim ve dönüşümlerin gerekliliğini oluşturmaktadır. Bu nedenle kullanıcıların konutlarına adapte olabilmeleri için, konutların fiziksel değişim ve dönüşümlere olanak sağlayacak esnek tasarım stratejilerine açık olması gerekmektedir (Till, Schneider, 2005).

Forty (2000) esnekliği, mimarlara yapılarının gelecekteki kontrollerini sağlayan bir illüzyondur ve mimara katılım konusunda karşılaştığı ikileme karşı sağlanan zenginlikte şeklinde tanımlamaktadır. Friedman (2002)’a göre esneklik, mobilite ve özgürlüktür. Schneider ve Till (2005, 2007)’e göre, uzlaşmacı bir değişim olarak kabul edilen esneklik, kullanıcıların mevcut ve gelecekteki ihtiyaçları ile ilgilidir. Habraken (2008) esnekliği modifikasyon, adaptasyon, kullanım çeşitliliği ve özgürlük olarak tanımlamaktadır. Kronenburg (2007)’a göre esneklik için kullanılabilir anahtar kelimeler adaptasyon, mobilite, dönüşüm ve etkileşimdir.

Esnek mimari kavramı, Yirminci yüzyılın başlarında Le Corbusier ile başlayıp yıllar içerisinde oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaya devam etmiştir. Çizelge 2’ de nitekim esnek mimari kavramının kullanımında, 1970 yılından itibaren bir yükselmenin olduğu, bu kullanımın 2000’li yıllara gelindiğinde büyük bir artış gösterdiği ve 2003 yılına gelindiğinde ise hemen hemen zirve yaptığı görülmektedir. Bu sayede esnek mimarinin günümüz koşullarında da büyük bir önem arz ettiği anlaşılmaktadır.



Çizelge 2. Esnek mimari kavramının yıllar içerisindeki kullanımı (http-3)

## TARİHSEL SÜREÇ İÇERİSİNDE SÜRDÜRÜLEBİLİR VE ESNEK MİMARİ

Tarihsel süreç içerisinde sürdürülebilirlik bağlamında yapılan çalışmalar, araştırmalar ve uluslararası toplum nezdinde düzenlenen toplantı ve konferanslar sürdürülebilir toplum ve sürdürülebilir yaşamın önemine dikkat çekmiştir. Bu nedenle toplumların kaynaklarının önemli bir bölümünü harcadıkları konut ve yaşam alanlarının sürdürülebilir olması da önem kazanmıştır. Bu kapsamda sürdürülebilir mimari birçok toplum tarafından benimsenmiştir.

Çevre ile ilgili sorunların ele alınması için düzenlenen, 1972'de Stockholm toplantısı ile başlayan, 1987 Brundtland raporu ile devam eden toplantı ve konferanslarda çevre ve sürdürülebilirliğe dair kararlar alınmıştır. Özellikle esnek ve sürdürülebilir mimariye dair birtakım kararların alındığı uluslararası konferans ve toplantılar şunlardır.

### Stockholm Toplantısı (1972)

Stockholm çalışma grubu insan çevresi konulu raporu ortak prensipler 15'inci maddesinde, insan çevresinin korunması ve geliştirilmesi bağlamında, çevre üzerindeki olumsuz etkilerin azaltılması ve herkes için maksimum "sosyal", "ekonomik" ve "çevresel" faydalar elde etmek amacıyla yapılacak olan planlamanın insan yerleşimlerine ve kentleşmeye uygulanması gerektiği konusunda fikir birliğine varılmıştır. 113 ülkenin katılımıyla gerçekleşen, "sürdürülebilir mimari"nin insan yaşam alanları ve kentlere uygulanması gerekliliği konusunda uzlaşa sağlanan ilk uluslararası toplantı olması sebebiyle önemlidir (United Nations, 1972).

### Brundtland Raporu (1987)

Birleşmiş Milletler sürdürülebilir kalkınma konulu Brundtland raporunun 41'inci maddesinde "İnce seramikler, nadir metaller ve metal alaşımları, yüksek performanslı plastikler ve şimdi ise kompozitler gibi yeni malzemeler, üretim için daha esnek yaklaşımlar sağlamaktadır. Ayrıca, bu malzemeler üretimleri için daha az enerji gerektirmeleri ve daha hafif olmalarından dolayı, geleneksel malzemelerden daha az madde içerdiklerinden, enerji ve kaynak korumasına katkıda bulunurlar." ifadelerine yer vererek yeni teknolojilerin sürdürülebilir mimariye sağlayabileceği katkılardan bahsedilmektedir (United Nations, 1987).

Raporun, çevresel hedefler, düzenlemeler, teşvikler ve standartların belirlenmesi için alınan kararların 49'uncu maddesinde "Düzenlemeler ve standartlar, hava ve su kirliliği, atık yönetimi, işçilerin iş sağlığı ve güvenliği, ürün veya işlemlerin enerji ve kaynak verimliliği, toksik maddelerin üretimi, pazarlaması, kullanımı, nakliyesi ve imha edilmesi gibi hususları yönetecek içeriğe sahip olmalıdır. Bu düzenleme ve standartlar normal koşullarda ulusal düzeyde yapılmalı, yerel yönetimler ulusal normları aşmayacak fakat düşürmeyecek şekilde yetkilendirilmelidir. Çevresel düzenlemelerin hazırlanmasında, esnek bir sistemin belirli bir süreç veya teknoloji belirtilmeden benimsenmesi, hükümetlerin yasal standartları oluşturma ve bunları uygulama kapasitelerinde büyük farklılıklar gösterdiğini kabul etmek önemlidir." İfadelerine yer vererek sürdürülebilir mimarinin "enerji verimliliği", "kaynak verimliliği" ve "atık yönetimi" gibi temel gereksinimlerinden bahsedilmektedir (United Nations, 1987).

## **Birleşmiş Milletler İnsan Yerleşimleri Konferansı–Habitat II (1996)**

Sürdürülebilir gelişme kavramı ile insan yerleşimleri arasındaki sıkı ilişkiye oldukça ayrıntılı bir biçimde değinilmiştir. Amaçlar ve ilkeler bölümünde; “Sürdürülebilir Gelişme insan yerleşimlerinin gelişimi için zorunludur ve çevre koruma, toplumsal kalkınma ve ekonomik büyümenin gerekleri ve ihtiyaçlarına gereken önemi verir. İnsan yerleşimleri, sürdürülebilir gelişme ilkeleri göz önünde bulundurularak planlanmış, geliştirilmiş ve iyileştirilmiş olmalıdır” hükmü yer almamaktadır (United Nations, 1996).

Habitat II konferansında 90’ıncı madde “h” bendinde “Mühendislere, mimarlara, planlamacılara, yüklenicilere (müteahhitlere) ve onların müşterilerine, yerel olarak mevcut kaynakları kullanarak erişilebilir enerji verimli yapılar ve tesisler tasarlama, inşa etme ve kullanılan mevcut binalarda enerji tüketimini azaltma konusunda teşvikler sağlamak.” ifadelerine yer vererek, sürdürülebilir mimarinin desteklenmesi için birtakım teşviklerin sağlanmasının önemine vurgu yapılmıştır (United Nations, 1996).

## **Habitat III (2016)**

2016 yılında Ekvador’da düzenlenen “Konut ve Sürdürülebilir Kalkınma” konulu konferansta sürdürülebilir şehirler ve insan yerleşim alanları tesis etmek için yapılması gerekenler (madde; 5, 11, 14, 44, 51) aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir (United Nations, 2016).

- Sürdürülebilir kalkınmaya katkı sağlamak, insan sağlığını ve refahını artırmak, ayrıca esnekliği artırmak ve çevreyi korumak.
- Herkesin refah ve yaşam kalitesini artırmak için adil, güvenli, sağlıklı, erişilebilir, uygun fiyatlı, esnek ve sürdürülebilir şehirler ve insan yerleşim yerleri oluşturmak.
- Çevresel sürdürülebilirlik, temiz enerjiyi teşvik ederek, kentsel gelişimde arazi ve kaynakların sürdürülebilir kullanımını sağlamanın yanı sıra, doğaya uygun sağlıklı yaşam tarzları benimsemek de dahil olmak üzere ekosistemleri ve biyolojik çeşitliliği koruyarak; sürdürülebilir tüketim ve üretim modellerine teşvik etmek, kentsel esnekliğin oluşturulması; afet risklerini azaltmak ve iklim değişikliğinin etkilerini hafifletmek ve uyarlamak.
- Kentsel biçim, altyapı ve bina tasarımı, ölçek ve aglomerasyon (bir merkez yerleşim birimi etrafında veya merkez bir yerleşim birimi olmadan birbirleriyle ekonomi başta olmak üzere yoğun bağlantı içerisinde bulunan yerleşim birimlerinin kentsel birlikteliğini ifade eden bir kavramdır) ekonomisinin faydaları, enerji verimliliği, yenilenebilir enerji, esneklik, verimlilik, çevre koruma ve şehir ekonomisinin en büyük itici güçleri arasında bulunan sürdürülebilir büyüme ile maliyet ve kaynak verimliliğinin sağlanmasını teşvik etmek.
- Sürdürülebilir veya planlanan kentsel yayılma stratejileri yoluyla, doğal kaynakların ve arazinin sürdürülebilir yönetimini ve kullanımını destekleyen kentsel planlama ve tasarım araçlarını içeren kentsel-mekânsal çerçevelerin geliştirilmesini teşvik etmek. Ölçek ve yığılma ekonomilerini tetiklemek, gıda sistemi planlamasını güçlendirmek, kaynak verimliliğini, kentsel esnekliği ve çevresel sürdürülebilirliği artırmak.

Sürdürülebilir mimari tarihsel süreci içerisinde yapılan konferans, toplantı vb. uluslararası faaliyetlere bakıldığında “Habitat III”ün ayrı bir yerinin olduğu söylenebilmektedir. Çünkü süreç boyunca yapılan pek çok uluslararası organizasyonlar incelendiğinde, sürdürülebilirlik veya sürdürülebilir mimariye dair alınan pek çok prensip veya tavsiye kararları bulunmaktadır. Ancak Habitat III’ü bunlardan ayıran en büyük özelliği, sürdürülebilir mimaride esneklik (konut, kent, yerleşim alanları) kavramının doğrudan kullanılmış olması ve konut sürdürülebilirliği hakkında yapılan ilk konferans olmasıdır. Aşağıdaki Tablo 1.’de düzenlenen Uluslararası konferans ve sözleşmeler de sürdürülebilirlik ve esneklik bağlamında alınan kararlar kronolojik sıralama ile verilmektedir.

**Tablo 1. Sürdürülebilirlik ile ilgili çeşitli Uluslararası Konferans ve Antlaşmalar da sürdürülebilirlik ve esneklikle ilgili alınan kararlar (United Nations, 1972; United Nations, 1976; United Nations, 1982; United Nations, 1987; United Nations, 1992; European Community, 1992; United Nations, 1994; United Nations, 1996; United Nations, 1997; United Nations, 2002; United Nations, 2009; United Nations, 2012; European Community, 2014; United Nations, 2015; United Nations, 2016; United Nations, 2018 yorumlanarak)**

Uluslararası Konferans ve Sözleşmeler	Tarih	Sürdürülebilirlik	Sürdürülebilir ve Esnek Mimari
Stockholm Toplantısı	1972	Devletler ve uluslararası kuruluşlar bağlamında çevrenin korunması ve geliştirilmesi için alınması gereken önlemlere rehberlik etmektedir.	Yapılacak olan planlamanın insan yerleşimlerine ve kentleşmeye uygulanması gerektiği.
Barselona Antlaşması	1976	Akdeniz'in Kirliliğe Karşı Korunması amacıyla ülke ve kuruluşlara sorumluluklar verilmiştir.	
Birleşmiş Milletler Çevre Programı ve Dünya Koruma Stratejisi	1980	Koruma ve geliştirme düşüncesini birarada ele alarak, sürdürülebilir bir topluma ulaşmak gerektiğini vurgulamaktadır.	
Dünya doğa şartı belgesi	1982	Doğal kaynakların ve ekosistemin azami düzeyde sürdürülebilir olmasını sağlayacak şekilde yönetilmesi.	
Brundtland Raporu	1987	İnsan ihtiyaçlarını karşılarken gelecek nesillerin gereksinimlerini karşılamalarına olanak sağlayacak şekilde doğal kaynakların kullanılması gerekliliği.	-Kompozitler gibi yeni malzemeler, üretim için daha esnek yaklaşımlar sağlamaktadır -Sürdürülebilir mimarinin "enerji verimliliği", "kaynak verimliliği" ve "atık yönetimi" gibi temel gereksinimleri
Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı	1992	Sürdürülebilir gelişmeyi merkeze alarak, tüm insanların çevre ile uyumlu ve sağlıklı yaşam hakkı olduğu vurgulanmaktadır.	
Avrupa Birliği 5. Çevre Eylem Programı	1992	Sürdürülebilirliğin kent yaşamı ve insan yerleşim yerlerine uygulanabilmesi için yerel yönetimler merkezi yönetimin paydaşı olarak kabul edilmektedir.	
Çölleşmeyle Mücadele Antlaşması;	1994	Başta çölleşme ve kuraklık tehlikesiyle karşı karşıya olan ülkeler olmak üzere mevcut sorunları çözerek sürdürülebilir kalkınma planlarının yapılması amaçlanmıştır.	
Habitat II	1996	Türkiye'nin ev sahipliğinde düzenlenen konferansın amacı küresel öneme sahip "Şehir ve İnsan Yerleşimlerinin problemleri" konularını ele almaktır.	-İnsan yerleşimleri, sürdürülebilir gelişme ilkeleri göz önünde bulundurularak planlanmış, geliştirilmiş ve iyileştirilmiş olmalıdır. -Yerel kaynaklar kullanılarak erişilebilir, enerji verimli yapılar ve tesisler tasarlamak, inşa etmek ve kullanılan mevcut binalarda enerji tüketimini azaltmak.
Kyoto protokolü	1997	Küresel ısınma ve iklim değişikliği ile mücadele etmek bağlamında 5 gazın salınımının azaltılması amaçlanmıştır.	
Rio + 5 forumu	1997	Sürdürülebilir Gelişmeyi "Gündem" den uygulama" ya geçirmek için geniş bir katılımcı grubunu bir araya getirmeyi hedeflemiştir.	
Johannesburg Konferansı	2002	Ülkelerin ulusal sürdürülebilir gelişme stratejilerinin en kısa sürede oluşturulması amaçlanmıştır.	

Kopenhag İklim Zirvesi	2009	Zirve sonunda varılan mutabakat sürdürülebilirlik bağlamında yol gösterici olarak kabul edilmiştir.	
Rio+20 Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Konferansı	2012	Yeşil ekonomiye geçişle alakalı olarak ülkelere yol gösterecek şekilde kamu ve özel sektör için gerçekçi ve uygulanabilir öneriler oluşturması ve bu önerilerin üye ülkeler tarafından benimsenmesi için zemin hazırlaması amaçlanmıştır.	
Avrupa Birliği 7. Çevre Eylem programı	2014	Avrupa Birliği içinde kentsel sürdürülebilirliğin güçlendirilmesi, hava, su ve toprak kirliliğinin önemli ölçüde azaltılması, mevcut kimyasalların modernize edilmesi ve birçok zehirli maddenin kullanımının kısıtlanması amaçlanmıştır.	
Paris iklim zirvesi	2015	Ortalama küresel sıcaklık artışının, sanayileşme öncesi dönemdeki seviyenin 1.5°C ile sınırlandırılmasına çalışılması üzerinde anlaşmaya varılmıştır.	
Habitat III	2016	Sürdürülebilir Kentleşme ve Yeni Kentsel Gündem konuları bağlamında küresel ısınma ve iklim değişikliği yönünden izlenecek yollar tartışılmıştır.	-Sürdürülebilir kalkınmaya katkı sağlamak, insan sağlığını, refahını ve yaşam alanlarının esnekliğini artırmak ve çevreyi korumak. - Herkesin refah ve yaşam kalitesini artırmak için adil, güvenli, sağlıklı, erişilebilir, uygun fiyatlı, esnek ve sürdürülebilir şehirler ve insan yerleşim yerleri oluşturmak. -Temiz enerjiyi teşvik ederek, kentsel gelişimde arazi ve kaynakların sürdürülebilir kullanımını sağlamak.
Birleşmiş Milletler taraflar konferansı	2018	İklim değişikliği ile ilgili Paris Anlaşması'nın kural kitabı kabul edilmiştir.	

Yapılan birçok çalışma/toplantı/konferans değerlendirildiğinde sürdürülebilir mimarinin ve esnek mimarinin tarihsel süreç içerisinde çeşitli aşamalardan geçtiği görülmektedir. Zaman içerisinde yapılan yenilik ve değişikliklerin birbirini takip etmesiyle sürdürülebilir mimarinin ve esnek mimarinin sürdürülebilirlik içerisinde giderek daha fazla yer aldığı anlaşılmaktadır. Bu konferans ve toplantılar kronolojik olarak incelendiğinde ilk toplantılarda sürdürülebilir mimari ve esnek mimari bağlamında alınan kararlar sürdürülebilirlik ölçütlerinin hepsiyle ilişkili olmasa da, son düzenlenen konferanslara bakıldığında sürdürülebilirliğin çevresel, ekonomik ve sosyal üç ölçütüyle de ilişkili olduğu yönünde değerlendirilmiştir. Bu konferans ve toplantılarda sürdürülebilir mimari ve esnek mimari bağlamında alınan kararların;

- Enerji, su ve atık yönetiminde etkinliğin sağlanması,
- Yenilenebilir temiz enerji kaynaklarından daha fazla faydalanılması,
- Düşük maliyetli, çevreci, sağlıklı ve geri dönüştürülebilir malzeme kullanılması,
- Çevresel değişikliklere ve kullanıcı isteklerine uyum sağlayabilecek yapıların inşa edilmesi,

Yönünden sürdürülebilirliğin gelişimin de önemli paya sahip oldukları değerlendirilmiştir.

## SONUÇ

Bu çalışmada sürdürülebilir mimari ve esnek mimari kavramları teorik bir çerçevede tarihsel süreçte düzenlenen konferans ve toplantılarda ele alınmıştır. Sürdürülebilir mimari ve esnek mimari, sürdürülebilirlik gelişimi bakımından değerlendirilmiştir.

Sonuç olarak söylenebilir ki; sürdürülebilir esnek mimari, insan istek/gereksinimleri ve doğal çevrenin gelecek nesillere aktarılması için gereklidir. Bu anlamda sürdürülebilir esnek mimari; yaşlılara, çocuklara ve engellilere

kullanım kolaylığı sağlanması, yenilenebilir temiz enerji kaynaklarından azami düzeyde faydalanılması, bakım onarım maliyetlerinin azaltılması, yapı yaşam döngüsünün uzatılması, doğal kaynakların korunması, doğa ve çevreyle uyumlu ekolojik yaşam alanlarının inşa edilmesi, etkin atık ve kaynak yönetiminin sağlanması, değişen kullanıcı ihtiyaçlarının (sosyal, fiziksel) karşılanarak konforlu ortam sağlanması gibi faydalar sağlamaktadır. Bu durumun sürdürülebilirliği olumlu yönde etkilendiği anlaşılmaktadır. Sürdürülebilir mimariye ve esnek mimariye yönelik daha fazla çalışma yapılarak sürdürülebilirliğin gelişimi desteklenmelidir. Bu bağlamda çalışma, yapılacak olan çalışmalara kaynak niteliği taşımaktadır.

Tüketiciden üreticiye yalnızca karar alıcıların uygulayacakları politikalar değil, toplumun tamamında sürdürülebilir esnek mimari bilincinin oluşturulması gerekmektedir. Dünyanın yalnızca bugünden ibaret olmadığı, gelecek nesillerin de bütün doğal kaynaklardan yararlanma hakkına sahip olduğu bilinci ile ekonomik faaliyetler gerçekleştirilmelidir.

## **KAYNAKLAR**

- Estaji, H. (2017). A Review of Flexibility and Adaptability in Housing Design. *International Journal of Contemporary Architecture "The New ARCH"*. 4 (2), 38.
- Fisher, T.R. (1993). Architectural Education as a Design Problem. *Harvard Architecture Journal*.
- Forty, A. (2000). *Words and Buildings: A Vocabulary of Modern Architecture Paperback*. Londra: Thames & Hudson.
- Foster, N. (2001). Lord Foster of Thames Bank (Green Architecture). *Architectural Design*. 71 (4).
- Friedman, A. (2002). *The Adaptable House: Designing Homes For Change*. New York: Mcgraw-Hill Professional
- Habraken, N. J. (2008). Design For Flexibility. *Building Research & Information*, 36(3), 290-296.
- Kronenburg, R. H. (2007). *Flexible Architecture that Responds to Change*. Londra: Laurence King Publishing.
- Milosevic, P. (2004). The concept and principles of sustainable architectural design for national parks in Serbia. *SPATIUM International Review*, 11, 91-105.
- Moffatt, S.& Russell, P. (2001). Assessing the Adaptability of Buildings. IEA Annex 31 Energy- Related Environmental Impact of Buildings. *International Initiative for a Sustainable Built Environment*. Canada.
- Pittel, K. (2002), *Sustainability and Endogenous Growth, Cheltenham, UK and Northampton, MA, US*: Edward Elgar.
- Pulselli, R.M., Simoncini, E., Pulselli, F.M., & Bastianoni, S. (2007). Energy analysis of building manufacturing, maintenance and use: Em-building indices to evaluate housing sustainability. *Energy and Buildings*, 39, 620-628.
- Schneider, T. & Till, J. (2007). *Flexible housing*. London: Architectural Press.
- Schneider, T. & Till, J. (2005). Flexible Housing: Oppourtunities and Limits. *Architectural Research Quarterly*, 9(2), 157-166.
- Till, J. & Schneider, T. (2005). Flexible Housing: The Means To The End. *Architectural Research Quarterly*, 9 (3/4), 287-296.
- United Nations. (1972). *Report Of The United Nations Conference on the Human Environment*. Stockholm.
- United Nations. (1976). *Convention For The Protection Of The Mediterranean Sea Against Pollution*. Barcelona.
- United Nations. (1982). *World Charter for Nature, The General Assembly*.
- United Nations. (1987). *Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future*, Oslo.
- United Nations. (1992). *United Nations Conference on Environment & Development*, Brazil.
- United Nations. (1994). *10. United Nations Convention to Combat Desertification in those Countries Experiencing Serious Drought and/or Desertification, Particularly in Africa*, Paris.
- United Nations. (1994). *Report of the International Conference on Population and Development*, Cairo.
- United Nations. (1996). *Report Of The United Nations Conference On Human Settlements (Habitat II)*, İstanbul.
- United Nations. (1997). *Kyoto Protocol To The United Nations Framework Convention On Climate Change*,

Kyoto.

United Nations. (1997). *The United Nations Commission on Sustainable Development: The First Five Years*, New York.

United Nations. (2002). *Report of the World Summit on Sustainable Development*, Johannesburg.

United Nations. (2009). *A Copenhagen Climate Treaty*, Copenhagen.

United Nations. (2012). *The Future We Want: Outcome document of the United Nations Conference on Sustainable Development*, Brazil.

United Nations. (2015). *Adoption Of The Paris Agreement*, Paris.

United Nations. (2016). *Habitat III New Urban Agenda*, Quito.

United Nations. (2018). *United Nations Climate Change Conference (COP24)*, Katowice.

Williamson, T., Radford, A. & Bennetts, H. (2003). *Understanding Sustainable Architecture*. London: Spon Press.

### **İnternet Kaynakları:**

#### **http-1:**

[http://www.tdk.gov.tr/index.php?option=com\\_gts&arama=gts&guid=TDK.GTS.5c5ef7be2c81a7.85652629](http://www.tdk.gov.tr/index.php?option=com_gts&arama=gts&guid=TDK.GTS.5c5ef7be2c81a7.85652629) (Erişim tarihi: 09.02.2019)

#### **http-2:**

[https://books.google.com/ngrams/graph?content=sustainable+architecture&year\\_start=1975&year\\_end=2008&corpus=15&smoothing=5&share=&direct\\_url=t1%3B%2Csustainable%20architecture%3B%2Cc0#t1%3B%2Csustainable%20architecture%3B%2Cc0-1](https://books.google.com/ngrams/graph?content=sustainable+architecture&year_start=1975&year_end=2008&corpus=15&smoothing=5&share=&direct_url=t1%3B%2Csustainable%20architecture%3B%2Cc0#t1%3B%2Csustainable%20architecture%3B%2Cc0-1) (Erişim tarihi: 01.09.2022)

#### **http-3:**

[https://books.google.com/ngrams/graph?content=flexible+architecture&year\\_start=1975&year\\_end=2008&corpus=15&smoothing=5&direct\\_url=t1%3B%2Cflexible%20architecture%3B%2Cc0](https://books.google.com/ngrams/graph?content=flexible+architecture&year_start=1975&year_end=2008&corpus=15&smoothing=5&direct_url=t1%3B%2Cflexible%20architecture%3B%2Cc0) (Erişim tarihi: 01.09.2022)



Öğütülmüş Pomza Tozu İkameli Harçların Hidroklorik Asit Direncinin İncelenmesi  
Investigation of Hydrochloric Acid Resistance of Ground Pumice Powder Substituted  
Mortars

Meryem Rumeysa KAYIHAN<sup>1</sup>, Behçet DÜNDAR<sup>2</sup>, Emriye ÇINAR RESULOĞULLARI<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği ABD, Osmaniye

<sup>2</sup>Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Osmaniye

Doi: 10.51764/smutgd.1199413

Geliş Tarihi :04.11.2022

Kabul Tarihi :22.11.2022

## ÖZET

Bu çalışmada, Öğütülmüş Pomza Tozlu (ÖPT) harçların Hidroklorik (HCl) asit direnci araştırılmıştır. Harç karışımlarının hazırlanmasında bağlayıcı olarak CEMI-42.5/R Portland Çimentosu, agrega olarak ise 0-4 mm tane boyutunda kırma kum kullanılmıştır. Mineral katkı olarak ÖPT, çimento ile ağırlıkça %0, %10, %20 ve %30 oranlarında ikame edilerek harç numuneleri üretilmiştir. Asit etkisinin araştırılmasında hacimce %5 derişikteki HCl asit kullanılmıştır. Taze haldeki harç numunelerine yayılma deneyi uygulanmıştır. Harç numuneleri 7, 28 ve 90 gün boyunca standart kür havuzunda bekletilmiş ve 28 ve 90. gününü dolduran numunelerin birim hacim ağırlık, su emme ve porozite oranları belirlenmiştir. 7, 28 ve 90. gününü dolduran numunelere eğilme ve basınç deneyleri yapılmıştır. Standart kür havuzunda 28 gün bekletilen numuneler daha sonra, HCl asit küründe 7, 28 ve 90 gün sonunda eğilme ve basınç deneyleri yapılmıştır. HCl asitte, 28 ve 90. gününü dolduran numunelerin birim hacim ağırlık, su emme ve porozite oranları belirlenmiştir. Sonuç olarak, ÖPT ikame oranının artmasıyla referans numuneye göre yayılma değerinde, birim hacim ağırlık, eğilme ve basınç dayanımında azalma, su emme ve porozite oranları ise artış gözlemlenmiştir. HCl asit çözeltisinde 7 gün bekleme süresinde numunelerin basınç dayanımları ÖPT ikame oranının artmasıyla artış gerçekleşirken, 28. ve 90 günlük bekleme sürelerinde azalış meydana gelmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Mineral Katkı, Öğütülmüş Pomza Tozu, Hidroklorik Asit, Asit Etkisi

## ABSTRACT

In this study, Hydrochloric (HCl) acid resistance of Ground Pumice Powder (GPP) mortars was investigated. In the preparation of the mortar mixtures, CEMI-42.5/R Portland Cement was used as the binder, and crushed sand with 0-4 mm grain size was used as the aggregate. Mortar samples were produced by substituting GPP as a mineral additive with cement at the rates of 0%, 10%, 20% and 30% by weight. In the investigation of the acid effect, 5% by volume of concentrated HCl acid was used. flow-table test was applied to fresh mortar samples. Mortar samples were kept in the standard curing pool for 7, 28 and 90 days and unit volume weight, water absorption and porosity ratios of the samples that completed their 28th and 90th days were determined. flexure and compression tests were performed on the samples that completed their 7th, 28th and 90th days. The samples, which were kept in the standard curing pool for 28 days, were then subjected to flexure and compression tests at the end of 7, 28 and 90 days in HCl acid curing. In HCl acid, unit volume weight, water absorption and porosity ratios of the samples that completed their 28th and 90th days were determined. As a result, it was observed that the flow-table value, unit weight, flexural and compressive strength decreased, water absorption and porosity ratios increased with the increase of the GPP substitution ratio compared to the reference sample. While the compressive strengths of the samples in the HCl acid solution during the 7-day waiting period increased with the increase in the GPP replacement ratio, a decrease occurred in the 28th and 90-day waiting times.

**Keywords:** Mineral Additive, Ground Pumice Powder, Hydrochloric Acid, Acid Attack

Meryem Rumeysa KAYIHAN, Orcid:0000-0002-7244-3551, [mrym.kayihan@outlook.com](mailto:mrym.kayihan@outlook.com)

Behçet DÜNDAR, Orcid:0000-0003-0724-9469, [behcetdundar@osmaniye.edu.tr](mailto:behcetdundar@osmaniye.edu.tr)

Emriye ÇINAR RESULOĞULLARI, Orcid:0000-0002-9435-2968, [emriyecinar@osmaniye.edu.tr](mailto:emriyecinar@osmaniye.edu.tr)

## **1. GİRİŞ**

Sürdürülebilirlik probleminin azaltılması amacıyla hem ekonomik hem kaliteli yeni yapı malzemeleri arayışı doğrultusunda çeşitli araştırmalar mevcuttur (Liu, 2011). Çimento esaslı kompozitlerin kullanım sahalarına göre tasarım yapılması ve olası asit saldırılarına karşı sürdürülebilir ve alternatif malzemelerin araştırılması gerekmektedir. Alternatif ve sürdürülebilir çevreci malzemelerin kullanımı çimento üretim ve tüketim miktarını azaltarak hem çevreci hem de ekonomik yönleri ile tercih edilme sebebi olacaktır (Toutanji, Zhao & Zhang, 2006; Toutanji & Deng, 2007). Yapı malzemelerinin üretiminde bağlayıcı malzeme olarak kullanılan çimento, başta CO<sub>2</sub> olmak üzere çeşitli sera gazlarının salınımı, evsel atıksular, endüstriyel atıklar, gürültü gibi birçok olumsuz çevresel etkiye sebep olmaktadır. Bu nedenle çimento miktarının azaltılıp, ikame malzemesi olarak mineral katkıların tercih edilmesi hem söz konusu çevresel etkileri azaltacak, hem de maliyet ve enerji tasarrufu sağlayacaktır (Olivier & Peters, 2020).

Atık maddeler arasında yüksek fırın cürufu, silis dumanı, uçucu kül, mermer tozu vb. gibi yaygın olarak kullanılan mineral katkıları bulunmaktadır. Bu mineral katılara ek olarak, ÖPT kullanılmaktadır. ASTM C618'e göre, bir malzemenin iyi puzolan kategorisinde yer alması için en az %70 oranında alümina, kalsiyum ve silika oksitleri içermesi gerekir. Alümina ve silika oksitleri açısından zengin olan ÖPT ise puzolan kategorisinde yer almaktadır (ASTM C618, 1998). ÖPT, doğal puzolanlar için belirlenen birçok gereksinimleri karşılayıp, çimento içeren karışımların kalsiyum hidroksit içeriğini iyileştirmede kullanılır. Pomza, hafiflik ve yalıtım özellikleri bakımından yapı malzemesi olarak kullanılmaktadır (Hossain, Ahmed & Lachemi, 2011). Geri dönüştürülmüş asfalt atığı ve ÖPT katkılı numunelerin 7 ve 28 günlük eğilme-basınç dayanım değerleri referans numuneye göre giderek azalmaktadır (Kayıhan, Dünder & Çınar, 2022). Pomzanın agrega olarak kullanımıyla harçlarda yangına dayanıklılık, ısı yalıtımı, kimyasal direnç, daha az alkali-silika reaksiyonu genleşmesi, hafiflik ve donma/çözülme direnci gibi özelliklerini iyileştirdiği bilinmektedir. Diğer yandan su emme oranının artışı, işlenebilirlik ve mekanik dayanımlarında azalmalar görülmektedir (Rashad, 2019). Asit saldırısının hızı, pH değeri, çimento esaslı malzemelerin ve asit çözeltisinin tipi, sıcaklık, su/bağlayıcı oranı vb. gibi farklı değişken faktörlere bağlıdır (Zivica & Bajza, 2002). Çimento esaslı malzemeleri, asit, sülfat ve alkali saldırıları, klorür girişi ve karbonatlaşma gibi çeşitli kimyasal saldırı türleri dayanım ve dayanıklılığı olumsuz etkilemektedir (ACI 515.2R-13, 2013). Çimento esaslı malzemelerin çoğu asidik ortamlarda, özellikle sülfürik asit, HC1 ve nitrik asit gibi güçlü asitlere karşı zayıftırlar. Güçlü asitlerin oluşumu endüstriyel faaliyetlerde daha belirgin olmasına rağmen, bu asitler genellikle kentsel faaliyetlerle ilgili yeraltı suyu, deniz suyu ve kanalizasyon sistemlerinde ortaya çıkabilir. Bunlar arasında en sık rastlanan ve tahribatı fazla olan HCI asittir (Bertron, Duchesne & Escadeillas, 2005; Zivica & Bajza, 2001). Harçlarda asit etkisini incelemek için kullanılan HCI asit, harçlarda önemli ölçüde dayanım kayıplarına sebep olan güçlü asitler arasında yer almaktadır. Asit etkisine maruz kalan numunelerin gözenekliliği artmakta ve döküm yüzeyinde aşınmalar meydana gelmektedir (İsmail & Ramli, 2013). HCI asit etkisi sonrasında, numunelerde ağırlık ve kesit alanı kaybı gözlemlenir. Mikro yapıyı yoğunlaştırarak HCI asit etkisine karşı çimento matrisinin difüzyon direnci artırılabilir. Genel olarak asite maruz bırakılan numunelerin etkilenmiş bölgelerinde alümina-silika hidrojin varlığı gözlemlenebilmektedir (Muthu, Yang & Ünlüer, 2021). Çimento harçları HCI asit etkisine maruz bırakıldıklarında ilk etkilenen ve çatlama riski en yüksek olan bölge döküm yüzeyidir (Gutberlet et al., 2015). HCI asit saldırısına maruz bırakılan çimento esaslı malzemelerin etkilenen bölgelerinde kalsiyum klorür (CaCl<sub>2</sub>) tuzunun çökeldiğini bilinmektedir (Ceukelaire,1982; Chandra, 1988). Yüksek konsantrasyonlu

hidroklorik asit, sertleşmiş çimento hamurunun ciddi şekilde bozulmasına neden olur (Aiken, Kwasny, Sha & Soutsos, 2018; Kwasny, Aiken, Soutsos, McIntosh & Cleland, 2018).

Bu çalışmanın amacı, ÖPT'nin çimento ile ikame edilerek üretilen harçların fiziksel ve mekanik özelliklerinin yanı sıra HCl asit etkisinin araştırılmasıdır. Bu amaç doğrultusunda üretilen harçlarda çimento kullanımını azaltarak çevreye duyarlı ve asite dayanıklı harçların üretilmesi hedeflenmiştir. Bu kapsamda ÖPT, çimento ile ağırlıkça %0, %10, %20 ve %30 oranlarında ikame yapılarak kullanılmıştır. HCl asit etkisinin araştırılması için HCl asit oranı %5 olan asit çözeltileri hazırlanmıştır. Üretilen harç numunelerinin asit öncesinde ve sonrasında fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir.

## 2. MATERYAL VE METOT

### 2.1. Kullanılan Materyaller

Harç numunelerinin üretiminde bağlayıcı olarak ÇİMSA Çimento San. Tic. A.Ş.'den temin edilen ve TS EN 197-1'e standardına uygun olarak üretilen CEM I 42.5 R tipi çimento seçilmiştir (TS EN 197-1, 2012). Agrega olarak ise 0-4 mm boyutuna sahip olan kırma kum kullanılmıştır. Mineral katkı olarak bazik karakterli 25-63 mikron inceliğinde ve özgül ağırlığı 2.45 g/cm<sup>3</sup> olan ÖPT tercih edilmiştir. Numunelerinin üretiminde TS EN 1008 standardına uygun olan Osmaniye ili, şebeke suyu kullanılmıştır (TS EN 1008, 2003). ÖPT'nin kimyasal analizi Tablo 1'de verilmiştir. Deneysel çalışmada asit çözeltisinde kullanılan HCl asit yoğunluğu 1.15-1.16 g/cm<sup>3</sup> olup, teknik özellikleri ise Tablo 2'de verilmiştir.

**Tablo 1.** ÖPT'nin kimyasal analizi

Kimyasal Bileşenleri	İçerik Oranları (%)
SiO <sub>2</sub>	51.20
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.70
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.24
TiO <sub>2</sub>	0.05
CaO	6.00
MgO	1.60
Na <sub>2</sub> O	11.38
SrO	0.05
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.03
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.05

**Tablo 2.** HCl asidin özellikleri

Teknik Özellikler	Açıklama
Safiyet	%30.0-32.0
Klorür (Cl)	%0.005
Sülfat (SO <sub>4</sub> )	%0.005
Ağır Metaller (Pb gibi)	%0.0005
Viskozite dinamik (20°C)	1.8 mPa.s
Görünüm	Berrak, temiz ve tortusuz

## 2.2. Metot

Harç numunesinin üretimi, TS EN 197-1 standardında belirtilen karışım miktarları esas alınarak gerçekleştirilmiştir (TS EN 197-1, 2012). Üretilen harçlar için kullanılan malzeme miktarları Tablo 3'te verilmiştir. Puzolanik malzeme olarak kullanılan ÖPT, çimento ile ağırlıkça %0, %10, %20 ve %30 oranlarında ikame yapılarak 4x4x16 cm boyutlarında harçlar üretilmiştir.

**Tablo 3.** Harç karışım miktarları (gr)

Numune Adı	Çimento	Kum	Su	ÖPT
R	450	1350	225	0
ÖPT10	405	1350	225	45
ÖPT20	360	1350	225	90
ÖPT30	315	1350	225	135

ÖPT ikameli harç numunelerin işlenebilirliğinin kontrolünü sağlamak için yayılma tablası deneyi yapılmıştır. Harç numuneleri taze haldeyken kalıplara yerleştirilmeden önce TS EN 1015-3 standardına uygun olarak yayılma tablası deneyi uygulanmıştır (TS EN 1015-3, 2000). Taze harç kesik koni içerisine yerleştirilir ve yavaşça düşey olarak yukarı doğru çekilir. Harç kütlesi dairesel levha üzerinde yer alırken, yayılma tablası yaklaşık saniyede bir defa olmak üzere 15 defa serbest düşürülerek yayılma sağlanır. Yayılan harç kütlesinin çapı, birbirine dik iki doğrultuda ölçülerek belirlenir. Deneyde kullanılan yayılma tablası deney düzeneği Şekil 1'de yer almaktadır.



**Şekil 1.** Yayılma tablası deney düzeneği

İşlenebilirliği belirlenen taze haldeki harçlar numuneleri kalıplara yerleştirilerek 28 gün boyunca kür uygulanmasının ardından Arşimet prensibi ile çalışan tartıda yüzey kuru suya doymun ağırlıkları, suya doymun ağırlıkları ve etüv kuru ağırlıkları kaydedilmiştir. Elde edilen ağırlık değerleri TSE EN 1170-6 standardına uygun olarak birim hacim ağırlık değerleri, su emme ve porozite oranları hesaplanmıştır (TS EN 1170-6, 1999). Üretilen harç numuneleri 28 gün boyunca standart kür uygulanmasının ardından %5 HCl asit çözeltisinde 7, 28 ve 90 gün süreyle bekletildikten sonra da birim hacim ağırlık, su emme ve porozite oranları hesaplanmıştır. HCl asit öncesi ve sonrasındaki fiziksel özelliklerinin değişimleri incelenmiştir. Çalışma kapsamında üretilen harç numunelerinin 7, 28 ve 90 günlük standart kür sürelerinin ardından TS EN 196-1 standardına uygun eğilme ve basınç dayanımları Şekil 2'deki pres yardımıyla belirlenmiştir (TS EN 196-1, 2016). Aynı zamanda 28 gün standart su kürünü tamamlayan nihai dayanıma ulaşan harç numuneleri HCl asit çözeltisinde 7, 28 ve 90 gün süreyle bekletilmiştir. Asit çözeltisi içerisinde bahsi geçen sürelerde bekletilen harç numunelerine de eğilme ve basınç dayanım deneyi uygulanmıştır.



Şekil 2. Deneyde kullanılan eğilme ve basınç dayanımı presi

### 3. Bulgular ve Tartışma

#### 3.1. Yayılma Tablası Deneyi Sonuçları

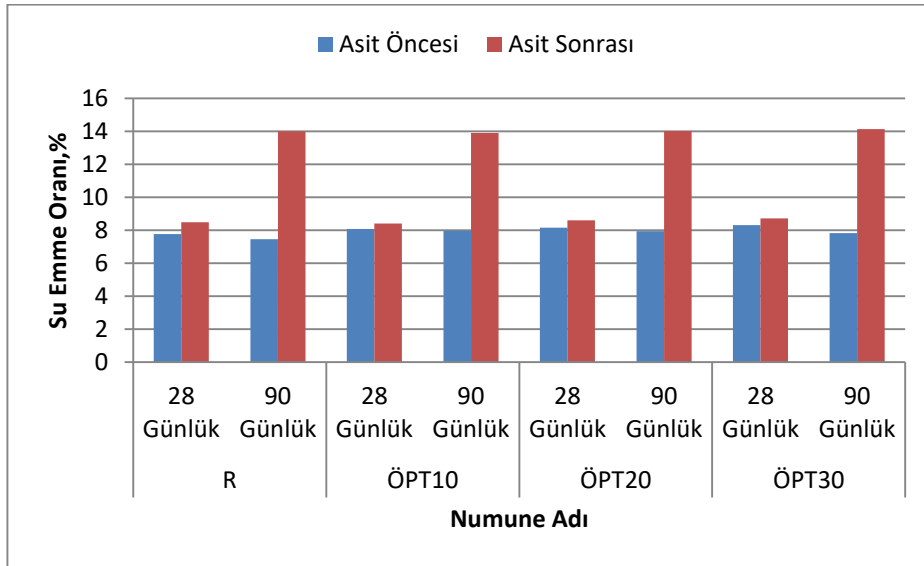
Çalışma kapsamında üretilen numunelerin yayılma deneyi sonuçları Tablo 4'te verilmiştir. R numunesinin yayılma değeri 16.75 cm olarak belirlenmiştir. ÖPT10, ÖPT20 ve ÖPT30 numunelerinde yayılma değeri sırasıyla 15.75 cm, 15.5 cm, 15.25 cm olarak bulunmuştur. ÖPT miktarı arttıkça belirgin bir şekilde yayılma değerlerinde azalma olmaktadır. Bu durum ÖPT 'nin ince bir malzeme olmasından dolayı yüzey alanı arttıkça karışımın ihtiyacı olan suyun artmasıyla açıklanabilir. Mühendislik uygulamaları için işlenebilirlik, betonların ve harçların mekanik ve fiziksel özelliklerini belirlemede önemli ölçüde etkili olmaktadır (Al-Gahtani, Abbas & Al-Amoudi, 1998).

