

JOURNAL OF ICIVILTECH

INNOVATIONS IN CIVIL ENGINEERING AND TECHNOLOGY

YEAR: **2021** VOLUME: **3** ISSUE: **2**

EARTHQUAKE **ENGINEERING**

BUILDING MATERIALS **ENGINEERING**

STRUCTURAL **ENGINEERING**

CONSTRUCTION MANAGEMENT **ENGINEERING**

TRANSPORTATION **ENGINEERING**

GEOTECHNICAL **ENGINEERING**

e-ISSN: 2687-2129

HYDRAULIC AND WATER RESOURCES **ENGINEERING**

Journal of Innovations in Civil Engineering and Technology

(JICIVILTECH)

2021, Volume 3, Issue 2

The Journal Information

Publisher: Hüseyin AKBULUT

Editor-in-Chief: Hüseyin AKBULUT

Editors: Cahit GÜNER, Gökhan GÖRHAN, Gökhan KÜRKLÜ

Field Editor: Murat HİÇYILMAZ

Secretary of Publication: Ayfer ELMACI, Burak Enis KORKMAZ, Şule YARCI

Access: Open Access

Language of Publication: English and Turkish

Publication Frequency: Twice a year (in December and June)

Type of Publication: Peer-reviewed and periodical

e-ISSN: 2687-2129

Telephone: +90 272 2182 30 00 (2324)

E-mail: j.civiltech@gmail.com

Webpage: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/jiciviltech>

Correspondence Address: Afyon Kocatepe University, Engineering Faculty, Civil Engineering Department, Ahmet Necdet Sezer Campus, 03200, Afyonkarahisar, TURKEY.

Advisory Board of the 2nd Issue

Ahmet Raif BOĞA, *Afyon Kocatepe University, Turkey*
Ahmet YILDIZ, *Afyon Kocatepe University, Turkey*
Alan WOODSIDE, *Brunel University, United Kingdom*
Bojan ZLENDER, *University of Maribor, Slovenia*
Dunja PERIC, *Kansas State University, United States*
Erol TUTUMLUER, *University Of Illinois At Urbana-Champaign, United States*
Hasan TOSUN, *Eskisehir Osmangazi University, Turkey*
Hashem R. AL-MASAEID, *Jordan University of Science and Technolgy, Jordan*
Hüseyin Yılmaz ARUNTAŞ, *Gazi University, Turkey*
Imad L. AL-QADI, *University Of Illinois At Urbana-Champaign, United States*
Iqbal KHAN, *King Saud University, Saudi Arabia*
Ivanka NETINGER, *University of Osijek, Croatia*
İlhami DEMİR, *Kırıkkale University, Turkey*
İsmail DEMİR, *Afyon Kocatepe University, Turkey*
João Pedro SILVA, *Polytechnic Institute of Leiria, Portugal*
Masayasu OHTSU, *Kyoto University, Japan*
Mehmet SALTAN, *Süleyman Demirel University, Turkey*
Meltem SAPLIOĞLU, *Suleyman Demirel University, Turkey*
Meor Othman HAMZAH, *University Sains Malaysia, Malaysia*
Mujib RAHMAN, *Brunel University, United Kingdom*
Murat KANKAL, *Uludağ University, Turkey*
Murat Vergi TACIROĞLU, *Mersin University, Turkey*
Paula FOLINO, *University of Buenos Aires, Argentina*
Roumiana ZAHARIEVA, *University of Architecture, Bulgaria*
Serdal TERZİ, *Süleyman Demirel University, Turkey*
Sri Atmaja P. ROSYIDI, *Muhammadiyah University of Yogyakarta, Indonesia*
Tamer BAYBURA, *Afyon Kocatepe University, Turkey*
Veli BAŞARAN, *Afyon Kocatepe University, Turkey*