Tablo 4. Yayılma tablası deneyi sonuçları

Numune Adı	Yayılma Değerleri (cm)
R	16.75
ÖPT10	15.75
ÖPT20	15.50
ÖPT30	15.25

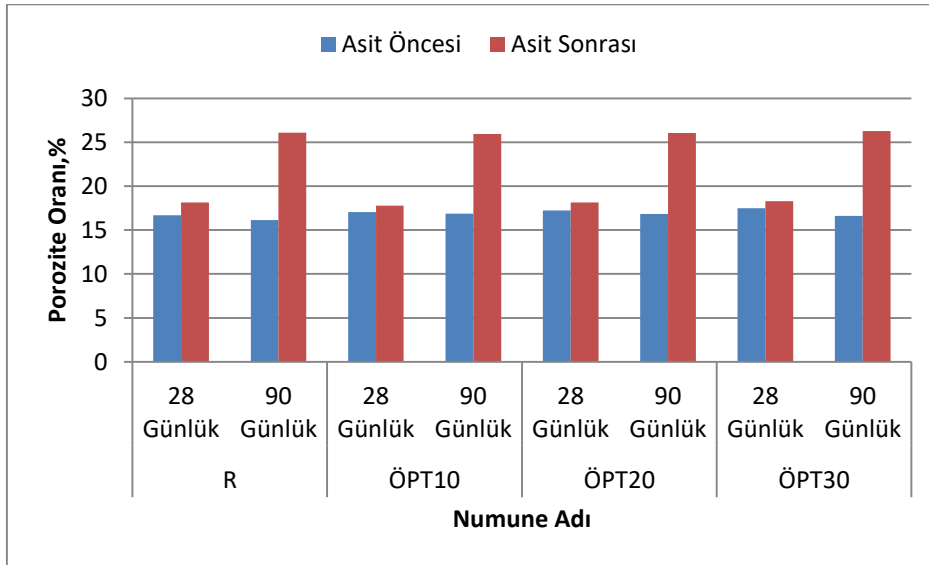
#### 3.2. Su Emme, Porozite ve Birim Hacim Ağırlık Sonuçları

Çalışma kapsamında üretilen numunelerin standart kür ve HCl asit çözeltisinde bekletilmesi sonucu su emme oranları Şekil 3'te, porozite oranları Şekil 4'te, birim hacim ağırlık değerleri Şekil 5'te verilmiştir. R numunenin su emme oranı %7.76 olurken, ÖPT30 numunesinin su emme oranı %8.32'ye yükselmektedir. ÖPT ikame oranının artması ile birlikte su emme oranlarında artışlar gözlemlenmiştir. HCl asit çözeltisinde bekletilen numunelerde numune yaşı ilerledikçe su emme oranı çok miktarda artış olmaktadır. R numunesinde porozite oranı %16.70 olurken, ÖPT30 numunesinde %17.50 değerine çıktığı gözlemlenmiştir. HCl asitte kür edilen numunelerin ise porozite oranlarında su emme oranlarında olduğu gibi artışlar görülmektedir. Çimento ile kısmi olarak ikame edilen ÖPT, silis dumanı ve metakaolin harcın gözeneklerini ve boşluklarını doldurmak için kullanmışlardır. Kullandıkları puzolanik malzemeler ile ürettikleri harçların asit etkisiyle su emme oranını arttırdığını, basınç dayanımının da azaldığını gözlemlemişlerdir (Gaurav, Abhishek & Shobha, 2022; Yurt, Dünder & Çınar, 2020).



**Şekil 3.** Asit öncesi ve sonrası su emme oranları

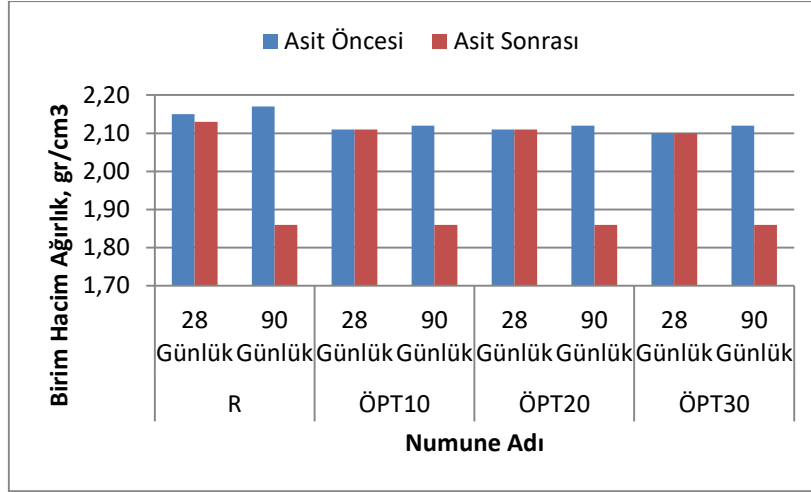
Şekil 4'deki porozite oranlarına bakıldığında ÖPT oranıyla arttığı gözlemlenmiştir. ÖPT oranının artması sonucu ince malzeme miktarı arttığından kalıp içi yerleşme güçlükleri ile beraber daha çok boşluk oranı artmıştır. Referans numunesinde porozite oranı %16.70 iken, %30 ÖPT ikame edilmesiyle %17.50 değerine çıktığı gözlemlenmiştir. Hidroklorik asitte kür edilen numunelerin ise porozite oranı arttığı gözlemlenmiştir. ÖPT çimento ile yer değiştirme yapıldığından ÖPT ikame oranının arttıkça çimento miktarında azalmalar meydana gelmektedir. Çimento miktarı azaldıkça bağlayıcılık özelliği azaldığından porozite oranında artışlar gözlemlenmiştir. Kimyasal saldırılar sonucu, beton ve harcın mikro yapısında harcın bütünlüğünün değişmesine, geçirgenliğinin ve porozitesinin artmasına neden olur (Basheer, Chidiact & Long, 1996).



**Şekil 4.** Asit öncesi ve sonrası porozite oranları

Çalışma kapsamında üretilen numunelerin standart kür ve HCl asit çözeltisinde bekletilmesi sonucu birim hacim ağırlık değerleri Şekil 5'te verilmiştir. Standart küre tabii tutulan harç numuneleri incelendiğinde ÖPT oranı arttıkça birim hacim ağırlığının azaldığı, numune yaşının artmasıyla birim hacim ağırlık değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir. HCl asit çözeltisinde bekletilen harç numunelerinde ise ÖPT oranı arttıkça birim hacim ağırlığının azaldığı, numune yaşının artmasıyla birim hacim ağırlık değerlerinin azaldığı gözlemlenmiştir. Hafif agregalar arsında yer alan pomza agregasından elde edilen ÖPT'nin

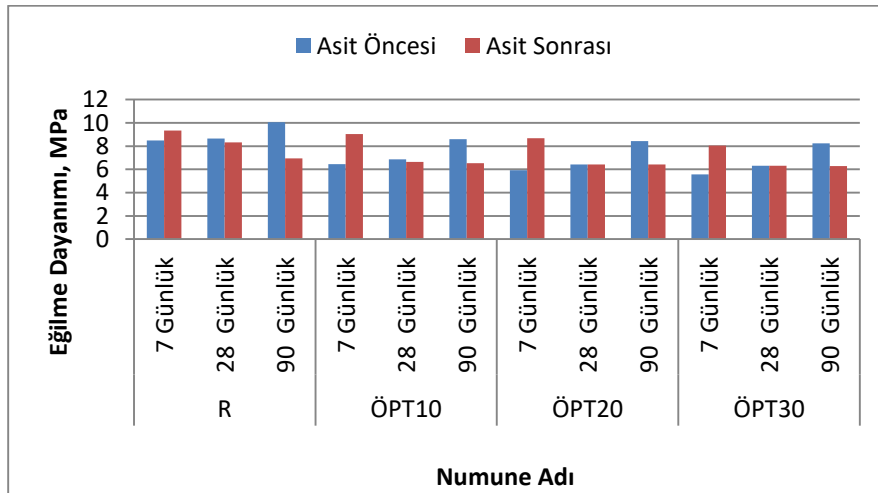
yoğunluğunun düşük olması sebebiyle kullanılması durumunda çimento esaslı malzemelerin birim hacim ağırlıklarında azalmalara neden olmaktadır (Pravallika & Rao, 2016).



Şekil 5. Asit öncesi ve sonrası birim hacim ağırlıkları

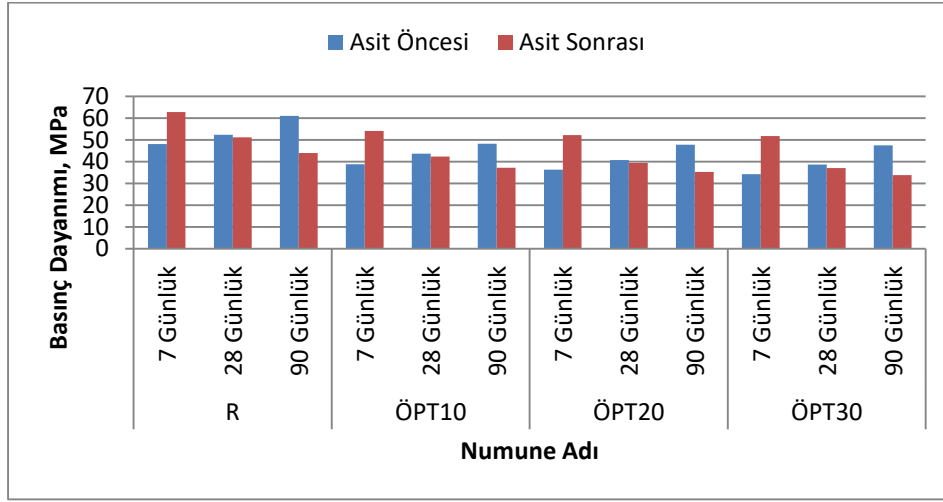
### 3.3. Eğilme ve Basınç Dayanımı Deneyi Sonuçları

Çalışma kapsamında üretilen numunelerin standart su küründe ve HCl asit çözeltisinde bekletilmesi sonucu eğilme dayanımı deneyi sonuçları Şekil 6'da verilmiştir. Tüm numunelerde numune yaşı ilerledikçe eğilme dayanımlarında artışlar olmuştur. En yüksek eğilme dayanımı 10.05 MPa ile R numunesinde gerçekleşmiştir. ÖPT10 numunesinin eğilme dayanımı 8.60 MPa değeri ile R numunesine en yakın değerindedir. 7, 28 ve 90 günlük eğilme dayanımları incelendiğinde ÖPT kullanım oranı artmasıyla tüm numunelerde eğilme dayanımlarında azalmalar görülmektedir (Rajeswari & Sunilaa, 2015).



Şekil 6. Asit öncesi ve sonrası eğilme dayanımı deneyi sonuçları

Çalışma kapsamında üretilen numunelerin standart kür ve HCl asit çözeltisinde bekletilmesi sonucu basınç dayanımı deneyi sonuçları Şekil 7'de verilmiştir. ÖPT ikame oranının artması ile birlikte basınç dayanımı değerlerinde azalma meydana gelmektedir. HCl asitte kür edilen harç numuneleri standart kür havuzunda kür edilen numunelere göre basınç dayanımları önce artmakta sonra azalmaktadır. Bunun nedeni harç numunelerinin içerisinde yer alan boşlukların ilk önce HCl asitle dolması sonucu kompaziteyi artırması ve basınç dayanımlarını artırmasıdır. İlerleyen günlerde ise HCl asitin harç numunesine zarar vermesi sonucunda basınç dayanımlarını azalmaktadır. Mineral katkıları, asit saldırılarına, alkali silika reaksiyonuna, sülfat saldırılarına ve klorür girişine karşı genel anlamda dayanıklılıkları arttırmada yer alırlar (König, Petersen, Iversen & Yue, 2018; Kavas, Christogerou, Pontikes & Angelopoulos, 2011).



Şekil 7. Asit öncesi ve sonrası basınç dayanımı deneyi sonuçları

Üretilen harç numuneleri 28 gün standart kür havuzunda bekletilmeleri sonucu 7, 28 ve 90 gün boyunca HCl asit çözeltilerinde bekletilmiştir. HCl asit çözeltilerinde bekletilen numunelerin görünümü Şekil 8'de verilmiştir. ÖPT ikame oranı arttıkça numune renklerinde koyulaşma, HCl asit de bekletilen numunelerin ise yüzeylerinde boşluklar oluştuğu ve bazı numunelerde parçaların koptuğu görülmektedir.

	ASİT ÖNCESİ	ASİT SONRASI		
		7.GÜN	28.GÜN	90.GÜN
R				
ÖPT10				
ÖPT20				
ÖPT30				

Şekil 8. Asit öncesi ve sonrası numunelerin görünümü

#### 4. SONUÇLAR

- ÖPT kullanım miktarı arttıkça belirgin bir şekilde yayılma değerlerinde azalma olmuştur ancak en yüksek sonuç ÖPT10 numunesinde gözlemlenmiştir.
- Standart küre tabii tutulan harç numuneleri incelendiğinde ÖPT ikame oranı arttıkça su emme ve porozite oranının azaldığı gözlemlenmiştir. HCl asitte kür edilen harç numunelerinde ise ÖPT oranı arttıkça su emme ve porozite oranının arttığı gözlemlenmiştir.
- ÖPT'nin, su emme ve porozite oranı olumsuz, birim hacim ağırlığa ise olumlu etkisi olduğu gözlemlenmiştir. Bunun sebebi ÖPT partiküllerinin yüzey alanının fazla olması su emme ve porozite oranını artırır. Harç içerisinde yer alan boşlukları ise ÖPT daha iyi doldurduğundan birim hacim ağırlığı artırır.
- Standart kür edilen harç numuneleri incelendiğinde ÖPT oranı arttıkça birim hacim ağırlığının azaldığı gözlemlenmiştir. HCl asitte kür edilen harç numunelerinde ise ÖPT oranı arttıkça birim hacim ağırlığının azaldığı gözlemlenmiştir.
- HCl asitte küre tabii tutulan harç numuneleri ile yüzey alanında artış gözlemlenmektedir. Ayrıca kalıba yerleştirme ve işlenebilirlik güçlükleri çıkmaktadır. Bu nedenle asitte kalan numunelerin boşluk oranı ve su emme oranı artmakta, birim hacim ağırlığı ise azalmaktadır.



- ÖPT ince tane yapılı olmasından dolayı, harç numunelerinde dolgu etkisi oluşturacağından bağlayıcı ihtiyacını arttırmaktadır. Bu sonucunda ÖPT oranının artmasıyla birlikte bağlayıcı ihtiyacı artmış, basınç dayanımlarında ise azalma meydana gelmiştir.
- Numunelerin 7, 28 ve 90 günlük eğilme dayanım sonuçları incelendiğinde Referans numunesinin ardından en iyi eğilme ve basınç dayanım sonucunu ögütülmüş ÖPT'nin %10 olması durumunda meydana gelmektedir.
- Harç numunesinin yaş aldıkça priz alıp, mukavemetinin arttığı gözlemlenir ve böylece 90 günlük numunelerin basınç dayanım değerleri 7 ve 28 günlük numunelerin basınç dayanım değerlerinden fazladır.
- HCl asitte küre tabi tutulan harç numuneleri standart kür havuzunda kür edilen numunelere göre eğilme ve basınç dayanımları önce artmakta sonra azalmaktadır. Bunun nedeni ise harç numunelerinin içerisinde yer alan boşlukların HCl asitle dolması sonucu kompasiteyi arttırdığı için eğilme ve basınç dayanımlarını arttırmaktadır. İlerleyen günlerde HCl asitin harç numunesine zarar vermesi sonucunda ise eğilme ve basınç dayanımlarını azaltmaktadır.

## 5. KAYNAKLAR

- ACI 515.2R-13, (2013).Guide to Selecting Protective Treatments for Concrete ACI Committee 515, American Concrete Institute.
- Aiken, TA, Kwasny, J., Sha, W. ve Soutsos, MN (2018). Effect of slag content and activator dosage on the resistance of fly ash geopolymer binders to sulfuric acid attack. Cement and Concrete Research, 111(May), 23-40. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.06.011>
- Al-Gahtani, H.J., Abbas, A.G.F., Al-Amoudi, O.S.B. (1998). Concrete mixture design for hot weather: Experimental and statistical analyses, Magazine of Concrete Research, 50, 95-105.
- ASTM C618, (1998). Standart Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Concrete, Annual Book of ASTM Standarts, No.4.
- Basheer P., Chidiact, S., Long, A. (1996). Predictive models for deterioration of concrete structures, Construction and Building Materials, vol. 10, no. 1, pp. 27-37.
- Bertron, A., Duchesne, J., Escadeillas, G.(2005). Attack of cement pastes exposed to organic acids in manure, Cem. Concr. Compos. 27(9), 898-909.
- Chandra, S. (1988).Hydrochloric acid attack on cement mortar - an analytical study, Cem. Concr. Res. 18 (2), 193-203.
- De Ceukelaire, L., (1992). The effects of hydrochloric acid on mortar, Cem. Concr. Res. 22 (5) 903-914.
- Gaurav, C., Abhishek, K., Shobha, R. (2022). Comparative study of metakaolin, pumice powder and silica fume in producing treated sustainable recycled coarse aggregate concrete by adopting two-stage mixing. Cleaner Engineering and Technology, 9, 100528. [doi.org/10.1016/j.clet.2022.100528](https://doi.org/10.1016/j.clet.2022.100528)
- Gutberlet, T., Hilbig, H., Beddoe, R.E. (2015). Acid attack on hydrated cement - effect of mineral acids on the degradation process, Cem. Concr. Res. 74, 35-43.
- Hossain, K.M.A., Ahmed S., Lachemi M.(2011).Lightweight concrete incorporating pumice based blended cement and aggregate: mechanical and durability characteristics, Constr. Build. Mater. 25, 1186-1195.
- Ismail, S., Ramli, M. (2013). Engineering properties of treated recycled concrete aggregate (RAC) for structural applications. Construct. Build. Mater. 44, 464-476.

- Kavas, T., Christogerou, A., Pontikes, Y., Angelopoulos, G. N. (2011). Valorisation of different types of boron-containing wastes for the production of lightweight aggregates," J. Hazard. Mater., vol. 185, no. 2-3, pp. 1381-1389.
- Kayıhan, M.R., DüNDAR, B., Çınar, E.(2022).” Geri Dönüştürülmüş Asfalt Atığı İle Üretilen Öğütülmüş Pomza Tozu Katkılı Harçların Mühendislik Özelliklerinin Araştırılması”. Ed. Kardeşler A., Mike F. Uluslararası Korkut Ata Bilimsel Araştırmalar Konferansı.(424-425).
- König, J., Petersen, R. R., Iversen, N., Yue, Y.(2018). Suppressing the effect of cullet composition on the formation and properties of foamed glass, Ceram. Int., vol. 44, no. 10, pp. 11143-11150.
- Kwasny, J., Aiken, TA, Soutsos, MN, McIntosh, JA ve Cleland, DJ (2018). Sulphate and acid resistance of Lithomarge based geopolymer mortars. Construction and Building Materials, 166, 537-553.
- Liu M. (2011). Incorporating ground glass in self- compacting concrete, Construction and Building Materials, 25, 919-925.
- Muthu, M., Yang, E.-H. ve Ünlüer, C. (2021). Resistance of graphene oxide-modified cement pastes to hydrochloric acid attack. İnşaat ve Yapı Malzemeleri, 273, 121990. doi:10.1016/j.conbuildmat.2020.
- Olivier, J.A.H.W., Peters, J.G.J.(2020). Trends in Global CO<sub>2</sub> and Total Greenhouse Gas Emissions: 2019 Report, PBL, Netherlands Environ. Assess. Agency Hague, Netherlands.
- Pravallika B. D., Rao K. V.(2016). The study on strength properties of light weight concrete using light weight aggregate, Int. J. Sci. Res. 5 (6), 1735-1739.
- Rajeswari S., Sunilaa G. (2015). Experimental study of light weight concrete by partial replacement of coarse aggregate using pumice aggregate, Int. J. Sci. Eng. Res., 50-53.
- Rashad, A.M. (2019). A short manual on natural pumice as a lightweight aggregate. Journal of Building Engineering, 25, 100802. doi:10.1016/j.job.2019.100802
- Toutanji, H., Deng, Y. (2007). Comparison between organic and inorganic matrices for RC beams strengthened with carbon fiber sheets, Journal of Composites for Construction, vol. 11, no. 5, pp. 507-513.
- Toutanji, H., Zhao, L., Zhang, Y., (2006). Flexural behavior of reinforced concrete beams externally strengthened with CFRP sheets bonded with an inorganic matrix," Engineering Structures, vol. 28, no. 4, pp. 557-566.
- TS EN 1008, (2003). Beton-Karma suyu-Numune alma, deneyler ve beton endüstrisindeki işlemlerden geri kazanılan su dahil, suyun, beton karma suyu olarak uygunluğunun tayini kuralları TSE, Ankara Türkiye.
- TS EN 1015-3, (2000). Kâgir harcı-Deney metotları- Bölüm 3: Taze harç kıvamının tayini TSE, Ankara, Türkiye.
- TS EN 1170-6, (1999). Ön yapımlı beton mamuller- Cam elyaf takviyeli çimento (ctc) deney metodu-Bölüm 6: Suyu daldırma yoluyla su emme ve kuru yoğunluk tayini TSE, Ankara Türkiye.
- TS EN 196-1.(2016). Çimento deney metotları- Bölüm 1: Dayanım tayini TSE, Ankara Türkiye.
- TS EN 197-1.(2012). Cement-Stage 1: General cements-component, TSE, Ankara Turkey. Using the orthogonal design method, Construction and Building Materials; 31, 289-293.
- Yurt, Ü., DüNDAR, B., & Çınar, E. (2020). Jeopolimer Betonlarda Sülfürik Asit Etkisinin Araştırılması. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 1548–1561.

- Zivica, V., Bajza, A., (2001). Acidic attack of cement based materials-a review: Part 1. Principle of acidic attack, Constr. Build. Mater. 15 (8),331-340.
- Zivica, V.R., Bajza, A., Acidic attack of cement-based materials-a review: Part 2. Factors of rate of acidic attack and protective measures. Constr. Build. Mater.16 (4) (2002) 215-222

**Geopolimer Tuğla Üretiminde Atık Kullanımı Üzerine Yapılan Akademik Çalışmalar**  
**Academic Studies On The Use Of Waste In Production Of Geopolymer Brick**

Shahad Nadiyah Abbas Al Amara<sup>1</sup>, Arzu Çağlar<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İleri Teknolojiler ABD, Kırşehir

<sup>2</sup>Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Kırşehir

Doi: 10.51764/smutgd.1205987

Geliş Tarihi :16.11.2022

Kabul Tarihi :22.11.2022

## ÖZET

Son zamanlarda yapı malzemesi alanında, sürdürülebilir ve enerji tasarrufu sağlayan malzemeler üzerinde çalışmalar artmaya başlamıştır. İnşaat alanında en yaygın kullanılan yapı malzemelerinden biri olan tuğla, üzerinde çalışılması gereken malzemelerden biridir. Tuğlanın atık malzemeler kullanılarak özelliklerinin iyileştirilmesi atıkların bertaraf edilmesi açısından önem arz etmektedir. Bu çalışmada 2017-2022 yılları arasında geopolimer tuğla üzerine yapılan akademik çalışmaların irdelenmesi hedeflenmiştir. Bu bağlamda atık malzemeler kullanılarak üretilen tuğlaların fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişimin incelenmesi amaçlanmıştır. Yapılan çalışmalarda endüstriyel atıkların geopolimer tuğla üretiminde olumlu yönde etki ettiği tespit edilmiştir. Ayrıca atıkların geopolimer tuğla üretiminde belli oranlarda kullanımında herhangi bir sıkıntı olmadığı görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Atık, tuğla, geopolimer tuğla, endüstriyel atık

## ABSTRACT

Recently, the studies on sustainable and energy-saving materials have started to increase in the field of building materials. Brick, one of the most widely used building materials in construction, is one of the materials that need to be studied. Improving the characteristics of brick by using waste materials has importance in terms of waste disposal. In this study, the aim is to analyze the academic studies between 2017-2022 on geopolymer brick. In this context, the changes in the physical and mechanical characteristics of bricks produced using waste materials are intended to be analyzed. In the studies, it has been determined that industrial waste has a positive impact on geopolymer brick production. Also, it has been understood that the use of waste in geopolymer brick production in certain proportions will not cause any problem.

**Key Words:** Waste, brick, geopolymer brick, industrial waste

Shahad Nadiyah Abbas Al Amara, Orcid: 0000-0003-0553-1989, mail: shahad.nadhem.96@gmail.com

Arzu Çağlar, Orcid: 0000-0003-3928-8059,mail: arzu.caglar@ahievran.edu.tr

## **1. GİRİŞ**

İnşaat endüstrisindeki en önemli unsurlardan biri olan ve geçmişten günümüze kadar varlığını sürdürmeyi başarmış, tuğla (Rahman et al., 2018) ve imalatı, M.Ö 8000'den bu yana devam eden en eski endüstrilerden biridir (Houben & Guillaud, 1994). Tuğla, bir fırında kilin yakılmasından sonra elde edilen yanmış bir bloktur (Niroumand, Zain & Alhosseini, 2013). Binalarda genellikle dış ve iç duvarların yapımında kullanılan (Shakir, Naganathan, Mustapha, 2013) tuğlalar, özellikle konut binaları için tüm dünyada yapı taşı olarak yaygın olarak kullanılmaktadır (Ahmad & Rasid, 2022)

Artan dünya nüfusu, teknolojik gelişmeler ve bir hammaddenin birçok alanda kullanımı küresel kaynakların hızlı bir şekilde tüketilmesine neden olmaktadır. Bu durum hammadde kullanımı ile birlikte meydana gelen atık maddelerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Büyük oranda oluşan atık maddeler, insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri yanı sıra çevre sorunlarına ve negatif yönde finansal etkilere sahip olmaktadır. Bu etkilerin ciddi bir şekilde takip edilmesi ve gerekli önlemler alınarak zararlarının en aza indirilmeye çalışılması gerekmektedir. Atık maddelerin zararlarını ortadan kaldırmak veya en aza indirmek için geliştirilen yöntemlerden bazıları atıkların toplanması, geri kazanılması veya depolanmasıdır (Turan, 2019)

Bazı araştırmacılar tuğla malzemesinin özelliklerini iyileştirmek için farklı ikame malzemeleri kullanmaktadırlar (Madani, Ramezaniapour, Shahbazinia & Ahmadi, 2020). İkame malzemesi seçilirken atıkların tercih edilmesi, hem atıkların bertaraf edilmesi hem de sürdürülebilirlik açısından oldukça önemli bir çözümdür. Atıkların tuğla üretimi için hammadde olarak kullanılması, ekonomik ve çevresel faydaları olan bir çözüm sağlayabilmektedir (Gencel et al., 2013).

Bu çalışmada 2012-2022 yılları arasında geopolimer tuğla üzerine yapılan akademik çalışmaların irdelenmesi hedeflenmiştir. Bu bağlamda atık malzemeler kullanılarak üretilen tuğlaların fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişimin incelenmesi amaçlanmıştır. Yapılan çalışmalarda endüstriyel atıkların geopolimer tuğla üretiminde olumlu yönde etki ettiği tespit edilmiştir. Ayrıca atıkların geopolimer tuğla üretiminde belli oranlarda kullanımında herhangi bir sıkıntı olmadığı görülmüştür.

## **2. GEOPOLİMER TUĞLA**

Geopolimer, alüminosilikat malzemelerin alkali aktivasyonunun bir sonucu olarak inorganik polikondenzasyondan kaynaklanan bir malzemedir (Madani, Ramezaniapour, Shahbazinia & Ahmadi, 2020). Geopolimer, üç boyutlu ağ yapılı amorftan yarı kristalli alümino-silikat malzemelerden oluşan yeni bir sınıftır. Geopolimerler, kaolin, metakaolin veya puzolanlar gibi alümino-silikat reaktif malzemelerin güçlü bir şekilde karıştırılmasıyla sentezlenebilmektedir (İbrahim, Hussin & Abdullah, 2015).

Geopolimerizasyon, pişirilmiş kil bünyesinde yer alan alüminantlar ve silikatların, oksijen atomu elektronlarını paylaşmasıyla kovalent bağlı bileşik oluşturması sentezine denilmektedir. (Horel, 2012).

Geopolimer tuğlalar, düşük enerji talebi ve önemli miktarda atık içermesi nedeniyle avantajlı görünmektedir. Puzolanik veya alüminosilikat bakımından zengin malzemelerden geopolimer üretimi çok yaygındır. Bununla birlikte, geopolimer üretimi için hammadde olarak agrega endüstrilerinin atık malzemeleri gibi daha az aktif malzemeler üzerinde çok az çalışma yapılmıştır. (Madani, Ramezaniapour, Shahbazinia & Ahmadi, 2020).

Geopolimer tuğla, dünya da ilk defa 1980'li yılların başında, Fransa'da, kırmızı topraktan, düşük ısıli geopolimer yöntemi kullanılarak üretilmiştir. Araştırmacılar ağırlıkça % 5 oranında NaOH, KOH ve kırmızı kil toprağının yaklaşık 70 °C'de sentezlenmesiyle ürettikleri geopolimer tuğlanın, 900 °C'de pişirilen tuğlaların basınç dayanımından daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir. Geopolimer kırmızı kil tuğlaların bünyelerinde su tutma özelliğinden dolayı binada nem oluşumu engellenmektedir. Üretimi sırasında çok daha az enerji kullanımı ve tek katlı binalarda kullanılmasında herhangi bir sakınca olmaması, bu tuğlaların Afrika ülkelerinde yaşanan barınma problemini çözmede çok iyi bir yol olduğu bildirilmiştir (Zeybek, 2009).

### **3. GEOPOLİMER TUĞLA ÜRETİMİNDE ATIK KULLANIMI ÜZERİNE YAPILAN AKADEMİK ÇALIŞMALAR**

**Abbas vd., (2017)**, yapmış oldukları çalışmada, termik santrallerden alınan uçucu kül ve geleneksel toprak malzemeler kullanarak tuğla üretmişlerdir. Tuğla üretiminde uçucu külü %0-%25 arasında kullanmışlardır. Çalışmada sonuç olarak; uçucu kül içeren tuğlaların basınç dayanımının, uçucu kül içermeyen kil tuğlalara kıyasla daha düşük olduğunu bildirmişlerdir. Bununla birlikte, %20'ye kadar uçucu kül içeren tuğlaların basınç dayanımı, Pakistan İnşaat Yönetmeliğinin minimum gerekliliklerini karşıladığını, uçucu kül tuğlalarında ağırlıkta azalma meydana geldiğini, bu durumun binanın toplam ağırlığında azalmaya neden olacağını ifade etmişlerdir. Ayrıca uçucu kül içeren tuğlalarda daha az çiçeklenme gözlemlendiğini, bu nedenle, uçucu kül içeren kil tuğlaların, ekonomik çözüme yol açan daha sürdürülebilir tuğlaların üretilmesine yardımcı olabileceği sonucuna varmışlardır.

**Çimen vd., (2020)**, yapmış oldukları çalışmada perlit ve bor atığının tuğla yapı malzemesi özelliklerinin iyileştirilmesi üzerine etkisini incelemişlerdir. Çalışmalarında tuğla bünyesine %5 perlit malzemesini sabit tutup, %5, %10, %15 ve %20 oranlarında bor atığı ikame ederek tuğla numuneleri üretmişlerdir. Ürettikleri numuneleri 900 °C'de pişirmişlerdir. Pişirilen tuğlalara fiziksel (özgül ağırlık, suya doygun birim hacim ağırlık, porozite ve donma-çözünme deneyleri) ve mekanik (basınç dayanımı ve eğilmede çekme dayanımı deneyleri) deneyler uygulamışlardır. Çalışma sonucunda; perlit ve bor atığı katkısının uygun oranlarda tuğla üretiminde kullanılabileceği, kullanılması durumunda tuğla özelliklerine herhangi bir sakıncası olmadığı ve olumlu yönde etki sağladığı tespit etmişlerdir.

**Kumarasamy vd., (2021)**, yapmış oldukları makalede, tuğla imalatında uçucu külün optimum kullanım oranını tespit etmeyi amaçlamışlardır. Çalışma sonucunda, uçucu külün tuğla özelliklerini iyileştirdiği ve optimum katkı oranının %20 olduğunu tespit etmişlerdir.

**Prathyusha ve Ramujee (2020)**, yapmış oldukları makalede, cam elyafı ve hindistan cevizi lifi gibi farklı elyafarla %1 ve %2 (uçucu külün ağırlığına göre) ikame edilen uçucu kül tuğlalarının basınç dayanımı, su emme ve dayanıklılık gibi özellikleri üzerine deneysel çalışmalar yapmışlardır. Elyaf takviyeli uçucu kül tuğlalarının üretiminde, %60 uçucu kül, %10 sıradan portland çimentosu ve %30 taş ocağı tozu kullanmışlardır. Elyaf takviyeli uçucu kül tuğlaların sırasıyla 7 ve 28 günlük basınç dayanımı, su emme, darbe dayanımı ve çiçeklenme belirlenmişlerdir. Çalışma sonucunda elyaf ve uçucu kül kullanımının tuğla özelliklerini iyileştirdiğini bildirmişlerdir.

**Waheed vd., (2022)**, yapmış oldukları çalışmada, pişmemiş uçucu kül katkılı tuğlaların mekanik ve dayanıklılık özelliklerini geleneksel tuğlalarla kıyaslamıştır. Çalışmayı iki aşamada gerçekleştirmişlerdir. İlk

aşamada, agrega tipinin (ince kum, kaba kum, taş tozu ve taş agregası) ve şekillendirme yönteminin (presle şekillendirme ve vibro-sıkıştırma) küçük ölçekli silindirik uçucu külün basınç dayanımı ve su emmesi üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Aşama I'de buldukları en iyi agrega türü ve şekillendirme yöntemini (kaba kum ve presle şekillendirme) kullanarak, II. aşamada tam boyutlu yanmamış uçucu kül tuğlaları hazırlanmış ve performansları mekanik (basınç dayanımı ve basınç modülü) ve dayanıklılık (çiçeklenme, su emme, ilk su emme oranı ve sülfat direnci) açısından değerlendirmişlerdir. Çalışma sonucunda, yanmamış uçucu kül tuğlalarının, geleneksel yanmış kil tuğlalara alternatif bir malzeme olarak kullanılabileceğini tespit etmişlerdir.

**Çağlar, (2021)**, yapmış olduğu çalışmada, bor atığı ve uçucu kül kullanarak tuğla üretmiştir. Ürettiği numunelere fiziksel ve mekanik deneyler uygulamıştır. Çalışma kapsamında ürettiği tuğlalarda %10 oranında bor atığı sabit tutmuş, %10, %20 ve %30 oranlarında uçucu kül kullanmıştır. Çalışmayı üç aşamada gerçekleştirmiştir. Birinci aşamada, %100 oranında killi toprak kullanarak tuğla üretmiş ve referans numune olarak adlandırmıştır. İkinci aşamada katkılı tuğla üretimi gerçekleştirmiştir. Ürettiği numuneleri 800, 900 ve 1000 °C'de pişirmiştir. Üçüncü ve son aşamada ise üretilen tuğla numunelerine fiziksel ve mekanik deneyler uygulamıştır. Sonuç olarak; uçucu kül ve bor atığının tuğla üretiminde herhangi bir sakınca olmadığı ve optimum sıcaklık 900 °C olduğunu tespit etmiştir.

**Ahmed vd., (2021)** yapmış oldukları çalışmada, ferrosilikon cürufu ve alümina atığı kullanarak ısı yalıtımlı jeopolimer tuğlalar hazırlamışlardır. Geopolimer tuğlaları karakterize etmek için numunelere basınç dayanımı, kütle yoğunluğu, soğuk ve kaynar su absorpsiyonu, görünür gözeneklilik, termal iletkenlik ve Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi deneyleri uygulamışlardır. Çalışma sonucunda; alümina içeriğinin artırılmasının jeopolimer özelliklerini geliştirdiğini ancak hazırlanan jeopolimerin basınç dayanımını azalttığını tespit etmişlerdir. Ayrıca, alümina atığının eklenmesi hazırlanan geopolimer tuğlaların ısı iletkenliğini azalttığını bildirmiştir.

**Ranjitham vd., (2021)**, yaptıkları çalışmada, uçucu kül içeren geopolimer tuğlanın özelliklerini incelemişlerdir. Uçucu kül %0, %20, %30, %40 ve %50 oranlarında geopolimer tuğla üretimine katmışlardır. Sodyum dumanı çözeltilisini 1/2 oranında su ilave ederek hazırlamışlardır. Üretim aşamasında bir alkali aktivatör görevi gören sodyum dumanı çözeltilisine bağlayıcı görevi gören NaOH çözeltilisi eklemişlerdir. Çalışma sonucunda; uçucu kül katkılı tuğla özelliklerinin geleneksel tuğlaya göre daha iyi olduğu görülmüştür.

**Kang vd., (2021)**, çalışmalarında, uçucu kül ve arduvaz atığı kullanılarak geopolimer tuğla üretimi gerçekleştirmişlerdir. Arduvaz atığının yanı sıra, tuğla kalitesini iyileştirmek için geopolimerizasyon yoluyla hammaddelere uçucu kül ve metakaolin karışımları eklemişlerdir. Geopolimer tuğlanın mekanik performansı, fiziksel özellikleri, mikro yapı ve geopolimerizasyon süreçleri, taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri kullanarak değerlendirme yapmışlardır. Çalışma sonucunda; farklı ST içeriklerinde, basınç dayanımındaki değişimlerin, gözenek doldurma ve geopolimer jelleşmenin birleştirme etkisinin olduğunu bildirmişlerdir. Daha yüksek alkalin aktivatör/katı oranı ve uzun kürleme süresi genellikle daha yüksek mukavemet ve kütle yoğunluğu sağlarken su emme oranını düşürdüğünü tespit etmişlerdir. Optimum koşulların, %50 arduvaz atığı kullanımı, %14 alkali içeriği ve 28 gün şekillendirme süresi ile elde edilebileceğini bildirmişlerdir. Bu koşullar altında, tuğla numunelerinin basınç dayanımının 20.47 MPa, su emmesi oranının %13.4 ve diğer fiziksel özelliklerinin Çin Sinterlenmemiş Atık Tuğla Standardına (JC/T 422-2007) uygun olduğunu tespit etmişlerdir.

**Singh ve Sengupta, (2022)** yapmış oldukları çalışmada, gerçek duvar işlerinde kullanıma uygun standart boyuttaki geopolimer tuğlaları endüstriyel ölçekte üretmişlerdir. Çalışma sonucunda, basınç dayanımının alkali

çözelti / kütleme süresinin molaritesinden etkilendiğini bildirmişlerdir. 16 molar NaOH ile hazırlanan tuğlaların mukavemeti daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir.

**Madani vd., (2020)** yapmış oldukları çalışmada, agrega endüstrilerinde kum ve çakıl yıkama işleminden kaynaklanan atık malzemeleri kullanarak jeopolimer tuğlaların üretim fizibilitesini araştırmayı amaçlamışlardır. Bu amaçla sodyum hidroksit konsantrasyonu (4, 8 ve 12 M), kalsiyum hidroksit içeriği (%5, %10 ve %15) ve kütleme sıcaklığı (70 °C ve 105 °C) olmak üzere üç parametrenin etkisini, jeopolimer tuğlaların fiziksel ve mekanik özellikleri, basınç dayanımı, SEM mikrografları, XRD analizi, su emme ve kütle yoğunluğunu kullanarak incelemiştir. Çalışma sonucunda, daha yüksek sodyum hidroksit konsantrasyonunun daha az gözenekli ve daha amorf bir mikro yapı oluşturmaya neden olduğunu ve daha yüksek mukavemet ve daha düşük su absorpsiyonu sağladığını tespit etmişlerdir. Kalsiyum hidroksit içeriği daha yüksek olan karışımlar daha yüksek basınç dayanımlarına (sırasıyla kuru ve ıslak koşullarda 75 MPa ve 36 MPa'ya kadar) ve daha kararlı bir mikro yapıya sahip olduğunu bildirmişlerdir. Fakat kalsiyum hidroksitin %20'den daha yüksek seviyelerde dahil edilmesiyle, daha düşük yoğunluklara, daha yüksek su emme oranına ve daha düşük basınç dayanımlarına neden olduğunu bildirmişlerdir. Kütleme sıcaklığının 70 °C'den 105 °C'ye yükseltilmesi, basınç dayanımını önemli ölçüde arttırdığını tespit etmişlerdir.

**Amin vd., (2017)** yapmış oldukları çalışmada, seramik karo imalatında püskürtmeli kurutucuya bağlanan siklonlardan çıkan ince toz atıklarını, jeopolimer tuğla üretiminde kullanmışlardır.

Çalışmada, %1 NaOH seviyesinde kostik soda, %6 ila %10 arasında değişen  $Ca(OH)_2$  oranında sönmüş kireç kullanmışlardır. Çalışmada sonuç olarak, atık hammaddelerin kullanımı (kostik soda hariç) ile, tuğlaların tahmini üretim maliyetinde önemli bir azalma olduğunu tespit etmişlerdir.

## **2. SONUÇLAR**

Bu çalışmada son 5 yılda jeopolimer tuğla üretiminde atık kullanımı üzerine yapılan akademik çalışmalar incelenmiş, elde edilen veriler aşağıda sunulmuştur;

- ✓ Geopolimer tuğla üretiminde genellikle endüstriyel atıkların kullanıldığı görülmüştür.
- ✓ Geopolimer tuğla üretiminde endüstriyel atık kullanılması bol miktarda bulunan bu atıkları bertaraf etmenin etkili bir yolu olabilmektedir.
- ✓ Atıkların tuğla üretiminde kullanılması verimli toprak gibi doğal kaynakların korunmasına ve tuğlaların özelliklerinin iyileştirilmesine yol açabilmektedir.
- ✓ Geopolimer tuğlalar, endüstriyel atıkları azaltmak ve daha çevre dostu bir üretim yapmak için hammadde olarak kullanılabilir.

## **3. KAYNAKLAR**

Rahman, M. E., Ong, P. J., Nabinejad, O., Islam, S., Khandoker, N. A. N., Pakrashi, V., Shorowordi, K. M., 2018, Utilization of blended waste materials in bricks, Technologies, 6(1), 20.

Houben, H. and Guillaud, H., 1994, Earth construction: A Comprehensive Guide, London.

Niroumand, H., Zain, M.F.M., Alhosseini, S.N., 2013, The influence of nano-clays on compressive strength of earth bricks as sustainable materials. Procedia Social and Behavioral Sciences, (89), 862– 865.

Shakir, A. A., Naganathan, S. K., Mustapha, K. N. B., 2013, Development of bricks from waste material: A review paper. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 7(8), 812-818.

Ahmad, M. and Rasid, K., 2022, Novel approach to synthesize clay-based geopolymer brick: Optimizing molding pressure and precursors' proportioning. Construction and Building Materials, 322 (2022),



- Turan, E., 2019, Bor Atığı Kil Pestillerinin Mühendislik Özellikleri Ve Yüksek Plastisiteli Kilin Stabilizasyonunda Kullanılabilirliği, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Madani, H. Ramezaniapour, A.A., Shahbazinia, M., Ahmadi, E., 2020, Geopolymer bricks made from less active waste materials, *Construction and Building Materials*, 247 (2020), 118441.
- Gencel, O., Sütçü, M., Erdoğan, E., Koc, V., Çay, V.V., Gök, M.S., 2013, Properties of bricks with waste ferrochromium slag and zeolite, *Journal of Cleaner Production*, 59 (2013), 111–119.
- Ibrahim, W.M.W., Hussin, K., Abdullah B.M.M., 2015, A review of fy ash-based geopolymer lightweight bricks, *Applied Mechanics and Materials*, 452–456.
- Horel, C., 2012, Sodyum Hidroksit ve Sodyum Silikat ile Aktive Edilmiş Taban Külünün Çimentoya Etkisi ve Geopolimerik Tuğla Üretimi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Lisans Tezi, Afyon.
- Zeybek, O., 2009, Uçucu Kül Esaslı Geopolimer Tuğla Üretimi, Yüksek Lisans, Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Abbas, S., Saleem, M. A., Kazmi, S.M.S. ve Munir, M. J., (2017). Production of sustainable clay bricks using waste fly ash: mechanical and durability properties. *Journal of Building Engineering*, 14, 7-14.
- Çimen, S., Çağlar, H., Çağlar, A., Can, Ö., 2020, Effect of Boron Wastes on the Engineering Properties of Perlite Based Brick. *Turkish Journal of Nature and Science*, 9(2), 50-56.
- Kumarasamy, V., Sampath, R., Kandasamy, S., 2021, Experimental Study on Hardened Mechanical and Durability Properties of Industrial Ash Bricks. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, 1-8.
- Prathyusha, P., Ramujee, K., 2020, The Development and Study of Fiber Reinforced Fly Ash Bricks. *Advances in Civil Engineering, Conference*, 177-187.
- Waheed, A., Azam, R., Riaz, M.R., Zawam, M., 2022, Mechanical and durability properties of fy ash cement sand composite bricks: an alternative to conventional burnt clay bricks, *Innovative Infrastructure Solutions*, (2022), 7-24.
- Çağlar, H., 2021, Investigation of the effect of fly ash and boron waste additive on brick structure material, *Turkish Journal of Nature and Science*, 10(1), 137-143.
- Ranjitham, M., Vishvapriya, M., Pavya, K., 2021, Experimental Investigation on Geopolymer Bricks, *Advances in Civil Engineering, Conference*, 97-106.
- Kang, X., Gan, Y., Chen, R., Zhang, C., 2021, Sustainable eco-friendly bricks from slate tailings through geopolymerization: synthesis and characterization analysis, *Construction and Building Materials*, 278, (2021), 122337.
- Singh, B.K. and Sengupta, S., 2022, An overview of fly ash utilization in production of geopolymer bricks and various factors influencing its strength, *Innovative Infrastructure Solutions*, 7 (283), 1-13.
- Madani, H. Ramezaniapour, A.A., Shahbazinia, M., Ahmadi, E., 2020, Geopolymer bricks made from less active waste materials, *Construction and Building Materials*, 247 (2020), 118441.
- Amin, S.K., Sherbiny, AboEl-Magd, S.E.A., Belal, A., Abadir, M.F. (2017). Fabrication of geopolymer bricks using ceramic dust waste, *Construction and Building Materials*, 157 (2017), 610-620.