Reviewer List of the 2nd Issue

Ahmet Raif BOĞA, *Afyon Kocatepe University, Turkey*
Altan ÇETİN, *Bartın University, Turkey*
Cahit GÜRER, *Afyon Kocatepe University, Turkey*
Erdem ÇOBAN, *Haliç University, Turkey*
Evren SEYREK, *Dımlupınar University, Turkey*
Gökhan DURMUŞ, *Gazi University, Turkey*
İlhami DEMİR, *Kırıkkale University, Turkey*
Kamil Bekir AFACAN, *Eskişehir Osmangazi University, Turkey*
Mehmet CANBAZ, *Eskişehir Osmangazi University, Turkey*
Meltem SAPLIOĞLU, *Suleyman Demirel University, Turkey*
Murat KANKAL, *Uludağ University, Turkey*
Murat KİLİT, *Afyon Kocatepe University, Turkey*
Mustafa Serhat BAŞPINAR, *Afyon Kocatepe University, Turkey*
Nihat MOROVA, *Applied Sciences University of Isparta, Turkey*
Osman Nuri ÇELİK, *Konya Technical University, Turkey*
Serdal TERZİ, *Suleyman Demirel University, Turkey*
Soner UZUNDURUKAN, *Suleyman Demirel University, Turkey*
Şevket ASLAN, *Erciyes University, Turkey*

Contents / İçindekiler

Articles / Makaleler	Sayfa
Mustafa Yavuz ÇELİK, Hüseyin AKBULUT, Ahmet ŞAHBAZ The Characterization of Crushed Natural Stone Aggregates <i>Kırılmış Doğal Taş Agregaların Karakterizasyonu</i>	55-77
Elham AGHLARA Rapid Cumulative Impact Assessment for Land Use Planning in Dhaka City <i>Dakka Şehrinde Arazi Kullanım Planlaması için Hızlı Kümülatif Etki Değerlendirmesi</i>	79-91
Eslam I. N. Elhawary, Ashraf H. H. Elsafoury, Seleem. S. E. Ahmed Assessment of High-Performance Fiber Reinforced Concrete (HPFRC) Durability Due to Exposing to Different Environmental Media <i>Farklı Çevresel Ortamlara Maruz Bırakılan Yüksek Performanslı Lif Takviyeli Beton (HPFRC) Durabilitesinin Değerlendirilmesi</i>	93-114
Nimet ŞİMŞEK, İsmail KILIÇ Keçi Kılının Lif Olarak Horasan Harcında Kullanılması <i>Using Goat Hair as Fiber in Horasan Mortar</i>	115-131
Burcu DEREYURT BORAK, Gökhan GELİŞEN İnşaat Sektöründe Faaliyet Gösteren İşletmelerdeki Yöneticilerin Benimsedikleri Dönüşümcü Liderlik Davranışları <i>Transformational Leadership Behaviours by Managers in Business Operating in the Construction Sector</i>	133-154
Anita GOJEVIĆ, Ivanka NETINGER GRUBEŠA, Berislav MARKOVIĆ, Nikolina FILIPOVIĆ Efficiency of Self-Healing Chemical Additives on the Freeze/Thaw Resistance of Cement Composites <i>Çimento Kompozitlerinin Donma/Çözülme Direnci Üzerinde Kendi Kendini İyileştiren Kimyasal Katkı Maddelerinin Etkinliği</i>	155-168
Kemal SAPLIOĞLU, Ramazan ACAR Taban Akışının Simbiyotik Arama Algoritması ile Tespit Edilmesi: Fırat Havzası Örneği <i>The Detection of Baseflow with Symbiotic Search Algorithm: Fırat Basin Example</i>	169-183

Contents / İçindekiler

Articles / Makaleler	Sayfa
Murat KİLİT, Uğur Şafak ÇAVUŞ, İsmail ZORLUER Portland Kompoze Çimento Katkısı ile Şişen Killerin Stabilizasyonu <i>Stabilization of Swelling Clays with Portland Cement Admixture</i>	185-193

Araştırma Makalesi / Research Article

**The Characterization of Crushed Natural Stone
Aggregates**

*¹Mustafa Yavuz ÇELİK, ²Hüseyin AKBULUT, ³Ahmet ŞAHBAZ

¹Afyon Kocatepe University, Afyon Vocational School, Marble Technology Department, Afyonkarahisar. Turkey, mycelik@aku.edu.tr, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9695-7370>

²Afyon Kocatepe University, Faculty of Engineering, Civil Engineering Department, Afyonkarahisar. Turkey, hakbulut@aku.edu.tr, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-4504-4384>

³Mining Eng, Eskişehir, Turkey, ahmtsahbaz7@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4860-0000>

Geliş / Recieved: 16.04.2021;

Kabul / Accepted: 05.09.2021

Abstract

Marble and volcanic rocks are a widespread aggregate resource and are increasingly being used in concrete constructions worldwide. This paper presents a study's results to compare the properties of concretes prepared with marble, andesite, and basalt used as aggregates. Three aggregate types were supplied locally from three different areas in Turkey. Chemical, petrographic, and mineralogical analysis was carried out on all these samples. A variety of laboratory tests determined the physical and mechanical properties of all aggregates. Water absorption, material finer than 63 µm, Los Angeles abrasion test, Mg2SO4 soundness, and alkali-silica reaction indicate that andesite aggregate is of lower quality than basalt marble aggregates. Test results show that crushed marble concrete has the highest workability, followed by crushed basalt and crushed andesite aggregates.

Keywords: Concrete, Aggregate, Natural stone, Marble, Basalt, Andesite.

*¹Sorumlu yazar / Corresponding author

Bu makaleye atıf yapmak için

Çelik, M. Y., Akbulut, H., & Şahbaz, A. (2021). Characterization of Crushed Natural Stone Aggregates. *Journal of Innovations in Civil Engineering and Technology (JICIVILTECH)*, 3(2), 55-77.

Kırılmış Doğal Taş Agregaların Karakterizasyonu

Öz

Mermer ve volkanik kayalar yaygın bir agrega kaynağıdır ve dünya çapında beton yapılarında giderek daha fazla kullanılmaktadır. Bu makalede agrega olarak kullanılan mermer, andezit ve bazaltın karakterizasyonu amacıyla hazırlanmıştır. Türkiye'deki üç farklı bölgeden üç agrega türü tedarik edilmiştir. Tüm bu numuneler üzerinde kimyasal, petrografik ve mineralojik analizler yapılmıştır. Çeşitli laboratuvar testleri ile tüm agregaların fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Su emme, 63 µm'den az malzeme, Los Angeles aşınma testi, Mg₂SO₄ sağlamlığı ve alkali-silika reaksiyonu, andezit agregasının bazalt mermer agregalarından daha düşük kalitede olduğunu göstermektedir. Test sonuçları, kırılmış mermer agregaların en yüksek beton işlenebilirliğine sahip olduğunu, ardından kırılmış bazalt ve andezit agregalarının geldiğini göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Beton, Agrega, Doğal taş, Mermer, Bazalt, Andezit.

1. Introduction

Concrete is made from a mixture of cement, water, and aggregate. Natural materials such as river sand and crushed stone are generally used in concrete as aggregates. The properties of the used aggregate influence the performance of the concrete. Aggregate type, particle size, and shape are essential. The manufacture of concrete products (concrete blocks, block paving, bricks, flooring, etc.) and ready-mixed concrete is essential for sand and gravel. It is an increasingly important use of crushed stone; although sand and gravel in the region are limited, concrete has been an essential use for crushed stone for a long time. Some rocks are suitable for use as aggregate; notably, marble and dolomite have a wide range of industrial applications globally. Due to being a low-cost product and widely spread, they are used in a considerable amount. In addition, reusing aggregates has become increasingly prevalent, and the substitution of natural aggregates with artificial aggregates generated from waste products from other sectors is a minor component of the industry (Limbachiya et al., 2000; Xiao et al., 2006; Etxeberria et al., 2007).

Several investigators have examined the impact of various aggregate kinds on concrete. Wu et al., (2001) examined the influence of crushed quartzite, crushed granite, and marble as coarse aggregate on the mechanical characteristics of high-performance concrete. Kılıç et al., (2008) studied the effect of five different aggregate types (gabbro, basalt, quartzite, marble, and sandstone) on the

strength characteristics and abrasion resistance of high strength silica fume concrete. Meddah et al., (2010) examined the effects of coarse aggregate concentration and particle size distribution on the compressive strength of concrete. Their findings revealed that the mixture with a ternary combination of coarse fraction with a maximum size of 25 mm, without admixtures, had the best compressive strength. Yılmaz and Tugrul (2012) studied the impact of various sandstone aggregates on concrete strength. Uysal (2012) investigated the impact of five distinct coarse aggregate types (basalt, marble, dolomite, marble, and sandstone) on abrasion, compressive strength, static and dynamic elastic moduli, and ultrasonic pulse velocity of concrete.