## Cam Elyaf Takviyeli Precast Beton Cephe Panellerinin Uygulanışı (Ankara Örnekleme)

### Application of Glass Fiber Reinforced Precast Concrete Facade Panels (Ankara Sample)

Abdulgader Mohamed Ahmed BERRANI<sup>1</sup>, Hakan ÇAĞLAR<sup>2</sup>, Arzu ÇAĞLAR<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü, Kastamonu

<sup>2</sup>Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kırşehir

<sup>3</sup>Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Kırşehir

**Doi:** 10.51764/smutgd.1122647

Geliş Tarihi : 28.05.2022

Kabul Tarihi : 21.11.2022

## ÖZET

Cepheler, bulunduğu bölgenin yaşantısını, sosyal yapısını, yapı sahibinin ekonomik durumunu yansıtan en belirgin elemanlardır. Cepheler gelişen teknolojiye paralel olarak hızlı bir şekilde değişmekte ve gelişmektedir.

Bu çalışmada, cephe kaplama elemanı olan cam elyaf takviyeli prekast beton cephe panellerinin detaylı bir şekilde incelenmesi hedeflenmiştir. Bu bağlamda Ankara ilinde bulunan ve cam elyaf takviyeli prekast beton cephe panellerinin kullanıldığı 4 farklı yapı incelenmiştir. Çalışma sonucunda panellerin yapılar sağladığı avantajlar ve dezavantajlar belirlenmiş, cam elyaf takviyeli prekast beton panellerin diğer panellere göre gerek estetik gerekse statik açıdan daha avantajlı olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Prekast beton, cephe paneli, cam elyafı, cam elyaf takviyeli prekast beton cephe paneli, Ankara

## ABSTRACT

The facades are the most prominent elements that reflect the life of the region, social structure and economic status of the building owner. Facades are changing and developing rapidly in parallel with the developing technology.

In this study, it is aimed to examine in detail the glass fiber reinforced precast concrete facade panels, which are facade cladding elements. In this context, 4 different structures in the province of Ankara, in which glass fiber reinforced precast concrete facade panels are used, were examined. As a result of the study, the advantages and disadvantages of the panels for the structures were determined, and it was determined that the glass fiber reinforced precast concrete panels were more advantageous than the other panels in terms of both aesthetics and statics.

**Keywords:** Precast concrete, facade panel, glass fiber, glass fiber reinforced precast concrete facade panel, Ankara

Abdulgader Mohamed Ahmed BERRANI, Orcid: 0000-0001-6470-8444, [abdulgaderberrani@gmail.com](mailto:abdulgaderberrani@gmail.com).

Hakan ÇAĞLAR, Orcid: 0000-0002-1380-8637, [hakancaglar71@yahoo.com](mailto:hakancaglar71@yahoo.com).

Arzu ÇAĞLAR, Orcid: 0000-0003-3928-8059, [arzu.caglar@ahievran.edu.tr](mailto:arzu.caglar@ahievran.edu.tr), Corresponding author.

## **1. GİRİŞ**

Kentleri meydana getiren binaların cepheleri, binayı atmosfer şartlarından korumanın yanı sıra estetik olarak binaya prestij sağlamaktadır. Bina iç dizaynı özel alan olduğu için yalnızca kullanıcılar algılamaktadır. Dış cepheleri ise kenti kullanan tüm insanlar bilmektedir. Binaların dış cepheleri toplumun aynasıdır ve toplumun sosyal, ekonomik, kültürel yaşantısını yansıtmaktadır (Yıldız vd., 2018).

Teknolojinin gelişmesiyle önyapımlı beton (prefabrik beton) yerini öndökümlü betona (prekast beton) bırakmaya başlamıştır (Tokman, 2004). İnşaatta prekast beton elemanların kullanımı son yıllarda oldukça artmıştır. Prekast beton elemanları yeni yapım yöntemlerinin yenilenmesinden doğmakta ve genellikle standart tasarım kurallarının ötesine geçmektedir (Poveda vd., 2016). Prekast beton bina çekirdekleri, alçak, orta ve çok katlı binalarda yaygın olarak kullanılan bir yanal yük direnç sistemidir (Menegon vd., 2020). Prekast yapı, saha dışı bir depo üretim ortamında elde edilebilecek yüksek kaliteli inşaat toleransları içeren ve geleneksel yerinde dökme betonarme yapıya göre daha verimli, daha hızlı ve daha kısa sürede yapım gibi birçok avantaj sunmaktadır. (Menegon vd., 2020).

Yeni ve yenilikçi prekast duvar sistemleri geliştirmek için çeşitli araştırma çalışmaları yapılmıştır (Sun vd., 2015; Jiang vd., 2019); ancak, yaygın olarak benimsenmiş prekast duvar sistemlerinin türlerini değerlendirmek için sınırlı araştırma yapılmıştır (Menegon vd., 2017). Ülkemizde son yıllarda inşa edilen binalara baktığımızda, dış cepheler, gerek yüksek maliyetli olması gerekse hızlı üretimi sektöre vurması açısından dikkat çekmektedir.

Dış duvarlar, iç ortamla atmosferi ayıran bölücü elemanlardır. İç ortamın konfor düzeyi dış duvar ile doğrudan bağlantılıdır. Duvarlar ısı, su, ses ve neme karşı dirençli olmasının yanında estetik açıdan da istenilen düzeyde olmalıdır. Tüm bu özellikleri bir arada sağlamak için duvarlara farklı yalıtımlar ve kaplama malzemeleri kullanılmalıdır. Sürekli gelişmekte olan teknoloji ile beton esaslı cephe panelleri, prekast betonun geliştirilmesiyle üretilmekte ve bu amaç için kullanılmaktadır (Altınay, 2011).

Bu gelişimler neticesinde cam elyaf takviyeli prekast beton (GFRC) cephe panelleri en çok tercih edilen cephe paneli olmaya başlamıştır. Hızlı üretilmesi, doğru uygulama neticesinde istenilen performansın tek malzemede sağlanması, atmosfer şartlarına karşı dayanıklılığı ve alternatiflerinin çok olması GFRC cephe panellerini cazip kılmaktadır (Altınay, 2011; Tekin, 2017).

## **2. BETON ESASLI PREKAST CEPHE PANELLERİ**

Ön imalatlı beton anlamına gelen prekast beton, betonu oluşturan unsurların fabrika ortamında kalıplara dökülerek şekillendirilmesi ve üretilen malzemelerin şantiye ortamında birleştirilerek yapıya monte edilmesi sonucu oluşan yapı malzemeleridir (PC. Institute, 2010).

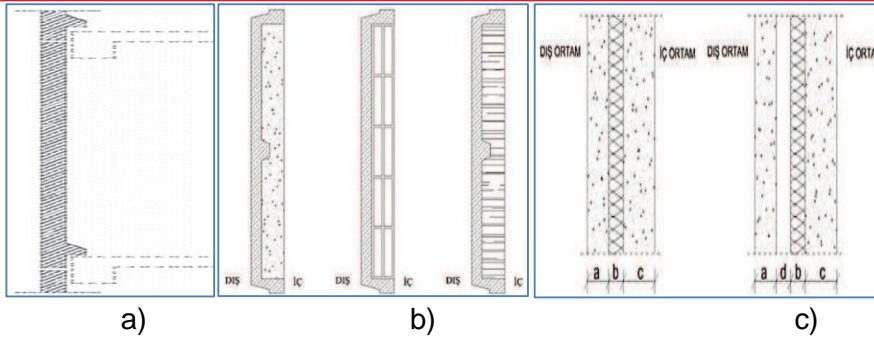
İnşaat sahasına üretilmiş bir şekilde getirilen ya da şantiyede üretilen ve beton ya da betonarme tabakalardan oluşan elemanlara "beton esaslı prekast cephe panelleri" denilmektedir.

Beton esaslı prekast cephe panelleri duvar elemanı olmasının yanı sıra yalıtım ve kaplama malzemesi özelliği de göstermektedir. Bu paneller arasına yalıtım katmanı eklenerek ısı yalıtımlı cephe panelleri elde edilmektedir. Üretilen bu paneller binaları bir kabuk gibi sarmalayarak dışardan gelebilecek etkilerden korumaktadır (Altınay, 2011). Ön üretim yapıp şantiyede yerine monte edilmesi hem işçilikten hem de zamandan tasarruf sağlamaktadır. Ayrıca betonun kolaylıkla kalıplara alınıp istenilen şeklin verilebilmesinden dolayı tasarımda özgürlük sağlanmaktadır. Bu özelliği ile yaygın bir şekilde tercih edilmektedir. 1920'lerde kullanımına başlanılan paneller, 1950'li yıllarda yaygınlaşmaya başlamıştır (Corporation, 2002).

Gerek seri gerekse özel üretimlerde kullanılabilen bu paneller pencere etrafında bulunan söveler veya kolon aksları arasındaki bütüncül elemanlar gibi farklı ebatlarda üretilmektedir. Panellerin boyutlarını nakliye imkânları ve montaj yöntemleri belirlemektedir (Life-Cycle Assessment of Cladding Products, 2009; Yıldız, 2018).

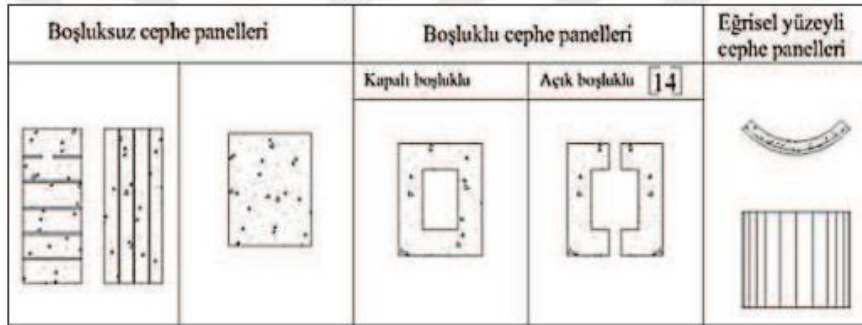
Beton esaslı prekast cephe panelleri 5 guruba ayrılmaktadır. Bunlar;

- Katmanlaşma düzenine göre beton esaslı prekast cephe panelleri; bünyesinde bulunan katman sayısına göre sınıflandırılmaktadır. Tek katmanlı, çift katmanlı ve çok katmanlı beton esaslı prekast cephe panelleri olmak üzere üç guruba ayrılmaktadır. Şekil 2.1'de katmanlaşma düzenine göre beton esaslı prekast cephe panelleri sunulmuştur.



**Şekil 2.1.** a); Tek katmanlı, b); Çift katmanlı, c); Çok katmanlı beton esaslı prekast cephe panelleri

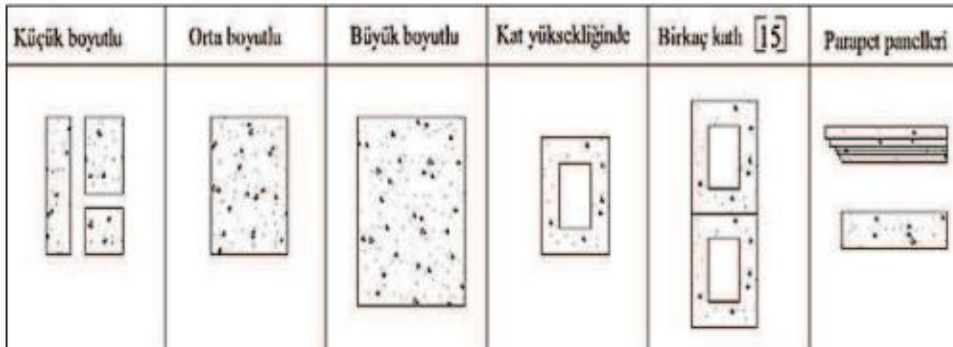
- *Taşıyıcılık özelliğine göre beton esaslı prekast cephe panelleri*; Taşıyıcılık özelliği baz alındığında beton esaslı prekast cephe panelleri, taşınan cephe panelleri, sadece kendini taşıyan cephe panelleri, taşıyıcı cephe panelleri olmak üzere üç guruba ayrılmaktadır.
- *Üretim yerine göre beton esaslı prekast cephe panelleri*; Beton esaslı prekast cephe panellerinin üretim şekilleri şantiye ve fabrika olmak üzere iki guruba ayrılmaktadır.
- *Biçimsel farklılıklarına göre beton esaslı prekast cephe panelleri*; Beton esaslı prekast cephe panelleri biçimsel farklılıklarına göre boşluksuz, açık ve kapalı boşluklu, eğrisel yüzeyli cephe panelleri olmak üzere üç guruba ayrılmaktadır. Şekil 2.2'de biçimsel farklılıklarına göre beton esaslı prekast cephe panelleri verilmiştir (Mehta vd, 2009).



**Şekil 2.2.** Beton esaslı prekast cephe panellerinde biçimsel farklılıklar

- *Boyutsal farklılıklarına göre beton esaslı prekast cephe panelleri*; Boyutsal farklılıklarına göre beton esaslı prekast cephe panelleri üç guruba ayrılmaktadır (Altınay, 2011). Bunlar;
  - ✓ Kat yüksekliğinde küçük (30-80 cm), orta (80-180 cm) ve büyük boyutlu paneller (180 cm'den daha geniş - taşıma sınırlarında)
  - ✓ Kat yüksekliğinde veya birkaç kat yüksekliğinde paneller,
  - ✓ Parapet panelleri

Şekil 2.3'de boyutsal farklılıklara göre beton esaslı prekast cephe panelleri verilmiştir.



**Şekil 2.3.** Beton esaslı prekast cephe panellerinde boyutsal farklılıklar

Beton esaslı prekast hafif cephe panelleri, cam elyaf katkılı beton, ısı yalıtım bileşeni ve çelik çerçeve sistem ve bağlantı elemanları bileşenlerinden oluşmaktadır.

**Cam elyaf katkılı beton**; Cam elyafı, çimento, agrega, su ve kimyasal özel katkıları eklenerek oluşturulan bir malzemedir (Yıldız vd., 2010). Yoğunluğu  $1900 \text{ kg/m}^3$ 'den fazla,  $2200 \text{ kg/m}^3$ 'den az olan ve kalınlığı en az 1 cm

olan betonlardır (Altınay, 2011). Yüksek dayanıma sahip cam elyafı, esnek, hafif ve düşük maliyetli ince cam tellerinden üretilmektedir. Bu yapısıyla panel sisteminde meydana gelebilecek kopma ve eğme mukavemetini iyileştirmektedir (Bağda ve İnan, 2009).

**Isı yalıtım bileşeni;** Cam elyaf katkılı prekast beton cephe panellerinin dış katmanı 1 cm kalınlıktadır (Demirtaş ve Tosun, 2012). Bu katman yalıtım sağlamak için yeterli olmadığından bir yalıtım katmanına daha ihtiyaç duyulmaktadır. Yalıtımlı dış katmanın ısı iletim katsayısı 0,8-1,2 W/mK arasında olmalıdır. Yalıtım katmanında taş yünü, cam yünü, XPS ve EPS'nin yanı sıra gözenekli hafif beton kategorisine giren gaz beton ve köpük betonda kullanılabilir. Cam elyaf katkılı prekast beton cephe panellerinin yalıtım katmanı içeriği kullanılacak yere, detay ve uygulama şekline göre farklılık göstermektedir (Altınay, 2011).

**Çelik çerçeve sistem ve bağlantı elemanları;** Cam elyaf katkılı prekast beton cephe panellerde panelin kendi ağırlığını taşıtmak ve panele gelen yükü binaya aktarmak için çelik çerçeve sistem kullanılmaktadır. Çerçeve sistem C ve/veya U profillerinden meydana gelmektedir. Çelik çerçeve sistem, cephe panelinin üretim aşamasında, panelin arka yüzüne özel bağlantı elemanları ile yerleştirilmektedir. Yerleştirilen bu bağlantı elemanları hazırlanan harç yardımıyla çerçeveye sabitlenmektedir (PCI, 2007).

### **3. CAM ELYAF TAKVİYELİ BETON PREKAST (GFRC) CEPHE PANELLERİ**

Cam elyaf takviyeli beton , özel üretilen, binalara modern bir estetik sunan, çok fonksiyonel bir yapı materyalidir (Bideci vd., 2018). A1 düzeyde yangın dayanımı, yüksek mekanik özellikleri, korozyona karşı dayanımı ile üstün özellikli bir cephe kaplama malzemesidir (Enfedaque vd, 2012).

GFRC panelleri ince agrega, çimento, alkaliye karşı dayanıklı cam elyafı ve polimer katkısı kullanılarak üretilmektedir. Bu karışım özel tasarlana kalıplara püskürtme veya dökme yoluyla elde edilmektedir (Kohen, 2013). Ayrıca panelden beklenen performansa göre karışım içerisine silis kumu, ayna sırrı parçaları, pigmentler, mermer tozu gibi katkılarda kullanılmaktadır (PCI, 2016).

GFRC cephe panelleri imalatı Tek eğrisellikli, çift eğrisellikli, düz yüzeyli ve serbest şekilli olmak üzere dört farklı şekilde yapılmaktadır (Yıldız, 2017).

GFRC cephe panelleri atmosfer şartlarına karşı dayanıklılık ve mukavemet yönünden uzun ömürlüdür. Düşük porozite değerine sahip olduğundan suya karşı dayanımı yüksektir. Üretiminde cam elyafı kullanılmasından dolayı kesitler incelmekte ve binanın kendi ağırlığında azalma meydana gelmektedir (Yıldız ve Arslan, 2018). 25 Ayrıca betona cam elyaf ikame edilmesi betonda oluşacak ani çatlakların oluşumunu engellemekte yüksek çekme dayanımı ve dayanımda artış sağlamaktadır (Enfedaque vd, 2015).

GFRC paneller türleri, katmanlarına göre, montaj türü ve bağlantılarına göre, üretim şekline göre olmak üzere üç guruba ayrılmıştır.

#### **3.1. GFRC Panellerin Üretim Aşamaları**

##### **3.1.1. Kalıbın hazırlanması ve karışımın kalıba dökülmesi**

Tamamlanmış GFRC panelinin yüzey şekli kalıbın malzemesi ve yapılış kalitesi ile ilişkilidir. Kalıplar emici olmayan malzemelerden yapılmalıdır. Kalıbın servis ömrü yapıldığı malzeme ye göre farklılık göstermektedir. Kalıpların birden fazla kullanımının, kalıp ölçülerine ya da yüzeyine hiç bir şekilde zararı olmamaktadır.

Karışım kalıba dökülürken dikkat edilmesi gereken en önemli unsur karışımın kalıp içerisine düzgün bir şekilde yayılması ve optimum kalınlığa sahip olmasıdır. Bu unsurlara dikkat edilmediği takdirde panelin çatlaması kaçınılmaz olacaktır. Yüzey karışımları sprey ile uygulanabilmektedir. Bu uygulamada karışımlar standart bir katman şeklinde olmalıdır. Yüzey karışımı döküldükten sonra mala, rulo ya da vibrasyonla sıkıştırma işlemi yapılmaktadır (Şekil 3.1) (NPPCA, 2006b).



Şekil 3.1. Yüzey karışımının kalıba yerleştirilmesi (Demirtaş, 2010)

Yüzey karışımı uygulanmadığında cam elyaf malzemenin görünmemesi için içerisinde cam elyaf bulunmayan çimento-kum karışımı bir harç hazırlanarak ince bir tabaka halinde spreyci yöntemi ile tatbik edilmektedir. Uygulanan bu kamanın kalınlığı 0,5 mm olmalıdır. Aksi takdirde bu kalınlığın üzerinde yapılan uygulamalarda çatlama, altında yapılan uygulamalarda ise cam elyaflarının görünmesine neden olmaktadır (NPCAA, 2006b).

### 3.1.2. GFRC arkalığın uygulanması

Yüzey katmanı ya da içerisinde cam elyafı olmayan çimento-kum harcı belirtilen kalınlıkta uygulanmasının ardından arkalık kaplaması birkaç tabaka şeklinde yapılmaktadır. Her bir tabakanın kalınlığı 3-6 mm arasında değişmektedir (NPCAA, 2006b).

### 3.1.3. Çelik çerçeve ve bağlantı çubuklarının panele yerleştirilmesi

GFRC uygulamasının tamamlanmasının ardından, üretilen panelin desteklenmesi ve montaj yapılması için kabuğun arka kısmına çelik bir çerçeve sistemi yerleştirilmektedir. Cam elyaf takviyeli beton kabuk ve çerçeve sistem arasında belirli bir mesafe bırakılmalıdır (Clementson, 1993). Kabuğun döküm işlemi bittikten sonra sertleşme süreci başlamaktadır. Bu süreçte çerçeve sistemde kullanılacak bağlantı elemanları kabuk içerisine yerleştirilmektedir. Bağlantı elemanları yerleştirildikten sonra beton kurumaya bırakılmaktadır. Beton 18- 24 saat arasında kuruma işlemini gerçekleştirmektedir (Altınay, 2011).

### 3.1.4. Isı yalıtım katmanının yerleştirilmesi

Yalıtım katmanı olarak hafif beton kullanıldığında, çelik çerçeve sisteminin yerleştirilmesinden sonra yalıtım katmanı yapılmaktadır. Panel yüzeyi düzeltildikten sonra 48 saat süresince kurumaya bırakılmaktadır. Ana gövdede mineral yün kullanılarak üretilen GFRC panellerin dış katman yapıldıktan sonra çerçeve sistem yerleştirilmektedir. Son olarak yalıtım malzemesi yerleştirilerek panel tamamlanmaktadır (Altınay, 2011).

### 3.1.5. Elemanın kalıptan çıkartılması

Kalıp imalatında en önemli konu panelin kalıptan çıkarılması aşamasından panele zarar vermeden kolaylıkla çıkarılmasıdır. Bu amaçla kalıp kenarları sökülebilir ya da devrilebilir olmalıdır. Kalıbın durumu panelin tasarımını önemli ölçüde etkilemektedir (Tekin, 2017).

### 3.1.6. İç ve dış yüzey bitiş uygulamaları

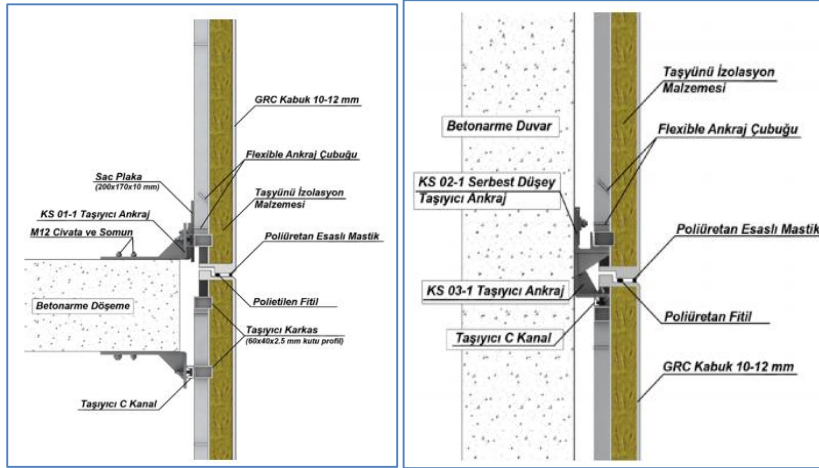
Panelin korunması ve estetik yönden kullanıcı isteklerini karşılayabilmesi iç ve dış yüzeylerden istenilen en önemli özelliktir. Panele istenilen doku, üretim esnasında, 39 üretim yapıldıktan hemen sonra veya betonun sertleşmesinden sonra verilmektedir (Altınay, 2011). Betonda istenilen yüzey, üretim esnasında kalıbın yüzeyindeki doku ya da kalıba yerleştirilen ek tabakalar sayesinde oluşturulabilmektedir. Kalıbın üst kısmı için perdah, fırça vb. araç gereçlerle istenilen doku verilebilmektedir. Panelin kalıptan çıkarılmasının ardından yıkama, kum püskürtme gibi yöntemlerle panel yüzeyi şekillendirilmektedir. Yöntemlerde beton içerisinde bulunan agreganın türü, boyutu ve karışım oranı baz alınarak farklı yüzeyler oluşturulabilmektedir. Beton sertleşmesinin ardından yüzey pürüzlendirme, parlatma, asitle aşındırma, boyama gibi kimyasal ve mekanik yollarla farklı dokular oluşturulmaktadır (Altınay, 2011).

## 3.2. Montaj işlemleri

Taşıma sürecinden sonra panellerin yerleştirileceği alanlara getirilerek birbirleriyle veya binayla birleştirilmesine kadarki geçen sürece denilmektedir. Montaj süreci üç aşamada tamamlanmaktadır. Bunlar;

- GFRC cephe panellerinin montaj alanına taşınması,
- Panellerin binaya yerleştirilmesi, ayarlanması ve desteklenmesi
- Panellerin taşıyıcı bağlantılarının yapılması

Şekil 3.2’de GFRC cephe panellerinin açık ve kapalı montaj sisteminin kesiti sunulmuştur (Özgün, 2017).



a)

b)

Şekil 3.2. GFRC cephe panellerinin açık ve kapalı montaj sisteminin kesiti

#### 4. ANKARA’DA GFRC CEPHE PANELLERİNİN UYGULANDIĞI ÖRNEK PROJELER

##### 4.1. Örnek 1 (Mevaşehir, Eryaman)

Yapımına 2019 yılında Ünsal Group tarafından Eryaman’da başlanılan Mevaşehir projesinde GFRC kaplama malzemesi mantolama ve taş kaplama ile birlikte tasarlanmıştır. Yatay ve düşey hareketlerle tasarımı yapılan cam elyaf takviyeli prekast beton cephe panellerinin izolasyonlu formu kullanılmıştır. GFRC cephe panellerinin detayları firmanın teknik ekibi tarafından üretim yapılmadan önce görüşülerek kararlaştırılmıştır. Görüşme sonrası binada kullanılacak sistemler Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1. GRC sistem tipleri

GFRC Form Sistemi	Dekoratif GRC Kaplama
GFRC İzolasyon Sistemi	İzolasyonlu GFRC Kaplama
GFRC Montaj Sistemi	Kapalı Cephe Montaj Sistemi

Tablo 4.2’de Mevaşehir, Eryaman projesinde kullanılan GFRC cephe panelinin avantajları ve dezavantajları verilmiştir. Şekil 4.1’de projeye ait renderlar, Şekil 4.3’de montaj işlemi devam ederken cephe görünüşü, Şekil 4.2’de ise montaj işlemi tamamlanan cephe görünüşü verilmiştir.

Tablo 4.2. Mevaşehir, Eryaman, GFRC kullanımının avantajları ve dezavantajları

GFRC cephe panelinin avantajları	GFRC cephe panelinin dezavantajları
Balkonlarda net alan kazanımı	Diğer cephe kaplama malzemelerine göre maliyetinin yüksek olması
Pürüzsüz yüzeye sahip olması	Bina yükünü artırması
Renk yelpazesinin geniş olması	GFRC montajını bitirmeden kapı ve pencere merkezlemesinin yapılamaması
Bakım ve onarım masraflarının az olması	Montaj işlemi tamamlandıktan sonra müdahale edilememesi
Ses yalıtımı özelliğinin olması	Montaj süresinin uzun olması
Ekstra ısı yalıtımı gerekmemesi	
Önceden imal edilmesi	
Kullanım süresinin uzun olması	
Yangın dayanımının yüksek olması	
Montaj yapılırken ince işçiliğinde yapılabilmesi	



Şekil 4.1. Mevaşehir Eryaman, render (URL-A)



Şekil 4.2. Mevaşehir Eryaman, montaj işlemi devam ederken cephe görünüşü, montaj işlemi tamamlandıktan sonra cephe görünüşü

#### 4.2. Örnek 2 (Villa, Çayyolu)

Yapımına 2020 yılında başlanan ve villa olarak tasarlanan binanın 2021 yılında tamamlanması planlanmaktadır. Villa Çayyolu mevkiinde inşa edilmiştir. Villada GFRC cephe kaplama kullanılmaktadır. Kapalı cephe uygulaması yapılan binada izolasyonlu GFRC cephe paneli tercih edilmiştir. Kapalı cephe montajı için ilk olarak duvarlar örülmüş akabinde kaplama işlemine geçilmiştir. İzolasyonlu GFRC cephe kaplaması kullanıldığı için duvarlar ince inşa edilmiştir. Bu durum binaya alan kazancı sağlamıştır. Yağmur boruları paneller arasına gizlenmiştir. Binada kullanılacak sistemler Tablo 4.3'de verilmiştir.

Tablo 4.3. GRC sistem tipleri

GFRC Form Sistemi	Panel GFRC Kaplama
GFRC İzolasyon Sistemi	İzolasyonlu GFRC Kaplama
GFRC Montaj Sistemi	Kapalı Cephe Montaj Sistemi

Tablo 4.4'de villa projesinde kullanılan GFRC cephe panelinin avantajları ve dezavantajları verilmiştir. Şekil



4.3'de ise villaya ait 3 boyutlu proje renderları sunulmuştur.

**Tablo 4.4.** GFRC kullanımının avantajları ve dezavantajları

GFRC cephe panelinin avantajları	GFRC cephe panelinin dezavantajları
Binada net alan kazanımı	Diğer cephe kaplama malzemelerine göre maliyetinin yüksek olması
Pürüzsüz yüzeye sahip olması	Bina yükünü arttırması
Renk yelpazesinin geniş olması	GFRC montajını bitirmeden kapı ve pencere merkezlemesinin yapılamaması
Bakım ve onarım masraflarının az olması	Montaj işlemi tamamlandıktan sonra müdahale edilememesi
Ses yalıtımı özelliğinin olması	Montaj süresinin uzun olması
Ekstra ısı yalıtımı gerekmemesi	
Önceden imal edilmesi	
Kullanım süresinin uzun olması	
Yangın dayanımının yüksek olması	
Montaj yapılırken ince işçiliğinde yapılabilmesi	
Yağmur olukları GFRC cephe paneli içerisine gizlenmiştir	



**Şekil 4.3.** Villa projesine ait cephe renderları

### 4.3. Örnek 3 (Türkiye Noterler Birliği)

Yapımına 2007 yılında başlanan ve 2008 yılında tamamlanan bina MuuM ve SE mimarlık tarafından tasarlanmıştır. Türkiye Noterler Birliği olarak kullanılan bina Söğütözü mevkiinde yer almaktadır. Bina, 2010 yılında Arkitera İşveren Ödülü'ne kazanmıştır.

Bina için açık cephe montajı ve izolasyonlu üretim gerçekleştirilmiştir. Bina kabuğu GFRC panel içinde 5 cm kalınlığında taşıyıcı ile imal edilmiş kompozit bir duvar sisteminden meydana gelmiştir. Cam elyaf takviyeli kabuk malzeme 15 mm kalınlığındadır. Duvar örme işlemi yapılmadan monte edilen panel sayesinde hem alandan hem de işçilikten kazanç sağlanmaktadır. Yağmur boruları GFRC panel içerisine gizlenmiştir. Binada kullanılacak sistemler Tablo 4.5'de verilmiştir.

**Tablo 4.5.** GRC sistem tipleri

GRC Form Sistemi	Panel GRC Kaplama
GRC İzolasyon Sistemi	İzolasyonlu GRC Kaplama
GRC Montaj Sistemi	Açık Cephe Montaj Sistemi

Tablo 4.6'da Türkiye Noterler Birliği projesinde kullanılan GFRC cephe panelinin avantajları ve dezavantajları

verilmiştir.

Tablo 4.6 Türkiye Noterler Birliği GFRC kullanımının avantajları ve dezavantajları

GFRC cephe panelinin avantajları	GFRC cephe panelinin dezavantajları
Binada net alan kazanımı	Diğer cephe kaplama malzemelerine göre maliyetinin yüksek olması
Pürüzsüz yüzeye sahip olması	GRC montajını bitirmeden kapı ve pencere merkezlemesinin yapılamaması
Renk yelpazesinin geniş olması	Montaj işlemi tamamlandıktan sonra müdahale edilememesi
Bakım ve onarım masraflarının az olması	Montaj süresinin uzun olması
Ses yalıtımı özelliğinin olması	
Su yalıtımı özelliğinin olması	
Ekstra ısı yalıtımı gerekmemesi	
Önceden imal edilmesi	
Kullanım süresinin uzun olması	
Yangın dayanımının yüksek olması	
Montaj yapılırken ince işçiliğinde yapılabilmesi	
Yağmur olukları GFRC cephe paneli içerisine gizlenmiştir	

Şekil 4.4'de Türkiye Noterler Birliğine ait dış cephe fotoğrafı sunulmuştur.



Şekil 4.4. Türkiye Noterler Birliği, montaj işlemi tamamlandıktan sonra cephe görünüşü

#### 4.4. Örnek 4 (Afitab Kültür Merkezi)

Yapımına 1994 yılında başlanılan Afitab Kültür Merkezi Sami Efendi Külliyesi bünyesinde inşa ettirilmiştir. Yapı Yenimahalle/Demetevler mevkiinde yer almaktadır. Yapıda kullanılan GFRC cephe kaplama malzemesi mantolama ile birlikte planlanmıştır. İzolasyonsuz olarak üretilen paneller kapalı cepheye montaj ettirilmiştir. Düşük döşeme kalınlığına sahip binaya paneller özel ankraj elemanlarıyla tutturulmuştur. Tablo 4.7'de Afitab Kültür Merkezi'ne ait GFRC sistem tipleri

Tablo 4.7. GFRC sistem tipleri

GFRC Form Sistemi	Panel GFRC Kaplama
GFRC İzolasyon Sistemi	İzolasyonsuz GFRC Kaplama
GFRC Montaj Sistemi	Kapalı Cephe Montaj Sistemi

Tablo 4.8'de Afitab Kültür Merkezi projesinde kullanılan GFRC cephe panelinin avantajları ve dezavantajları verilmiştir. Şekil 4.5'de Afitab Kültür Merkezi dış cephe görünüşü, Şekil 4.9'da montaj tamamlandıktan sonraki

cephe görünüşü sunulmuştur.

**Tablo 4.8.** Afitab Kültür Merkezi GFRC kullanımının avantajları ve dezavantajları

<b>GFRC cephe panelinin avantajları</b>	<b>GFRC cephe panelinin dezavantajları</b>
Binada net alan kazanımı	Diğer cephe kaplama malzemelerine göre maliyetinin yüksek olması
Pürüzsüz yüzeye sahip olması	Bina yükünü arttırması
Renk yelpazesinin geniş olması	GFRC montajını bitirmeden kapı ve pencere merkezlemesinin yapılamaması
Bakım ve onarım masraflarının az olması	Montaj işlemi tamamlandıktan sonra müdahale edilememesi
Montaj yapılırken ince işçiliğinde yapılabilmesi	Montaj süresinin uzun olması
Yağmur olukları GRC cephe paneli içerisine gizlenmiştir	Ekstra ısı yalıtımı gerekmesi
Önceden imal edilmesi	Ses yalıtımı özelliğinin olmaması
Kullanım süresinin uzun olması	



**Şekil 4.5.** Afitab Kültür Merkezi cephe görünüşü

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Ankara ilinde bulunan cam elyaf takviyeli prekast beton cephe paneli uygulanmış 4 adet bina incelenmiştir. Yapılan saha araştırması sonucunda aşağıdaki sonuçlara varılmış ve önerilerde bulunulmuştur.

- Betonun sahip olduğu kalıba alınabilme özelliğinden dolayı GFRC panel tasarımı özgürce yapılabilmektedir.
- İstenilen boyut, renk ve yüzeyde üretim yapılabilmektedir.
- Kendisi dışında farklı birçok yapı ve bitirme malzemesiyle rahatlıkla kullanımı mümkündür.
- Normal betonlar çekmeye karşı düşük dayanıma sahiptir. GFRC cephe kaplama malzemesi ise bünyesinde bulunan alkaliye dayanımlı cam elyafları vasıtasıyla yüksek çekme dayanımına sahiptirler.
- Cam elyaf takviyeli prekast beton cephe panellerinin bakımı doğru bir şekilde yapıldığında daha uzun ömürlü olmaktadır.
- GFRC fabrikada üretildiği için kalite kontrolü kolay bir şekilde yapılmaktadır. Kalite kontrolünün düzgün bir şekilde yapılması istenilen şekilde cephe yüzeylerinin oluşturulmasına, montaj yapılmadan önce kontrol edilebilmesine imkan sağlamaktadır.
- GFRC cephe panellerinin uygulaması yapılırken atmosfer şartlarından etkilenilmemektedir.
- İzolasyonlu GFRC cephe kaplaması kullanılması durumunda, ikinci kez ısı ve ses yalıtımı yapılmasına gerek duyulmamaktadır. Ayrıca izolasyonlu GFRC cephe panelleri A1 yanmazlık sınıfına sahiptirler.
- İzolasyonsuz GFRC cephe panellerinin izolasyonlu panellerden farkı sadece imalat sırasında panel içerisinde izolasyon malzemesinin olmamasıdır. Fakat izolasyonsuz cephe paneli kullanılacak ise duvar önceden yalıtımlı hale getirilmeli veya içerden yalıtım yapılmalıdır.
- Yüksek katlı binalarda iskele kurulmadan vinçle taşınabilmektedir.
- GFRC cephe kaplama paneli binaya ekstra yük veriyormuş gibi düşünülse de montajı yapılacak duvarın kesiti küçüleceği için bütün olarak düşünüldüğünde fazla yük vermemektedir.
- Paneller fabrikada üretilip montaj alanına taşındığı için taşıma ve depolama sürecinde zara görebilmektedir.
- Montaj aşaması tamamlandıktan sonra herhangi bir müdahale yapılamamaktadır.

- Panel katmanları arasında yer alan bağlantı noktalarında ısı köprüleri oluşabilmektedir.
- GFRC cephe kaplama malzemesi diğer cephe kaplama malzemelerine göre daha maliyetlidir.

## KAYNAKLAR

- Yıldız, S., Kıvrak, S., Arslan, G. (2018). Built environment design-economic sustainability relationship in urban renewal, *Journal of Construction Engineering, Management & Innovation*, 1(1), 33-42.
- Tokman, T., Eryılmaz, M.G. (2004). Prefabrikte beton endüstrisinin dünü, bugünü, yarını, *Yapı Dergisi*, 327, s: 95-100.
- E.Poveda, E., Ortega, J.J., Ruiz, G., Porras, R., Carmona, J.R. (2016). Normal and tangential extraction of embedded anchor plates from precast façade concrete panels. *Engineering Structures*, 110, 1 March 2016, 21-35.
- Menegon, S.J., Wilson, J.L., Lam, NTK., & Gad, E.F. (2020). Experimental assessment of the ultimate performance and lateral drift behaviour of precast concrete building cores. *Advances in Structural Engineering*, 23(12) 2597–2613.
- Sun, J., Qiu, H., & Xu, J., (2015). Experimental verification of vertical joints in an innovative prefabricated structural wall system. *Advances in Structural Engineering*, 18, 1071–1086.
- Jiang, H., Qiu, H., & Sun, J. (2019). Behavior of steel–concrete composite bolted connector in precast reinforced concrete shear wall. *Advances in Structural Engineering*, 22, 2572–2582.
- Menegon, S.J., Wilson, J.L., & Lam, NTK. (2017). GRC walls in Australia: reconnaissance survey of industry and literature review of experimental testing. *Australian Journal of Structural Engineering*, 18, 24–40.
- Altınay, G. (2011). Beton Esaslı Prekast Cephe Panellerinin Üretimi, Uygulaması, Yapısal Performansının Değerlendirilmesi ve Bir Alan Araştırması İle İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Tekin, K.T. (2017). Cam Elyaf Katkılı Beton Cephe Panellerinin İnşa Edilebilirlik Kriterleri Açısından İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- P.C. Institute, (2010). *Designing with precast and prestressed concrete*, Chicago, Amerika.
- Corporation, CMH. (2002). *Architectural Precast Concrete Walls. Best Practice Guide*. Canada: Canada Mortgage and Housing Corporation.
- Life-Cycle Assessment of Cladding Products*, (2009). Knoxville, USA.
- Yıldız, N.B., Arslan, H. (2018). Cam elyaf takviyeli beton panellerin dış cephelerde kullanımı. 9. Ulusal Çatı & Cephe Konferansı, İstanbul.
- Mehta, M., Scarborough, W., & Armpriest, D., (2009). *Building Construction, principles, materials, and systems*. Update, Prentice Hall PTR, USA.
- Bağda, E., & İnan, G. (2009). Dış cephelerde kullanılan cam elyaf donatılar, *Yalıtım Dergisi*, (78), 1-8.
- Demirtaş, G., & Tosun, M. (2012). CTB yapı malzemesi ve CTB cephe paneli uygulamalarında meydana gelen cephe sorunları, *Journal of Faculty Engineering-Architecture Selçuk University*, 27(4), 121-134.
- PCI, Committee on Precast Sandwich Wall Panels (2016). *Designing with Precast and Prestressed Concrete*, Northampton, İngiltere, 4c-1.
- Bideci, Ö.S., Mercanoğlu, K., & Bideci, A. (2018). Öğütülmüş cam elyaf takviyeli beton (GRC) atıklarının çimento ikame malzemesi olarak kullanılabilirliği. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilim ve Teknik Dergisi*, 6(2), 198-206.
- Enfedaque, A., Paradela, L. S., & Gálvez, V. S., (2012). An alternative methodology to predict aging effects on the mechanical properties of glass fiber reinforced cements (GRC). *Construction and Building Materials*, 27 (1), 425-431.
- Yıldız, N.B., (2017). Cam Elyaf Takviyeli Beton (GFRC) Cephe Panelleri İçin Yaşam Döngü Değerlendirmesi (YDD) Yöntemiyle Bir Sürdürülebilirlik Çerçevesi Geliştirilmesi. Doktora Tezi, Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce.
- Enfedaque, A., Gálvez, J. C., & Suárez, F., (2015). Analysis of fracture tests of glass fibre reinforced cement (GRC) using digital image correlation. *Construction and Building Materials*, 75, 472–487.
- NPCAA, (2006). *GRC Industry Group of National Precast Concrete Association Australia, Design, Manufacture and Installation of Glass Reinforced Concrete (GRC)*. Provided by the GRC Industry Group of National Precast Concrete Association Australia.
- Demirtaş, G. (2010). *GRC Cephe Panellerinde Oluşan Sorunlar Ve Çözüm Önerileri*. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Clementson, A. (1993). *Materials and systems*, *Materials & Design*, 14 (1), 1993, 7-9.
- Özgün, T. (2017). Cam Elyaf Katkılı Beton Prekast (GRC) Cephe Kaplama Malzemesinin Avantaj Ve Dezavantajlarının İstanbul'daki Örnekler Üzerinden İrdelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Haliç Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

**Akaryakıt İstasyonuna Ait Klasik Fine Kinney Risk Analizinin Bulanık Fine Kinney Yöntemi Karşılaştırılması**

**The Comparison Between Classical Fine Kinney Analysis and Fuzzy Fine Kinney Method Used in Gas Stations**

Aslı Ece Acar Filizci<sup>1</sup>, Babek ERDEBİLLİ<sup>2</sup>

*Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Ankara*  
*Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara*

Doi: 10.51764/smutgd.1124513

Geliş Tarihi: 01.06.2022

Kabul Tarihi: 22.11.2022

**ÖZET**

Akaryakıt istasyonları nace kodundan bakıldığı zaman çok tehlikeli işyeri kategorisinde yer almaktadır. Bu işyerlerinde aynı zamanda çok sayıda çalışan sirkülasyonu bulunmaktadır. İş güvenliği ve sağlığı eğitimleri her zaman aksatılmadan yapılsalar dahi risk değerlendirmesi ile tehlikelere kaynakta müdahale etmek en iyi korunma yöntemi olarak görülmektedir. İlgili yönetmelik ve yasalarla akaryakıt istasyonlarındaki tehlikelere dair tedbirler alınması hedeflense de, yeterli gelmemektedir. Ve akaryakıt istasyonları insan sağlığı ve çevre güvenliği için ciddi riskler içermektedir. Buralarda iş güvenliği uzmanlarına, işyeri hekimlerine ve işverenlere sürecin kontrol ve takibini sağlamak açısından çok görev düşmektedir. Bu nedenle sektörde yapılan her bir risk değerlendirmesi çok önemlidir. Akaryakıt istasyonlarındaki riskleri insan kaynaklı veya doğal afet kaynaklı olarak ayırabiliriz. Bu çalışma sektöre bir bakış yapıldıktan sonra literatür taraması ile devam etmektedir. Literatür taraması sonucu sektöre özgü başlıca tehlikeler belirlenmiştir. Daha sonra bu sektörden seçilen ve alanında uzman olan kişilerle görüşme sağlanarak; belirlenen tehlikelerin üzerinde değerlendirme yapılmıştır. Zoom görüşmesi şeklinde yapılan bu görüşmeler sonucunda son liste belirlenmiş ve bu tehlikelerin olasılık, frekans ve şiddet değerlerinin tespiti sağlanarak Fine-Kinney metodu ve Bulanık Fine- Kinney metodu ile iki ayrı risk skoru hesaplanmıştır. Bu skorların karşılaştırılması yapılarak önem derecelerine dair bir tablo hazırlanmıştır. Yapılan hesaplamalar ve karşılaştırmalar ile elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde bulanık mantıkla hazırlanan Fine-Kinney risk değerlendirmesinin metodunda skalalarının daha geniş çerçevede yer almasından dolayı sonuçların daha net ve belirlenen tehlikeye özgü olduğu gözlenmiştir. Bundan dolayı bulanık mantıkla yapılan Fine-Kinney risk değerlendirmesi metodu önerilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Akaryakıt İstasyonu, Fine Kinney, Bulanık Fine Kinney, Risk Değerlendirmesi

## ABSTRACT

Gas stations are categorized as very hazardous workplaces when evaluated in terms of NACE codes. Meanwhile, there is a considerable number of rotations of employers in these workplaces. Even if occupational safety and health training are conducted regularly, risk evaluation and acting against the hazards at the source are considered the best protection method. Although the primary purpose is to take measurements against the hazards in gas stations in the legal framework, it may not be sufficient. Moreover, gas stations have severe risks to human health and environmental safety. Therefore, a great responsibility is on the shoulders of occupational safety experts, workplace doctors and employees. That is why each risk evaluation conducted in this sector is vital. The risks in gas stations can be categorized as human-based and natural-disaster-based risks. After an overview of this sector, the literature research follows in this study. After the literature research, primary hazards related to this sector are identified. Later on, these hazards are evaluated by the experts in this area via virtual meetings. After these meetings, a final list emerged. Two distinct risk scores were calculated through the Fine-Kinney Method and Fuzzy Fine-Kinney Method separately after identifying these hazards' probability, frequency and violence values. A table based on priority rankings has emerged by comparing these scores. After evaluating the calculations and comparisons, it is observed that the risk evaluation prepared by the Fuzzy Fine Kinney method puts cleaner and more related results because the scales are on a broader frame. That is why the fuzzy Fine Kinney method is preferred.