Several investigators have reported the influence of limestone (Özturan and Çeçen, 1997; Poitevin 1999; Donza et al., 2002; Zarif and Tuğrul, 2003; Al-Oraimi et al., 2006), andesite (Black, 2005) and basalt (Özturan and Çeçen, 1997; Alonso et al., 2002; Korkanç and Tugrul, 2004; El-Dash and Ramadan, 2006; Zega et al., 2010) of aggregates to the strength of different individual rocks.

The purpose of this study is to explain how the characteristics of various natural aggregates affect the properties of concrete. This article compares the properties of concretes prepared with the used marble, andesite, and basalt as aggregates. The concrete's physical and mechanical characteristics were studied.

2. Material and Methods

2.1. Raw materials

2.1.1. Cement

Portland cement CEM I 42.5 R was utilized in all concrete mixes, and it met the TS EN 197-1 (2005) standard.

2.1.2. Aggregates

Marble and limestone, which are widespread in Afyonkarahisar, Turkey,

form the primary source of locally crushed rock aggregates. Three types of crushed aggregates, marble, andesite, and basalt, were used as the aggregates in concrete production. Crushed particles with particle sizes ranging from 0 to 22 mm are described as fine, medium, and coarse aggregates, and include crushed basalt (IB) from Ilıca-Kütahya, crushed andesite (IA) from İscehisar-Afyonkarahisar, and marble (BM) from Beyyazı-Afyonkarahisar. Figure 1 shows a map of the location of rock quarries.

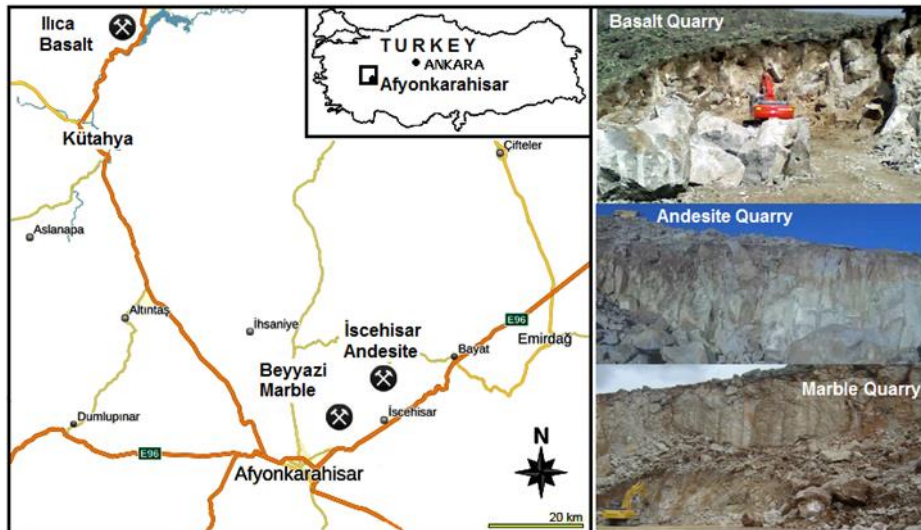


Figure 1. Location map of natural stone quarries used as an aggregate in Afyonkarahisar and Kütahya (Turkey).

2.2. Mix design

Three natural aggregates were used; all were crushed from marble, andesite, and basalt rocks, which were kept constant in all the mixes. The cement used was CEM I 42.5R with a content of 280 kg/m³. Table 1 shows the mixed proportions utilized in this experiment.

The dry ingredients were combined in the rotating pan's 55 dm³ capacity. The standardized mixing process was as follows: cement and all aggregates were mixed first, followed by water. The whole mixing time was around 4 minutes. All mixtures had a water-to-cement ratio of 0.54. From each mix, 15×15×15 cm cubes were cast. All samples were compressed into three

layers, with each layer compacted 25 times (Fig 2). After 24 hours, the specimens were taken from the mold. After that, the specimens were cured in a

water tank for 7 to 28 days. At the end of the curing period, all specimens were tested.