**Key Words:** *Gasoline Station, Fine Kinney, Fuzzy Fine Kinney, Risk Analysis*

## 1. GİRİŞ

Petrol sanayisi, petrolün bulunması ve çıkarılması, taşınması, rafinerilerde işlenmesi ve üretilen ürünlerin dağıtım şirketleri tarafından bayilere ulaştırılması ve bu bayiler tarafından da perakende satışa sunulması gibi her biri ayrı önemli aşamalarını içeren kademeli bir yapıya sahiptir.

Petrol Sanayi Derneği (PETDER) tarafından 2020 yılı sonu itibarı yayınlanan sektör raporuna bakıldığında petrol piyasasında 6 tane rafineri, 64 tane dağıtıcı ve yaklaşık 13.100 tane lisanslı akaryakıt bayisi faaliyet halindedir. LPG piyasasında ise 91 dağıtıcı ve yaklaşık 11.000 otogaz istasyonu lisanslı olarak faaliyet halindedir.

Ocak 2022 yılına ait PETDER Aylık Petrol Bülteni'nde göre akaryakıt ve LPG tüketimine dair veriler bulunmaktadır. Bu rapora göre 2021 yılı sonu itibarıyla tüketilen benzin ve motorinin (UN 1202, UN 1203) yaklaşık 36.000.000 m<sup>3</sup>, LPG 'nin (UN 1965) ise yaklaşık 3.200.000 ton olduğu görülmektedir. Bu raporun verdiği verilere bakılarak akaryakıt sektöründe (benzin, motorin ve LPG tehlikeli maddeleri olarak) 2021 yılına ait toplam tüketim miktarının 38.000.000 ton civarı olduğu görülmektedir.

Bu sektörün toplam sigortalı sayısının SGK 2020 İstatistik Raporuna göre yaklaşık 1.300.000 olduğu görülmektedir. Bu sayının her biri doğrudan tehlikeli maddelerle çalışmasa da dolaylı olarak da maruz kalmaktadır.

Bu istasyonlar parlayıcı ve patlayıcı maddeler ile akaryakıtların imal edildiği, depolandığı, doldurma-boşaltma ve satış işlerinin yapıldığı yerler yüksek tehlikeli yerler olarak değerlendirilir. Bu çok tehlikeli yerlerde karşılaşılması muhtemel acil durumlar yangın, patlama ve tehlikeli madde saçılmasıdır. Bu durumlara neden olabilecek çok çeşitli tehlike kaynağı bulunmaktadır.

Yuvakur, 2005 yılında yaptığı çalışmaya göre akaryakıt ve LPG istasyonları, işin büyüklüğünden ve çok tehlikeli olmalarından kaynaklı çalışanlar, müşteriler ve aynı zamanda çevre için sağlık ve güvenliği ciddi tehlikeye atan kurumlardır. Buralardaki kazalar/acil durumlar doğal afet kaynaklı ve insan kaynaklı olarak ikiye ayırabiliriz. Yangın, patlama ve tehlikeli madde zehirlenmesi deprem ve yıldırım gibi doğal afet kaynaklı olabilir. Aynı zaman bu acil durumlar kaza, kişilerin bilinçsiz kullanımı, ekipmanların kontrol eksikliği gibi insan kaynaklı nedenlerden dolayı da oluşabilir. (Grafik 1.)



**Grafik 1.** Akaryakıt İstasyonlarındaki Acil Durumların Kaynakları (Yuvakur, 2005)

Çalışmanın 2. Bölümünde ilgili konu ile ilgili bilimsel yazın taraması yapılmış ve ilgili bulunan seçenekler Tablo1. Üzerinde gösterilmiştir. 3. Bölüm olan yöntemde Fine-Kinney Metodu ve Bulanık Fine- Kinney metodu hakkında bilgilendirme yapılmıştır. Ve Tablo1.'de belirlenen tehlikelerin uzman grup tarafından kontrolü ile nihai liste oluşturulmuştur. Daha sonra belirlenen tehlikeler 4. Bölümde hem Fine-Kinney yöntemi ile hem de Fuzzy Fine-Kinney yöntemi ile analiz edilerek 2 farklı şekilde hesaplanmıştır. 5. Bölüm olan son bölümde ise bulunan risk dereceleri hakkında yorumlama yapılmış ve öneriler maddelenmiştir.

## 2. LİTERATÜR İNCELENMESİ

Literatür araştırması yapılırken Google Scholar, Researchgate ve Dergipark araştırma platformlarında 'akaryakıt istasyonu risk değerlendirmesi', 'gasoline station Fine-Kinney', 'akaryakıt Fine-Kinney', 'akaryakıt fuzzy' gibi anahtar kelimeler / kalıplar ile araştırma yapılmıştır. Yapılan detaylı incelemeler sonucunda, tam olarak istenilen konu ile alakalı çalışma bulunmamaktadır. Bulunan çalışmaların benzerlerinden yola çıkarak akaryakıt istasyonlarında risk değerlendirmesi yapılırken önemli olarak derecelendirilen tehlikelere dair seçenekler Tablo1.'de gösterilmiştir. Aşağıdaki tablo1'de hangi tehlikenin ne olduğu açıklamaları ve hangi kaynaklarda bulunduğuyla beraber verilmiştir. Başlıca 10 tehlike belirlenirken, 5 adet farklı kaynaktan yararlanılmıştır.

**Tablo 1.** Akaryakıt İstasyonlarında Belirlenen Başlıca Tehlikeler

Tehlikeler	Açıklama	Yuvakur, 2005	Kodalak, 2009	Tuncay, 2014	Babaoğlu ve ark. 2018	Ashour, 2020
<i>Sigara vb. yanıcı madde kullanımı</i>	Çalışma ortamında bulunan tehlikeli maddelerden dolayı yanıcı madde ile temas sonucunda parlama/patlama ihtimali vardır.	x	x	x	x	x
<i>Periyodik elektrik kontrolleri</i>	Tüm ekipmanlarının elektrik kontrollerinin uygun olması ve topraklamalarının bulunması gerekmektedir.	x	x	x	x	x
<i>Periyodik paratoner kontrolleri</i>	Yıldırım tehlikesine karşı paratonerlerin uygun ve kullanılabilir olması gerekmektedir.		x	x	x	x

<i>Çukur ve bodrum bulunması</i>	Petrol gazının havadan ağır olmasından dolayı zeminde bulunan çukur ve bodrumlarda birikmesi muhtemeldir.	x	x	x	x	
<i>Telefon kullanımı</i>	Çok küçük bir ihtimal de olsa telefondan yayılan radyo frekanslarının kıvılcım çıkartma ve petrol gazının tutuşması sonucu acil durum oluşma ihtimali vardır.	x		x	x	
<i>Personel bilinci</i>	Çalışanların işin işleyişi hakkında, kullanılan maddelerin içerikleri ve önemleri hakkında ve oluşması muhtemel her durum hakkında gerekli eğitimleri almış olmaları gerekmektedir.	x	x	x	x	x
<i>Halkın bilinci</i>	Akaryakıt istasyonlarının çok tehlikeli yerler olmasından dolayı halkın bu konuda tam bilince sahip olması ve kurallara uyması gerekmektedir.	x			x	
<i>Yangın söndürücülerin kontrolleri</i>	Olası acil durumlarda müdahale sırasında kullanılması gereken yangın söndürücülerinin hazır ve uygun yerlerde bulunması gerekmektedir.		x	x	x	x
<i>Uyarıcı levhalar</i>	Çalışanlar, müşteriler ve halkın bilinçlenmesi ve dikkatlerinin çekilmesi için uyarı levhaları önemlidir.	x		x	x	x
<i>Tank kontrolleri</i>	Tehlikeli madde sızıntılarına karşı tank kontrollerinin yapılması gerekmektedir.	x		x	x	x

### 3. YÖNTEM

#### 3.1. Fine-Kinney Metodu

1971 yılında Fine tarafından önerilen ve 1976 yılında G.F.Kinney ve A.D.Wiruth tarafından geliştirilerek kullanılmaya başlayan yöntemin sektörde görülmesi başlangıçta inşaat ve çimento alanı olmuştur. Ancak günümüzde hemen hemen her sektörde kullanıldığı görülmektedir. Bu yöntem nicel bir yöntemdir. Hesaplamak için sayısal verilerden yararlanır. Risk skorunun hesaplanmasında üç önemli parametre bulunmaktadır. Bunlar olasılık (O), frekans (F) ve şiddettir (Ş). Her birinin belirli skalası (Tablo2.) bulunan bu üç değer çarpılması ile risk skoru (Tablo3.) elde edilmektedir. Risk skorları 5 ayrı sınıfa ayrılmış olup, Tablo3'te gösterilmiştir. Bu sınıflandırma ile risklerin skorlarına göre öncelik sıralanması yapılır. Çıkan sonuçların kategorilerine göre müdahale/çözüm planı oluşturulup akış alınmalıdır.

**Tablo 2.** Fine-Kinney Olasılık, Şiddet, Frekans Skalası

Olasılık Skalası		Şiddet Skalası	
Değer	Kategori	Değer	Etki
0,1	Neredeyse İmkânsız	1	Ramak Kala
0,2	İmkânsız	3	Hafif Yaralanma
0,5	Düşük İhtimal	7	Ağır Yaralanma



1	Oldukça düşük ihtimal	15	Kalıcı Hasar, Çevresel Zarar
3	Nadir ama mümkün	40	Ölümlü Kaza
6	Kuvvetle muhtemel	100	Birden Fazla Ölümlü Kaza
10	Çok yüksek olasılıkla		
<b>Frekans Skalası</b>			
<b>Değer</b>	<b>Açıklama</b>	<b>Kategori</b>	
0,5	Çok nadir	Yılda bir kez ya da daha az	
1	Oldukça nadir	Yılda 1 ya da birden çok	
2	Nadir	Ayda bir ya da birden çok	
3	Ara sıra	Haftada bir ya da birden çok	
6	Sık sık	Günde bir ya da daha fazla	
10	Sürekli	Sürekli ya da saatte birden çok	

(Oturakci, M., & Dağsuyu, C. (2017). *Fuzzy Fine-Kinney Approach in Risk Assessment and an Application*. s.19.)

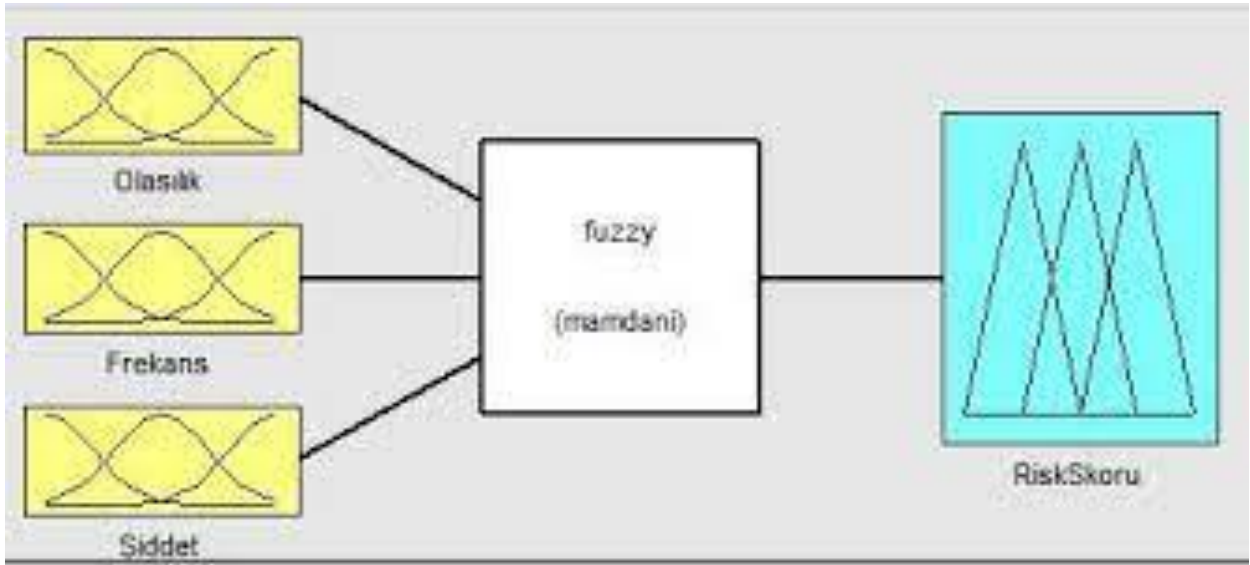
**Tablo 3.** *Fine-Kinney Risk Durumu Skalası*

Risk Değeri	Risk Durumu
$R > 400$	Tolerans gösterilemez risk (İşe ara verilmeli ve derhal önlem alınmalı)
$200 < R < 400$	Yüksek Risk (Kısa dönemde iyileştirilmeli, kontroller aksatılmamalı)
$70 < R < 200$	Önemli risk (Uzun dönemde iyileştirilmeli, dikkatle izlenmeli)
$20 < R < 70$	Olası risk (Gözetim altında tutulmalı)
$R < 20$	Önemsiz risk (Önlem öncelikli değildir)

(Oturakci, M., & Dağsuyu, C. (2017). *Fuzzy Fine-Kinney Approach in Risk Assessment and an Application*. s.20.)

### 3.2. Bulanık Fine – Kinney Yöntemi

Fine-Kinney metoduyla gerçekleştirilen risk değerlendirmesi sonucunda değerlendirmelerdeki karşılaşılan belirsizliklerin ortadan kaldırılması amacıyla; olasılık, şiddet ve frekans skalaları bulanıklaştırılmıştır ve bunun neticesinde karar kuralları oluşmuştur. Bulanık Fine-Kinney yöntemi sonucu risk derecelerinin duyarlılıkları artmıştır. Olasılık, şiddet ve frekans parametreleri girdi; risk derecesinin de çıkması olması için uygulanan karar kurallarında 'mandani min max' yöntemi ile Matlab Fuzzy Logic Designer programı ile kodlanmıştır.



Şekil 1. Bulanık Fine-Kinney Tasarımı

(Erdebilli, b., & Gür, L. (2020). Bulanık fine-kinney yöntemiyle risk değerlendirme uygulaması. s. 79)

**Tablo 4.** Fine-Kinney Olasılık, Şiddet, Frekans Skalası vs. Bulanık Fine- Kinney Olasılık, Şiddet, Frekans Skalası

Olasılık Skalası			Şiddet Skalası		
Değer	Kategori	Bulanık Fine-Kinney Üçgen Üyelik Fonksiyonu	Değer	Etki	Bulanık Fine-Kinney Üçgen Üyelik Fonksiyonu
0,1	Neredeyse İmkansız	0 / 0,1 / 0,2	1	Ramak Kala	0 / 1 / 3
0,2	İmkansız	0,1 / 0,2 / 0,5	3	Hafif Yaralanma	1 / 3 / 7
0,5	Düşük İhtimal	0,2 / 0,5 / 1	7	Ağır Yaralanma	3 / 7 / 15
1	Oldukça düşük ihtimal	0,5 / 1 / 3	15	Kalıcı Hasar, Çevresel Zarar	7 / 15 / 40
3	Nadir ama mümkün	1 / 3 / 6	40	Ölümlü Kaza	15 / 40 / 100
6	Kuvvetle muhtemel	3 / 6 / 10	100	Birden Fazla Ölümlü Kaza	40 / 100 / 100
10	Çok yüksek olasılıkla	6 / 10 / 10			
<b>Frekans Skalası</b>					

Değer	Açıklama	Kategori	Bulanık Üçgen Fonksiyonu	Fine-Kinney Üyelik
0,5	Çok nadir	Yılda bir kez ya da daha az	0 / 0,5 / 1	
1	Oldukça nadir	Yılda 1 ya da birden çok	0,5 / 1 / 2	
2	Nadir	Ayda bir ya da birden çok	1 / 2 / 3	
3	Ara sıra	Haftada bir ya da birden çok	2 / 3 / 6	
6	Sık sık	Günde bir ya da daha fazla	3 / 6 / 10	
10	Sürekli	Sürekli ya da saatte birden çok	6 / 10 / 10	

(Oturakci, M., & Dağsuyu, C. (2017). *Fuzzy Fine-Kinney Approach in Risk Assessment and an Application*. S.20.)

Yukarıdaki bulunan Tablo4.'te Fine-Kinney ile Bulanık Fine-Kinney metodu karşılaştırılması görülmektedir. Bulanık Fine-Kinney metoduna bakıldığı zaman frekans, olasılık ve şiddetin skalalarının daha geniş aralıklarda bulunduğu görülmektedir. Bu da bize bulanık mantıkla hazırlanan risk değerlendirmelerinde değerlendirme yapılırken daha geniş bir çerçeveden analiz sağlamaktadır.

Üçgensel bulanık sayılar  $[a_1, a_2, a_3]$  gibi üçlüler ile gösterilirler.  $a_1, a_2, a_3$  parametreleri sırasıyla en küçük değeri, alınabilecek en büyük değeri ve en geniş değeri temsil etmektedirler. Bu yöntemde, bulanık dönüşüm ölçeği Tablo5'de gösterilmektedir. Ölçek, Mikhailov (2003) bulanık sayılar kullanılarak ele alınmıştır.

**Tablo 5.** Selecting the high-performing departments within universities applying the fuzzy MADM methods

Importance intensity	Triangular fuzzy scale
1	(1, 1, 1)
2	(1.6, 2.0, 2.4)
3	(2.4, 3.0, 3.6)
4	(3.2, 4.0, 4.8)
5	(4.0, 5.0, 6.0)
6	(4.8, 6.0, 7.2)
7	(5.6, 7.0, 8.4)
8	(6.4, 8.0, 9.6)
9	(7.2, 9.0, 10.8)

(Babak Daneshvar Royyendegh - *Scientific Research and Essays*, 2011)

### 3.3. Uzman Grubu Analizi ve Veri Toplama Süreci

Literatür taraması sonucunda 5 ayrı kaynaktan toplam 10 adet tehlike kaynağı belirlenmiştir. Bu tehlikelerin alanında uzman kişilere sorulması gerekmektedir. Uzman gruplarının bakış açısı ile bu 10 tehlikenin değişmesi veya aynı kalması muhtemeldir.

Uzman grubu için iş güvenliği uzmanı ve tehlikeli madde güvenlik danışmanı gibi vasıflara sahip kişilerden seçilmiştir. 10 kişilik bir grup belirlenmiştir. Bu uzman grubunda bulunan kişiler 4-10 yıl tecrübeli ve içlerinden ayrıca 5 uzmanın Tehlikeli Madde Güvenlik Danışmanı olma özelliği bulunmaktadır. Belirlenen bu uzman grubunun içerisinde A, B ve C sınıfı olmak üzere her sınıftan uzmanlar bulunmaktadır.

Uzmanların her biri ile yarım saat süren zoom görüşmesi sonucunda belirtilen 10 tehlikenin hepsinin önemli olduğuna karar verilmiştir. Ve bu tehlikelerin aynı kaldığı görülmüştür. 'Halk bilinci' kritik başarı faktörü üzerinde fazlasıyla durulmuştur. Literatür taramasında sadece iki kaynakta buna dair açıklama bulunsa da daha fazla önemli olduğundan bahsedilmiştir. Yaşanılan tecrübeler sonucunda müşterilerin ve istasyon içerisinden geçen insanların gerekli kurallara uymadığı; kendilerini ve çevreyi ciddi olası acil durumların içerisine soktuğundan bahsedilmiştir. Bu durum neticesinden Tablo1.'de belirlenen kriterlerin hepsi uzmanlar tarafından onaylanmıştır.

#### 4. BULGULAR

Yapılan çalışmanın sonucunda literatür taraması sonucunda 10 adet tehlike belirlenmiştir. Bu tehlikeler alanın uzmanlarına sorulmuş ve teyit alınmıştır. Belirlenen tehlike kaynakları; sigara vb. yanıcı madde kullanımı, periyodik elektrik kontrolleri, periyodik paratoner kontrolleri, alanda çukur ve bodrum bulunması, istasyon sahasında telefon kullanımı, personelin ve halkın bilinç sahibi olması, yangın söndürücülerin periyodik kontrolleri, uyarıcı levhaların eksik bulunması ve tank kontrolleridir. Bu tehlike kaynaklarının kontrollerinin yetersiz olması durumunda yangın, patlama ve tehlikeli madde zehirlenmesi ile karşı karşıya kalınmaktadır. Uzmanlar yardımıyla belirlenen tehlikelerin skoru hesaplanmıştır. (Tablo5.) Bu tablo Tablo 2 ve Tablo 3'ten yararlanılarak bulunmuştur.

Klasik mantıkla hazırlanan Fine-Kinney risk değerlendirmesinin bulanık mantığa çevrilmesi sonucunda çıkan değerler ile risk önem sıralaması yapılmıştır. (Tablo6.)

**Tablo 5. Fine- Kinney Risk Değerlendirmesi**

Tehlikeler	Olasılık	Frekans	Şiddet	Risk Derecesi	Risk Durumu
<i>Sigara vb. yanıcı madde kullanımı</i>	6	10	40	240	Yüksek Risk
<i>Periyodik elektrik kontrolleri</i>	1	1	40	40	Olası Risk
<i>Periyodik paratoner kontrolleri</i>	1	1	40	40	Olası Risk
<i>Çukur ve bodrum bulunması</i>	1	2	40	80	Önemli Risk
<i>Telefon kullanımı</i>	6	10	40	240	Yüksek Risk
<i>Personel bilinci</i>	3	10	40	120	Önemli Risk
<i>Halkın bilinci</i>	3	10	40	120	Önemli Risk
<i>Yangın söndürücülerin kontrolleri</i>	1	2	40	80	Önemli Risk
<i>Uyarıcı levhalar</i>	0,5	6	15	45	Olası Risk
<i>Tank kontrolleri</i>	1	1	40	40	Olası Risk

**Tablo 6. Klasik Fine- Kinney & Bulanık Fine- Kinney Risk Değerlendirmesi Karşılaştırılması**

Tehlikeler	Risk Skoru	Risk Skoru Sıralaması	Bulanık Ağırlık Değeri	Bulanık Risk Skoru Sıralaması
<i>Sigara vb. yanıcı madde kullanımı</i>	240	1	0,556	3
<i>Periyodik elektrik kontrolleri</i>	40	5	0,538	6
<i>Periyodik paratoner kontrolleri</i>	40	5	0,671	1
<i>Çukur ve bodrum bulunması</i>	80	3	0,545	5
<i>Telefon kullanımı</i>	240	1	0,583	2
<i>Personel bilinci</i>	120	2	0,549	4
<i>Halkın bilinci</i>	120	2	0,549	4
<i>Yangın söndürücülerin kontrolleri</i>	80	3	0,545	5
<i>Uyarıcı levhalar</i>	45	4	0,249	8
<i>Tank kontrolleri</i>	40	5	0,534	7

## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ VE ÖNERİLER

Fine Kinney risk analizi yaparken karşılaşılan en ciddi sorun, risk tamamen başka olsa bile, farklı olasılık, şiddet ve frekans gruplarının aynı risk skorunu oluşturabilmesidir. Bulanık yaklaşım sayesinde bu 3 kriter farklı kendi içerisinde değerlendirilebilmektedir. Ve daha duyarlı bir sonuç elde edilmektedir. Bundan dolayı da risk skoru sıralaması yapıldığında önem derecesine göre sıralama değişmektedir.

- Klasik Fine-Kinney yönteminde önem sıralamasında 1. Sırada yer alan '*sigara vb. yanıcı madde kullanımı*'; bulanık yöntem ile hesaplandığında 3. Sıraya yerleşmektedir. Bu sonuç bu tehlikenin hala bir risk olduğunu ama tedbir alma sıralamasında geri planda olduğunu göstermektedir.
- Klasik Fine-Kinney yönteminde önem sıralamasında 5. Sırada yer alan '*periyodik elektrik kontrolleri*'; bulanık yöntem ile hesaplandığında 6. Sıraya yerleşmektedir. Bu sonuç bu tehlikenin hala bir risk olduğunu ama tedbir alma sıralamasında geri planda olduğunu göstermektedir.
- Klasik Fine-Kinney yönteminde önem sıralamasında 5. Sırada yer alan '*periyodik paratoner kontrolleri*'; bulanık yöntem ile hesaplandığında 1. Sıraya yerleşmektedir. Bu sonuç kontrollerin daha sıkı yapılması gerektiğini göstermektedir.
- Klasik Fine-Kinney yönteminde önem sıralamasında 3. Sırada yer alan '*Çukur ve bodrum bulunması*'; bulanık yöntem ile hesaplandığında 5. Sıraya yerleşmektedir. Bu sonuç bu tehlikenin hala bir risk olduğunu ama tedbir alma sıralamasında geri planda olduğunu göstermektedir.
- Klasik Fine-Kinney yönteminde önem sıralamasında 1. Sırada yer alan '*telefon kullanımı*'; bulanık yöntem ile hesaplandığında 2. Sıraya yerleşmektedir. Bu sonuç bu tehlikenin hala bir risk olduğunu ama tedbir alma sıralamasında geri planda olduğunu göstermektedir.
- Klasik Fine-Kinney yönteminde önem sıralamasında 2. Sırada yer alan '*personel bilinci*'; bulanık yöntem ile hesaplandığında 4. Sıraya yerleşmektedir. Bu sonuç bu tehlikenin hala bir risk olduğunu ama tedbir alma sıralamasında geri planda olduğunu göstermektedir.

- Klasik Fine-Kinney yönteminde önem sıralamasında 2. Sırada yer alan '*halk bilinci*'; bulanık yöntem ile hesaplandığında 4. Sıraya yerleşmektedir. Bu sonuç bu tehlikenin hala bir risk olduğunu ama tedbir alma sıralamasında geri planda olduğunu göstermektedir.
- Klasik Fine-Kinney yönteminde önem sıralamasında 3. Sırada yer alan '*yangın söndürücülerin kontrolü*'; bulanık yöntem ile hesaplandığında 5. Sıraya yerleşmektedir. Bu sonuç bu tehlikenin hala bir risk olduğunu ama tedbir alma sıralamasında geri planda olduğunu göstermektedir.
- Klasik Fine-Kinney yönteminde önem sıralamasında 4. Sırada yer alan '*uyarı levhaları*'; bulanık yöntem ile hesaplandığında 8. Sıraya yerleşmektedir. Bu sonuç bu tehlikenin hala bir risk olduğunu ama tedbir sıralamasında geri planda yer aldığını göstermektedir.
- Klasik Fine-Kinney yönteminde önem sıralamasında 5. Sırada yer alan '*tank kontrolleri*'; bulanık yöntem ile hesaplandığında 7. Sıraya yerleşmektedir. Bu sonuç bu tehlikenin hala bir risk olduğunu ama tedbir alma sıralamasında geri planda olduğunu göstermektedir.

Bulanık mantık ile yapılan Fine-Kinney sonuçlarının daha hassas ve gerçekçi olduğu gözlenmektedir. Tüm artı noktalarına rağmen bulanık mantıkla yapılan risk değerlendirmelerinin karmaşık olması tek dezavantaj olarak değerlendirilebilir. Ancak bulanık mantıkla yapılan risk değerlendirmesinin sonucu her bir riske özel değerlendirildiği için üretim sektöründe ve çok tehlikeli sınıfında yer alan işyerlerinde önerilmektedir.

## 6. KAYNAKÇA

- Ashour, Ü. (2020). Bir akaryakıt ve LPG istasyonu için risk değerlendirmesi ve analizi (Master's thesis, İstanbul Rumeli Üniversitesi).
- Babak Daneshvar Royyendegh - Scientific Research and Essays, 2011, 2650.
- Bardak, S. & Yurdakul, Ö. Mühendislikte güncel araştırmalar. S.17.
- Cüdübeyoğlu, İ., & Kayabaşı, R. (2022). Seramik Fabrikasında Fine-Kinney Yöntemi ile Risk Değerlendirmesi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (35), 633-642.
- Çınar, f., Solmaz, m. S., & Çakmak, E. Evaluation of Ship Manoeuvres in Port by Using Fuzzy Fine Kinney Method. International Journal of Environment and Geoinformatics, 8(4), 537-548.
- DURAN, F. (2020). Patlayıcı Ortamlar ve Boyahane Risk Değerlendirmesi (Doctoral dissertation, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Durmuş, H. , Yurtsever, Ö. & Yalcin, B. (2021). Bir Çay Fabrikasında Fine-Kinney ve FMEA Yöntemleri ile Risk Değerlendirmesi . International Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences , 33 (2) , 287-298 . DOI: 10.7240/jeps.814798
- Erdebilli, b., & Gür, L. (2020). Bulanık fine-kinney yöntemiyle risk değerlendirmesi uygulaması. Endüstri mühendisliği, 31(1), 75-86.
- Gul, M., Yucesan, M., & Ak, M. F. (2022). Control measure prioritization in Fine– Kinney-based risk assessment: a Bayesian BWM-Fuzzy VIKOR combined approach in an oil station. Environmental Science and Pollution Research, 1-18.
- Kodalak, A. (2009). Akaryakıt istasyonu seçme problemine coğrafi bilgi sistemleri ve bulanık analitik ağ prosesi yaklaşımı.
- Kök, O. E., Erdoğan, Y., & Babaoğlu, S. (2018). Bir Akaryakıt İstasyonunun Risk Analizinin Yapılması ve İş Güvenliği Açısından Değerlendirilmesi. Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi, 1(2), 80-102.
- Oturakci, M., & Dağsuyu, C. (2017). Fuzzy Fine-Kinney Approach in Risk Assessment and an Application. Karaelmas Journal of Occupational Health and Safety, 1(1), 17-25.

- Supciller, A. A., & Abali, N. (2015). Occupational health and safety within the scope of risk analysis with fuzzy proportional risk assessment technique (fuzzy PRAT). *Quality and Reliability Engineering International*, 31(7), 1137-1150.
- Şimşek, S. (2020). İş Sağlığı ve Güvenliği Kapsamında Risk Değerlendirme Metotlarından Fine Kinney Metodunun Bir Örnekle Değerlendirilmesi . *İSG Akademik* , 2 (2) , 91-99 . Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/isgakademik/issue/55804/752127>
- Yalçın, Z. G. , Dağ, M. & Aydoğmuş, E. (2018). Risk Analysis by Fine Kinney Method in a Laboratory . *Journal of Physical Chemistry and Functional Materials* , 1 (1) , 57-62 . Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/jphcfum/issue/38721/447201>
- Yuvakur, S. (2005). Akaryakıt Ve Lpg İstasyonlarında Kamu Güvenliği Açısından Yapı Ve Yapım Denetimi (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Bakanlığı, Ç. V. S. G., & Müdürlüğü, İ. Yakıt istasyonları özelinde patlayıcı ortamların araştırılması ve patlayıcı ortamlarda iş sağlığı ve güvenliği rehberinin hazırlanması.
- PETDER 2020 Sektör Raporu – Link: [petder.org.tr/Uploads/Document/52b69ce1-56c0-4bb3-b647-543f4b872cee.pdf?v-637768025270499593](http://petder.org.tr/Uploads/Document/52b69ce1-56c0-4bb3-b647-543f4b872cee.pdf?v-637768025270499593) – Erişim: 04.05.2022
- PETDER Aylık Petrol Bülteni Ocak 2022 – Link: [petder.org.tr/Uploads/Document/bf4135b7-c792-4b48-b233-6c2d968dbe8a.pdf?v-637812148526785019](http://petder.org.tr/Uploads/Document/bf4135b7-c792-4b48-b233-6c2d968dbe8a.pdf?v-637812148526785019) – Erişim Tarihi: 30.04.2022
- Türkiye Petrolleri A.O. 2020 Petrol ve Doğalgaz Sektör Raporu – Link: <https://www.tpao.gov.tr/file/2106/2020-petrol-ve-dogal-gaz-sektor-raporu-47460b743c70c609.pdf> - Erişim Tarihi: 01.05.2022
- [https://tr.wikipedia.org/wiki/Petrol\\_end%C3%BCstrisi](https://tr.wikipedia.org/wiki/Petrol_end%C3%BCstrisi) – Erişim: 25.04.2022

## Exploration of the Effect of Carbon Fiber Ratio and Dimensions on Electrical Conductivity in Mortars

Hacer Uzunaliolu<sup>1</sup>, Adem Ahiskali<sup>1</sup>, Salih Yazıcıoğlu<sup>2</sup>, Hakan Çağlar<sup>3</sup>

1 Faculty of Engineering and Architecture, Kastamonu University, Turkey

2 Faculty of Technology, Gazi University, Turkey

3 Faculty of Engineering and Architecture, Kırşehir Ahi Evran University, Turkey

Doi: 10.51764/smutgd.1122779

Geliş Tarihi :28.05.2022

Kabul Tarihi :15.08.2022

### ÖZET

This study was carried out on Class F and C fly ash reinforced, carbon fiber added mortar samples as a substitute for PÇ42,5 cement. Carbon fiber was added in different sizes at rates of 0.5%, 1%, and 3% in order to investigate the effects of the size and ratio of carbon fiber on electrical conductivity. 33 different series were formed such as obtained Class F; without fly ash 10%, 20% and Class C; without fly ash, 10%, 20% with samples without carbon fiber and with carbon fiber having dimensions 5 mm and 10 mm. The water/cement ratio was prepared to take the value of 22-23cm in the flow table test. A viscosity regulator of 0.1% of the fine material was used in order to ensure homogeneous distribution of carbon fiber in the mortar. 3 samples were prepared for each series in order to reduce the margin of error. Electrical conductivity, compressive and tensile strength tests were applied to the oven dry and naturally moist conditions of the samples that completed their 7, 28 and 56 days curing periods. Increasing the carbon fiber size increased the tensile strengths and increasing the carbon fiber ratio increased the tensile strengths. It has been observed that carbon fiber increases the electrical conductivity, but the conductivity decreases depending on time, and as the sizes and proportions of the carbon fiber fibers increase, the compressive strength decreases due to the void effect in the mortar, while the compressive strength increases with the increase in the fly ash ratio. The microstructure and carbon fiber distribution of the samples were examined using SEM (Scanning Electron Microscopy) and it was seen that the carbon fiber distribution was in a way that supports the electrical conductivity measurement. The study allowed the size and proportion effect of carbon fiber in mortars to be compared with C and Class F reinforced mortar samples.

**Keywords:** Carbon fiber, Class F fly ash, Class C fly ash, Electrical conductivity

Hacer Uzunaliolu, Orcid: 0000-0001-9367-399X, [haceruzunaliolu@gmail.com](mailto:haceruzunaliolu@gmail.com)

Adem Ahiskali, Orcid: 0000-0002-1265-7312, [ahiskali@kastamonu.edu.tr](mailto:ahiskali@kastamonu.edu.tr), correspond author

Salih Yazıcıoğlu, Orcid: 0000-0002-6767-2026, [syazicioglu@gazi.edu.tr](mailto:syazicioglu@gazi.edu.tr)

Hakan Çağlar, Orcid: 0000-0002-1380-8637, [hakancaqlar71@yahoo.com](mailto:hakancaqlar71@yahoo.com)



## 1. Introduction

The structures of human beings constantly developed the structures, purposes of use, material types, application methods, etc. from their existence to the present. Many materials have been combined with the content of building elements in order to develop the elements used in buildings [1][2][3][4]. In their studies Çağlar et al. (2021), [5] state that the use of rice husk ash, which is an agricultural waste, with clay brick bricks, Çimen et al. (2020) [6] state that the use of boron waste in brick production will provide environmental and economic benefits. Although the raw materials that make up concrete are abundant in nature, the expectations from concrete are increasing day by day with the progress in construction technologies. Various researches are carried out on concrete and mortar samples in order to respond to expectations. For this purpose, researches such as reducing the cost, strengthening the weaknesses, etc. have been carried out by adding many materials into the concrete. In particular, there are studies on the use of industrial wastes in concrete mixtures. In addition to being a serious environmental pollution problem, these industrial wastes create economic and environmental problems in the disposal phase. For this reason, many wastes are tried to be eliminated regardless of their content. However, waste materials also have a value and wastes can be used to obtain products with high added value [7]. Fly ash, one of the valuable wastes, is a type of waste obtained from coal-fired thermal power plants. Fly ash obtained from thermal power plants in Turkey is generally used as raw material for cement factories [8]. In 2016, 19.5 million tons of waste was generated in thermal power plants. 87.8% of the total waste is ash and slag [9].

Various researches have been made to get benefit from fly ash as it is in every industrial waste [10][11] and it has been widely used as an additive in cement and concrete. Studies show that fly ash, which is one of the mineral mixtures, has a significant effect on the durability characteristics of concrete [12].

Energy saving with nanotechnological materials, determination of usage periods and easy recycling of structures that have completed their useful life when necessary, etc. is aimed. In addition to purposes such as economy and environmental protection by using waste materials in concrete.

Although concrete, which has been used for different types of structures for many years, is resistant to compressive stresses applied to the structure, that it is not a material that is resistant to tensile stresses is one of the weaknesses of concrete. A lot of research has been done to improve this weakness. There has been a great demand to observe cracks in concrete and to prevent further progression of these cracks, and smart concrete has emerged from this demand [13]. The inventor of smart concrete, D.D.L. Chung (1993)[14] defines smart concrete as microscopic short carbon fiber reinforced concrete. When the concrete is deformed or stretched, the contact between the fiber and the cement matrix and the volumetric electrical resistivity are affected. The resulting deformations can be determined by measuring the change in electrical resistance. In other words, the structural cracks formed in the structures on the fault lines are detected by using smart concrete before they reach large dimensions. This capability can be used to monitor earthquake effects and monitor the internal conditions of the building.

According to Demirel (2006), the carbon fiber in the concrete increases the tensile and bending strength of the concrete, and also controls the cracking so that the cracks do not spread quickly. Chung, D.D.L. and Chen, P. (1993) [15] reported that no response was obtained from fiber-free concretes in such strains. Particularly, developments in microscope imaging techniques have provided a better understanding of the internal structure and damage mechanisms of concrete, and the distribution of reinforcement materials, thus enabling the development of effective materials and improving the properties of existing materials.

Unlike other studies, carbon fiber, whose many properties were investigated as a result of the literature review made with this study was mixed with Class F and C fly ash reinforcement on the mortar samples, and single and combination mixtures were created. It is desired to determine the 'electrical conductivity of the effect of size and ratio' of carbon fiber in the samples obtained and to create interaction tables regarding the electrical conductivity values of all samples and their compressive and tensile strengths. The distribution of carbon fiber was examined with SEM images to see a distribution compatible with electrical conductivity.

## 2. Material and Method

### 2.1 Material

#### 2.1.1 Cement

In the study, CEM I 42.5 R Portland cement, which complies with TS EN 197-1, has a particle density of 3.15 g/cm and a specific surface of 3740 cm<sup>2</sup>/g, was obtained from the Ankara branch of a private cement company

[16]. The physical and chemical properties of the cement used in the study are given in Table 1.

Table 1 Physical and Chemical Properties of The Cement

Chemical Properties			Physical Properties		
Constituents	CEM I 42.5R	TS EN 197-1	Properties	Value	TS EN 197-1
CaO	63,93		Set start	141	≥60
SiO <sub>3</sub>	19,49	C+S≥%50	Set end	202	-
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,36	-	density (g/ cm <sup>3</sup> )	3,15	-
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,40	-	Blaine fineness (cm <sup>3</sup> /g)	3866	-
MgO	1,67	Lim. ≤ %5	Remaining at 32μ sieve	7.7	-
Na <sub>2</sub> O	0,27	-	Remaining at 90μ sieve	0.1	-
K <sub>2</sub> O	0,67	-	Total volume expansion	1	≤ 10 mm
Ignition loss	2,91	≤ % 5	expansion	-	-
Insoluble residue	0,32	≤ % 5	2 days strength	28.1	≥ 20,0 Mpa
Sulfur Trioxide	28.1	≥ 20,0 Mpa	7 days strength	45.7	-
Chloride (Cl- )	0,0089	≤ % 0,1	Daily strength	56.8	≥ 42,5 Mpa ≤62,5 MPa

### 2.1.2 Aggregate

Cen Standard Sand in accordance with TS EN 196-1 was used in the preparation of the mortar samples [17]. The relative density is 2.60-2.65 g/cm<sup>3</sup>. Cen Standard Sand was procured from the Trakya branch of a private concrete batching plant.

### 2.1.3 CarbonFiber

A technology product, carbon fiber, also known as carbon fibre, is a filamentous and lightweight material. The fact that it consists of tar, nylon and orlon increases its usage areas. The carbon fiber used in this study, the image of which is given in Figure 1 and the technical specifications in Table 2, was obtained from a private company belonging to the province of Yalova.



Fig. 1 Carbon fibers

Table 2 Technical properties of carbon fiber

Property	Other
Density	0
Filament Diameter	7 ± 5
Elasticity module	33 ± 5
Electrical resistance	67 ± 5
Elongation at break	87 ± 5
Tensile strength	99 ± 1
Thermal conductivity	0
Fiber length	5mm- 10mm

### 2.1.4 Class C Fly Ash

Class C fly ashes are ashes produced from lignite or semi-bituminous coal with a total  $\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$  content of more than 50% and they have binding properties as well as pozzolanic properties. They are also named as high calcareous fly ash since  $\text{CaO}$  is  $> 10\%$ . Soma Thermal Power Plant fly ash was used as class C in the mortar samples. Its specific gravity is  $2.41\text{g/cm}^3$ ,  $90\mu\text{m}$  sieve residue (%) is 33.7,  $45\mu\text{m}$  sieve residue (%) is 52.6 [18].

### 2.1.5 Class F Fly Ash

Class F fly ash is produced from bituminous coal and has a total  $\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$  percentage of more than 70% and has pozzolanic properties. It is also known as low calcareous because its  $\text{CaO}$  percentage is below 10%. Çayırhan fly ash was used as class F in the mortar samples. Its specific gravity is  $2.36\text{g/cm}^3$ ,  $90\mu\text{m}$  sieve residue (%) 6,7,  $45\mu\text{m}$  sieve residue (%) is 24.5% [18].

### 2.1.6 Water

The water/cement ratio in all mixtures was determined to remain in the range of 220mm-230mm in the Flow Table Test according to TS EN 12350-5 [19]. Yenimahalle/Ankara city mains water was used in the experiments.

### 2.1.7 Additive Degaset Visco L

Based on the knowledge that carbon fiber decomposes from blending materials due to its low density, viscosity regulator additive was used. Degaset Visco L additive used in the study was obtained from a private company operating in Ankara. It provides the right balance between fluidity, transition property and segregation resistance in concrete and adjusts the viscosity level in the mix. Also, it is an aqueous solution based on cellulose.

## 2.2 Method

### 2.2.1 Sample Production

In this study, CEM I 42.5 R Portland cement was used as binder, Cen Standard Sand was used as aggregate, 10% and 20% C and Class F fly ash was used as a mineral additive as a substitute for cement, 0.5%, 1, 3% carbon fiber was used for electrical conductivity. The dosage of the additive was used to remain between 0.1% and 1.0% by weight of the cement, and the water/cement ratio was determined to remain in the range of 220 mm-230 mm in the flow table test.

The first control sample was prepared without carbon fiber additive and fly ash, 0.5% by weight of cement with 1.3 carbon fiber additive. On the other hand the second control samples were formed as Class F and C fly ash separately at rates of 10% and 20% by weight as a substitute for cement. In the third control samples, it was prepared separately for all series with Class F and C es with 10%, 20% fly ash, 0.5%, 1%, 3% by weight of cement, carbon fiber and cement with additives at the rate of 0.1-1.0% by weight. The mixing amounts of the samples are given in Table 3.