Table 1. Concrete mix proportions

Material	Quantity (kg/m ³)
Cement (42,5 CEM-I R)	280
0-4 mm aggregate	1150
4-12 mm aggregate	310
12-22 mm aggregate	480
Water	175
w/c	0.54



Figure 2. Filling the molds with concrete

2.3. Chemical, mineralogical and petrographic analysis

X-ray fluorescence (XRF) spectrometry was used at the Çanakkale Seramik Laboratory (Turkey) to identify major element oxides. A polarizing optical microscope (Nikon LV100POL) was used to study the mineralogical and petrographic characteristics of marble, andesite, and basalt rocks at Afyon Kocatepe University (Turkey), and XRD analyses are undertaken by the Çanakkale Seramik Laboratory (Turkey).

2.4. Properties of aggregates and concrete

Crushed aggregates were separated based on size. It was sieved using standard sieves and divided into three groups: 0-4, 4-12, and 12-22 mm. The separated aggregate combinations were achieved with a grade that requirements the standards of TS 3530 EN 933-1. Different physical and mechanical properties were determined for each aggregate sample (basalt, andesite, and marble aggregates) such as grain size distribution, loose unit weight, condensed unit weight, bulk specific gravity (saturated surface dry), dry

specific gravity, apparent specific gravity, material finer than 63 µm, water absorption, percentage of fines, flakiness index, Los Angeles abrasion test, freeze-thaw loss,% (with Magnesium sulfate), the methylene blue test, organic impurities, chloride content, sulfide soluble in acid, total sulfur content, alkali-silica reaction (ASR). According to

TS EN (Technical Specification European Standard) standards, the laboratory tests are performed at the Sağlamlar İnsaat A.S Laboratory in Afyonkarahisar, Turkey. Aggregates and concrete samples for physicomechanical tests and Table 2 includes the standards utilized for each test performed.

Table 2. Related standards for aggregates tests

Tests	Related standards
Grain size distribution	TS 3530 EN 933-1 (1999)
Loose unit weight (bulk density) (kg/m ³)	TS 3529 (1980)
Condensed unit weight (bulk density) (kg/m ³)	TS 3529 (1980)
Dry specific gravity (g/cm ³)	
Bulk specific gravity (saturated surface dry)	TS EN 1097-6 (2002)
Apparent specific gravity	
Water absorption (%)	TS EN 1097-6 (2002)
Material finer than 63 µm	TS 3530 EN 933-1 (1999)
Percentage of fines (%)	TS 3527 (1980)
Flakiness Index (%)	TS 9582 EN 933-3 (1999)
Los Angeles abrasion test (%)	TS EN 1097-2 (2000)
Freeze-thaw loss, % (with Magnesium sulfate)	TS EN 1367-2 (1999)
The methylene blue test	TS EN 933-9 (2010)
Organic impurities	TS EN 1744-1 (2010)
Chloride content	TS EN 1744-1 (2010)
Sulfide Soluble in Acid	TS EN 1744-1 (2010)
Total Sulfur Content	TS EN 1744-1 (2010)
Alkali-silica reaction (ASR)	ASTM C 1260 (1997)

3. Experimental Investigation and Results

3.1. Chemical analysis

Chemical analyzes were performed to determine the chemical properties of the stones being tested. The origin of the

volcanic rocks was determined according to the results of chemical analysis. Table 3 shows the findings of the chemical analysis. Because they looked to be the best and were already extensively used, the chemical criteria silica (SiO₂) weight percent and total alkalis (Na₂O+ K₂O) wt percent were

chosen (Le Bas and Streckeisen 1991). As shown in Fig. 3, andesite and basalt samples are categorized using $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O} - \text{SiO}_2$ diagrams (Le Bas et al.,

1992). It is seen that andesite samples are located in the trachy-andesite area; however, basalt is located in the basaltic andesite area.