Table 3 Mortar mixing amounts ( $\text{kg/m}^3$ )

Sample	Cement	Sand	Fly Ash	Carbon fiber	Water	Additive
KNT 0	450	1350	0	0	225	0
KNT+CF%0,5	450	1350	0	2,25	225	0,45
KNT+CF% 1	450	1350	0	4,5	225	0,45
KNT +CF%3	450	1350	0	13,5	225	0,45
C-F%10	405	1350	45	0	235	0
C-F%10+CF%0,5	405	1330	45	2,25	235	0,45
C-F%10+CF%1	405	1330	45	4,5	235	0,45
C-F%10+CF%3	405	1330	45	13,5	235	0,45

C-F%20	360	1330	90	0	245	0
C-F%20+CF%0,5	360	1310	90	2,25	245	0,45
C-F%20+CF%1	360	1310	90	4,5	245	0,45
C-F%20+CF%3	360	1310	90	13,5	245	0,45

The materials were prepared in dry form for 1 minute with a mortar mixer and mixed for 3 minutes after adding the mixing water (Figure 2). Prepared mixtures were filled in 40x40x160mm prismatic molds lubricated with mold oil in three stages to ensure compression. 33 different series were prepared, each series being 3 pieces. The samples were taken from the mold after 24 hours and kept in the curing pool for 7, 28, 56 days (Figure 3).



Fig. 2 Preparing the Mixture



Fig. 3 Samples taken from curing pool

The samples, which have completed their curing periods, were weighed with humidity and kept in an oven at  $100 \pm 5$  °C for 24 hours after the electrical resistivity was measured.

The samples taken from the oven, were weighed after they came to room temperature and electrical resistivity was measured independent of humidity conditions. Samples whose resistivity measurements were completed were subjected to tensile and compressive strength tests. and SEM analyzes were made for samples of which Electrical resistivity, tensile and compressive strength tests and electrical resistance values are close to peak values.

## 2.2.2 Tests which are applied for samples

### Electrical Resistivity

Electrical resistance measurement provides a non-destructive approach to testing concrete materials, making it suitable for a variety of quality control projects, condition assessment purposes and research programs [20]. The measuring device used in the experiment and the sample that was measured are given in figure 4. The electrical properties were made in accordance with ASTM C 1760 (2012) [21] standard in three series for each 7, 28 and 56-day moist and oven-dry samples. The arithmetic average of the results obtained on three samples was taken for each experiment.  $R$  given in the equation represents Resistivity (ohm),  $\rho$  represents Resistivity ( $\rho$ ),  $L$ ; represents Length of sample (cm),  $A$ ; represents the surface area of the sample (cm).



Fig. 4 Sample of which resistance measurement was carried out

$$R = \frac{\rho L}{A}$$

equation was used in electrical resistivity calculations

### Tensile Strength Test

Tensile strength test is a method used to have information about the strength of the material, to determine the mechanical properties of the material against bending and to examine the design data. The test data taken from the samples were determined as 7, 28 and 56 days and three series for each sample, according to the TS EN 12390-5 standard, by loading the sample from the middle and tensile strength in bending was determined. The average of the obtained data was considered [22].

### Compressive Strength Test

Compressive Strength Test is carried out to control whether the concrete class and strength prescribed during the design phase of the concrete are maintained.

### Examination of Microstructure

The strength of concrete mostly depends on the properties of its microstructure, such as pore mesh size and interconnections., The microstructure was examined by SEM in order to see the microstructure of the mortar samples and the distribution of the carbon fiber in the sample. SEM or scanning electron microscope is a type of electron microscope that obtains images by scanning the sample surface with a focused beam of electrons.

### Water Absorbition

The water absorption rate is defined as the ratio of the weight of water absorbed by the material to the dry weight of the material. The electrical resistivity of concrete is closely related to its water absorption. The samples were weighed in naturally moist and oven-dry state for 7, 28 and 56 days and in three series for each sample.

The ratio of the difference between the water-saturated weight ( $G_2$ ) and the dry weight ( $G_1$ ) of the material, expressed as a percentage, to the dry weight gives the weight water absorption percentage ( $S_a$ ) of the material.

$$S_a(\%) = \frac{G_2 - G_1}{G_1}$$

equation was used in calculations.

## 3. Research Results and Evaluation

### 3.1 Electrical resistance

Figure 5 shows the electrical resistance measurement results of the 5mm carbon fiber added and fly ash series in 7, 28, and 56 days oven-dry state. When we look at the control sample, it is seen that the conductivity decreases depending on time, and the conductivity increases in the 56-day readings with the addition of fly ash to the control sample. In carbon fiber and fly ash combinations, the series with 20% fly ash were found to be more conductive than the 10% fly ash and control series. The best conductivity value was recorded in the series with 3% carbon fiber and 10% -20% fly ash. 10% Class F fly ash series with carbon fiber combination are more conductive when it is compared with 10% Class C fly ash series.

Daily dry electrical resistance comparisons of series with CF5mm fly ash

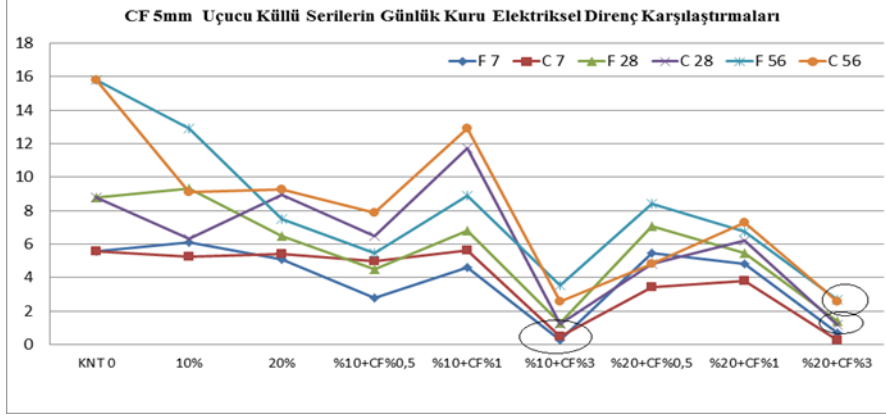


Fig. 5 Dry Electrical Resistance Values of Class F and C 5mm CF + fly ash samples

Figure 6 shows the electrical resistance measurement results of 7, 28, 56 days of naturally moist state of 5mm carbon fiber and fly ash series. No significant differences were observed in the 7, 28 and 56 day results of the carbon fiber-free fly ash combinations. In combinations with fly ash and carbon fiber, Class C series were found to be more conductive than control and Class F series. The best values were recorded in C10+CF3% and C20+CF 3% samples.

Daily humid electrical resistance comparisons of series with CF5mm fly ash

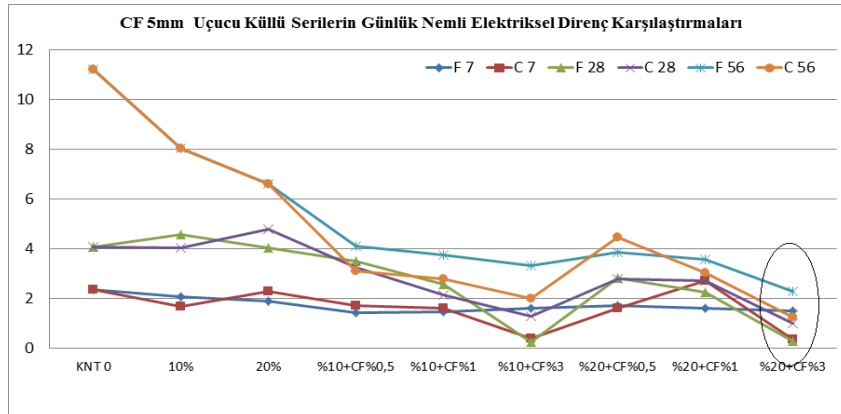


Fig. 6 Humid Electrical Resistance Values of Class F and C 5mm CF + fly ash samples

Figure 7 shows the electrical resistance measurement results of the 10mm carbon fiber and fly ash series in 7, 28, and 56 days oven-dry state. It has been noted that in combinations with 10% fly ash without carbon fiber, the Class C series is more conductive than the F series, and the conductivity increases as the carbon fiber ratio increases to the 10% fly ash series. The series with 3% carbon fiber combination showed the best conductivity. In samples with 20% fly ash and carbon fiber, however, samples with 10% fly ash and carbon fiber were more conductive than those with 20%. The best findings were obtained from C10+CF 3% and F10+CF 3% samples. Daily electrical resistance comparisons of series with CF10 mm fly ash

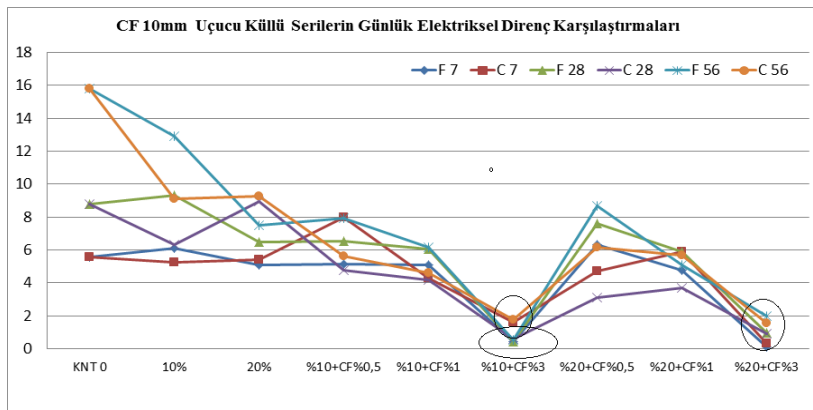


Fig. 7 Dry Electrical Resistance Values of Class F and C 10mm CF + fly ash samples

Figure 8 shows the electrical resistance measurement results of the 10mm carbon fiber and fly ash series at 7, 28, and 56 days of naturally moist state. While the conductivity values were close in the series with 10% fly ash and 0.5%, 3% carbon fiber combinations, it was noted that the Class C was more conductive in the 56-day reading in the series with 1% carbon fiber. While C10+CF 3% and F10+CF 3% samples showed very close and good conductivity values, the best conductivity value was determined in C20+CF 3% sample. Daily humid electrical resistance comparisons of series with CF 10 mm fly ash

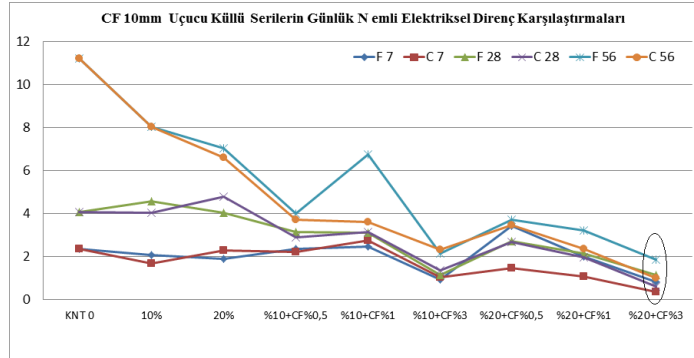


Fig. 8 Humid Electrical Resistance Values oClass F F and C 10mm CF + fly ash samples

### 3.2 Comparisons of Tensile Strength

7, 28, 56 days tensile strength measurement values of 5mm size carbon fiber and fly ash series are shown in Figure 9. When we look at the carbon fiber series without fly ash, there was no significant change in the 0.5% carbon fiber series compared to the control sample, but an increase was observed in the 56-day readings compared to the control sample. Decreases were observed in tensile strength at 7-day readings in combinations with fly ash and carbon fiber,, while significant increases were observed at 56-day readings, except for the 20% fly ash and 0.5% carbon fiber series. C10+CF3% sample showed the best value in tensile strength. Tensile strength comparisons of series with CF5mm fly ash

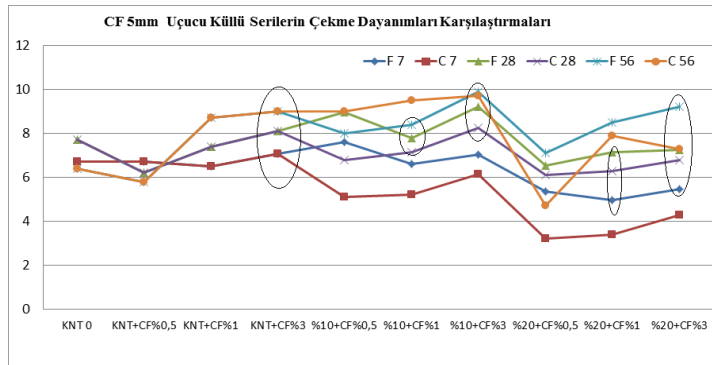


Fig. 9 Tensile Strength Values oClass F F and C 5mm CF + fly ash samples

7, 28, 56 days tensile strength measurement values of 10mm size carbon fiber and fly ash series are shown in Figure 10. It is seen that the series with Class C fly ash and carbon fiber show higher tensile strength compared to the control sample and Class F fly ash and carbon fiber series. The highest tensile count values were observed in the CNT+CF 1% sample. The series with 20% fly ash showed values close to the control sample., It was determined that there was an increase in the tensile strength values at the 56-day readings While no significant differences were observed in the seven-day readings compared to the control sample. Tensile Strength comparisons of series with CF10 mm fly ash

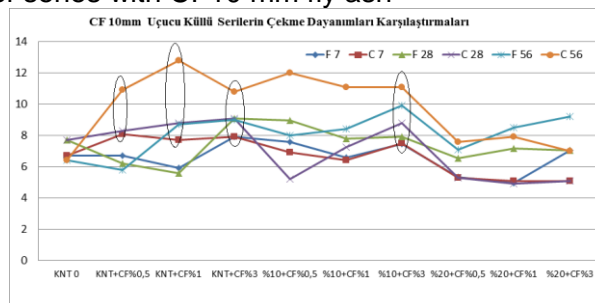


Fig. 10 Tensile Strength Values oClass F F and C 10mm CF + fly ash samples

According to the findings, the increase in carbon fiber size and ratio affects the tensile strength positively. The use of fly ash increases the strength in the long term, but as the face ratio increases, it affects the tensile strength negatively. Class C fly ash combinations show higher tensile strength than Class F fly ash combination compared to the control sample.

### 3.3 Values of Compressive Strength

Figure 11 shows the 7,28,56-day compressive strength measurement values of 5mm-sized carbon fiber and fly ash series. It was observed that the compressive strength of the samples decreased as the carbon fiber ratio increases. highest compressive strength values were observed in the F10+CF1% and F20+CF1% samples compared to the control sample and other combination series . The Class F fly ash series compressive resistance was higher than the Class C fly ash series.. This data is compatible with the pozzolanic feature of the Class F.

#### Compressive Strength Comparisons of Series with CF 5m Fly Ash

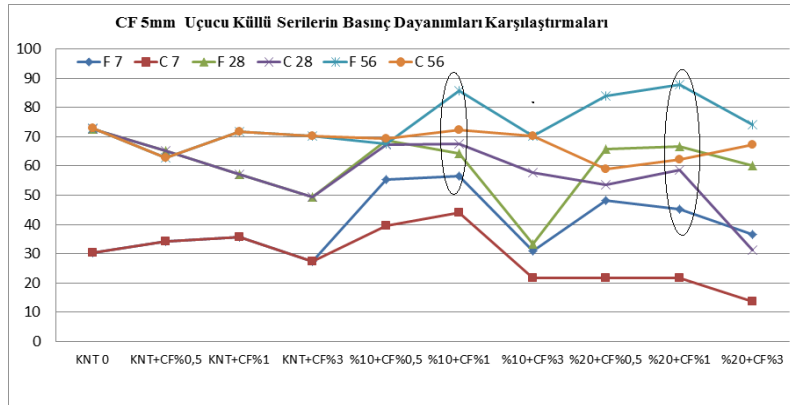


Fig. 11 Compressive strength values of Class F and C 5mm CF + fly ash samples

7, 28, 56 days of compressive strength measurement values of 10mm size carbon fiber and fly ash series are shown in Figure 12. Class F and carbon fiber combination series showed higher compressive strength compared to C class carbon fiber series. The highest compressive strength was determined in F10+CF 0.5% VE F20+CF 1% samples. When carbon fiber ratio is used more than 1%, there is a decrease in compressive strength.

#### Compressive Strength Comparisons of Series with CF 10 mm Fly Ash

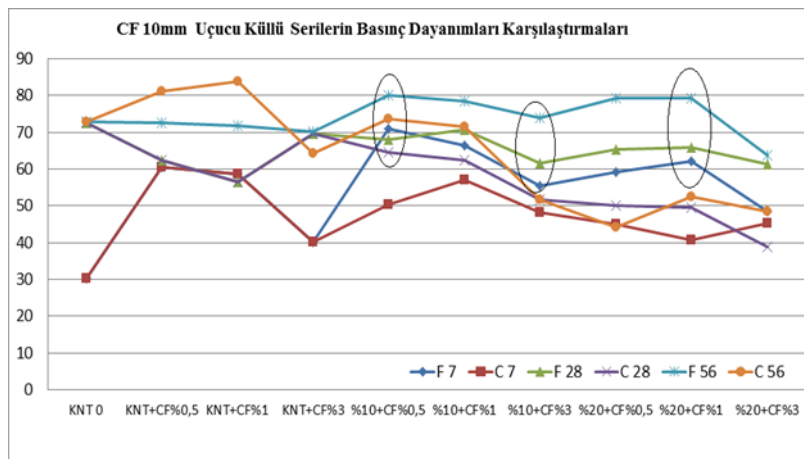


Fig. 12 Compressive Strength values of Class C and F 10mm CF + fly ash samples

According to the findings, the increase in carbon fiber size affects the compressive strength positively, while the increase in carbon fiber ratio affects the compressive strength negatively. When the percent water absorption data and compressive strength are compared, carbon fiber causes spaces in the mortar and these spaces negatively affect the compressive strength in the same direction. Fly ash combinations affect the compressive strength positively depending on time. Class F class fly ash combinations show higher compressive strength than Class C c fly ash combinations compared to control sample.



### 3.4 Water Absorption Values

The water absorption percentage values of the carbon fiber-free fly ash series are higher compared to the control sample. According to Figure 13, all series of the C class fly ash mixtures have a high water absorption rate, except for the C10+CF 0.5% sample, compared to the control sample. Among the carbon fiber-free samples, the percentage water absorption rates of the C class fly ash series are higher than the F class series. A percentage water absorption rate increase was detected in parallel with the increase in the carbon fiber ratio compared to the control sample.

The data show that as the carbon fiber ratio increases in the samples, the percent water absorption value also increases. The series containing 10mm carbon fiber at the same rate has a higher percent water absorption value compared to the series containing 5mm size carbon fiber.

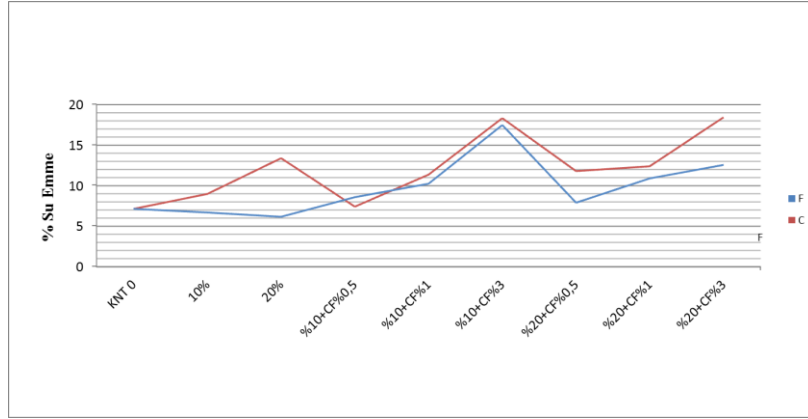


Fig. 13 F Water absorption values of Class F and C fly ash

### 3.5 SEM Imaging Analysis

In Figure 14, the SEM image of a part of the C10+CF3% 5mm carbon fiber sample obtained by the fracture in the compressive strength test is seen. The stripping that occurs in the fracture and the rupture of the fibers are clearly seen at the ends. In their study, Chen and Chung (1993) state that the contact resistance between the fiber surface and the matrix is parallel to the cleanliness on the surface [14]. It has been determined with this image that there is a parallel distribution and interlocking with the electrical resistivity value and strength tests.

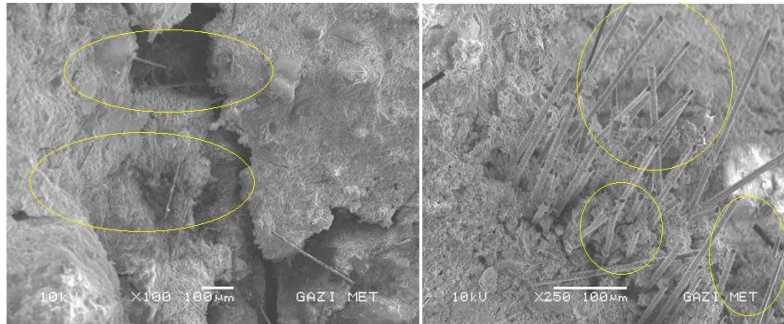


Fig. 14 SEM Image of C10+CF%3 5mm sample

## 4. Results and Recommendations

The effects of carbon fiber ratio and size on electrical conductivity and strength in mortars were examined in this study. The findings obtained during the studies are given below:

1. The conductivity increases as the carbon fiber ratio increases in the fly ashless series compared to the control sample according to the electrical resistivity measurement in Class C and F 5mm carbon fiber doped and naturally moist samples.

2. It is seen that the electrical conductivity decreases with time in all series compared to the control sample. In all series, the electrical conductivity values in the naturally moist state are higher than the electrical conductivity values in the oven-dry state.

3. It was observed in the series without fly ash that the tensile strength increased as the carbon fiber ratio increased. Carbon fiber series without fly ash showed higher tensile strength compared to series with fly ash and carbon fiber. When examined in terms of size, 10mm size series showed higher tensile strength than 5mm carbon fiber series. Generally, C class fly ash and carbon fiber combination series showed higher tensile strength data compared to the Class F fly ash and carbon fiber combination series. The highest tensile strength in carbon fiber blended series was determined in the series with a ratio of 3%.

4. All series with fly ash and carbon fiber mixtures showed higher compressive strength compared to the control sample. F class fly ash series with 5 and 10 mm size carbon fiber provided higher compressive strength compared to C class fly ash series.

5. The percent water absorption rate of the C class fly ash series, which is one of the carbon fiber-free samples, is higher than the F class series. There was no significant change in the percent water absorption rate in the F class series in the control samples, while an increase in the percent water absorption rate was found in the C class fly ash series.

6. This study showed that carbon powder increases electrical conductivity in fly ash reinforced mortars used as mineral additives. It has been determined that carbon fiber can be beneficial in structures targeted for conductivity. The use of fly ash and carbon powder together has been found to be more economical than other carbon containing materials. In addition, it is thought that the widespread use of carbon fiber used with mineral additives will reduce the rate of environmental pollution.

## 5. References

- [1] Çağlar H., Çağlar A., Can Ö., (2020), Graphene Additives Effect on Mechanical and Structural Characterization Properties of Polyvinyl Alcohol (PVA) and Boron Based Cement Mortar, *Science of Advanced Materials*, 12(2), pp. 269-275.
- [2] Aldakshe AMA., Çağlar H., Çağlar A., Avan Ç. (2020). The Investigation of Use as Aggregate in Lightweight Concrete Production of Boron Wastes of Eskişehir-Kirka Region, *Civil Engineering Journal* 7(6), 1328-1335
- [3] Tezel H., Çağlar H., Çağlar A., Can Ö., Çimen S. (2020). Effects of Boric Acid Additive to Pumice Aggregate Lightweight Concrete Properties, *International Journal of Scientific and Technological Research* 6(9), 1-10.
- [4] Palta E., Çağlar H., Çağlar A. (2020), The effect of boric acid on mechanical properties and structural characterization of self-compacting concrete, *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, 9, 160-166.
- [5] Çağlar H., Kale M.O., Çağlar A., Apay A.C., Çimen S. (2021) Improving of Lightweight Concrete Properties Produced With Pumice Aggregate Of Nevşehir Region With Fly Ash Substitution, *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, 9(2), 302-308.
- [6] Çimen S., Çağlar H., Çağlar A., Can Ö. (2020), Effect of Boron Wastes on the Engineering Properties of Perlite Based Brick, *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, 9(2), 50-56.
- [7] Kaya, G., Turan, S., 2004, The Evaluation of Blast Furnace Slag in the Production of Products with High Added Value in the Ceramic Industry, *Journal of Engineers and Machines*, Vol: 45, Issue: 536, pp. 48-60, September 2004.
- [8] HEAL. 2018. Lignite coal: health effects and advice from the health sector. HEAL: Retrieved from <https://www.env-health.org/wp-content/uploads/2018/12/HEAL-Lignite-Briefing-TRweb.pdf>
- [9] TÜİK. (2017, December 18). News Bulletins-Thermal Power Plant Water, Wastewater and Waste Statistics. Retrieved on May 20, 2019 from TURKSTAT: <http://tuik.gov.tr/OncekiHBARama.do>.
- [10] Çağlar H., Çağlar A. (2019). Research of Physical and Mechanical Properties of Blended Bricks with Fly Ash Based, Blast Furnace Slag Addition, *International Journal of Research –Granthaalayah*, 7(1), pp. 126-136.
- [11] Çağlar, A. , Çağlar, H., Ahıskalı, A., Çimen, S., (2021), The Effect Of Rice Husk Ash On Thermal Properties Of Blend Brick. Mas 14. International European Conference On Mathematics, Engineering, Natural&Medical Sciences . March 26-28,2021 Page 126. Széchenyi Istvan University, Hungary.
- [12] Dolch, W.L.,Diamond, S., Durability of concrete, 1995. Part 39 of Civil Engineering Handbook, Editor-in-chief, W.F. Chen. Boca Raton: CRC.
- [13] Demirel, B., (2006). Examination of Stress and Temperature Behaviors of Smart Lightweight Concrete, PhD Thesis, Fırat University, Institute of Science and Technology, Elazığ.
- [14] Chung, D.D.L. and Chen, P., (1993).Carbon Fiber ReinforcedConcreteFor Smart StructuresCapable of Non-Destructive Flaw Detection, *Smart Mater. Struct.*,2, 22-30.
- [15] Chen, P. and Chung, D.D.L., (1993). Carbon Fiber Reinforced Concrete as an Electrical Contact Material for Smart Structures, *Smart Mater. Struct.*, 2,181-188.
- [16] TS EN 197-1/Mart 2002. Cement - Part 1: General Cements - Composition, Properties and Compliance Criteria.
- [17] TS EN 196-1 TS EN 196-1 Cement Test Methods - Part 1: Determination of Strength, TSE, (2002).
- [18] TÇMB/AR-GE/Y96.1 Turkey Cement-Concrete Researcher Inventory (1996)
- [19] TS EN 12350-5, (2010). Concrete - Fresh Concrete Tests - Part 5: Spreading Table Test, Turkish Standards Institute, Ankara, Turkey.
- [20] Giatec Scientific, [www.giatec.ca](http://www.giatec.ca)
- [21] ASTM C 1760 Standard Test Method for Bulk Electrical Conductivity of Hardened Concrete (Withdrawn 2021)
- [22] TS EN 12390-5 Concrete - Hardened Concrete Tests - Part 4: Determination of Tensile Strength in Bending of Test Samples, Ankara

## Sürdürülebilir Yağmur Suyu Hasadı Üzerine Yapısal Bir İnceleme

### A Structural Study on Sustainable Rainwater Harvesting

Pınar SELİMOĞLU<sup>1</sup>, Ruşen YAMAÇLI<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Boyabat Meslek Yüksek Okulu, Sinop

<sup>2</sup> Mimarlık Bölümü, Mimarlık Fakültesi, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Eskişehir

Doi: 10.51764/smutgd.1121620

Geliş Tarihi : 26.05.2022

#### ÖZET

Kabul Tarihi : 16.12.2022

Günümüzde ekonomik, sosyal ve ekolojik sistemin bozulması gibi nedenlerle kullanılabilir su kaynakları ciddi tehlike ve risk altındadır. Artan su talebini karşılamak için teknolojinin bütün imkânlarından yararlanarak suya erişim halen mümkündür. Fakat kullanılabilir su kaynakları sonsuz değildir ve suyun ikamesi mümkün değildir. Nüfusun artması ve kullanılabilir su kaynaklarının gittikçe tükeniyor olması, ülkeleri yağmur suyu hasadı, gri su, tuzdan arınma gibi alternatif su kaynakları arayışlarına yöneltmiştir. Alternatif su kaynaklarından biri olan yağmur suyu, eski çağlardan beri insanoğlu tarafından kullanılmaktadır. Bu çalışmada su felsefesinden kısaca bahsedilerek, yağmur suyu hasadı için kullanılan sistemlerin neler olduğundan ve yağmur suyu hasadı sistemlerin gelişimine kısaca değinilerek Dünya'daki ve ülkemizdeki yağmur suyu sisteminin uygulamasının hangi noktada olduğu, nasıl uygulandığı, ülkelerin bu konudaki politikaları hakkında bilgiler verilecektir. Gittikçe artan su talebini karşılamak için suya ulaşmada kullanılan teknolojinin ve insanların verdiği hasar, yanlış uygulamalar, ormansızlaşma, kentleşme gibi nedenlerle bozulan su döngüsü için alternatif su kaynaklarından biri olan yağmur suyu hasadının makro ve mikro ölçekte uygulanmalarının önemi ortaya konulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Alternatif Su Kaynağı, Yağmur Suyu Hasadı, RWH, Sarnıç, Sürdürülebilirlik

#### ABSTRACT

Today, usable water resources are in serious danger and at risk due to the deterioration of the economic, social and ecological system. Accessing to water is still possible by making use of all the possibilities of technology to meet the increasing water demand. But usable water resources are not endless and water cannot be replaced. Increasing population and depletion of usable water resources have led countries to seek alternative water sources such as rainwater harvesting, gray water and desalination. Rainwater, one of the alternative water sources, has been used by mankind since ancient times. In this article, the philosophy of water is briefly mentioned, the systems used for rainwater harvesting and the development of these systems are briefly mentioned, and information is given about the application of the rainwater system in the world and in our country, how it is applied, and the policies of the countries on this issue. The importance of the technology used to reach water to meet the ever-increasing water demand and the application of rainwater harvesting, which is one of the alternative water resources, in macro and micro scales for the water cycle, which is deteriorated due to human destruction, wrong practices, deforestation and urbanization, has been demonstrated.

**Keywords:** Alternative Water Source, Rain Water Harvest, RWH, Cistern, Sustainability,

## GİRİŞ

Hayatın başlangıcından bu yana su, insanoğlu için yaşam kaynağının temelini oluşturmaktadır. Fizyolojik gereksinimlerimizi karşılayan yanı sıra hayatın birçok alanında da kullanılan su, insanlar tarafından erişimi sağlandığı müddetçe asla tükenmeyecek bir kaynak gibi algılanmaktadır. Dünya'nın 4'te 3'nün sularla kaplı olması, insanda suya erişimin her zaman mümkün olacağı hissini uyandırır da kullanılabilir suya erişim gittikçe zorlaşmaktadır.

Dünyadaki toplam 1,4 milyar km<sup>3</sup> lük su miktarının %97,5'i okyanuslar ve denizlerde tuzlu su olarak %2,5'i ise nehir ve göllerde tatlı su olarak bulunmaktadır. Tatlı su kaynaklarının %90'lık kısmının kutuplarda ve yer altında bulunduğu düşünülürse insanoğlunun kolaylıkla yararlanabileceği elverişli tatlı su miktarı oldukça azdır (DSİ 2006; Kayaer ve Çiftçi 2018). Günümüzde iki milyardan fazla insanın su stresine maruz bölgelerde yaşadığı bilinmektedir (UNESCO 2021:13). Küresel tatlı su kullanımı son 100 yılda altı kat artmış ve 1980'lerden bu yana yılda yaklaşık %1 oranında artmaya da devam etmektedir. Dünya'da 2030 yılına kadar küresel su kıtlığının %40'a kadar yükseleceği öngörülmektedir (UNESCO 2021:12). Dünya'nın yarıya yakın kısmının su kıtlığı ile karşı karşıya olması gerçeği, gelecekte gündemi en çok meşgul edecek konunun su olacağını açıkça göstermektedir.

Dünya'da su durumu gittikçe kötüye giderken ülkemizdeki durum da pek iç açıcı değildir. DSİ raporlarına göre 2006 yılında kişi başına düşen kullanılabilir yıllık su miktarı 1.652 m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır (DSİ 2006; Kayaer ve Çiftçi 2018). 2021 yılında ise kişi başına düşen kullanılabilir yıllık su miktarı 1.323 m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır (DSİ 2021; Kayaer ve Çiftçi 2018). 2006 yılından 2021 yılına kadar geçen süre içerisinde kişi başına düşen kullanılabilir yıllık su miktarında ciddi bir azalma görülmektedir. Ülkemizdeki su durumu Falkenmark indeksi (Falkenmark, Lundqvist, ve Widstrand 1989) verilerine göre değerlendirildiğinde ülkemizin ileride su stresi yaşayan ülkeler arasında yer alacağı görülmektedir. (Tablo 1).

**Tablo 1.** Falkenmark İndeks Değerleri (Falkenmark vd. 1989)

Su (m <sup>3</sup> /kişi /yıl)	Sınıflandırma
1700 ve üstü	Su baskısı yok
1700 - 1000	Su sıkıntısı
1000 – 500	Su kıtlığı
500 ve altı	Mutlak su kıtlığı

Nüfustaki artış, kuraklık, iklim değişimleri, küresel ısınma gibi nedenlerle her geçen gün temiz su kaynaklarına daha zor ulaşabilir olma durumu sürdürülebilir su kaynaklarının yönetimine dair yeni ve radikal kararlar almayı gerekli kılmaktadır. Su kaynaklarının yönetimini gerçekleştirmek için iki çözüm önerisi sunulabilir. Birincisi mevcut su kaynaklarının verimli şekilde kullanılması, ikincisi tükenen tatlı su kaynakları göz önüne alındığında yeni ve alternatif su kaynakları bulunmasıdır. İlki, tüketim alışkanlıkları değiştirilmesini ve su tasarruflu cihazların (çamaşır- bulaşık makineleri, su tasarruflu musluklar, duş başlıkları, klozetler vb.) kullanılmasını teşvik eden çözümleri içerir. İkincisi, Dünya'da da yaygınlaşan yağmur suyu hasadı, su ıslahı, suyun yeniden kullanılması durumlarıdır (Yannopoulos, Giannopoulou, ve Kaiafa-Saropoulou 2019). Su kaynaklarının yönetimi için hem bireysel hem de toplumsal katkı önemlidir.

Geleceğin en büyük sorunlarından biri olarak daima gündemde olan su sorununa çözüm bulma konusu üzerinde önemle durulmalıdır. Her geçen gün, kaynakların azaldığı ve su erişiminin zorlaşacağı gerçeği unutulmadan radikal önlemler almak ve alınan önlemlerin uygulanmasını sağlamak gereklidir.

Bu çalışmada her çağda olduğu gibi günümüzde de hayati önem taşıyan suyun felsefesinden kısaca bahsedilerek antik çağlardan günümüze geleneksel sürdürülebilir yağmur suyu hasadının gelişimine kısaca değinilecektir. Günümüzde Dünyada ve Türkiye'deki yağmur suyu hasadı uygulamalarından bahsedilmiştir. Suyun yönetimi, yağmur suyu hasadı ve su kaynaklarının daha sürdürülebilir kullanımı için yöntemlerin yaygınlaşması ve yönetimlerin yaptırımlarının önemini vurgulamak amaçlanmıştır.

## **SU FELSEFESİ**

Yedi bilgilerden biri olan Miletli Thales evrendeki her şeyin temel ilkesinin su olduğunu ileri sürmüştür (Vitruvius 2021:295). Bugün dünyanın gündemini sürekli meşgul eden suyun her şeyin temel ilkesi olduğu görüşüne katılmamak mümkün değildir.

İnsanlık tarihinde su, hem berekete hem de felakete sebep olmuştur. Suyun yokluğu, kuraklığı ve kıtlığı, çok yoğun olması da tufanları, selleri, ölümleri beraberinde getirmiştir. İyi ve kötü ruhların varlığına inanan insanlar, suların kontrolü için tanrılar icat etmişler ve böylece Mezopotamyalılar Fırat ve Dicle'yi, Hintliler İndus'u, Mısırlılar Nil'i, Hititler Kızılırmak'ı, Çinliler Sarı Irmak'ı dizginleyip kontrol edebileceklerine inanmışlardır. Su boyu nehir tanrıları, zamanla eski Yunan, Fenike, Roma gibi uygarlıklarda; Aşera (Fenike Tanrıçası), Poseidon (Yunan Denizler Tanrısı) ve Neptün (Roma Su ve Deniz Tanrısı) gibi tanrılara evrilmiştir (Berens 2021). Çin mitolojisinde, ilk insanların ana tanrıça Nigua tarafından nehir yatağındaki çamurdan yaratıldığına ve onlara nefes üflediğine inanılır (Rosenberg 1998:541). Yunan mitolojilerinde su perileri, pınar tanrıları gibi, su ile ilgili sayısız figür bulunmaktadır. Bu gibi inanışlar, Güneydoğu Asya, İskandinavya, Endonezya, Avustralya halk hikâyeleri ve destanlarında yer edinmiştir (Ulutürk 2009:3). Su tanrısallık hikâyelerde kalmayıp mimari, heykel, resim gibi sanat dallarına da konu olmuştur.

Hititler medeniyetlerini suya borçlu olduklarını keşfetmiş ve suyu kutsamışlardır. Onlar için su yaşam kaynağı olduğu kadar tanrılara ulaşmak için arınma anlamına da gelmekteydi. Bu nedenle Kızılırmak havzasında devlet kuran Hititler, bu nehri de kutsamışlar ve nehre Maraşşantiya adını vermişlerdir (Bahar 2017:281). Hinduizm inancında Ganj Nehri kutsaldır ve Hindular Ganj Nehri'ni Tanrıça Ganga'nın kişileştirilmiş formu olarak kabul ederler, bu sebeple de nehre taparlar. İnançlarına göre de belirli günlerde Ganj Nehirde yıkanılır. Bu şekilde tövbelerinin kabul edilip bağışlayacağına inanırlar (URL1). Su, farklı zamanlarda farklı toplumlarda da arındırıcı, bağışlayan olmaya devam etmektedir.

Roma'da ve Antik Yunan'da tapınakları temizleme işleminde kullanılan kutsal sular, Hıristiyanlıkta vaftiz uygulamasında kullanılan sular, İslam dininde zemzem suyuna yüklenen misyon ve zemzem suyu ilgili hikâyeler, suyun çeşitli Pagan inançlarda ve tek tanrılı dinlerde bir arınma simgesi olarak kullanıldığını ortaya koymaktadır (Bilgiç ve Hosny 2019). Su maddi ve manevi temizlikte bir varlık olarak görülmektedir.

Türklerin inanç ve kültürlerinde yer-su inanışları içinde yer alan suya, her zaman büyük bir anlam ve değer yüklenmiştir. Türk kozmogonisinde su, varlıkların özü ya da ilk varlık olarak kabul görülür. Yani suyu Türkler yaratılışın ilk ve ana çekirdeği olarak kabul ederler. Bu anlayışa göre evren, sudan ve topraktan yaratılmıştır ve su, evrenin oluşmasına sebep olan temel unsur olarak görülmektedir (Kiyak 2013). Geçmiş zamanlardan

günümüze su, gereksinimlerimizi karşılamanın yanında sahip olduğu özellikler nedeni ile kült olarak toplumlarda önemli bir değere sahiptir ve kutsanmıştır. Bu gün de önemli bir kült unsuru olarak varlığını devam ettirmektedir. Suya atfedilen anlamların yanı sıra toplumlar suyu içmek, temizlik, sulama vs. ihtiyaçları karşılama kullanmak ve herkesin kullanımına sunmak için zamanın şartlarına uygun olarak tesisler yapmış ve su kaynaklarını doğru kullanmanın yollarını aramışlardır. Su kaynaklarının kullanımında alternatif su kaynaklarını da önemsemişler ve önemli bir kaynak olarak yağmur suyunu hasat etmişlerdir.

## **YAĞMUR SUYU HASADININ GEÇMİŞİ**

Yağmur suyu hasadı (Rain Water Harvesting - RWH), yağmur suyunun toplanması, depolanması, arıtılması, dağıtılması ve kullanılmasını ifade eder.

Dünyanın birçok yerindeki bulgular göstermiştir ki tarih öncesi çağlardan beri insanlar, evsel kullanımlar, sulama, hayvancılık için gerekli su ihtiyaçlarını yağmur suyunu toplayıp depolayarak karşılamaya çalışmışlardır. Antik çağ boyunca yağmur suyu, içilebilir ve içilemez kullanımı için ana su kaynağı olmuştur. Bu nedenle yağmur suyu hasadı insanların hayatta kalabilmeleri için son derece önem arz etmektedir (Yannopoulos vd. 2019). Suya erişimin zor olduğu yerlerde ve kurak bölgelerde yağmur suyu ilk çağlardan beri kullanılmıştır.

Yağmur suyu hasadı (RWH), yaklaşık 4500 yıl önce Sümer bölgesinde Ur şehri halkı tarafından, daha sonra Orta Doğu'nun diğer insanları tarafından uygulanmıştır. Güney Ürdün'deki arkeolojik kanıtlar, 9000 yıl öncesinde tarımsal amaçlar için su toplama sistemlerinde varlığını gösterirken İsrail'in Negev çölündeki benzer su toplama sistemleri de yaklaşık 4000 yıl veya daha öncesine dayanmaktadır (Everani vd. 1961). Yağmur suyunu depolamak amacıyla sarnıçların inşası ve kullanılması, Neolitik Çağa kadar izlenebilir. Sarnıçlar, iyi tasarlanmış bir şehrin temel özelliklerinden ve yağmur suyunu toplama yöntemlerinden biridir. Roma döneminde artan nüfus ve yerleşim alanlarının büyümesiyle su gereksinimlerinin artması sarnıçlar ile birlikte suyun taşındığı yapılarının gelişmesine ve iki sistemin birleşmesine neden olmuştur (Mays, Antoniou, ve Angelakis 2013). Sarnıçlar hem yağmur suyunun hem de halkın içme suyunun depolandığı alanlar olarak günümüze kadar varlığını sürdürmüşlerdir.

Minos ve Mikenliler'in hidrolik sistemler yapım teknolojisi, Arkaik (MÖ 800-479), Klasik (MÖ 478-323), Helenistik (MÖ 323-30) ve Roma (MÖ 30-330) dönemi boyunca Antik Yunanlılar tarafından daha da geliştirilmiştir (Yannopoulos vd. 2019). M.Ö. 3200 – M.Ö. 1150 döneminde Girit adasında doğmuş, ilk Avrupa Uygarlığı olan Minos Uygarlığı yağmur suyunu toplamak için pişmiş toprak kanallarla bir sistem geliştirmiş, dağlardan gelen yüzey suyu ve yağmur suyunu kanallarla taşımışlardır (Angelakis ve Spyridakis 2010). Bu kanallar suyun bulunduğu yerden başka yerlere sevkini daha da gelişmesinde örnek olmuştur.

Helenistik dönemde yağmur suyu genelde yüzey akışı ile toplanmış ve sarnıçlarda depolanmıştır. Klasik ve Helenistik dönemde Girit'te, daha küçük Ege adalarında ve anakaradaki diğer yarı kurak bölgelerindeki yerleşimlerinde akropolde su kaynağı ya da derin kuyular bulunmamaktadır. Zor koşullar ve kuşatma durumunda su sıkıntısı yaşamamak için yağmur suyunu toplamak gerekmiştir. Su kaynaklarına uzak ve tepedeki yerleşim alanı için yüksek noktalarda yağmur suyunu toplamak en iyi çözümlerden biri olarak görülmüş ve yağmur suyu açık sarnıçlarda toplanmıştır (Mays vd. 2013). Santorini'de, önce binaların düz çatılarından yağmur suları toplanmış ve kanallar yardımı ile sarnıçlarda depolanmıştır (Bitis 2013). Yerleşim alanları su kaynaklarından uzak yerlerde kurulsun da toplumlar suyu yerleşim alanına getirmenin, depolamanın ve alternatif kaynakları kullanmanın yolunu bulmuşlardır.


MS. 14. yy da Siena'da yağmur suyunu toplamak için kanallar inşa edilmiştir. Kanallarla kırsal alanlarda toplanan yağmur suları şehir merkezindeki çeşmelere getirilmiştir (Garceau 2011). Roma'da su kemerleri ile getirilen suyu ve toplanan yağmur suyunu depolamak için genelde avluların altına sarnıçlar yapılmıştır. Ayrıca, Roma zengin evleri ve villalarında yağmur suyu, çatıdaki bir delikten toplanıp zemindeki sığ, dikdörtgen üstü açık tanklara depolanıp ev işleri için kullanılmıştır. Ayrıca bu küçük ölçekli sarnıçlar yer altı depolama sarnıçları ile bağlantılıydı ve bir yağmur suyu toplama sistemini oluşturuluyordu. Suyun su kemerleriyle getirilip dinlendirmesi ve depolanması gelişmiş bir sisteminin varlığını göstermektedir. Büyük Roma sarnıçları tüm Yunanistan'da, İspanya, Güney İtalya, Küçük Asya ve Kuzey Afrika'da inşa edilmiştir (Yannopoulos vd. 2019). Zaman içerisinde değişen ve gelişen hidrolik sistemler, suyun toplumlar için ne kadar önemli olduğunu bir kez daha ortaya koymaktadır.