Table 3. Chemical composition of rocks used as aggregates

		SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	MnO	LOI
Basalt	1	52.80	15.60	0.90	8.03	9.00	4.20	2.78	2.46	0.142	3.40
	2	53.30	15.90	0.95	8.21	9.05	4.11	2.83	2.49	1.155	2.70
	3	52.20	16.20	0.89	8.11	9.10	4.16	2.90	2.37	0.880	3.20
Andesite	1	60.30	15.08	0.83	6.12	4.31	1.36	3.14	4.12	-	3.00
	2	61.00	17.00	0.56	5.46	4.32	1.40	3.27	4.78	-	2.20
	3	60.70	16.23	0.78	6.11	4.40	1.68	3.41	4.01	-	2.70
Marble	1	0.21	0.17	0.01	0.07	35.20	17.72	0.02	0.01	-	47.00
	2	0.31	0.14	0.01	0.05	37.00	16.91	0.01	0.01	-	46.00
	3	0.22	0.18	0.01	0.05	36.00	16.35	0.01	0	-	47.00

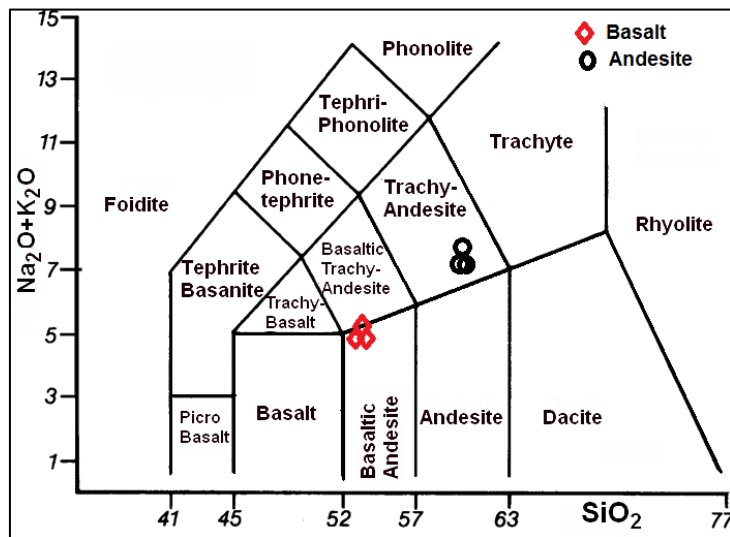


Figure 3. The classification of the volcanic rocks based on total alkali versus silica (TAS diagram proposed by Le Bas et al., (1992)).

3.2. Mineralogical and Petrographic Analysis

Polarizing optical microscope studies

The mineralogical and petrographic characteristics of the examined rocks

were investigated using a polarizing optical microscope and X-ray diffractometry (XRD). Thin section studies determined the petrographic characteristics of the collected rocks from the Afyonkarahisar and Kütahya regions. These investigations

determined the mineralogical composition, matrix, and particle size of the examined rocks.

Basalt is an extrusive igneous rock composed primarily of plagioclase and pyroxene minerals. It had a holocrystalline to hypocrystalline texture, with fine grain size and rare plagioclase and pyroxene. In a thin section, the İlica-Kütahya basalts contain plagioclase (feldspar), clinopyroxene, and olivine minerals. Partially altered olivine micro phenocrysts, plagioclase microlites show flow texture. Olivine appears mainly as subhedral to anhedral phenocrysts and micro phenocrysts in the matrix. Plagioclase is the gray mineral, olivine is the bluish-green to blue grain at the top, and the rest is mainly pyroxene (Fig. 4).

Andesite is a kind of rock that is intermediate in composition between primary (basalt) and acid (rhyolite). Andesite is a grey-black, fine-grained volcanic rock rich in silica (53–63%). It has a porphyritic texture and is made up

of microliths of plagioclase (feldspar) and pyroxene, feldspar, pyroxene, and biotite phenocrysts in a glass matrix. In a thin section, the İscehisar-Afyonkarahisar andesite contains crystals of plagioclase, sanidine, clinopyroxene, hornblende, biotite, and olivine minerals (Fig. 5). Plagioclase crystallizes as microlites and sometimes as small phenocrysts with a flowing texture.

Marble, or recrystallized limestone, is a common aggregate resource in the Afyonkarahisar region and is increasingly being utilized in concrete construction. In a thin section, the Beyyazi-Afyonkarahisar marble contains crystals of calcite and dolomite minerals. Calcite crystals with mostly curved borders are uncommonly embayed and sutured. Calcite is abundant; the more significant pieces show regular polysynthetic twinning. Beyyazi-Afyonkarahisar marbles have a granoblastic texture and concentrated veins formed by dolomite minerals (Fig. 6).