Roma İmparatorluğu'nun çöküşünden sonra Bizans İmparatorluğu, su temini sistemlerinde köklü değişiklikler yapmıştır (Mays vd. 2013). İmparatorluğun doğu kısmı, Konstantinopolis'in ve Doğu Akdeniz'in büyük kısmında sulama sisteminde Roma gelenekleri birkaç yüzyıl daha devam ettirilmiş ve zamanla bu teknikler de azalmıştır (Çeçen 1996). Su temininde teknikler değişiklik gösterse de suyun temini konusu her zaman önemli olmuştur. Venedik döneminde (yaklaşık 1204-1668) yüzey akışı ile toplanan yağmur suyu iyi şekilde filtrelenerek kullanılmaktaydı. Venedikliler; sarnıçlar, kuyular, su kemerleri, çeşmeler, tuvaletler, hamamların inşası ve işletmesi gibi hidrolikteki teknolojileri oldukça ilerlemiş ve bu teknolojilerin birçoğu o dönemde inşa edilen ünlü kalelerde geliştirilmiş ve kullanılmıştır (Mays vd. 2013).

Osmanlı İmparatorluğu döneminde (yaklaşık 1669-1898), Müslüman geleneğinde suyun önemi de göz önüne alındığında çeşmeler, sebiller, hamamlar oldukça yaygındı ve bunlara su temini büyük hidrolik tesisatlarla sağlanmaktaydı. Osmanlı döneminde merkezi su sistemlerinin hizmet verdiği merkezi bölgelerde sarnıçların rolü azalmış fakat su sistemlerinin hizmet vermediği uzak bölgelerde sarnıçlar inşa edilmeye ve kullanılmaya devam edilmiştir. Bu dönemde Bizans sarnıçlarının dikdörtgen planının aksine kırsal alanlarda dairesel tipte sarnıçlar ortaya çıkmıştır (Öziş 1987). Günümüzde bu tip sarnıçlara sıkça rastlamak mümkündür ve halen hayvanların su ihtiyaçlarını karşılamak için kullanılmaktadır.


Eski uygarlıklar yerleşim merkezlerini su kenarlarında kurmayı tercih ederek su temini için en kolay çözümü bulmuşlardır. Bazen yerleşim merkezleri, emniyet nedeni ile yüksek ve düşmanın ulaşmasının zor olduğu yerlere de kurulmuştur. Bu durumda su ihtiyacını karşılamak için en yakın kaynaktan ve yağmur sularından faydalanmışlardır. Sarnıçlar, kanallar, kuyular, su kemerleri ile ihtiyaçları olan suyu taşımış, depolamış ve dağıtmışlardır. İlk yağmur suyu toplama teknikleri evsel ve küçük ölçeklidir. Zaman içerisinde artan nüfusla birlikte artan ihtiyaçlara bağlı olarak suyu toplama, taşıma, depolama, filtreleme teknikleri de gelişmiş ve değişmiştir. Bu değişim ve gelişimi günümüze kadar ulaştırmış yapılarda görmek mümkündür (Tablo 2).

**Tablo 2.** Günümüze ulaştırmış su yapılarından örnekler

Kaynak	Yapı	Özeliği	Fotoğraf
(Mays vd. 2013)	Chamaizi /Yunanistan	M.Ö. 3000 yıllarında yapılmıştır. Ev kompleksi şeklinde, kayaya oyulmuş, dairesel formda olup, 3,5 m derinlik, 1,5 m çap ve 6,5 mt yüksekliğindedir. Evlerin odaları sarnıcın etrafında toplanmıştır.	

(Angelakis vd. 2013)	Myrtos-Pyrgos /Yunanistan	≈M.Ö.1700 yılında yapılmıştır. Kanallarla beslenen sarnıç, dairesel formda olup, 3 m derinlik,5,3 m çapındadır. Etrafı taş duvarlarla çevrili ve içi sıvalıdır.	
(Mays vd. 2013)	Myrtos-Pyrgos /Yunanistan	Pişmiş toprak kanallar ile yüzey suyu ve yağmur suyunun iletimini sağlamıştır.	
(Mays vd. 2013)	Delos/ Yunanistan	MÖ 300 yapılmıştır. Kasabaya su sağlayan merkezi sarnıç tiyatronun ortasında bulunur ve tiyatronun caveasındaki yağmur suları sarnıca iletilir. 6 m genişlik,22.5 m uzunlukta ve dikdörtgen formu olup içi sıvalıdır.	
(URL2)	Nazca / Peru	MÖ 200- MS 600 yıllarında yapıldığı düşünülen kuyular yağmur suyunu toplayarak özel bir kanal sistemiyle taşıdığı düşünülmektedir.	
(Mays vd. 2013)	Xochicalco /Meksika	Yağmur suyu geniş plaza alanında toplanıp drenaj hendeklerinden pişmiş toprak borularla sarnıçlara taşınmaktadır.	
(URL3 )	Yerebatan Sarnıcı/ İstanbul	MS. 5. yy. yapılmıştır. 336 sütun üzerine inşa edilmiş ve dikdörtgen formu olup 140 m genişlik, 70 m uzunluk ve 11 m yükseklik ile 108,00 m³ hacme sahiptir. Duvarlar su geçirmez sıva ile sıvanmıştır. Kemerlerle su taşınmaktadır.	
(Kerim ve Süme 2018)	Aetius Sarnıcı /İstanbul	MS.5.yy yapılmış olup yağmur suyunu toplama için yapılmış açık sarnıç dikdörtgen formundadır. 244 m genişlik, 85 m uzunluk ve 14 m derinlik ile 290.000 m³ hacme sahiptir. Halen stadyum olarak kullanılmaktadır.	
(Ortloff 2020)	Pont du Gard su kemeri /Roma	MS 40-60 inşa edilmiş olan Pont du Gard su kemeri/köprüsü üç sıra kemere sahiptir, 48.8 m yüksekliğindedir ve 274 m uzunluğundan sadece 2.5 cm alçalmaktadır. Çeşmelere, hamamlara, tiyatrolara, tapınaklara, bahçelere, idari binalara, sarnıçlara su taşımaktadır.	
(Gonen vd. 2021)	Valens (Bozdoğan) Su kemeri /İstanbul	MS.4. yy. sonlarında tamamlandı. Farklı dönemlerde restore ettirilen su kemerinin toplam uzunluğu 240 km'dir. Farklı kaynaklardan su taşımaktadır.	



(URL4)	Muğla sarnıç	1522 de inşa edilmiştir. Üstü kubbeli ve dairesel formda olan sarnıçların taş duvar ile yapılmış ve içi sıvalıdır. Kubbeden süzülen yağmur suları, sarnıç etrafına çepeçevre kazılan bir olukta toplanır ve olukta bulunan sarnıcın içinde depolanır.	
--------	--------------	---	--

Eski zamanlardan beri su kaynaklarına erişiminin zor olduğu bölgelerde, kurak – yarı kurak topraklarda yağmur suyu hasadı binlerce yıldır kullanılmaktadır. Bazen evsel kullanımlar için yağmur iniş borusuna bağlanan küçük bir depo, su kabı gibi basit bir sisteme, bazen de büyük alanlardan toplanan yağmur suyunu depolayarak halkın ihtiyaçlarını karşılayacak kadar büyük ve karmaşık sisteme kadar geniş bir yelpaze sunmaktadır. Dönemler içerisinde sistemler, yapıların formları, malzemeleri değişse de yağmur suyunu su ihtiyaçlarını karşılamak için kullanma durumu değişmemiştir.

Fakat günümüzde gelişmiş sistemler aracılığı ile uzak bölgelerden su transferini mümkün kılan teknik araçlar akiferler sistemi ile daha derinlerden büyük miktarda su çekilmesi, organize ağlar aracılığı ile güvenli ve sürekli su tedarik edilmesi ile su yönetim yeteneğinin gelişmesi sayesinde su hasadı yöntemleri neredeyse terk edilmiştir (Yannopoulos vd. 2019). Yağmur suyu hasadı uygulaması, bazı bölgelerde çatıdan yağmur suyu toplamayı saymazsak, 1930'lu yılların başına kadar esasen terk edilmiştir. 1950'lerden önce yağmur suyu toplama tekniklerinin araştırma ve uygulamaları konusunda çok az çalışma yapılmıştır (Reddy 2006). Boers, modern su hasadı araştırmalarının 1950'li yıllarda Sydney Üniversitesi'nde Prof. Dr. HJ Geddes tarafından başlatıldığını ve Geddes sulamada kullanılmak üzere akan ve dere akışı olan her türlü suyun toplanması ve depolanmasını "Yağmur suyu Hasadı" terimi olarak ortaya atıldığını belirtmiştir (Boers 1994). Günümüzde sonra yağmur suyu hasadı terimi daha geniş anlamlarda kullanılmıştır.

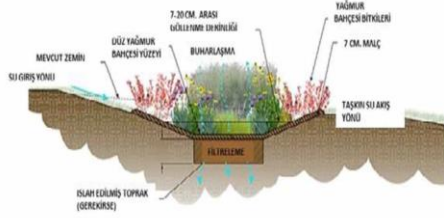
Yağmur suyu toplama konusuna hem araştırma ve hem de uygulama düzeyinde ilgi, kısmen Evenari ve meslektaşlarının 1958 ve 1959 yıllarında İsrail'in Negev çölünde sulama için su toplama sisteminin yeniden yapılandırılması ile dikkat çektiği söylenebilir (Prinz ve Malik 2002). 1970'li ve 1980'li yıllarda Afrika'daki kuraklıklar ve bu durumun mahsuller üzerindeki olumsuz etkileri nedeniyle su toplama alternatiflerinin araştırılmasına yönelik ilave teşvikler sağlamış ve yağmur suyu hasadı ile ilgili deneyimlerin çoğu İsrail, ABD ve Avustralya'da kazanılmıştır (Yannopoulos vd. 2019). İkamesi mümkün olmayan su kaynaklarının azalıyor oluşu insanları eski zamanlardaki gibi yağmur suyunu kullanmaya yönlendirmiştir.

Günümüzde Yağmur suyunu hasat etmenin birçok yöntemi bulunmaktadır. Çatı yüzeyinden yağmur suyu hasadı yönteminde çatı yüzeyine düşen yağmur suyunu toplanmakta, oluklar aracılığı bir depoya /tanka aktarılmaktadır (Şekil 1). Toplanan su içilebilir ve içilebilir olmayan amaçlarla kullanılmaktadır. İçilebilir olmayan amaçlarla, bahçe sulama, araba yıkama, havuzlarda, tuvalet sifonlarında, çamaşır makinelerinde kullanılırken, içilebilir amaçla kullanım için doğru filtrasyon sistemlerinin seçilmesi gerekmektedir.



Şekil 1: Çatı Yağmur suyu hasadı (URL5 )

Yağmur bahçeleri ve hendekler, yağmur sularının işlemde geçirmeden, doğrudan yönlendirerek üzerinde bitkilerin yetiştiği, derin olmayan çukurlardır (Müftüoğlu ve Perçin 2015). Yağmur bahçeleri su dengesini yeniden sağlamak için, geçirimsiz alanlardaki yüzey sularını yakalayan, tutan geçirimli yüzeylerdir (Şekil 2-3). Bu sistem, yağmur suyu akışını kontrol etme, yeraltı suyu seviyesini eski haline döndürme, toprağın nemini artırma, evapotranspirasyon ile sıcaklıkları da düşürmede etkilidir (Kasprzyk vd. 2022). Yağmur bahçeleri, bitki ve malç alanı, verimli üst toprak, çakıl - drenaj tabakası, filtreleme - toplama alanı olmak üzere dört katmandan oluşur (Dereli ve Çay 2020).



Şekil 2: Yağmur Bahçesi (URL6 )



Şekil 3: Yağmur Bahçesi (URL7 )

Geçirimli yüzeyler; çim, çakıl, gözenekli beton veya asfalt, geçirgen beton bloklarla yapılan ve yüzey suyunun akış hızını keserek yağmur suyunun toprak ile buluşmasına olanak sağlar (Şekil 4-5). Geçirimli yüzeylerin tasarımında kullanılan malzeme, yağmur suyunu tutma kapasitesi ve depolama alanı da hesaplamalarda önem arz etmektedir. Yollar, park alanları, spor sahaları, meydanlar geçirgen yüzeyler için oldukça uygun ve geniş alanlardır (Silveira 2002).



Şekil 4: Geçirgen asfalt – beton (URL8 )



Şekil 5: Geçirgen beton (URL9 )

Çatı bahçesi; yeşil çatı, yaşayan çatı, eko-çatı ve çatı bahçesi gibi isimlerle anılan ve birbirine karıştırılan terimler arasında çatı bahçesi daha farklı bir anlamda kullanılmaktadır. Çatı bahçesi daha ziyade eğlence ve rekreasyon alanı gibi ilave açık hava sosyal yaşam alanıdır (Külekçi 2017). Yeşil çatı kavramı; çatı yüzeyi alanını su geçirmeyen malzemeler üzeri toprak ve bitki elemanları ile kaplanan sosyal ve ekolojik denge unsuru sağlayan alanlardır (Peck ve Kuhn 2003) (Şekil 6-7).

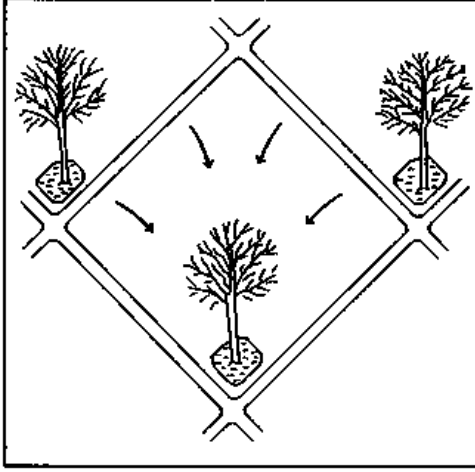


Şekil 6: Turkcell Ar-Ge Binası (URL10 )



Şekil 7: Vulcano Buono (URL11 )

Yıllık yağış miktarı 200 mm /yıl olan alanlarda ağaçlar için, 300 mm/yıl olan alanlarda tek yıllık bitkiler için mikro havza su hasadı uygulanmaktadır. Doğal çukur alanlar, kontur kuşakları, sıra arası, teraslama, yarım daire bantlar, negarim, meskat, yöntemlerin bazılarıdır (Şekil 8-9). Yıllık yağış miktarının 300 mm/yıldan fazla olan alanlarda makro havza su hasadı uygulanmaktadır. Setler, saptırma kanalları gibi yöntemler kullanılır (Mengü ve Akkuzu 2008).



Şekil 8: Negarim (URL12 )



Şekil 9 : Teraslama (URL13 )

## DÜNYA'DA YAĞMUR SUYU HASADI UYGULAMALARI

20. yüzyılın ortalarından sonra yağmur suyu hasadı konusu tekrar gündeme gelmeye başlamıştır. Ülkeler; yağmur suyunun toplanması, depolaması ve kullanılması için teşvikler sağlamak, fırsatlar yaratmak yani yağmur suyu hasadını yeniden canlandırmak için mevcut su yönetimi çerçevesinde politikalarını ve yönetim stratejilerini gözden geçirmektedir.

Japonya, Singapur, Belçika, Fransa, Almanya, ABD, İsveç, Kanada, İspanya, Yeni Zelanda gibi gelişmiş ülkelerde, hasat edilen yağmur suyu genellikle sulama, çamaşır yıkama ve tuvalet sifonu gibi amaçlar için kullanılmakta iken Avustralya'da içme suyu olarak da kullanılmaktadır. Bangladeş, Botswana, Hindistan, Kenya, Nepal, Namibya, Uganda, Güney Afrika gibi gelişmekte olan ülkelerde ise her iki durumda da kullanılmaktadır (Kisakye ve Van der Bruggen 2018; Lade ve Oloke 2015). Yağmur suyu doğru filtrasyon teknikleri uygulandığında içme suyu olarak ta kullanılabilir.

Yağmur suyu hasadını küçük ölçekli sistemlerde düşünmek yanlıştır. Berlin'de Daimler Chrysler Potsdamer Platz (Şekil 10) ve Belss-Luedecke-Strasse'deki bina kompleksinde, Darmstadt'ta Teknik Üniversite'de; Frankfurt Havaalanında, Londra'da, Millenium Dome, Museum ve Velodrome, Manchester'da Honda Bayiliğinde, Bristol'de Imperial Tobacco Head'da, Singapur'da, Changi Havalimanında, Japonya'da, Sumida şehrinde, Ryogoku Kokugikan Sumo Güreşi Arenası ve Belediye Binasında, Tokyo, Rojison ve Sky Tower'da ve Seul'de, Kwangjin-Gu'da Star City Projesinde yağmur suyu hasadı uygulanmıştır (Yannopoulos vd. 2019). Geniş alanlarda, büyük binalarda yağmur suyu hasadının yaygınlaşması oldukça önemlidir.



**Şekil 10.** Almanya / Berlin’de Daimler Chrysler Potsdamer Meydanı (URL14 )

Arjantin, Brezilya ve Venezuela gibi Latin Amerika ülkelerinde, drenaj hendekleri ve sokak oluklarına toplanan yağmur suları ekili alanlara aktarılır (Ringler, Rosegrant, ve Paisner 2000). Malezya, Japonya, Hindistan ve Kanada’da yağmur suyu toplama sistemlerinin tasarımı, yapımı ve yönetimi hakkında kılavuzlar geliştirilmiştir (Yannopoulos vd. 2019). Avrupa Birliği’nde yağmur suyu kullanımları için kalite standartlarının tanımına ilişkin düzenlemeler yoktur. Fransa ve Birleşik Krallık gibi Avrupa Birliği’nin birçok ülkesinde yalnızca yağmur suyunun evsel kullanımına odaklanan kılavuzlarda bazı standartlar önerilmiştir. İspanya’da geri dönüştürülmüş suyun olası kullanımları için kalite standartlarını belirleyen Kraliyet Kararnamesi bulunmaktadır (Llopert-Mascaró vd. y.y.). Birçok ülkede kılavuzlar ve yönetmeliklerin yanında hem hükümetler hem de yerel/bölgesel yönetimler yağmur suyu hasadı sistemini kurmak ve kullanmak için mali teşvikler de sunmaktadır.

Avrupa ülkelerinde RWH uygulamaları ülkelere göre değişiklik göstermektedir. Almanya RWH sistemlerinin tekniğini geliştirmede ve kullanmada öncü ülkelerden biridir. Yerel yönetimlerin destekleri ve hibeler sayesinde inşa edilen yeni binaların neredeyse üçte birinde yağmur suyu toplama sistemi mevcuttur (Schuetze 2013). Fransa’da 2009 yılında yapılan araştırmaya göre kentsel alanlarda nüfusun %15’lik kısmının bir RWH sistemine sahip olduğu ortaya konulmuştur (Belmeziti, Coutard, ve de Gouvello 2013). Birleşik Krallık ’ta çeşitli girişimler mevcut olmasına rağmen RWH yakın zamanda önem kazanmaya başlamıştır. (Ward, Memon, ve Butler 2010). Malta’da, RWH sistemi evlerin %35,4’ü tarafından kullanılmaktadır. Bunlardan %33,6’sı yeraltı sarnıçlarını, %1,8’i plastik tanklarını kullanmaktadır. RWH sisteminin nasıl olacağı MEPA’nın (Malta Çevre ve Planlama Kurumu) planı ile düzenlenmiştir (Reitano 2011). Belçika, tüm yeni yapılarda, tuvalet sifonlarında ve harici kullanımlarda yağmur suyu toplama sisteminin bulunmasını şart koşan mevzuata sahiptir. Flanders’te şu an evsel tüketimin %10’luk kısmını oluşturan yağmur suyu oranının 2025’e kadar %25’e yükseleceği tahmin edilmektedir (Campling vd. 2008). Portekiz’de, Su ve Atık Hizmetleri Düzenleme Kurumu (ERSAR) halk sağlığının korunması koşuluyla içilebilir olmayan su kullanıma izin verir. Hasat edilen su kaldırım yıkama, sulama, yangınla mücadele ve gıda ile ilgili olmayan endüstriyel üretim için kullanılabilir (Silva, Sousa, ve Carvalho 2015). Avrupa’da yağmur suyunun içilebilir su olarak kullanılması yaygın olmasa da içilebilir olmayan kullanımları mevcuttur.

Su sıkıntısını en fazla yaşayan Afrika ülkelerinde RWH gittikçe yaygınlaşmaktadır. Sivil toplum örgütleri (SIDA, UNEP, UNESCO) araştırma kuruluşları ve hükümetler RWH nin kullanımı teşvik etmekte ve desteklemektedir. Bu destek genellikle kırsal ve yoksul topluluklara odaklanmıştır (Campisano vd. 2017). Afrika’da RWH sistemlerini geliştirme çabası, Kenya tarafından yönetilmektedir. 1994 yılında, Afrika’daki ilk ulusal RWH derneği olan Kenya Yağmur Suyu Derneği kurulmuş ve o zamandan beri Kenya’da çeşitli kuruluşlar tarafından on binlerce yağmur suyu toplama sistemi inşa edilmiştir. Ülkenin farklı bölgelerinde su kaynakları sorunlarına uzun

vadeli çözümler sağlamak amacıyla, her biri kendi tasarım ve uygulama stratejilerine sahip birçok RWH projesi yürütülmüştür (Yannopoulos vd. 2019). Küçük ölçekli RWH kullanımı muhtemelen Afrika'da en yaygın seviyesindedir (Şekil 11). Büyük araştırma projeleri Botsvana, Etiyopya, Kenya, Malavi, Mozambik, Ruanda, Tanzanya, Uganda, Zambia ve Zimbabve gibi ülkelerin RWH için uygun olacağını göstermiştir (Mati vd. 2006). Özellikler gelişmemiş ülkelerde RWH'nin daha da yaygınlaşması için finansal destekler gereklidir.

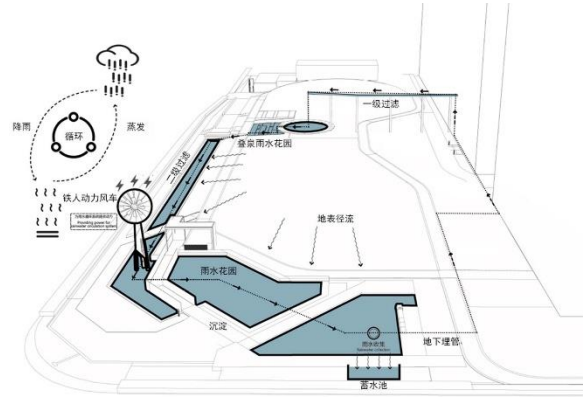


**Şekil 11.** Afrika'da çatı yağmur suyu hasadı (URL15 )

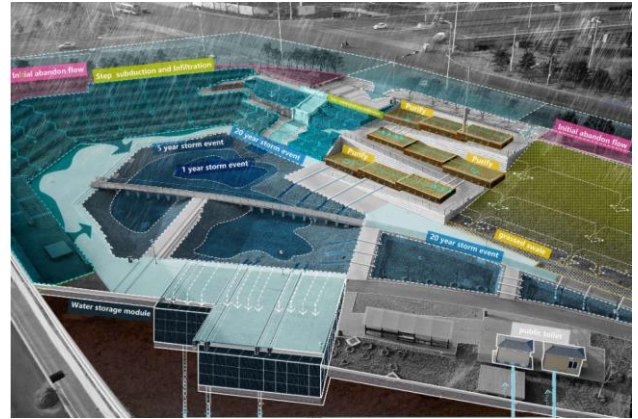
RWH birçok Asya ülkesinde kullanılmaktadır. 1980'lerin başından beri Japonya'da yerel yönetimler RWH ye özel önem vermişlerdir. 1994'teki kuraklık ve 1995'teki deprem sonrası nedeni ile afetlerin sık yaşandığı ülkede kentsel taşkınların önlenmesi, afete hazırlık açısından su kaynaklarının güvenceye alınması, alternatif su kaynaklarının belirlenmesi için yönetmelikler ve yönergeler düzenlenmiştir (Furumai vd. 2008). Mayıs 2015'te Yağmur Suyunun Kullanımını Geliştirme Yasasını kabul etmiş ve bu yasaya göre yağmur suyu kullanma hedefini belirlemek, hedeflere ulaşmak için gerekli destek ve sübvansiyonları sağlamakla yükümlülüğü getirilmiştir (Yannopoulos vd. 2019). Japonya 'da bireysel evlere yerleştirilen küçük boyutlu (1m<sup>3</sup> 'ten az depolama kapasiteli) RWH sistemleri yaygındır. 2009 yılında, Tayvan Su Kaynakları Ajansı, Tayvan Su Yasasına evsel su teminine alternatif kaynak olarak RWH'yi dahil etmiştir (Campisano vd. 2017). Hindistan'ın bazı şehir ve eyaletlerindeki (Yeni Delhi, Indore, Chennai, Rajasthan, vb.) yeni binalar ve evler için bir yağmur suyu hasadı zorunludur. Tamil Nadu'nun tüm kırsal alanında uygulanmaktadır (Şekil 12). (Yannopoulos vd. 2019). Malezya'da RWH'nin teşviki için kılavuzlar yayınlanmıştır. 2011 yılında Malezya hükümeti konut binalarını (bungalov ve yarı müstakil) ve çatı alanı 100 m<sup>2</sup> veya daha fazla olan her türlü binaya RWH'yi zorunlu kılmıştır (Lee vd. 2016). Çin'in Gansu eyaletinde RWH üzerine bir projesi yürütülmüştür ve 2000 yılına kadar proje kapsamında toplam kapasitesi 73 milyon m<sup>3</sup>'ü aşan 2 milyondan fazla yağmur suyu deposu inşa edilmiş, yaklaşık 2 milyon kişiye içme suyu sağlanmış ve 230.000 hektardan fazla arazinin ek sulaması sağlanmıştır. Çin'de yağmur suyu hasadının uygulandığı parklar tüm dünyada yaygınlaşmalıdır (Şekil 13-14).



Şekil 12. Tamil Nadu Sivaganga, Tapınak Tankı (Thirukkulam) (URL16 )



Şekil 13. Çin/ Shenzhen Shenwan Sokak Parkı (URL17 )



Şekil 14. Çin/ Qian sünger şehir pilot bölge (URL18 )

Avustralya RWH sisteminin uygulanmasında oldukça ileri seviyededir. Kırsal Avustralyalıların toplam %30'u RWH sistemini kullanırken başkentlerde ise %7'si tarafından RWH kullanıyor. Avustralya'daki bulunan tüm evlerin yaklaşık %13'ü birincil içme suyu kaynağı olarak RWH sistemlerini kullanmaktadır. Avustralya yerel yetkililer, RWH sistemlerinin kullanımını teşvik etmekte ve evlere yağmur suyu tanklarının yerleştirilmesini sağlamak için sübvansiyonlar ve hibeleri de içeren politikalar izlemektedir. Queensland'deki yeni evler için RWH zorunludur (Campisano vd. 2017). Avustralya'da evsel örneklere sıkça rastlanmaktadır (Şekil 15).

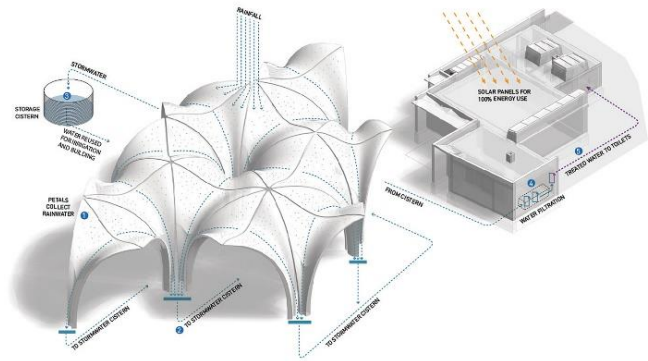


Şekil 15. Güney Avustralya'da evsel RWH örneği (URL19 )

Amerika'da RWH sistemlerinin kullanımı eyaletlere göre değişiklik göstermektedir. 2004 yılından bu yana ABD ve bölgelerinden 100.000 konutun RWH sistemi kullandığı tahmin edilmektedir (Lye 2002). Teksas muhtemelen en yüksek düzeyde kullanımın olduğu eyalettir. Teksas'ta RWH ekipmanları satış vergisinden muaf tutulmaktadır (Campisano vd. 2017). Güney Amerika'da birçok pilot uygulama başlatılmıştır. Örneğin 2001 yılında Brezilya'da bir milyon sarnıç uygulaması başlatılarak iki milyon insana fayda sağlanması amaçlanmaktadır (De Moraes ve Rocha 2013). Meksika'da içme suyuna kolay erişimi olan nüfusun oranını artırmak için Ulusal Su Planında, alternatif bir su kaynağı olarak RWH'yi benimsemiştir. Buna ek olarak Ulusal Su Komisyonu (CONAGUA), kırsal nüfusa su sağlamak için programlar geliştirmiştir. Meksika Eyaleti, Guanajuato, Querétaro, Michoacán, Morelos, Zacatecas, San Luis Potosi gibi ülkenin çeşitli eyaletler uygulanmaktadır. Ülkenin kırsal kesimlerinde RWH kullanımı yaygınken kentsel alanlarda esasen sanitasyon, sulama ve temizlik için kullanılmaktadır (Fuentes-Galván, Medel, ve Arias Hernández 2018). Confluence Park'ta oldukça estetik uygulaması bulunmaktadır (Şekil 16).



Şekil 16. ABD Confluence Park (URL19 )



Günümüzde yağmur suyunun kullanımı (Tablo 3) değerlendirildiğinde gelişmiş ülkelerin çoğunda hasat edilen yağmursuyu, içilebilir olmayan amaçlar için kullanılırken gelişmekte olan ve gelişmemiş ülkelerde de hem içilebilir hem de içilebilir olmayan amaçlar için kullanılmaktadır. Avustralya'daki ülkelerde de hasat edilen yağmur suyu her iki amaçla kullanılmaktadır.

Tablo 3. Günümüzde yağmur suyunun kullanımı

Uygulanan kıtalar	Kullanım Durumu
Afrika	Hem içilebilir hem de içilebilir olmayan amaçla kullanılmaktadır. Kırsal kesimlerde içilebilir su sağlamak için evsel tipte RWH oldukça yaygındır. Kenya Yağmur Suyu Derneği kurulmuştur. Uluslararası örgütler (SIDA, UNEP, UNESCO vb.) RWH sistemleri için destek sağlamaktadır.
Asya	İçilebilir olmayan amaçla kullanılmaktadır. Hem su kıtlığı, taşkın, sel gibi sorunları için RWH sistemleri geliştirilmeye ve kullanılmaya başlanmıştır. Bazı yönetimler kılavuzlar, yönetmelikler yayınlamıştır ve bazı ülkelerde de destekler vermektedir.
Avustralya	Hem içilebilir hem de içilebilir olmayan amaçla kullanılmaktadır. Evsel kullanımı oldukça yaygındır. Yönetimler sübvansiyonlar ve teşvikler vermektedir.
Avrupa	İçilebilir olmayan amaçla kullanılmaktadır. Yönetimler kılavuzlar, yönetmelikler yayınlamıştır ve RWH sistemlerini kullanmaya teşvik etmektedir.
Amerika	İçilebilir olmayan amaçla kullanılmaktadır. Bazı eyaletlerde yönetimler kılavuzlar yayınlamıştır.

Bu kullanım durumu için; su kaynaklarına kolay erişimin, tüketicilerin gelir düzeylerinin, ülkelerdeki su fiyatlarının etkili olduğu söylenebilir.

## TÜRKİYE'DE YAĞMUR SUYU HASADI UYGULAMALARI

Eski çağlardan beri birçok medeniyete ev sahipliği yapmış topraklarımızda su yönetimi konusunda oldukça gelişmiş sistemlerin kurulmuş olduğu günümüze kadar gelen sarnıçlar, kuyular, su kanalları, su kemeleri ve bentlerden anlaşılmaktadır. Yerebatan (Bazilika) Sarnıcı, Valens (Bozdoğan) Su kemeri, Binbirdirek Sarnıcı gibi dünyada en önemli su yapılarının bulunduğu ülkemizde, suyun yönetimi eski çağlardan beri önem arz etmiştir. Anadolu'nun birçok noktasında su kemerleri, kanallar, sarnıçlar, kuyular, sebiller, çeşmeler suyu depolama ve dağıtma konusunda gelişmişliğin göstergesi iken, bu gün aynı topraklarda içilebilir su kaynaklarımızı bilinçsizce kullanıyor ve var olan kaynaklarımızı da hızla tüketiyoruz. Tarım arazilerinin genişliği göz önüne alındığında alternatif su kaynaklarını en verimli şekilde kullanmamız, bu konuda da geçmişteki teknolojilerden ve kullanımlardan ilham almamız gerekmektedir.

Dünya'da birçok ülkede RWH sisteminin yaygınlaşmasına rağmen Türkiye'de bu konuda yeni yeni adımlar atılmaya başlanmıştır. 2017 yılında Yağmur suyu Toplama, Depolama ve Deşarj Sistemleri Hakkında Yönetmelik yayınlamış ve 2021 yılında Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği'ne; "2000 m<sup>2</sup>'den büyük parsellerde yapılacak yapıların mekanik tesisat projelerinin; çatı yüzeyinden toplanacak yağmur sularının gerekmesi halinde filtre edilerek bir tankta toplanması ve bina tuvalet sifonlarında kullanılması amacıyla yağmur suyu toplama sistemi içermesi zorunludur." maddesi eklenmiştir. T.C Tarım ve Orman Bakanlığı "Su Kaynaklarında İklim Değişikliğine Uyum Projesi" 30 Büyükşehir Belediyesini kapsayacak şekilde "yağmur suyu hasadı", "gri suyun kullanımı" ve "su fiyatlandırması" çalışmaları yapılmaya başlanmıştır. WWF –Türkiye Büyük Menderes Havzası'nda 'Yağmur Suyu Hasadı' projesi ile suyun verimli kullanımı için sürdürülebilir bir model oluşturması



amaçlamaktadır. İTÜ Ayazağa Kampüsünde, Konukevi ve Sosyal Mekânlar Önü mevkiinde yürüyüş aksı üzerinde İzmir Büyükşehir Belediyesi 245 dönüm büyüklüğündeki Âşık Veysel Rekreasyon Alanı'nda (Şekil 17), Ordu Büyükşehir Belediyesi iştiraki bünyesindeki bir kafede (Şekil 18), Gölbaşı Belediyesi'nde örnekleri çoğaltabileceğimiz yağmur suyu hasadı uygulamaları yapılmaktadır. Bazı Belediyeler İmar yönetmeliklerinde değişiklikler yaparak yeni binalarda metrekare durumlarına göre yağmur suyu toplama sistemini zorunlu kılmaktadır. Yağmur suyu hasadı ile ilgili çalışmalar başlamış olsa da yetersizdir.

Ülkemizde bedeli karşılığı hizmet alınan elektrik, telefon, internet gibi alanlarla kıyaslandığında görece ucuz olan su, maalesef ki bilinçsizce israf edilmektedir. Oysaki gelecek on yıl içerisinde su kıtlığı yaşayacak ülkeler arasında yer alacağımız düşünülürse suyun daha tasarruflu nasıl kullanılacağı, alternatif su kaynakları için neler yapılabileceği konusu ciddiyetle ele alınmalıdır.



**Şekil 17.** Aşık Veysel Rekreasyon Alanı (URL20 )



**Şekil 18.** Ordu Belediyesi RHW uygulama (URL21 )

### **FİNANSAL UYGULANABİLİRLİK**

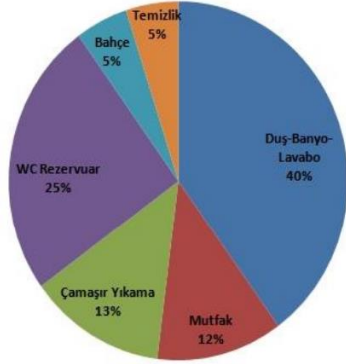
RHW sistemin finansal uygulanabilirliği hakkında maliyet analizlerini içeren birçok çalışma bulunmaktadır. Avustralya'da Sidney, Melbourne, Darwin ve Perth te bulunan yüksek binalarda yapılan yağmur suyu kullanım sistemleri için geri ödeme süreleri minimum 8,6 yıl (Sidney) ile maksimum 13,7 yıl (Darwin) arasında değişiklik göstermektedir (Zhang vd. 2009). Barcelona' da tek aileli (107 m<sup>2</sup>) ile çok aileli (625 m<sup>2</sup>) iki binanın değişik parametrelerde RHW sisteminde geri ödeme durum analiz edilmiş ve tek aileli dairede tank boyutuna bağlı olarak 33 ile 43 yıl arasında çok aileli binada ise (tank 20 m<sup>3</sup>) 60 yıldan fazla olduğu hesaplanmıştır (Domènech ve Sauri 2011). Birleşik Krallık 'ta bir ofis binasında yerleşik bir ev dışı RHW sisteminin, geri ödemesi iki farklı boyutta tank için 10,5 ve 6 yıl olarak hesaplanmıştır (Ward, Memon, ve Butler 2012). Kolombiya'da tasarlanan bir model üzerinden geliştirilen mali analize göre RHW ve GHW sistemlerinin geri ödemesi 23 yıl olarak hesaplanmıştır (Oviedo-Ocaña vd. 2018). Yapılan araştırmalardan bazıları uygulama ölçekleri değerlendirildiğinde RHW sistemlerinin finansal açıdan uygun olmadığını belirtmiştir (Kumar 2009; Roebuck, Oltean-Dumbrava, ve Tait 2011). Çalışmalarda yapılan maliyet analizlerinde bina boyutu, kullanıcı sayısı, yağmur suyunun kullanım alanları, su bedeli, yağış oranı, kullanılan malzemeler, elektrik bedeli, kullanılan malzeme, bakım onarım masrafları gibi birçok parametre kullanılmasının farklı sonuçlar doğurduğu unutulmamalıdır.

### **YAĞMUR SUYUNUN KALİTESİ VE SOSYAL KABUL**

Yağmur suyu hasadının yapıldığı çatılardan, kaldırımlardan, hendeklerden, otoparklardan, geniş alanlardan toplanan yağmur suyunda, kirleticiler, ağır metaller, patojenler bulunabilir. Toplanan yağmur suyunun kalitesi ve filtrasyonu üzerine araştırmalar yapılmıştır. Yağmur suyunun kalitesi bölgenin trafik yoğunluğu, sanayi merkezine yakınlığı, konut yoğunluğu, yağmur suyu akışının olduğu yüzey kaplama malzemesi gibi birçok değişkenden etkilenmektedir.



Artan su ihtiyacını karşılamak, gelişen teknoloji ile daha kolay ve mümkün hale gelmiş gibi görünse de mevcut su kaynaklarının azalıyor oluşu, ülkeleri yağmur suyu hasadı, gri su, tuzdan arınma gibi alternatif su kaynakları arayışlarına itmiştir. Alternatif su kaynaklarından biri olan yağmur suyu hasadı, antik çağlardan bu yana hem içilebilir hem de içilebilir olmayan amaçlar için su temin etmenin geleneksel ve sürdürülebilir yöntemlerinden olmuştur. Yağmur suyu hasadının evsel ölçekte ve büyük ölçeklerde yapılması mümkündür. Evsel ölçekte su kullanım oranları (Şekil 20) değerlendirildiğinde, yağmur suyu hasadı sayesinde bahçe sulama, tuvalet sifonu, araba yıkama, çamaşır yıkama (Şekil 21) gibi işleri içilebilir düzeyde bulunan şebeke suyu yerine hasat edilen su ile yapmak mümkündür.



Şekil 20. Evsel su kullanım dağılımı (Tanık 2017)



Şekil 21. RWH kullanım alanları (Tanık 2017)

Alternatif su kaynağı olarak RWH'nin faydaları ve zorlukları Tablo 4 değerlendirilmiştir.

Tablo 4. RWH'nin faydaları ve zorlukları

Yağmursuyu hasadının faydaları	Yağmursuyu hasadının zorlukları
Alternatif su kaynağıdır.	Sistemin kurulum sonrası geri ödeme süreleri yüksektir.
Su toplama sistemi ile sel, taşkın ve erozyon riskini azaltmaya yardımcı olur.	Yağmur suyu kalitesi konusunda güven problemi yaşanmaktadır.
Sel, taşkın, erozyon riskini azalttığı hasar kaybını azaltarak ekonomiye katkı sağlar	Farkındalık eksikliği bulunmaktadır
Su kaynakları üzerindeki baskıyı azaltır. Yeraltı su seviyesinin iyileşmesine yardımcı olur.	Yağış düzeni ve kurak dönemlerdeki değişimler önemli etkenlerdir.
Uygulama alanları oldukça geniştir.	
Kırılan su dengesini onarılmasına yardımcı olur.	
Geleneksel su tedarik yöntemlerinden daha ekonomiktir.	

RWH sistemi geleneksel su tedarik sisteminden daha ucuz ve daha az enerji tükettiği için kabul edilebilirliği yüksektir. Maliyet analizlerindeki değişkenlerden biri olan su tarifesine bakıldığında yüksek su tarifesi olan ülkelerde kurulum maliyetinin geri ödeme süresi kısa olacaktır. Dünyanın birçok ülkesinde yağmur suyu hasadı sürdürülebilir bir kalkınma stratejisi olarak görülmeye ve uygulanmaya başlanmıştır. RWH sisteminde

zorluklardan biri olan maliyet konusunda ülke yönetimlerinin hibe, sübvansiyon, vergi muafiyeti/indirimi gibi ekonomik teşvikler uygulaması önemlidir.

RHW sistemi hakkında farkındalık, eğitim, bilinçlendirme önemli konulardan biridir. Hasat edilen suyun doğru yöntemlerle filtrasyonu, arıtılması neticesinde yağmur suyunu kullanımı konusundaki kabulü artırılabilir.

RHW'yi, kırsal alanlarda temel ihtiyaçlar için gerekli birincil su kaynağını oluşturmak kentlerde ise tamamlayıcı, destekleyici bir sistem haline getirmek mümkündür. RHW sisteminin yaygınlaşmasını sağlamak için mikro ölçekte halk, yöneticiler, yerel yönetimler, özel - kamu kurumları, küçük büyük herkesin yağmur suyu hasadı ve su kullanımı konularında eğitilmesi ve bilinçlendirilmesi, yönetmelikler, yönergeler, kılavuzlar yayınlaması, evsel kullanımlarda su tasarruflu cihazların kullanılması, bireysel su kullanımlarında israfın önüne geçilmesi önemli katkılar sağlayabilir. Evsel ölçekteki uygulamalar, tüketiciler için kamu aracılığı ile temin edilen su miktarını azaltacağından ekonomik avantajlar da sağlar. Özellikle yönetimlerin gerekli mevzuat ve düzenlemelerin uygulanmasında kararlı olmaları, sistemin sürdürülebilirliği anlamında oldukça önemlidir.

Yağmur suyu hasadının mikro ölçekteki önemi yadsınamaz. Fakat kentlerde makro ölçekte çözümler üretmek RHW sisteminden en üst düzeyde faydalanmayı sağlayacaktır. Yağmur suyu hasadı makro ölçekte değerlendirildiğinde şehirlerin su master planlarının hazırlanması, geçirimli şehirler tasarlanarak suyun toprakla yeniden buluşmasının sağlanması, parklar, bahçeler, otoyollar, spor alanları, büyük yerleşim alanları gibi geniş alanların altlarının yağmur suyunu depolamak için kullanılması, su tutma havzalarının yapılması, çok katmanlı ormanlar oluşturulması, tarımda, sanayide suyun daha az kullanılacağı sistemlerin tercih edilmesi, yeraltı suyunun kullanımına kısıtlama getirilmesi, şebeke sularının fiyat tarifesinin yükseltilmesi gibi önlemler RHW sisteminin faydalarını arttıracaktır.

Şehirleşmenin bir sonucu olarak oluşan geçirimsiz yüzeyler nedeni ile infiltrasyon oranının düşüşü ile yağıştan kaynaklanan yüzey akışının artması sonucunda, şehirlerde sel felaketi ve su baskınlarına sıkça rastlanmaktadır. Yağmur suyu toplama sistemi, yüzey akışının büyük oranda durdurulmasına ve su baskınlarının önüne geçilmesine yardımcı olacak ve bu durumlarda meydana gelebilecek hasar kaybı azaldığından ekonomiye katkı sağlayacaktır.

Yağmur suyu günümüzde ve gelecekte su ihtiyacını karşılamak için bir kaynak olarak kullanılmaya devam edecektir. Günümüzde geleneksel RHW yöntemleri ile gelişmiş modern teknolojiyi harmanlayıp kullanarak kültürel mirasımıza da sahip çıkmış oluruz.

Makalede ortaya konulan ve değerlendirilen RWH sistemindeki asıl amaç, bütün yağmur suyunu toplamak, depolamak ve yeniden kullanmak, hasat edilen suyu kullanmak için sadece arıtmak olmamalıdır. Toprağın infiltrasyonu iyileştirmek, kaynak tasarrufu sağlamak, afet risklerini azaltmak, insan faktörünün de büyük etkisi ile kırılan su döngüsünü onarmak, RWH sistemini geliştirecek çalışmaların artırılması öncelikli hedef olmalıdır.