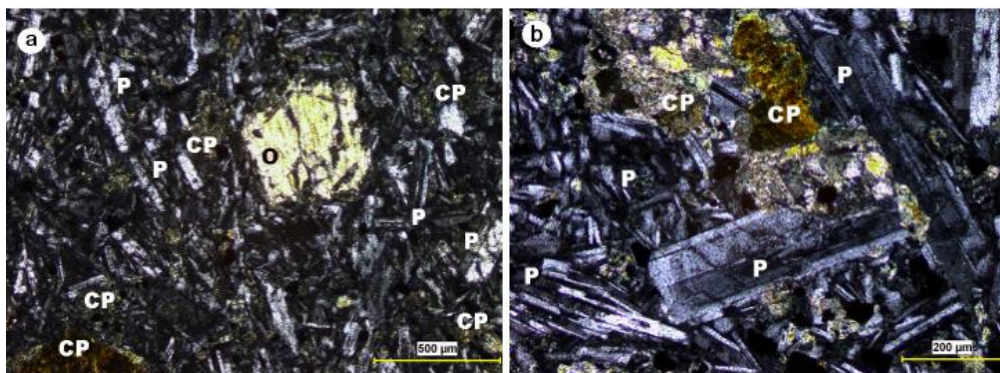


Figure 4. A photograph of a thin section of İlica basalt (IB) with a fine-grained groundmass with plagioclase (P), clinopyroxene (CP), and olivine (O) crystals. Photomicrographs (a-b) taken with crossed Nicols.

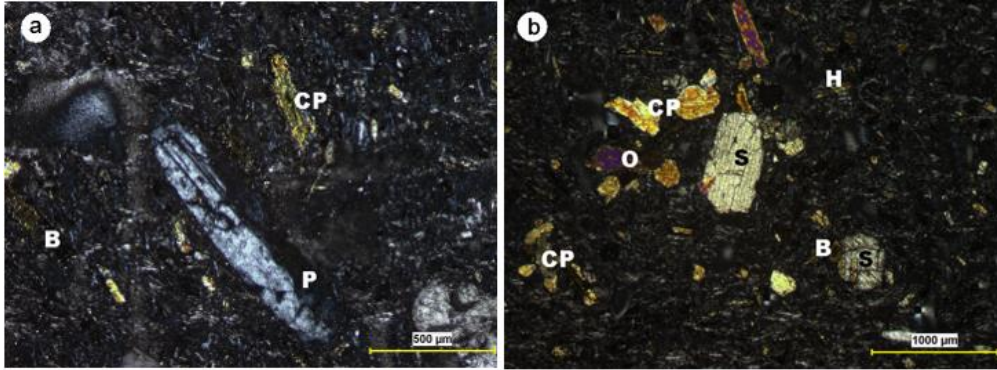


Figure 5. A photograph of a thin section of an İschehisar-Afyonkarahisar andesite with a fine-grained groundmass with plagioclase (P), sanidine (S), clinopyroxene (CP), hornblende (H), biotite (B), and olivine (O) crystals. Photomicrographs (a-b) taken with crossed Nicols.

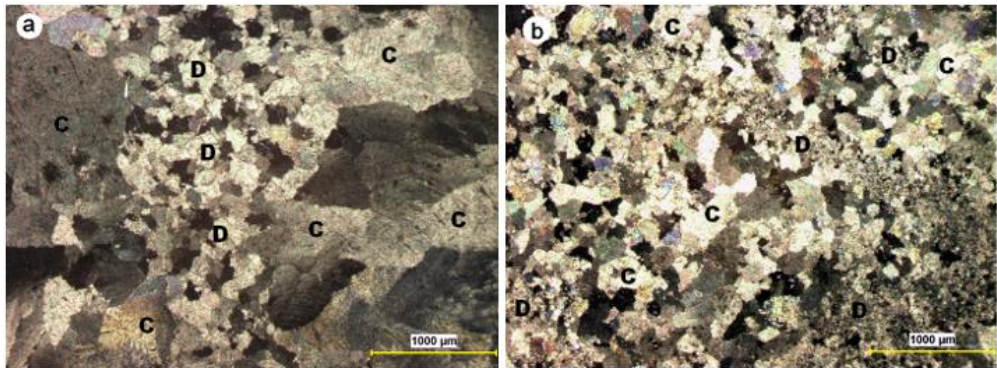


Figure 6. A photograph of a thin section of a Beyyazi-Afyonkarahisar marble with calcite (C) and dolomite (D) crystals. Dolomite minerals were formed along in the fractures. The photomicrographs (a-b) were taken with crossed Nicols.

X-ray diffractometry (XRD) analyses

The mineralogical nature of basalt, andesite, and marble crystalline phases was determined by X-ray diffraction research. XRD analyses of the İlica basalt reveal that labradorite, sanidine, muscovite, and montmorillonite are present within the rock. The XRD pattern for an İlica basalt sample is depicted in Fig. 7. The İschehisar andesite samples are composed of sanidine,

montmorillonite, muscovite, andesite and tridymite (Fig. 7). Tridymite, the main silica phase, is found solely in andesite samples. In addition to this mineral, volcanic rocks include a substantial component of amorphous materials (volcanic glass). In XRD patterns of Beyyazi marble, two peaks of calcite and dolomite minerals were observed (Fig. 7). Rock is called dolomitic marble.

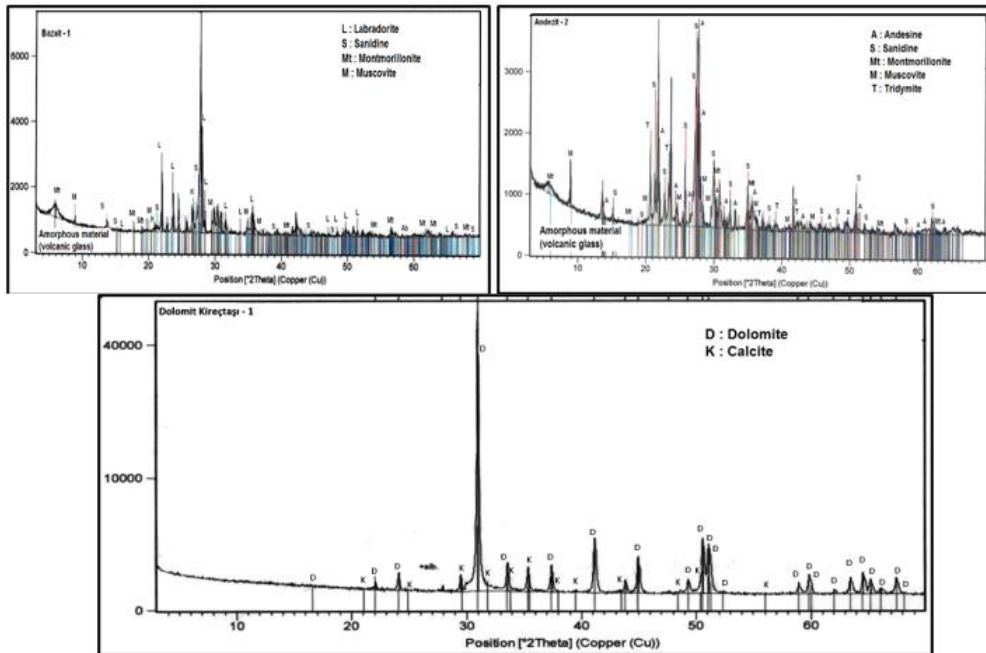


Figure 7. X-ray diffraction (XRD) diffractogram of basalt, andesite, and marble samples.

3.3. Aggregate tests

Aggregate, the primary ingredient of concrete, accounts for 60 to 80 percent of the overall volume of the material. The workability and hardened characteristics of concrete are affected by the kind and particle size distribution of the aggregates. There are two primary reasons for increasing the aggregate content of concrete. The first is that cement costs more than aggregate; therefore, utilizing more aggregate lowers the cost of creating concrete. The second is that most hardened concrete durability issues, such as shrinkage and freezing, and thawing, are caused by cement (Rached et al., 2009). A variety of laboratory tests determined the physical and mechanical properties of all aggregates. TS and TS EN Standards

performed tests. Every test was carried out