## **KAYNAKLAR**

- Abdulla, Fayez A., ve A. W. Al-Shareef. 2009. "Roof rainwater harvesting systems for household water supply in Jordan". *Desalination* 243(1-3):195-207. doi: 10.1016/J.DESAL.2008.05.013.
- Akoto, Osei, Fredrick Appiah, ve Nathaniel Owusu Boadi. 2011. "Physicochemical analysis of roof runoffs from the Obuasi area". *Water Practice and Technology* 6(1). doi: 10.2166/WPT.2011.003/21199.
- Angelakis, A. N., ve D. S. Spyridakis. 2010. "A brief history of water supply and wastewater management in ancient Greece". *Water Supply* 10(4):618-28. doi: 10.2166/WS.2010.105.
- Angelakis, Andreas N., Giovanni De Feo, Pietro Laureano, ve Anastasia Zourou. 2013. "Minoan and Etruscan Hydro-Technologies". *Water* 2013, Vol. 5, Pages 972-987 5(3):972-87. doi: 10.3390/W5030972.
- Bahar, H. 2017. "Hititlerde Su Kültü ve Konya Su Anıtları". Ss. 861-67 içinde *ULUSLARARASI KÜLTÜREL MİRAS VE TURİZM KONGRESİ*.

- Belmeziti, Ali, Olivier Coutard, ve Bernard de Gouvello. 2013. "A New Methodology for Evaluating Potential for Potable Water Savings (PPWS) by Using Rainwater Harvesting at the Urban Level: The Case of the Municipality of Colombes (Paris Region)". *Water* 2013, Vol. 5, Pages 312-326 5(1):312–26. doi: 10.3390/W5010312.
- Berens, E. M. 2021. *Antik Yunan ve Roma Mitleri ve Efsaneleri*. İstanbul: Fa Yayınları.
- Bilgiç, D., ve E. Hosny. 2019. "Din Ve İnançlarda Suyun Önemi Ve Mimariye Yansıması El Hamra Sarayı Örneği". *Türk ve İslam Dünyası Sosyal Araştırmalar Dergisi* 6(20):56–76.
- Bitis, Ioannis. 2013. "Water supply methods in Ancient Thera: The case of the sanctuary of Apollo Karneios". *Water Science and Technology: Water Supply* 13(3):638–45. doi: 10.2166/WS.2013.017.
- Boers, Th M. 1994. *Rainwater Harvesting in Arid and Semi-Arid Zones*. Publication No. 55. The Netherlands: 0 International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI).
- Campisano, Alberto, David Butler, Sarah Ward, Matthew J. Burns, Eran Friedler, Kathy DeBusk, Lloyd N. Fisher-Jeffes, Enedir Ghisi, Aatur Rahman, Hiroaki Furumai, ve Mooyoung Han. 2017. "g". *Water Research* 115:195–209. doi: 10.1016/J.WATRES.2017.02.056.
- Campling, P., L. De Nocker, W. Schiettecatte, A. I. Iacovides, T. Dworak, M. A. Arenas, C. C. Pozo, O. Le Mat, V. Mattheiß, ve F. Kervarec. 2008. *ASSESSMENT OF THE RISKS AND IMPACTS OF FOUR ALTERNATIVE WATER SUPPLY OPTIONS*. Brussels, Belgium.
- Çeçen, M. K. 1996. *Sinan's water supply system in Istanbul*. İstanbul: İSKİ.
- Daoud, A. K., K. M. Swaileh, R. M. Hussein, ve M. Matani. 2011. "Quality assessment of roof-harvested rainwater in the West Bank, Palestinian Authority". *Journal of Water and Health* 9(3):525–33. doi: 10.2166/WH.2011.148.
- Dereli, Cansu Konyalı, ve Rukiye Duygu Çay. 2020. "Sürdürülebilir Yağmur Suyu Yönetimi Kapsamında Yeşil Altyapı Sistemlerinin Değerlendirilmesi: Edirne İli Örneği". *Kent Akademisi* 13(4):668–87. doi: 10.35674/KENT.822454.
- Despins, Christopher, Khosrow Farahbakhsh, ve Chantelle Leidl. 2009. "Assessment of rainwater quality from rainwater harvesting systems in Ontario, Canada". *Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua* 58(2):117–34. doi: 10.2166/AQUA.2009.013.
- Domènech, Laia, ve David Saurí. 2011. "A comparative appraisal of the use of rainwater harvesting in single and multi-family buildings of the Metropolitan Area of Barcelona (Spain): social experience, drinking water savings and economic costs". *Journal of Cleaner Production* 19(6–7):598–608. doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2010.11.010.
- DSİ. 2006. "DSİ 2006 Yılı Faaliyet Raporu". Tarihinde 07 Mart 2022 (<https://cdnis.tarimorman.gov.tr/api/File/GetFile/425/Konulcerik/759/1107/DosyaGaleri/dsi-2006-faaliyet-raporu.pdf>).
- DSİ. 2021. *DSİ 2021 Yılı Faaliyet Raporu*.
- Everani, M., L. Shanan, N. Tadmor, ve Y. Aharoni. 1961. "Ancient Agriculture in The Negev". *Science* 133(3457):979–96.
- Falkenmark, Malin, Jan Lundqvist, ve Carl Widstrand. 1989. "Macro-scale water scarcity requires micro-scale approaches. Aspects of vulnerability in semi-arid development". *Natural resources forum* 13(4):258–67. doi: 10.1111/J.1477-8947.1989.TB00348.X.
- Fewtrell, L., D. Kay, ve D. Kay. 2008. "Microbial quality of rainwater supplies in developed countries: a review". <http://dx.doi.org/10.1080/15730620701526097> 4(4):253–60. doi: 10.1080/15730620701526097.
- Fuentes-Galván, María L., Josefina Ortiz Medel, ve Luz A. Arias Hernández. 2018. "Roof rainwater harvesting in central Mexico: Uses, benefits, and factors of adoption". *Water (Switzerland)* 10(2):116. doi: 10.3390/w10020116.
- Furumai, H., J. Kim, M. Imbe, ve H. Okui. 2008. "Recent application of rainwater storage and harvesting in Japan. In Proceedings of the 3rd IWA International Rainwater Harvesting and Management Workshop as a part of IWA-Viena World Water Congress & Exhibition". S. 7 içinde. Vienna, Austria.
- Garceau, Michelle E. 2011. "'I call the people.' Church bells in fourteenth-century Catalunya". *Journal of Medieval History* 37(2):197–214. doi: 10.1016/J.JMEDHIST.2011.02.002.
- Gonen, Semih, Bora Pulatsu, Ece Erdogmus, Engin Karaesmen, ve Erhan Karaesmen. 2021. "Quasi-Static Nonlinear Seismic Assessment of a Fourth Century A.D. Roman Aqueduct in Istanbul, Turkey". *Heritage* 2021, Vol. 4, Pages 401-421 4(1):401–21. doi: 10.3390/HERITAGE4010025.
- Hwang, A. H. S., C. Valeo, ve D. Draper. 2013. "Public Perceptions and Attitudes Toward Stormwater Recycling for Irrigation". <http://dx.doi.org/10.4296/cwrj3103185> 31(3):185–96. doi: 10.4296/CWRJ3103185.
- Islam, Md Manzurul, F. N. F. Chou, M. R. Kabir, ve C. H. Liaw. 2010. "Rainwater: A Potential Alternative Source for Scarce Safe Drinking and Arsenic Contaminated Water in Bangladesh". *Water Resources Management* 24(14):3987–4008. doi: 10.1007/S11269-010-9643-7.
- Kasprzyk, Magda, Wojciech Szpakowski, Eliza Poznańska, Floris C. Boogaard, Katarzyna Bobkowska, ve

- Magdalena Gajewska. 2022. "Technical solutions and benefits of introducing rain gardens – Gdańsk case study". *Science of The Total Environment* 835:155487. doi: 10.1016/J.SCITOTENV.2022.155487.
- Kayaer, Mesut, ve Salih Çiftçi. 2018. "'Su Sorunu' ve Türkiye'nin Tatlısu Potansiyeli Çerçevesinde Türkiye'nin Sınırtaşan Sularının Stratejik, Etik ve Hukuki Boyutlarının Değerlendirilmesi Mesut KAYAER Salih ÇİFTÇİ MAKALE BİLGİSİ ÖZET ARTICLE INFO ABSTRACT". *Pesa International Journal of Social Studies* 4:2528–9950. doi: 10.25272/j.2149-8385.2018.4.3.02.
- Kerim, Ali, ve Veli Süme. 2018. "Türk Hidrolik Dergisi/Turkish Journal of Hydraulic İstanbul'un Eski Su Kaynakları; Sarnıçlar". *Tur. J. Hyd.*
- Kisakye, Violet, ve Bart Van der Bruggen. 2018. "Effects of climate change on water savings and water security from rainwater harvesting systems". *Resources, Conservation and Recycling* 138:49–63. doi: 10.1016/J.RESCONREC.2018.07.009.
- Kiyak, Abdulkadir. 2013. "Geleneksel Türk İnanışlarındaki Su Kültü Ve Elazığ'daki İzleri". *Gümüşhane Üniversitesi İlahiyat Fakültesi Dergisi* 2(4):22–39.
- Külekçi, Elif Akpınar. 2017. "Geçmişten Günümüze Yeşil Çatı Sistemleri ve Yeşil Çatılarda Kalite Standartlarının Belirlenmesine Yönelik Bir Araştırma". *ATA Planlama ve Tasarım Dergisi* 1(1):35–53.
- Kumar, M. Dinesh. 2009. "Roof Water Harvesting for Domestic Water Security: Who Gains and Who Loses?" <http://dx.doi.org/10.1080/02508060408691747> 29(1):43–53. doi: 10.1080/02508060408691747.
- Lade, Omolara, ve David Oloke. 2015. "Modelling Rainwater System Harvesting in Ibadan, Nigeria: Application to a Residential Apartment". *American Journal of Civil Engineering and Architecture* 3(3):86–100. doi: 10.12691/ajcea-3-3-5.
- Lee, Khai Ern, Mazlin Mokhtar, Marlia Mohd Hanafiah, Azhar Abdul Halim, ve Jamaludin Badusah. 2016. "Rainwater harvesting as an alternative water resource in Malaysia: potential, policies and development". *Journal of Cleaner Production* 126:218–22. doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2016.03.060.
- Li, Zhe, Fergal Boyle, ve Anthony Reynolds. 2010. "Rainwater harvesting and greywater treatment systems for domestic application in Ireland". *Desalination* 260(1–3):1–8. doi: 10.1016/J.DESAL.2010.05.035.
- Llopart-Mascaró, A., R. Ruiz, M. Martínez, P. Malgrat, M. Rusiñol, A. Gil, J. Suárez, J. Puertas, H. Del Rio, ve M. Paraira. y.y. "Analysis of rainwater quality. Towards a sustainable rainwater management in urban environments-Sostaqua Project Analysis of rainwater quality: Towards sustainable rainwater management in urban environments-Sostaqua Project".
- Lye, Dennis J. 2002. "Health risks associated with consumption of untreated water from household roof catchment systems". *Journal of the American Water Resources Association* 38(5):1301–6. doi: 10.1111/J.1752-1688.2002.TB04349.X.
- Mankad, Aditi, Andrea Walton, ve Kim Alexander. 2015. "Key dimensions of public acceptance for managed aquifer recharge of urban stormwater". *Journal of Cleaner Production* 89:214–23. doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2014.11.028.
- Mati, Bancy, Tanguy De Bock, Maimbo Malesu, Elizabeth Khaka, Alex Oduor, Meshack Nyabenge, ve Vincent Oduor. 2006. *Mapping the Potential of Rainwater Harvesting Technologies in Africa A GIS overview on development domains for the continent and ten selected countries*. C. Technical. Nairobi, Kenya: The SearNet Secretariat, Global Water Partnership Associated Programme of RELMAin-ICRAF.
- Mays, Larry, George P. Antoniou, ve Andreas N. Angelakis. 2013. "History of Water Cisterns: Legacies and Lessons". *Water* 2013, Vol. 5, Pages 1916-1940 5(4):1916–40. doi: 10.3390/W5041916.
- Melidis, Paraschos, Christos S. Akrotos, Vassilios A. Tsihrintzis, ve Eleni Trikilidou. 2006. "Characterization of Rain and Roof Drainage Water Quality in Xanthi, Greece". *Environmental Monitoring and Assessment* 2006 127:1 127(1):15–27. doi: 10.1007/S10661-006-9254-1.
- Mengü, Gülay PAMUK, ve Erhan Akkuzu. 2008. "KÜRESEL SU KRİZİ VE SU HASADI TEKNİKLERİ". *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* 5(2):75–85.
- De Moraes, Andrea Ferreira Jacques, ve Cecilia Rocha. 2013. "Gendered waters: the participation of women in the 'One Million Cisterns' rainwater harvesting program in the Brazilian Semi-Arid region". *Journal of Cleaner Production* 60:163–69. doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2013.03.015.
- Moya-Fernández, Pablo J., Samara López-Ruiz, Jorge Guardiola, ve Francisco González-Gómez. 2021. "Determinants of the acceptance of domestic use of recycled water by use type". *Sustainable Production and Consumption* 27:575–86. doi: 10.1016/J.SPC.2021.01.026.
- Müftüoğlu, Volkan, ve Halim Perçin. 2015. "SÜRDÜRÜLEBİLİR KENTSEL YAĞMUR SUYU YÖNETİMİ KAPSAMINDA YAĞMUR BAĞÇESİ". *İnönü Üniversitesi Sanat ve Tasarım Dergisi* 5(11):27–37. doi: 10.16950/std.34364.
- Ortloff, Charles R. 2020. "Roman Hydraulic Engineering: The Pont du Gard Aqueduct and Nemausus (Nîmes) Castellum". *Water* 2021, Vol. 13, Page 54 13(1):54. doi: 10.3390/W13010054.
- Oviedo-Ocaña, Edgar Ricardo, Isabel Dominguez, Sarah Ward, Miryam Lizeth Rivera-Sanchez, ve Julian Mauricio Zaraza-Peña. 2018. "Financial feasibility of end-user designed rainwater harvesting and greywater reuse systems for high water use households". *Environmental Science and Pollution Research*

- 25(20):19200–216. doi: 10.1007/S11356-017-8710-5/TABLES/12.
- Öziş, Ü. 1987. *Su Mühendisliği Tarihi Açısından Anadoludaki Eski Su Yapıları*. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik.
- Peck, Steven W., ve Monica Kuhn. 2003. *Design guidelines for green roofs | WorldCat.org*. Toronto, Ottawa: Ontario Association of Architects.
- Prinz, Dieter, ve Amir H. Malik. 2002. "Runoff farming". S. 39 içinde *WCA InfoNET*. Rome, İtalya.
- Quek, Udo, ve Jürgen Förster. 1993. "Trace metals in roof runoff". *Water, Air, and Soil Pollution* 1993 68:3 68(3):373–89. doi: 10.1007/BF00478464.
- Reddy, Y. A. 2006. *Water Harvesting : Limitations in Implementation*. Nagpur.
- Reitano, Raffaella. 2011. "Water Harvesting and Water Collection Systems in Mediterranean Area. The case of Malta". *Procedia Engineering* 21:81–88. doi: 10.1016/J.PROENG.2011.11.1990.
- Ringler, Claudia, Mark W. Rosegrant, ve Michael S. Paisner. 2000. "IRRIGATION AND WATER RESOURCES IN LATIN AMERICA AND THE CARIBBEAN: CHALLENGES AND STRATEGIES". doi: 10.22004/AG.ECON.16085.
- Roebuck, R. M., C. Oltean-Dumbrava, ve S. Tait. 2011. "Whole life cost performance of domestic rainwater harvesting systems in the United Kingdom". *Water and Environment Journal* 25(3):355–65. doi: 10.1111/J.1747-6593.2010.00230.X.
- Rosenberg, D. 1998. *Dünya Mitolojisi*. Ankara: İmge Kitabevi Yayınları.
- Sazakli, E., A. Alexopoulos, ve M. Leotsinidis. 2007. "Rainwater harvesting, quality assessment and utilization in Kefalonia Island, Greece". *Water Research* 41(9):2039–47. doi: 10.1016/J.WATRES.2007.01.037.
- Schuetze, T. 2013. "Rainwater harvesting and management – policy and regulations in Germany". *Water Supply* 13(2):376–85. doi: 10.2166/WS.2013.035.
- Silva, Cristina Matos, Vitor Sousa, ve Nuno Vaz Carvalho. 2015. "Evaluation of rainwater harvesting in Portugal: Application to single-family residences". *Resources, Conservation and Recycling* 94:21–34. doi: 10.1016/J.RESCONREC.2014.11.004.
- Silveira, A. L. L. 2002. *Apostila: Drenagem Urbana: aspectos de gestão. 1. Ed. Curso preparado por: Instituto de Pesquisas Hidráulicas*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul e Fundo Setorial de Recursos Hídricos.
- Tanık, A. 2017. "Yağmur Suyu Toplama, Biriktirme ve Geri Kullanım". içinde *Su Kaynakları ve Kentler Konferansı*. Kahramanmaraş.
- Ulutürk, Muammer. 2009. "Dinlerde Su Tasavvurları". içinde *Su Medeniyeti Sempozyumu Bildirileri*. Konya.
- UNESCO. 2021. *The United Nations World Water Development Report 2021: Valuing water*. Paris.
- URL1. "Ganj Nehri - Vikipedi". Tarihinde 19 Mayıs 2022 ([https://tr.wikipedia.org/wiki/Ganj\\_Nehri](https://tr.wikipedia.org/wiki/Ganj_Nehri)).
- URL10. "Turkcell AR-GE Binası". Tarihinde 25 Kasım 2022 (<http://www.arkiv.com.tr/proje/turkcell-ar-ge-binasi/1497>).
- URL11. "Piano'nun yeni projesi 'Volkan' |". Tarihinde 25 Kasım 2022 (<http://mimdap.org/2010/01/pianonun-yeni-projesi-volkan/>).
- URL12. "FAO". Tarihinde 25 Kasım 2022 (<https://www.fao.org/3/u3160e/u3160e00.htm#Contents>).
- URL13. "Tarım ve orman alanlarında kar/yağmur suyu hasadı | Independent Türkçe". Tarihinde 25 Kasım 2022 (<https://www.indyturk.com/node/464071/turkiyeden-sesler/tarim-ve-orman-alanlarında-karyağmur-suyu-hasadı>).
- URL14. "Potsdamer Plaza - Ramboll Grup". Tarihinde 20 Mayıs 2022 (<https://ramboll.com/projects/germany/potsdamer-plaza>).
- URL15. "Rainwater harvesting for supplementary irrigation in Africa. | Download Scientific Diagram". Tarihinde 20 Mayıs 2022 ([https://www.researchgate.net/figure/Rainwater-harvesting-for-supplementary-irrigation-in-Africa\\_fig7\\_237072055](https://www.researchgate.net/figure/Rainwater-harvesting-for-supplementary-irrigation-in-Africa_fig7_237072055)).
- URL16. "Shiva Ganga Temple Pond - Tiruvannamalai". Tarihinde 19 Mayıs 2022 (<http://wikimapia.org/9867325/Shiva-Ganga-Temple-Pond>).
- URL17. "Shenzhen Shenwan Street Park / AUBE CONCEPTION | ArchDaily". Tarihinde 19 Mayıs 2022 (<https://www.archdaily.com/939209/shenzhen-shenwan-street-park-aube-conception>).
- URL18. "Rainwater Harvesting Greenbelt in Qian'an | Biennial". Tarihinde 20 Mayıs 2022 (<https://landscape.coac.net/rainwater-harvesting-greenbelt-qianan>).
- URL19. "Tips for Using Rainwater in Architectural Projects | ArchDaily". Tarihinde 19 Mayıs 2022 (<https://www.archdaily.com/940535/tips-for-using-rainwater-in-architectural-projects>).
- URL2. "Peru'daki Antik Spiral Şekillerin Sırrı Uydu Fotoğraflarıyla Çözüldü - Arkeofili". Tarihinde 19 Mayıs 2022 (<https://arkeofili.com/perudaki-antik-spiral-sekillerin-sirri-uydu-fotograflariyla-cozuldu/>).
- URL20. "Haberler | Aşık Veysel Rekreasyon Alanı'nda 'Yağmur Suyu Hasadı' başladı". Tarihinde 24 Kasım 2022 (<https://www.izmir.bel.tr/tr/Haberler/asik-veysel-rekreasyon-alani-nda-yagmur-suyu-hasadi-basladi/45933/156>).
- URL21. "KURAKLIĞA KARŞI 'YAĞMUR SUYU' HASADI BAŞLADI - Ordu Büyükşehir Belediyesi". Tarihinde

- 24 Kasım 2022 (<http://ordu.bel.tr/Haber/44244/kurakliga-karsi-'yagmur-suyu'-hasadi-basladi>).
- URL22. "Su ve Döngüsü hakkında herşey - Türkiye Yaban Hayatı". Tarihinde 19 Mayıs 2022 (<https://turkiyeyabanhayati.org/blog/detail/su-ve-dongusu-hakkinda-hersey>).
- URL3. "Yerebatan Sarnıcı". Tarihinde 19 Mayıs 2022 (<https://www.yerebatan.com/>).
- URL4. "Kanunî nin 4 Asırlık Mirası Terk Edilen Su Sarnıçları". Tarihinde 19 Mayıs 2022 (<https://v3.arkitera.com/h58115--kanuninin-4-asirlik-mirasi-terk-edilen-su-sarniclari.html>).
- URL5. "Yağmur Suyu Hasat Sistemi Garantileri ve Bakımı | Invento Enerji A.Ş." Tarihinde 24 Kasım 2022 (<https://inventoenerji.com/yagmur-suyu-hasat-sistemi-garantileri-ve-bakimi/>).
- URL6. "Yağmur Bahçeleri Nedir? Yağmur Bahçesi Ne İşe Yarar?" Tarihinde 24 Kasım 2022 (<https://soyleki.com/yagmur-bahceleri-nedir-yagmur-bahcesi-ne-ise-yarar/>).
- URL7. "How to Build a Rain Garden - This Old House". Tarihinde 24 Kasım 2022 (<https://www.thisoldhouse.com/gardening/21016338/how-to-build-a-rain-garden-to-filter-run-off>).
- URL8. "Suyu Emen Asfalt ve Beton - ÇEYREK MÜHENDİS". Tarihinde 25 Kasım 2022 (<https://www.ceyrekmuhendis.com/suyu-emen-asfalt-ve-beton/>).
- URL9. "Geçirimli Beton Nedir". Tarihinde 25 Kasım 2022 ([https://www.thbb.org/media/281170/gecirimli\\_beton\\_uygulama\\_kilavuzu\\_147.pdf](https://www.thbb.org/media/281170/gecirimli_beton_uygulama_kilavuzu_147.pdf)).
- Vitruvius. 2021. *De Architectura Libri Decem : Mimarlık Üzerine On Kitap*. 6. Baskı. İstanbul: Alfa Basım Yayım Dağıtım.
- Ward, S., F. A. Memon, ve D. Butler. 2010. "Harvested rainwater quality: The importance of appropriate design". *Water Science and Technology* 61(7):1707–14. doi: 10.2166/WST.2010.102.
- Ward, S., F. A. Memon, ve D. Butler. 2012. "Performance of a large building rainwater harvesting system". *Water Research* 46(16):5127–34. doi: 10.1016/J.WATRES.2012.06.043.
- Yannopoulos, Stavros, Ioanna Giannopoulou, ve Mina Kaiafa-Saropoulou. 2019. "Investigation of the Current Situation and Prospects for the Development of Rainwater Harvesting as a Tool to Confront Water Scarcity Worldwide". *Water* 2019, Vol. 11, Page 2168 11(10):2168. doi: 10.3390/W11102168.
- Yufen, Ren, Wang Xiaoke, Ouyang Zhiyun, Zheng Hua, Duan Xiaonan, ve Miao Hong. 2008. "Stormwater Runoff Quality from Different Surfaces in an Urban Catchment in Beijing, China". *Water Environment Research* 80(8):719–24. doi: 10.2175/106143008X276660.
- Zabidi, Husnna Aishah, Hui Weng Goh, Chun Kiat Chang, Ngai Weng Chan, ve Nor Azazi Zakaria. 2020. "A Review of Roof and Pond Rainwater Harvesting Systems for Water Security: The Design, Performance and Way Forward". *Water* 2020, Vol. 12, Page 3163 12(11):3163. doi: 10.3390/W12113163.
- Zhang, Yan, Donghui Chen, Liang Chen, ve Stephanie Ashbolt. 2009. "Potential for rainwater use in high-rise buildings in Australian cities". *Journal of Environmental Management* 91(1):222–26. doi: 10.1016/J.JENVMAN.2009.08.008.
- Zobrist, J., S. R. Müller, A. Ammann, T. D. Bucheli, V. Mottier, M. Ochs, R. Schoenenberger, J. Eugster, ve M. Boller. 2000. "Quality of roof runoff for groundwater infiltration". *Water Research* 34(5):1455–62. doi: 10.1016/S0043-1354(99)00290-0.



## **Elektrikle Çalışmalarda İş Sağlığı ve Güvenliği Üzerine Bir Değerlendirme**

### **An Evaluation on Occupational Health and Safeth in Electrical Works**

Samet TOSUN

Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalı,  
Ankara

Doi: 10.51764/smutgd.1082589

Geliş Tarihi : 03.03.2022

#### **ÖZET**

Kabul Tarihi : 29.11.2022

Günümüzde artan nüfusa paralel olarak enerji ihtiyacı da gün geçtikçe artmakta bu ihtiyacın önemli bir bölümünü ise elektrik enerjisi oluşturmaktadır. Enerji sektörü içerisindeki büyük payı oluşturan elektrikli çalışmaların tehlikeli iş alanları içerisinde kendisine yer bulduğu görülmektedir. İş kazalarının çoğunluğunun elektrikli çalışmalar üzerinde oluşması, uygulamadaki yanlışlıkların veya tedbirlerin alınmamasının sonucunu göstermektedir. Hali hazırda yürürlükte olan kanunlar, iş sağlığı ve güvenliği hususunda önemli olan hükümleri içerisinde barındırmaktadır ancak iyileştirici sonuçlar için sektörde iş sağlığı ve güvenliği yasalarının tatbik edilme ve uygulanabilme derecesi net olarak belirlenmelidir. Bu çalışmada elektrikle çalışılan sektörlerde elektriğin zararlı yönleri araştırılmış, araştırma özelinde seçilmiş olan mobilya üretim fabrikasında tehlike etmenleri tespit edilmiş, risk değerlendirmesi yapılmış, elektriğin zarar veren etkilerinden korunabilmek için alınacak tedbirler sıralanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Elektrikle ilgili çalışmalarda iş sağlığı ve güvenliği, iş güvenliği, iş sağlığı, iş sağlığı ve güvenliği

#### **ABSTRACT**

Today, parallel to the increasing population, the need for energy is also increasing day by day, and an important part of this need is electrical energy. It is seen that electrical works, which constitute the largest share in the energy sector, find a place in dangerous work areas. The fact that the majority of work accidents occur on electrical works shows the result of mistakes in practice or not taking precautions. The laws currently in force contain important provisions regarding occupational health and safety, but the degree of application and implementation of occupational health and safety laws in the sector should be clearly determined for remedial results. In this study, the harmful aspects of electricity in the sectors that work with electricity were investigated, the risk factors were determined in the furniture production factory selected for the study, a risk assessment was made, and the measures to be taken to be protected from the damaging effects of electricity were listed.

**Keywords:** Occupational health and safety in electrical work, work safety, work health, occupational health and safety

## GİRİŞ

Yaşadığımız dönemde sürekli gelişme sağlayan teknoloji ile ülkemizde ve dünyada süratle yaygınlaşan sanayileşme ve mekanizasyonun pek çok sağlık ve güvenlik tehlikesine de sebebiyet vermiş olduğu net şekilde gözlemlenmektedir. Endüstri Devrimi'nden bu yana fabrika düzenine geçişin neticesinde insan gücüne olan gereksinim giderek artış göstermeye başlamıştır. Sanayileşmenin artış gösterdiği bölgelere yerleşenlerin iyi beslenememe, çalışma alanlarındaki elverişsiz ortam, yetersiz ücretlendirmeler, sağlığa elverişsiz barınma ve faaliyet alanlarında çalışıyor olmaları, çalışanların çeşitli mesleki risklerle karşı karşıya kalmalarına sebebiyet vermiştir. Personelin çalışmalarını sağlığa elverişli bir alanda gerçekleştirmesinin güvenliğin vazgeçilmez bir faktörü olduğu fikriyle iş sağlığı güvenliği, gün geçtikçe bu alanda faaliyet gösteren kişilerin uzmanlaşması ve kimi nitelikleri barındırması şart koşulmuştur. İş sağlığı ve güvenliği olgusuna gösterilen özen devletlerin gelişmişlik derecelerine göre farklılıklar göstermekte ve gösterilen özenin boyutu ülke toplumunun kültür ve bilinç seviyelerine bağlı ilerlemektedir (Görücü, 2004).

İşçinin sağlığı ve güvenliği faaliyetlerinin asıl amacı personellerin yaşantısının güvence altına alınmasını sağlamaktır. Gerçekleştirilen bilimsel incelemelere bakıldığı zaman iş kazaları neticesinde meydana gelen hasarın iş sağlığı ve güvenliğini sağlama adına gerçekleştirilen masrafların çok üzerinde olduğunu göstermektedir. İşçinin sağlık durumu ve güvenliğindeki uygulama örnekleri gelişimini tamamlamış olan devletlerde ciddiyle irdelenmektedir (Altan, Şişman, Tonus & Uçkan, 2004).

Bu çalışmada elektrikle çalışılan sektörlerde İSG yasalarının uygulanabilme derecesi saptanmaya çalışılmıştır. Çalışmayla mobilya sektöründe elektrikli çalışma uygulamaları içeren firmalar incelenmiş, iş sağlığı ve güvenliği mevzuatı uygulamasına dair gözlem ve araştırmalar yapılmıştır. Yapılan literatür araştırmasında mobilya özelinde elektrikle çalışmalarda risk değerlendirilmesine rastlanmamıştır. Çalışma ile elektrikli çalışmalar üzerine yapılması gereken doğrular ve uygulamadaki yanlışlıkların ortaya çıkartılması insan sağlığına faydalı olacak, iş sağlığı ve güvenliğini artırıcı sonuçlara ulaşılması ile literatürdeki bu boşluğun doldurulması ve sonraki çalışmalar için yol gösterici olması amaçlanmıştır.

## GENEL BİLGİLER

### İş Sağlığı ve Güvenliği

İş sağlığı; işçilerin çalışma ortamlarından kaynaklanan sebeplerle meydana gelebilecek kazalar ve hastalıklardan korunması ve işin sağlıklı şekilde yapılması olarak tanımlanır. İş güvenliği ise işletmelerde işlerin icrası sırasında, farklı nedenlerden kaynaklı sağlığı bozabilecek durumları önlemek sebebiyle yapılan çalışmaların genel bir adı şeklindedir (Özkılıç, 2005).

WHO (Dünya Sağlık Örgütü) ile ILO (Uluslararası Çalışma Örgütü) iş sağlığının güvenliğinin tanımını; "Bütün meslek gruplarında personellerin fiziksel, zihinsel, iyilik hallerini olabilecek daha iyi duruma taşımak, aynı seviyede devam ettirmek, personellerin çalışma şartları nedeniyle sağlık problemleriyle karşılaşmalarının önüne geçmek, işçileri çalıştırılmaları esnasında sağlığı tehdit eden faktörlerden meydana gelen risklerden uzak tutmak, personelleri fizyolojik ve psikolojik hallerine elverişli alanlarda faaliyet göstermelerini sağlamak ve bu durumların sürekliliğini sağlamak özetle çalışanlar ve yaptıkları işlerin birbirleri ile bağdaşmalarını sağlamak" olarak ifade etmektedir (Özkaya, 1996).

İş kazalarının sebeplerini tespit etmek amacıyla çok fazla araştırma yapılmıştır. Yapılan araştırmalar göstermiştir ki iş kazalarının meydana gelmesine birçok etken neden olmaktadır. İş kazalarının tehlikeli durum ve hareketlerden oluştuğu görülmektedir. İş kazalarının nedenlerini genel olarak gerekli önlemlerin alınmaması, kaza sebeplerinin araştırma yetersizliği, çalışanların nitelikleri ve denetimlerin yapılmaması oluşturmaktadır. Genel olarak iş kaza sebeplerinin %80'i işçilere, %18'i ortam şartlarına, %2'si ise umulmadık hadiseler neticesinde ortaya çıktığı ifade edilmektedir. Genel olarak iş kazalarının %98'i üzerinde önleyici tedbirlerin sağlanmasıyla önüne geçilebileceğini göstermektedir (Karadeniz, 2012).

### Elektriğin Tarihçesi

Elektrik günlük yaşamımızda ilk 1878 yılında kullanılmıştır. Dünya genelinde ilk olarak inşa edilmiş olan elektrik üretme tesisi Londra ilinde inşa edilmiştir. Bu üreten tesis 1878 senesinde faaliyetine başlamıştır. Ülkemizde ise ilk elektrik tesisi Tarsus ilçesinde inşa edilmiş ve 1902 tarihinde faaliyete geçirilmiştir. 1980 yıllarında Dünya'da baş gösteren enerji bunalımından ülkemizde nasibini almıştır. Termik santrallerdeki yakıtların genellikle dışa tabi olması sebebiyle enerji bunalımıyla beraber talep ve arz dengeleri alt üst olmuş

gerekli elektriği üretemeyecek durumlara gelinmiştir. Bunalımdan nasibini alan belediyeler bünyelerinde bulunan üretim işletmelerini TEK'e aktarmışlardır. 1984 senesinde ise 3096 numaralı yasanın yürürlüğe sokulmasıyla TEK'in tekeli bertaraf edilmiş ve gereken izinler alınmak suretiyle özel sektörde de elektrik iletim dağıtım ve üretim alanında hizmet vermesine imkân sağlanmıştır. TEK kuruluşundan 23 sene sonra çıkarılan 513 sayılı Yasanın Hükmünde Kararname ile özelleştirme kapsamına dâhil edilmiştir. Bu düzenlemenin devamı niteliğinde karar ile kurum, TEAŞ (Türkiye Elektrik Üretim Dağıtım Anonim Şirketi) ve TEDAŞ (Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi) olarak iki farklı devlet teşekkülüne ayrılmıştır (Baybora, 2012).

Günlük yaşamdan ziyade elektrik sanayi çalışmalarının da vazgeçilemeyecek bir elemanıdır. Çalışmalarının ve üretimin tamamına yakını elektrik enerjisi ile gerçekleştirilebilen sanayi faaliyetleri işçilerin üstünde de olumsuz tesirler oluşturmaktadır. Sanayi çalışmaları içinde bir yıllık süre zarfında gerçekleşmiş kazaların çoğunlukta bölümünü elektrikle ilgili tehlikeler oluşturmuştur. Buradan hareketle elektriğin faydalarının yaşamımızda çok mühim yeri olabildiği gibi zarar veren tesirlerinden de kaçınmamız icap ettiğini gözler önüne sermektedir.

Elektrik enerjisinin verdiği zararlar içerisinde en önemli olanı elektriğe kapılmadır. Elektrik çarpması insan üzerinde olumsuz olan pek çok etkiyi gösterebilmektedir. Hatta ölümlerle bile sonuçlanabilmektedir. Genellikle eski aletlerin elektriği ileterek yoluyla elektriğe kapılmaya sebep olmaları en önemli çarpılma nedenidir (Kılıç, 2006).

Elektriğin hasarları içerisinde başkada önemli husus ise elektrikli cihazlardan oluşabilecek kaçaklar sebebiyle yangının çıkma tehlikesidir. Elektriğin kaçak nedeniyse iletken olanlardan geçebilecek çok fazla veya kaçak olan akımın iletkenin sıcaklığı artırmasıyla ısınabilen iletkenin yanındaki maddeleri tutuşturulabilmesi veya yanabilme sıcaklığına kadar ısıtması neticesinde yangın hadisesine sebep olmasıdır.

Yangına neden olan elektrik teması, esas olarak kabloları çevreleyen plastik yalıtım malzemelerinin yanması ve kabloların çok fazla ısınması nedeniyle oluşur. Alüminyum ve bakır iletkenler, teknik olarak akkorlaşana kadar akım iletebilirler fakat izolasyonları belirli sıcaklıklara dayanabilir ve bu sıcaklıklar aşıldığında yalıtım malzemesi erir ve özelliklerini yitirir. Bu durum etkili bir yangının başlamasına sebebiyet verebilir. Kablolar duvarların içine döşenmesine rağmen bağlantı kutuları dâhil olmak üzere kablo hatlarında genellikle plastik malzemeler kullanılır ve plastik ısıtıldığında kolayca yana bilen bir üründür. Buna benzer yangın hadiselerinin önüne geçilmesi için devreye 300 mili amperlik yangın kaçak akım röleleri takılmalıdır. Bunun yanında çok sıcak yerlerde silikon izoleli kablolar tercih edilmelidir (Aydoğdu, 2012).

Elektrikli cihazlardan çıkacak radyasyon ihtimali canlılar için çok ciddi riskler oluşturmaktadır. Kansere yol açan radyasyon akımlarından kaçınabilmek için önemli tedbirlerin alınması şart olmuştur.

### **Elektrik Kazalarında Tehlike Unsurları**

Elektrik kazalarının oluşma nedenlerine bakılınca yalıtım yanlışlıklarından sebeplenen kazalar, elektrik kaçağı ile cihazların metal kısımlarının elektrik yüklenmesi neticesinde meydana gelen kazalar, enerji aktarım kanalları ile temas neticesinde oluşabilecek kazalar, elektrik direklerinin üzerinde veya yakınında oluşan kazalar, gerilimli bölgelerin yakınında yapılan işler sebebiyle oluşan kazalar, patlama neticesinde meydana çıkan tehlikeler ve elektriğin hatlarında kısa devre oluşması neticesinde oluşan kazalar şeklinde sıralanabilmektedir.

Ülkemizde oluşan elektrikten kaynaklı kazaların büyük çoğunluğu izolasyon yanlışlarından ve düzensiz kontrollerden kaynaklanır. Aydınlatma devresi de içinde olarıktan ev ve iş yerlerinde elektrik tesisatının tamamı yılda en az 1 kez yetkili sahibi teknik çalışanlar aracılığıyla incelenmeli, ihtiyaç olduğunda tamir edilmelidir (Aytaç, 2011).

### **Elektrik Kazalarından Korunmak İçin Alınacak Tedbirler**

Sanayileşmenin ve teknolojinin çok hızlı geliştiği günümüzde elektriğe duyulmakta olan talepte hızla artış göstermektedir. Artış gösteren taleplerin sonucunda oluşan kazalarda artış göstermektedir. Sanayi kuruluşlarında elektrik enerjisinden kaynaklı kazalar sonucu ölüm oluşabilmesi ihtimal dâhilindedir. Bunun sebebi sanayi de kullanılmakta olan elektriğin şiddeti insan bedeninin kabul edebileceği sınır değer çok üstündedir (İlıcak, 1999).

## Koruyucu izolasyon

İş yerlerinde normal durumlar dahilinde gerilim sınırları içinde bulunmayan fakat yapılmış izolasyonun hata içeren sonuçlarıyla elektrik yüklenebilen bölümlerin yalıtımlı yapılması işlemine koruyucu izolasyon denmektedir. Çoğu işletmede gündelik işlerin yürütülmesi esnasında kullanılan karga burunlar, penseler, tornavida vb. el alet ve edevatlarının tutulacak kısımları elverişli yalıtımlı malzemeler yardımı ile izole edilmiş olmalıdır. Yalıtımı yapılmamış el alet ve edevatları ile çalışma zorunda kalan çalışanlar çok ciddi risklerle yüz yüze kalabilirler. Bununla beraber iş yerlerinde kullanılmakta olan temizlik maddelerinin tamamının tutma yerleri koruyucu izolasyon maddeleri ile kaplanmış olmalıdır (Aktay, 2011).

## Üstünde bulunulan yerin yalıtılması

Yalıtma özelliğine sahip olan tahta ve ayak paspasları panoların hemen önünde bulundurulmalıdır. Bu tahta ve paspaslar panolarda yapılabilecek olan işlerde toprakla personel arasına izolenin sağlanması nedeniyle kullanılmaktadır. Bu tahta ve ayak paspaslarının yapısı, üstü kaygan olmayacak şekilde tırtıklı biçimde olmalıdır. Elastomer veya izoleli maddelerden üretilmiş olmalıdır. Kullanılacak bu izoleli araç gereçler panonun ve elektrik işlerinin olduğu yerin enine göre en az 1 metre boyutunda olmalıdır (Veli, 1987).

Kullanılması planlanan elastomer ve izoleli maddenin eni ise en az üç milimetre kalınlığında olmalıdır. Üç milimetre enindeki yalıtma özelliği olan maddeler en az 30 kilo watt akımlara dayanabilecek durumda olması teste tabi tutulmalıdır. Dört milimetre ene sahip maddelerin kullanılması durumundaysa malzemelerin 40 kilo watt akımlara dayanabilecek durumda olması yapılabilecek muayenelerle teste tabi tutulmalıdır. Kullanılması düşünülen pvc, kauçuk gibi izoleli maddelerin içinde hata bulunması önemli şarttır.

## Küçük gerilimlerin tercihi

1984 senesinde yayınlanmak suretiyle yürürlüğe giren ve 1996 tarihinde de en son değişikliğine uğrayıp yürürlüğe konulmuş olan iç tesisler yönetmeliği madde 34'e istinaden küçük gerilimden faydalanılmasının nedeni, yüksek dokunma gerilmelerinin oluşmasının önüne geçmek içindir.

Elektrik İç Tesisleri Yönetmeliğine göre "Bu koruma sisteminde, akım taşıyan parçaların küçük voltaj tarafına topraklanması ve daha yüksek voltajlı parçalara iletken olarak bağlanması kesinlikle yasaktır."

Genellikle iş yerlerinde nemli ve ıslak yerlerin var olduğu kısımlarda küçük gerilim kullanımına önem verilmelidir. Metal olan malzemelerin çalışma dâhilinde daha aktif bir biçimde kullanıldığı yerlerde ise küçük gerilim özellikli cihazlar ve alet edevat kullanılmalıdır.

İnsanın beden direncini, dokunma alanlarındaki geçiş dirençleri ve genellikle akım hattı üstündeki diğer dirençler etkilemektedir. Belirtilen ölçü aralıkları bireylere göre aynı olmayan aralıklarda olabilmektedir. İnsan bedeni direncinin 2500 ohm alınarak vücuda tehlike arz etmeyen akımın 20 mili amper alınması sağlanırsa 50 volt değerinde dokunma gerilmeleri limit ölçü olarak sayılacaktır. Tüm bu sebeplerden dolayı 50 volt ve üstündeki ağ gerilmeleri tehlikeli gerilimler olarak kabul edilmektedir. İnsan bedenine elektriğin zarar verebilme limiti 50 volt olarak tespit edilmiştir. Bu nedenle küçük gerilimin tercih edilmesinin faydası elektrik enerjisinin canlıya verebileceği olası hasarların önüne geçebilmektir (Haktanır, 2001).

## Topraklama

Topraklama, elektrikli cihazların elektrik kaçağı tehlikesine karşı sağlanan büyük ölçüde öneme sahip bir tedbirdir. Diğer bir tanımla iletken ile elektriğin toprağa sızmasına neden olan kolay bir mekanizmadır.

Topraklama yapılması işleminde uyulması gereken bir takım kurallar mevcuttur. Bu kurallar maddeler halinde şöyle sıralanmıştır; topraklama iletkenin kesiti en az sistemin besleme kablo kesitinde olmalıdır, topraklama iletken kesiti en az konutlarda 2,5 mm<sup>2</sup>, sanayide 4 mm<sup>2</sup> olmalıdır, topraklama iletken rengi yeşil-sarı renkte olmalıdır, korumalı ve takip edilebilir olmalıdır, bağlantı noktaları ölçüm yapılabilir ve görülebilir olmalıdır, galvaniz topraklama lamaları ile bakır iletken bağlantı noktalarında pil oluşmaması için özel önlemler alınmalıdır (Üstünel, 2012).

## Korumaya yönelik topraklama

Koruma topraklaması Elektrik İç Tesisleri Yönetmeliğine göre "insanlar ve hayvanları tehlikeli olan dokunma

ve adım gerilimlerinde oluşan tehlikelere karşı korumak amacıyla gerilim yüklü olmayan iletken olan kurum kısımlarında oluşabilecek yüksek temas geriliminin devamlı kalmasının önüne geçmektir." Adım gerilimi topraklama direncinin 1 m boyutundaki adım ile köprülenen bölüm üzerindeki gerilimdir.

Koruma topraklaması aynı zamanda elektronik cihazların aktif parçalarına ek olarak akımı geçmeyen ancak sızıntı durumunda dokunarak akımı insana aktarma riski olan harici metal parçalar da topraklanır. Tanklar, metal çiftler, yürüyen bantlar ve insanların temas ihtimali olan tüm metal yüzeyler korunacak alanlara dâhil edilmelidir (Kırmızı, 2005).

### **İşletme topraklaması**

İşyerlerinde elektrik akım değerini istenilen seviyelere getirmek için yapılacak olan topraklama türüdür. Alçak gerilim şebekelerinde sistem ve toprağın arasındaki kaçak voltajın belirlenmiş bir değeri aşmasını önlemek için orta ve yüksek gerilim şebekelerinde uygulanmakta metot ülkelerdeki yönetmeliklere göre değişebilmektedir. Bu tip şebekelerde kısa devre akımının tehlikeli etkisini sınırlandırmak için direnç üzerinden topraklama veya çok büyük olmayan güçlerde direkt topraklama yapılabilmektedir (Bayram, 2007).

### **Kaçak akım rölesi**

Kaçak akımdan koruma rölesinin vazifesi, bir izole arızasından meydana gelen arıza akımı oluştuğunda devreyi kesmek ve bu arıza akımına maruz kalabilecek bir kişinin zarar görmesini engellemektir. 30 mA. hassas kaçak akımı koruma rölesi insan yaşamını koruma altına almak için kullanılır. 300 mA. olan röleler, kaçak akımlar ve temas kontağı arızasından kaynaklanan yangın riskinin önüne geçmek için faydalanılır (Çakar, 2014).

### **MATERYAL VE METOT**

Bu çalışmada elektrikle çalışılan sektörlerde iş sağlığı ve güvenliği yasalarının uygulanabilme derecesi saptanmaya çalışılmıştır. Çalışmayla elektrikli çalışma uygulamaları içeren üç adet mobilya üretim firması incelenmiş, iş sağlığı ve güvenliği mevzuatı uygulamasına dair gözlem ve araştırmalar yapılmıştır. Öncelikle iş sağlığı ve güvenliği kapsam dâhilinde bulunan veriler irdelenerek sektördeki çalışan firmaların işleri, iş sağlığı ve iş güvenliği mevzuatı üzerine uluslararası veriler göz önüne alınarak kıyaslanmıştır. Üretimde çalışanların sağlık durumları ve çalışan kesimin güvenliği faaliyetlerine dair Türkiye'deki çalışmalardan örnekler seçilerek sektördeki uygulanma düzeyi araştırılmıştır. Bulgular, seçilen risk değerlendirme metodu ile incelenerek risk analizi yapılmıştır. Bu çalışma ile elektrikli çalışmalar üzerine yapılması gereken doğrular ve uygulamadaki yanlışlıkların ortaya çıkartılması ve insan sağlığına faydalı olacak, iş sağlığı ve güvenliğini artırıcı sonuçlara ulaşılması hedeflenmiştir. Uygulama özelinde araştırma, risk matrisi yöntemi ile Ofis-Line Mobilya Medikal ve Sağlık Hizmetleri Montaj İmalat İhracat İthalat Sanayi A.Ş. fabrikasında gerçekleştirilmiştir. 1993 yılında üretime başlayan fabrika, 60.00 m<sup>2</sup> alanda üretim yapmakta olup ofis mobilyaları başta olmak üzere pek çok sağlık ve mobilya materyalleri üretmektedir. Yaklaşık 50 farklı devlete ihracat yapmaktadır. Çalışma kapsamında söz konusu tesiste iş sağlığı ve güvenliği bakımından saha gözetimi ve belirlenen matris risk değerlendirme metodu ile risk değerlendirilmesi yapılmıştır. Bilindiği üzere yasal mevzuatta iş yerlerinde risklerin incelenmesinin mecbur kılınmasına karşı yöntem ile alakalı bir sınırlandırma bulunmamaktadır. İş sağlığı ve güvenliği kavramı altında elektrikle çalışmaların analizindeki risk değerlendirme yöntemine karar verilirken pek çok metot incelenmiş, sektöre uygun olması açısından "Matris risk analizi" metodu seçilmiştir. Seçilen matris risk analizi metodunun metodolojisi Tablo 1. de verilmiştir. Uygulama öncesinde ve uygulama sırasında metot hakkında derinlemesine bilgi sahibi olunmuş metodun kolay uygulanabilir olması nedeniyle ilgili sektör için tercih edilebileceği belirlenmiştir. Bunun yanında risk değerlendirme metodu olarak risk matrisi seçilmesinin birçok sebebi vardır. Bu sebeplerden bazıları; en çok tercih edilen risk değerlendirme yöntemi olması, daha anlaşılabilir bir yöntem oluşu ve genel bir yapıya sahip olduğundan da uygulanabilir risk değerlendirme yöntemi olmasıdır. Sebep-sonuç ilişkisinden yola çıkarak tehlikeleri ve riskleri belirledikten sonra risk sonucuna göre kontrol önlemlerinin alınmasına imkân sağlamaktadır. Risk matrisleri, risk seviyesinin bulunması ve tehlike derecelendirilebilmesi için yarı sayısal veya niteliksel sonuç seviyelerinin yan yana getirilme metodudur. Risk matrisleri tehlike oluşturma ihtimali olan kaynakları veya risk seviye yönündeki risk müdahalelerinin seviyelerini belirlemek için kullanılır. Riskler tespit edildiğinde risklerin arasında eleme yapmak için sonuç matrisinden yararlanılabilir. Örneğin; hangi risklerin fazla veya detaylı analizlere ihtiyacı olduğu, hangi tür risklere daha erken el atılması gerektiği veya hangilerinin üstteki idareye aktarılması gerektiğinin belirlenmesi için kullanılabilir. Matrisin kullanılması ile eş zamanlı hangi risklerin üstünde fazla durulmaması icap ettiği de bulunabilir. Risk matrisi, matrisin üstünde var olan yere istinaden belirlenmiş tehlikenin kabul edilemeyecek veya kabul edilebilecek olabildiğini saptamak sebebiyle de kullanılmaktadır.

Tablo 1. Risk değerlendirme karar matris metodolojisi

Risk Değerlendirme Karar Matris Metodolojisi					
Zararın gerçekleşme olasılığı (Şans)			İnsan ve/veya çevre üzerinde yaratacağı tahmini zarar (Şiddet)		
Puan	Zararın gerçekleşme olasılığı (Şans)	Ortaya çıkma olasılığı için derecelendirme basamakları	Puan	İhtimal	Derecelendirme
1	Çok küçük	Hemen hemen hiç	1	Çok Hafif	İş saati kaybı yok, hemen giderilebilen, ilk yardım gerektiren
2	Küçük	Çok az ( yılda bir kez ), sadece anormal durumlarda,	2	Hafif	İş günü kaybı yok, kalıcı etkisi olmayan ayakta tedavi
3	Orta	Az ( yılda bir kaç kez )	3	Orta	Hafif yaralanma, yatarak tedavi/yaralanma
4	Yüksek	Sıklıkla ( ayda bir )	4	Ciddi	Ciddi yaralanma, uzun süreli tedavi, meslek hastalığı
5	Çok yüksek	Çok sıklıkla ( haftada bir, her gün ), normal çalışma şartlarında	5	Çok Ciddi	Ciddi yaralanma, uzun süreli tedavi, meslek hastalığı
Risk Değerlendirme Sonucu (Skor)					
Risk Skoru	Açıklama				
25	Risk Kabul edilebilir seviyeye düşürülünceye kadar iş başlatılmamalı, devam eden faaliyet varsa hemen durdurulmalıdır. Gerçekleştiren faaliyetlere rağmen risk düşürülemezse, faaliyet engellenmelidir.				
15,16,20	Riskleri düşürmek için gerekli faaliyetler kısa zamanda (bir kaç hafta) başlatılmalıdır. Risk faaliyetin durdurulmasını gerektirecek kadar büyük değilse çalışmalar kontrollü olarak yetkili kişilerce yönetilmelidir.				
8,9,10,12	Riskleri düşürmek için gerekli faaliyetler başlatılmalı ve en az 6 ay içinde tamamlanmalıdır.				
2,3,4,5,6	Riskleri ortadan kaldırmak için ilave kontrol prosedürlerine ihtiyaç olmayabilir. Ancak mevcut kontroller sürdürülmelidir.				
1	Önlem öncelikli değildir.				

## Risk Değerlendirmesi

Risk değerlendirme kavramı yirminci yüzyılın ilk dönemlerinde emniyetlilik önermesinin meydana getirilmesi ve faydalanılmaya başlanması sonrası ortaya çıkmıştır. Ülkemizde 2012 senesinde yayımlanmak suretiyle hayatımıza girmiş olan 6331 numaralı İSG Kanunu, İSG'ye önlemeyi ön planda tutmayı sağlamıştır. Modern ölçülerdeki bu tutum ile iş yerlerinde kazalar ve meslek hastalıkları meydana gelmeden oluşmasına etki eden faktörlerin önüne geçmek hedeflenmiştir. Önleyici tutumun temelinde faaliyet alanındaki iş sağlığı ve güvenliği tehlikelerinin değerlendirmeye alınması bulunmaktadır.

Yasa bu noktada işverenleri İSG açısından risk analizi gerçekleştirmekle veya yaptırmakla sorumlu hale getirmiştir. İşletmelerde risk değerlendirmelerinin nasıl gerçekleştirileceğinin değerlendirme gerçekleştirecek kişi ve kurumların özelliklerinin belgeleme faaliyetleri gibi usul ve esaslarının ifade ettiği "İSG Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği" yürürlüğe girmiştir.

İSG Risk Değerlendirmesi Yönetmeliğinde:

Tehlike: "İş yerinde bulunan veya dışarıdan gelebilme ihtimali olan, personeli veya işletmeyi olumsuz etkileme riski bulunan zarar ya da hasar verebilme ihtimali,"

Risk: "Tehlikeler sebebiyle oluşacak yaralanmalar, kayıplar veya farklı zarar verebilen neticeler oluşturma olasılığı,"

Risk değerlendirme: "İş yerinde bulunan veya oluşabilecek tehlikelerin tanımlanması, bu tehlikeler sebebiyle kaynaklanacak risklerin analizi ve derecelendirilmesi ve denetim önlemlerinin belirlenmesi için gerekli faaliyetler şeklinde açıklanmaktadır."

Yasal mevzuatta iş yerlerinde risklerin incelenmesi mecbur kılınmasına karşın yöntem ile alakalı bir sınırlandırma yapılmamıştır.

Özellikle 20. yüzyıl başlarında artan tehlikeli madde üretimi, kullanılması ve depolanması büyük boyutta sınıfa kaza ihtimalini fazlaca artırmıştır. Bu sebeple tüm halkın, çalışanların ve çevredekilerin korunması gereği oluşmuş, büyük sınıfa kazaların önlenmesi amacıyla sistemli yaklaşım gereksinimi önem kazanmıştır. 3 Mil Adası'nda ve Çernobil'de nükleer olan büyük çaptaki kazalar itibarıyla kuruluşlar nükleer kuruluşların güven içerisinde işletilebilmesi için faaliyetler yapmıştır. Fakat alışılmış endüstriye bağlı risk değerlendirme faaliyetlerinin hız kazanmasında İtalya Sevesso'daki meydana gelen sınıfa kaza dönüm noktası olmuştur.

## ARAŞTIRMA BULGULARI

Mobilya üretimi üzerine faaliyet gösteren fabrikada yapılan bu risk değerlendirmesinde 19 tehlike unsuru tespit edilmiştir. Elektrikle ilgili olan tehlike unsurları; standartlara uygun olmayan elektrik tesisatı, elektrikli sobaların güvenli olmayan konumları ve durumları, kablo çekme işlerinin bina dışından yapılması, gelişmiş güzel konumdaki uzatma kabloları, prizler, elektronik aydınlatma sistemlerinin kurulmamış ya da yanlış kurulmuş olması, elektronik haberleşme sistemlerinin doğru kurulmamış olması, topraklama sisteminden kaynaklı elektrik kaçağı oluşumu, elektrik panolarının içerisinde kaçak akım rölesi bulunmaması, elektrik kaçaqları,

kaçak akım rölesinin standartlara uygun olmaması, topraklama ile ilgili eksiklikler, elektrik pano kapaklarının açık bırakılması, elektrikli araçların yanlış kullanımı, paratoner sisteminin olmaması veya yanlış kurulmuş olması makinelerin kullanma kılavuzuna uygun kullanılmaması şeklindedir. Bu tehlikeli durumların sonuçları ise makinelerin elektrik ileten kısımlarına temas, elektrik ile doğrudan temas, yetersiz aydınlatma sonucu acil durum anında kargaşa çıkması, kaza ve yaralanma ihtimali, yüksek elektrik akımına kapılma veya yıldırım çarpması sonucu yüksek gerilim altında kalma ihtimalleri olarak saptanmıştır. Saptanan tehlike unsurları için olasılık ve şiddet dereceleri tespit edilmiştir. Nicel risk analizi sürecinde, 5x5 L Tipi Matris yöntemi uygulanmıştır. Bu metotla tehlike unsurları için belirlenen olasılığın ve şiddetin dereceleri L Tipi Matris kullanılmak suretiyle çarpılarak; risk skorları ortaya çıkarılmıştır. Sayısal veriler toplandıktan sonra her tehlike için belirlenmiş olan mevcut durumu, tehlike ve risk faktörlerini, olasılık ve şiddet çarpımı ile elde edilen risk skorunu, alınacak önlemleri, süreç sorumlularını içeren düzeltici önleyici faaliyet öncesi ve sonrası olmak üzere iki bölümden oluşan Matris Risk Değerlendirme Formu hazırlanmıştır (Tablo 2).

Tablo 2. Ofis-Line fabrikasının risk analizi

NO	Bölüm / Faaliyet	Tehlike Kaynağı	Mevcut Durum	DÖF ÖNCESİ			Öneriler/Alınacak Önlemler	Etkilenen Kişiler	DÖF SONRASI			İlgili Mevzuat		
				Tehlike	Olasılık	Şiddet			Risk Skoru	Süreç Sorumlusu	Olasılık		Şiddet	Risk Skoru
				Risk						Termin				
1	Ana Bina-Üretim Alanı	Elektrik	Elektrik tesisatı sürekli kontrol edilerek, ıslak zemin ve ortam için güvenlik tedbirleri alınmalıdır.	Standartlara uygun olmayan elektrik tesisatının yangın sırasında kişilere zarar vermesi. Yangın esnasında elektrik çarpması sonucu yanık, yaralanma, ölüm.	2	5	10	Her türlü binada elektrik iç tesisatı, koruma teçhizatı, kısa devre hesapları, yalıtım malzemeleri, bağlantı ve tespit elemanları, uzatma kabloları, elektrik tesisat projeleri ve kuvvetli akım tesisatı; 4/11/1984 tarihli ve 18565 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan Elektrik İç Tesisleri Yönetmeliğine, 21/8/2001 tarihli ve 24500 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliğine, 30/11/2000 tarihli ve 24246 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan Elektrik Kuvvetli Akım Tesisleri Yönetmeliğine ve ilgili diğer yönetmeliklere ve standartlara uygun olarak tesis edilir.	Çalışanlar, ziyaretçiler, tedarikçiler	İşveren/vekili Sürekli	1	4	4	Binaların yangından korunması hakkında yönetmelik madde 68
2	Ana Bina-Üretim Alanı	Aşırı Sıcak ve Soğuk Çalışma	Soğuk havalarda ısınma sağlanacaktır,	Yetersiz ısınma.	4	4	16	Havaların soğumaya başlamasından önce gerekli hazırlıklar yapılmalıdır.	Çalışanlar, ziyaretçiler,	İşveren/vekili	1	4	4	RG 17.07.2013 tarih ve 28710 sayılı "İŞYERİ BİNA VE EKLENTİLERİNDE ALINACAK SAĞLIK VE GÜVENLİK ÖNLEMLERİNE İLİŞKİN YÖNETMELİK"-



**Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi 2022, 5(2): 232-246**

		Ortami	elektrik tesisatları, elektrik sobalarının konumları ve durumları ayrıca irdelenmelidir	Hastalık, soğuk algınlığı.					tedarikçiler	Sürekli				Barınma yerleri -66 - Barınma, dinlenme ve sosyal amaçlı kullanılan tesisler, yanıcı olmayan ve kolay tutuşmayan malzemeden inşa edilir. Barınma amacıyla çadır ve branda kullanılmaz. Barınma yerlerinin ısıtılmasında, duman, gaz ve yangın tehlikesine karşı gerekli tedbirler alınır, mangal, maltiz, açık ateş vb. kullanılmaz.
3	Ana Bina-Üretim Alanı	Elektrik uzatma kabloları ve prizleri	Elektrik kabloları su ve darbelere karşı gerekli tedbirler alınmalıdır.	Kabloların açıktan geçirilmesi ve ortalıkta bırakılan uzatma kabloları ve prizler.  Takılıp, düşmelere ve elektrik çarpmalarına neden olabilir.	3	4	12	Kablolar yalıtımlı kablo taşıyıcı kanalların içinden geçirilerek iletilmelidir. Kırık ve arızalı prizler yenileri ile değiştirilmeli, yerinden çıkmış prizler ise yerine monte edilmelidir. Sıva üstünden geçirilen kablolar izolasyonlu kablo taşıma kanallarından geçirilmelidir. İşyerindeki bütün elektrik tesisatı yetkili bir elektrik tesisatçısı tarafından yeniden ve uygun şekilde tesis edilmelidir.	Çalışanlar	İşveren/vekili  Sürekli	2	4	8	RG 17.07.2013 tarih ve 28710 sayılı "İŞYERİ BİNA VE EKLENTİLERİNDE ALINACAK SAĞLIK VE GÜVENLİK ÖNLEMLERİNE İLİŞKİN YÖNETMELİK"- İŞYERİ BİNA VE EKLENTİLERİNDE UYGULANACAK ASGARİ SAĞLIK VE GÜVENLİK ŞARTLARI-Elektrik tesisatı-6 - Elektrik tesisinin kurulmasında 30/11/2000 tarihli ve 24246 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan Elektrik Kuvvetli Akım Tesisleri Yönetmeliği, 4/11/1984 tarihli ve 18565 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan Elektrik İç Tesisleri Yönetmeliği ile 21/8/2001 tarihli ve 24500 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği hükümleri dikkate alınarak gerekli sağlık ve güvenlik tedbirleri alınır.
4	Ana Bina-Üretim	Acil durum aydınlatma	Bütün kaçış yollarında, toplanma için	Acil durum aydınlatma sisteminin kurulmamış olması.	3	3	9	Elektrik dağıtım ve jeneratör odalarında, merkezi batarya ünitesi odalarında, pompa	Çalışanlar, ziyaretçiler	İşveren/vekili	2	3	6	RG 26735 sayılı 19.12.2007 tarihli Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik Madde72 - Acil durum

**Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi 2022, 5(2): 232-246**

	Alanı	a sistemi	kullanılan yerlerde, asansörde ve yürüyen merdivenlerde, yüksek risk oluşturan hareketli makineler ve kimyevi maddeler bulunan atölye ve laboratuvarlar da	Acil durum anında kargaşa çıkması, kaza ve yaralanmalar.			istasyonlarında, kapalı otoparklarda, ilkyardım ve emniyet ekipmanının bulunduğu yerlerde, yangın uyarı butonlarının ve yangın dolaplarının bulunduğu bölümler aydınlatılmalıdır.	İler, tedarikçiler	Sürekli				aydınlatma sistemi; şehir şebekesi veya benzeri bir dış elektrik beslemesinin kesilmesi, yangın, deprem gibi sebeplerle bina veya yapının elektrik enerjisinin güvenlik amacıyla kesilmesi ve bir devre kesici veya sigortanın açılması sebebiyle normal aydınlatmanın kesilmesi hâllerinde, otomatik olarak devreye girerek yeterli aydınlatma sağlayacak.	
5	Ana Bina-Üretim Alanı	Doğalgaz	Topraklama çubuğunun olması ve periyodik kontrollerin yapılması.	Elektrik kaçağı oluşması. Elektrik yangını ve patlama.	5	5	25	Ayda bir check list ile görsel kontrol edilmelidir.	Çalışanlar	İşveren/vekili Sürekli	3	5	15	Ayda bir check list ile görsel kontrol edilmelidir.
6	Ana Bina-Üretim Alanı	Elektrik uzatma kabloları ve prizleri	İşyerindeki bütün elektrik tesisatı yetkili bir elektrik tesisatçısı tarafından yeninden ve uygun şekilde tesis edilmektedir.	Kabloların açıktan geçirilmesi ve ortalıkta bırakılan uzatma kabloları ve prizler. Takılıp, düşmelere ve elektrik çarpmalarına neden olabilir.	3	4	12	Kablolar yalıtımlı kablo taşıyıcı kanalların içinden geçirilerek iletilmelidir. Kırık ve arızalı prizler yenileri ile değiştirilmeli, yerinden çıkmış prizler ise yerine monte edilmelidir. Sıva üstünden geçirilen kablolar izolasyonlu kablo taşıma kanallarından geçirilmelidir.	Çalışanlar, ziyaretçiler, tedarikçiler	İşveren/vekili Sürekli	2	4	8	RG 17.07.2013 tarih ve 28710 sayılı "İŞYERİ BİNA VE EKLENTİLERİNDE ALINACAK SAĞLIK VE GÜVENLİK ÖNLEMLERİNE İLİŞKİN YÖNETMELİK" – İŞYERİ BİNA VE EKLENTİLERİNDE UYGULANACAK ASGARİ SAĞLIK VE GÜVENLİK ŞARTLARI-
7	Ana Bina-Üretim Alanı	Elektrik panoları	Bütün panoların içerisinde kaçak akım rölesi bulundurulmalıdır. Elektrik panoları kapıları sürekli kapalı bulunmalıdır.	Elektrik akımı. Gerilime kapılma, ölüm.	4	4	16	Olası gerilime kapılmalarla ilgili eğitimlerin verilmesi.	Çalışanlar	İşveren/vekili Sürekli	3	4	12	21/8/2001 tarihli ve RG 24500 sayılı "Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği" ile 4/11/1984 tarihli ve RG 18565 sayılı "Elektrik İç Tesisleri Yönetmeliği"nin 18. Maddesi
8	Üretim Alanı	Elektrik panosu	Pano kapağını kapalı tutup yarısının kapak üzerine asılmıştır. Pano kapakları üzerine tehlike işareti asılmıştır.	Elektrik panosunun kapağının açık olması. Elektrik çarpması.	3	3	9	Elektrik panolarının kapakları her zaman kapalı konumda bulundurulmalıdır.	Çalışanlar	İşveren/vekili Sürekli	2	3	6	RG 25.04.2013 tarih 28628 sayı "İŞ EKİPMANLARININ KULLANIMINDA SAĞLIK VE GÜVENLİK ŞARTLARI YÖNETMELİĞİ"
9	Üretim Alanı	İş ekipmanı	İşveren, iş ekipmanını	İş ekipmanlarının yanlış kullanımı.	3	5	15	Ayrıca, iş ekipmanının tamiri, tadili, kontrol ve bakımı	Çalışanlar	İşveren/vekili	2	5	10	RG 25.04.2013 tarih 28628 sayı "İŞ EKİPMANLARININ KULLANIMINDA

**Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi 2022, 5(2): 232-246**

		arı	kullanılmakla görevli çalışanlara, bunların kullanımından kaynaklanabilecek riskler ve bunlardan kaçınma yollarına ilişkin eğitim almaları sağlanmaktadır.	Elektrik çarpması, mekanik riskler sonucu kesi, yaralanmalar, uzuv kopması, ölüm.				konularında çalışanlara işverenlerce yeterli özel eğitim verilmelidir.		Sürekli					SAĞLIK VE GÜVENLİK ŞARTLARI YÖNETMELİĞİ" -Çalışanların eğitimi-(1) İşverence iş ekipmanını kullanmakla görevli çalışanlara, bunların kullanımından kaynaklanabilecek riskler ve bunlardan kaçınma yollarına ilişkin eğitim almaları sağlanır.
10	Üretim Alanı	İş ekipmanları	İşveren çalışanlara, kullandıkları iş ekipmanına ve bu iş ekipmanının kullanımına ilişkin yeterli bilgi ve uygun olması halinde yazılı talimat vermektedir.	İş ekipmanlarının üretici firma kullanım kılavuzuna uygun olarak kullanılmamasından kaynaklı tehlikeler.  Elektrik çarpması, kesi ve yaralanmalar, ölüm.	3	3	9	Bu talimat, imalatçı tarafından iş ekipmanı ile birlikte verilen kullanım kılavuzu dikkate alınarak hazırlanır. Talimatlar iş ekipmanı ile beraber bulundurulmalıdır.	Çalışanlar	İşveren/vekili  Sürekli	2	3	6	RG 25.04.2013 tarih 28628 sayılı "İŞ EKİPMANLARININ KULLANIMINDA SAĞLIK VE GÜVENLİK ŞARTLARI YÖNETMELİĞİ"-Çalışanların bilgilendirilmesi-(1) İşveren, iş ekipmanları ve bunların kullanımına ilişkin olarak çalışanların bilgilendirilmesinde aşağıda belirtilen hususlara uymakla yükümlüdür. a) Çalışanlara, kullandıkları iş ekipmanına ve bu iş ekipmanının kullanımına ilişkin yeterli bilgi ve uygun olması halinde yazılı talimat verilir.	
11	Üretim Alanı	Kaynak işleri	Elektriksel güvenlik önlemlerine uyulmalı.	Elektrik çarpması, teması.  Makinenin elektrik ileten kısımlarına temas.	3	3	9	Elektrikli aletlerin bakım ve kalibrasyonlarının düzenli yapılmasını sağlamak.	Çalışanlar	İşveren/vekili  Sürekli	2	3	6	RG 25.04.2013 tarih 28628 sayılı "İŞ EKİPMANLARININ KULLANIMINDA SAĞLIK VE GÜVENLİK ŞARTLARI YÖNETMELİĞİ" -İŞ EKİPMANLARINDA BULUNACAK ASGARİ GEREKLER.	
12	Üretim Alanı	Lazer Kesim	Elektrik ve gaz tekniği	Makinenin elektrik ileten kısımlarına temas.	2	3	6	Uygun kişisel koruyucu donanımlar verilmesi	Çalışanlar	İşveren/vekili	2	2	4	RG 25.04.2013 tarih 28628 sayılı "İŞ EKİPMANLARININ KULLANIMINDA	

**Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi 2022, 5(2): 232-246**

		Makinesi	donanımlarına sahip eğitilmiş kişi çalıştırılmaktadır.	Elektrik çarpması.				Kaçak akım rölelerinin yerleştirilmesi.		Sürekli				SAĞLIK VE GÜVENLİK ŞARTLARI YÖNETMELİĞİ" -İŞ EKİPMANLARINDA BULUNACAK ASGARİ GEREKLER -
13	Üretim Alanı	ADIGE Lazer kesim makinesi	Elektrik ve gaz tekniği donanımlarına sahip eğitilmiş personeli çalıştırılmaktadır.	Elektrik çarpması.(ölümcül)	3	4	12	Uygun kişisel koruyucu donanımlar verilmesi Kaçak akım rölelerinin yerleştirilmesi.	Çalışanlar	Sürekli	2	4	8	RG 25.04.2013 tarih 28628 sayılı " İŞ EKİPMANLARININ KULLANIMINDA SAĞLIK VE GÜVENLİK ŞARTLARI YÖNETMELİĞİ" -İŞ EKİPMANLARINDA BULUNACAK ASGARİ GEREKLER -
14	Üretim Alanı	Pres	Elektrik ve gaz tekniği donanımlarına sahip eğitilmiş kişi çalıştırılmaktadır.	Makinenin elektrik ileten kısımlarına temas. Elektrik çarpması.	3	4	12	Uygun kişisel koruyucu donanımlar verilmesi Kaçak akım rölelerinin yerleştirilmesi	Çalışanlar	İşveren/vekili Sürekli	2	4	8	05.11.2013 tarihli ve 28812 sayılı resmi gazetede yayımlanan Tozla Mücadele Yönetmeliği Madde 8.
15	Üretim Alanı	Cnc	Çalışanlara uygun KKD ler vermekte olup denetlenmesi yapılmaktadır.	Elektriksel Tehlikeler (Tehlikeli Durumlar / Tehlike Alanı). Elektriksel riskler çarpma kapılma.	2	4	8	Bilgilendirmelerin gereğinde bölüm içi çalışanları tarafından da yapılması Çalışanların verilen eğitimlere katılımının sağlanması.	Çalışanlar	İşveren/vekili Sürekli	2	4	8	RG 25.04.2013 tarih 28628 sayılı " İŞ EKİPMANLARININ KULLANIMINDA SAĞLIK VE GÜVENLİK ŞARTLARI YÖNETMELİĞİ" -İŞ EKİPMANLARINDA BULUNACAK ASGARİ GEREKLER -
16	Ana Bina- Üretim Alanı	Elektrik	Elektrik tesisatı yetkili kişilerce kontrol edilmektedir.	Elektrik tesisatının topraklamasının uygun şekilde yapılmamış olması. Elektrik kaçağı, elektrik çarpması.	3	5	15	Elektrik tesisinin kurulmasında 30/11/2000 tarihli ve 24246 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan Elektrik Kuvvetli Akım Tesisleri Yönetmeliği, 4/11/1984 tarihli ve 18565 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan Elektrik İç Tesisleri Yönetmeliği ile 21/8/2001 tarihli ve 24500 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan Elektrik	Çalışanlar, ziyaretçiler, tedarikçiler	İşveren/vekili Sürekli	2	5	10	İŞ YERİ BİNA VE EKLENTİLERİNDE ALINACAK SAĞLIK VE GÜVENLİK ÖNLEMLERİNE İLİŞKİN YÖNETMELİK EK I - Madde 6

**Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi 2022, 5(2): 232-246**

								Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği hükümleri dikkate alınarak gerekli sağlık ve güvenlik tedbirleri alınır.						
17	Ana Bina-Üretim Alanı	Elektrik	Panolarda uygun kaçak akım rölesi bulunmaktadır.	Kaçak akım rölesinin bulunmaması.	3	5	15	İş yerinin ana pano ve tali elektrik panolarında seçicilik ilkesine uygun kaçak akım rölesi (artık akım anahtarı) tesis edilir.	Çalışanlar, ziyaretçiler, tedarikçiler	İşveren/vekili	1	5	5	İŞ YERİ BİNA VE EKLENTİLERİNDE ALINACAK SAĞLIK VE GÜVENLİK ÖNLEMLERİNE İLİŞKİN YÖNETMELİK EK I - Madde 8
				Elektrik kaçağı, elektrik çarpması.						Sürekli				
18	Ana Bina-Üretim Alanı			Uygun tesis edilmeyen elektrik tesisatı.	3	5	15	Elektrik tesisatının projelendirilmesi, kurulması, malzemesinin ve koruyucu cihazlarının seçimi kullanılacak gerilime ve ortam şartlarına uygun olarak yapılır ve bakımı, onarımı, kontrolü ve işletilmesi sağlanır. Bu kapsamda yapılacak testlerde TS HD 60364-4-43 standardı göz önünde bulundurulur ve gerekli kayıtlar tutulur.	Çalışanlar	İşveren/vekili	2	5	10	İŞ YERİ BİNA VE EKLENTİLERİNDE ALINACAK SAĞLIK VE GÜVENLİK ÖNLEMLERİNE İLİŞKİN YÖNETMELİK EK I - Madde 5
				Elektrik kaçağı, kontağı, elektrik çarpması, yangın.						Sürekli				
19	Ana Bina-Üretim Alanı		Paratoner sistemi mevcuttur.	Yıldırım düşmesi ve kaçak elektrik durumunda topraklama tesisatının olmaması.	3	5	15	Binaların yıldırım tehlikesine karşı korunması için ilgili yönetmelik ve standartların gereğinin yerine getirilmesi şarttır. Elektrik yükünün yapı veya yapı içindeki diğer tesisat üzerinde risk yaratmaksızın toprağa iletilebileceği yeterli bağlantının sağlanması ve bir toprak sonlandırma ağı oluşturulması gerekir.	Çalışanlar	İşveren/vekili	1	5	5	BİNALARIN YANGINDAN KORUNMASI HAKKINDA YÖNETMELİK Madde 64
				Elektrik çarplıma.						Sürekli				

## TARTIŞMA VE SONUÇ

Çalışma, Sivas Organize Sanayi Bölgesi'nde faaliyet gösteren Ofis-Line fabrikasındaki iş sağlığı ve güvenliği risklerinin tespit edilmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. Fabrikanın tüm bölümlerinde yapılan çalışmayla sektörün durumu ile ilgili genel bir profil çıkarılması ve bundan sonra yapılacak benzer çalışmalara yol gösterici olması amaçlanmıştır. Matris risk metodu kullanılarak hazırlanan risk değerlendirmesi çalışmasında fabrikadaki yapılan iş ve tehlikelerin ana sebepleri göz önüne alınarak 19 elektrik kaynaklı tehlike başlığı altında incelenmiştir. Bu çalışmayla sırası ile risk değerlendirmesi ve ölçümler-analizler gerçekleştirilmesi neticesinde saptanan tehlikelere çözümler getirilmiş ve işletmeyle paylaşılmıştır. Ayrıca yapılan risklerin derecelendirilmesi sonucu fabrikada gürültü, titreşim, aydınlatma yetersizliği, kimyasal maddelere maruziyet, ahşap tozuna maruziyet, kas iskelet sistemine zarar verici ergonomik uygunsuzluklar, elektrik çarpması, yangın ve patlama ihtimalleri, iş yeri ortamının tertip düzeninden kaynaklanan eksiklikler ile yük taşıma sistemlerinin güvensizlikleri gibi riskler tespit edilebilmiştir.

Bu çalışma neticesinde incelemelerde bulunan fabrikada elektrikle ilgili olan tehlikelere açıklamalı öneriler getirilmiştir; "Elektrik tesisatı standartlara uygun olarak hazırlanmalı ve rutin aralıklarla kontrol edilmelidir, kış ayları gelmeden elektrik sobaları ile ilgili kontroller yapılmalıdır, elektrik kablolarının su ve darbelere maruz kalmaması için tedbirler alınmalıdır, kablolar izoleli kablo taşıma kanallarının içlerinden geçirilmek suretiyle aktarılmalıdır. Kırılmış ve arıza yapmış olan prizlerin yenileri alınmalıdır, yerlerinden çıktığı görülen prizlerin uygun yuvalarına takılmaları sağlanmalıdır. Sivanın üzerinden geçen kablolar izolasyonlu kabloları taşıyan kanallardan geçirilmeli, iş yerinde var olan elektrik tesisatı yetkili tesisatçılar aracılığıyla yeniden ve uygun düzende tesis edilmelidir. Elektrik dağıtım ve jeneratörün bulunduğu odalarda, merkezi batarya ünitesinin bulunduğu odalarda, emniyet ve ilk yardım malzemelerinin bulunduğu alanlarda, yangın uyarıcı düğmelerinin ve yangın dolabının yer aldığı kısımlarda standartlara uygun şekilde aydınlatma yapılmalıdır. Elektronik haberleşme sistemi standartlara uygun kurulmalı ve rutin kontrolleri belirli zaman aralıklarında yapılmalıdır. Yanlış topraklamadan kaynaklanacak elektrik kaçağı sonucu yangın ve patlama ihtimallerine karşı ayda bir kontrol listesi ile görsel kontrol edilmelidir. Panolarda kaçak akım rölesi bulunmadığı durumlarda iş yerinin tali elektrik panolarında ve ana panolarda seçicilik kuralına uygun kaçak akım röleleri tesis edilmelidir. Elektrik pano kapakları sürekli kapalı tutulmalı, olası gerilime kapılmalarla ilgili eğitimler verilmelidir. Ayrıca pano üzerine yetkili kişilerin bilgileri yazılmalıdır. İşveren, iş donanımını kullanmakla yükümlü personele, bunların kullanımı sonucunda oluşabilecek riskler ve bunlardan kaçınabilme yollarına ilişkin eğitim almalarını sağlamalıdır. Ek olarak iş donanımlarının tamirata, tadilatı, kontrol ve bakımı hususlarında personele sorumlu amirler tarafından yeteri kadar eğitim sağlanmalıdır. İşveren işçiye kullandığı iş donanımlarına ve bu donanımların kullanımlarına bağlı yeterli bilgi ve elverişli durumlara dair talimatlar vermelidir. Bu talimatlar, imalatçı aracılığıyla iş donanımıyla birlikte verilmiş olan kılavuz göz önüne alınarak hazırlanmış olmalıdır. Talimatların iş donanımlarıyla birlikte kolay ulaşılabilecek konumda bulundurulması gerekmektedir. Makinelerin elektrik ileten kısımlarına temas sonucu elektrik çarpmaması için elektrikli çalışan cihazların bakım ve kalibrelerinin belirli aralıklarla yapılıyor olması gerekmektedir. Ek olarak elektrikle çalışılan makinelerde elektrik ve gaz tekniği donanımlarına sahip eğitilmiş kişiler çalıştırılmalı, bu kişilere uygun kişisel koruyucu donanımlar verilmeli, en önemlisi de kaçak akım röleleri doğru yerleştirilmelidir. Tüm iş araç gereçleri, çalışanları direkt veya dolaylı yoldan elektrikle temas etme ihtimalinden korunmalıdır. Paratoner sistemi mevcut olmayan binalarda yıldırım düşmesi tehlikesini ortadan kaldırmak amacıyla binaların yıldırım düşme riskine karşı korunması için alakalı yönetmelik ile standartların sağlanması gerekmektedir. Elektrik bina veya bina içerisindeki başka tesisatın üzerinden risk yaratma ihtimali olmadan toprağa iletebileceği güvenli bağlantı sağlanmalı ve bir toprak sonlanma örgüsü oluşturulması gerekmektedir.

Çalışma sonucunda görülmektedir ki kaza meydana geldikten sonra tedbir alınması mantığı olan "reaktif" anlayıştan vazgeçilmeli, kaza meydana gelmeden önleme mantığı olan "proaktif" anlayış sistemi yerleştirilmelidir. Tabloda da görüldüğü gibi düzeltici önleyici faaliyet öncesi 10,8,12 gibi orta derecede tehlikeli olan risk skorları, düzeltici önleyici faaliyet sonrası sırasıyla 5,4,3 gibi düşük dereceli risk skorlarına indirildiği gözlemlenmiştir. Bu çalışması ile çalışanların fabrikada gerçekleştirilen risk derecelendirmesi ve ölçüm neticelerine istinaden tehlikeler, önlemler ve yasal olan mevzuat konularında bilgi edinebilmeleri sağlanmış, gözden kaçmış olan bazı noktaların tespit edilmesiyle düşünce alışverişinde bulunulmuş, yapılan bu çalışmalar fabrika ile paylaşılmıştır.

Bu çalışmada örnek alınan mobilya fabrikasında risk değerlendirme ekibi ile tespit edilebilen tehlikeler ve bu tehlikelerin kaynaklarından doğan yüksek risklerin kabul edilebilir bir noktaya nasıl düşürüleceği ile ilgili çözüm önerileri yönetmelikler kapsamında Tablo 2 Ofis-Line fabrikasının risk analizi tablosunda açıklanmıştır. Çalışanların sağlığını korumak, işin çalışana ve çalışanın işe uyumunu sağlamak amacıyla gereken tedbirler belirlenmiştir.

Risk değerlendirme çalışmaları işverenler açısından da bilinçli yapılmış proaktif yaklaşım ile meydana gelebilecek acil durumlar için sürekli hazır olma, kazaların gerçekleşmediği şirket profili ile ulusal ve uluslararası saygınlık elde etme, güvenli teknolojinin tercihi yapılarak güvenli çalışma ortamının oluşturulması ile büyük ölçüde fayda sağlamaktadır.

Sonuç itibarıyla, ülkemizde İSG kültürü günden güne daha fazla önem kazandığı için iş yerlerinde etkin ve doğru şekilde risklerin değerlendirilmeleri işlemlerinin yapılması ile iş kazalarının ve meslek hastalıklarının sayısında önemli bir düşüş gözlemlenebiliriz. Bunun için de risk değerlendirmesinde karşılaşılan temel eksiklikler hızlı bir şekilde giderilmeli, iş yerlerinde denetimlerin sayısı artırılmalı, yol gösterici nitelikte olan düzeltici ve önleyici tedbirler alınmalıdır. İSG kanunu ve mevzuatlarında açıkça belirtilen işin yürütüldüğü yerlerde uyulması gereken talimatlara uygun çalışıldığı takdirde riskler olabilecek en düşük seviyeye inecektir. Kazaya sebebiyet verecek yorgunluk, stres ve benzeri durumlar yaşandığında işe ara verilmeli ve dikkatsiz davranışlardan kaçınılmalıdır. Bu sayede istenilmeyen maddi ve manevi kayıpların yok edilemeye bile azaltılabileceği öngörülmektedir. Bu noktada çalışanların da üzerine düşen görev; çalıştıkları işle ve ortamla ilgili tehlikeleri iyi bilmesi, gerekli her türlü eğitime katılım sağlaması, eğitim sonunda edindiği bilgileri uygulamaya geçirmesidir.

## KAYNAKLAR

- Aktay, N.,(2011) “İş Sağlığı Ve Güvenliği Eğitimi İle İş Güvenliği Kültürü Arasındaki İlişki”, T.C. Çalışma Ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Teftiş Kurulu Başkanlığı.
- Altan, Z. , Şişman, Y. , Tonus Ö. ve Uçkan B., (2004) Uluslar Arası Çalışma Normları, (Anadolu Üniversitesi Web-ofset Tesisleri, Eskişehir).
- Aydoğdu, Y., Dedeoğlu E. (2012), “Fizik”, T.C. Ortaöğretim Fizik Ders Kitapları, Ankara, MEB Yayınları.
- Aytaç, S. (2011), “İş Kazalarını Önlemede Güvenlik Kültürünün Önemi”, Türk Metal Dergisi, Ekim ve Kasım Sayıları
- Baybora, D. (2012), İş Sağlığı ve Güvenliğine Genel Bakış: İş Sağlığı ve Güvenliği(Ed. D. Baybora), Eskişehir.
- Bayram, M., İlisu İ. (2007), “Elektrik Akımının insan üzerindeki etkisi”, Elektrik Tesislerinde Güvenlik ve Topraklama, TMMOB, EMO Yayınları.
- Çakar, A, E. (2014), “İşçi Sağlığı ve İş Güvenliğinde Günümüz Gelişmelerinde Çok Yönlü Bir Bakış”, Mühendis ve Ma-kine Dergisi, C.55, Ankara.
- Görücü N, (2004), Türk ve İngiliz İş Sağlığı ve Güvenliği Teftiş Sistemlerinin Karşılaştırılması, yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Haktanır, D. (2001), “Yüksek Gerilimde Kısa Devre ve Kısa Devrelerin Üniter Hesabı”, Emobilim, Cilt 1, Sayı 2.
- İlıcak, Ş. (1999), “Elektrik Kazalarında İlk Yardım”, Elektrik Mühendisleri Odası Ankara Şubesi Temmuz/Ağustos Bülteni.
- Karadeniz, O. (2012), “Dünya’da ve Türkiye’de İş kazaları ve Meslek Hastalıkları ve Sosyal Koruma Yetersizliği”, Çalışma ve Toplum Dergisi, C.8, S.34, İstanbul.
- Kılıç, L. (2006), İşverenin İş Sağlığı ve Güvenliğini Sağlama Hükümlülüğü ve Sorumluluğu, Ankara.
- Kırmızı, B. (2005), Türk İş Hukukunda İş Güvenliği ve İş Sağlığı, BEÜ, SBE, YYLP, İstanbul.
- Koç, M., Akbıyık, N. (2011), “Türkiye’de İş Kazalarının Maliyetleri ve Çözüm Önerileri”, İnönü Üniversitesi Akademik Yaklaşımlar Dergisi, C.2, Malatya.
- Ofloğlu, G., Uysal, F. (2000), “İş kazaları ve Meslek Hastalıklarından Kaynaklanan Psiko-Sosyal Sorunların Dışsal Maliyeti”, Kamu-İş Hukuku ve İktisat Dergisi, C.5,S.4, Ankara.
- Özkılıç, Ö. (2005), “İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemleri ve Risk Değerlendirme Metodolojileri”, Ankara, TISK.
- Özkaya, M. (1996), “Yüksek Gerilim Tekniği”, Birsen Yayınevi, İstanbul, Cilt I.
- Üstünel, M. (2012), “Elektrik Tesisat Bilgisi”, Milli Eğitim Bakanlığı Hayat Boyu Öğrenme Genel Müdürlüğü Yayınları, Mesleki Ve Teknik Açık Öğretim Okulu Ders Kitapları Dizisi.
- Veli, S., Cangil, Ö. (1987), Endüstri Sağlığı ve Meslek Hastalıkları – YOTÇEM Ankara.
- Yılmaz, F. (2009), AB ve Türkiye’ de İş Sağlığı ve Güvenliği: Türkiye’de İş Sağlığı ve Güvenliği Kurullarının Etkinlik Düzeyinin Ölçülmesi, İstanbul Üniversitesi(İÜ), Sosyal Bilimler Enstitüsü(SBE), Yayınlanmamış Doktora Tezi(YDT), İstanbul.
- Yavuz, H. (2012), “Tarih Boyunca Elektrik”, TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası.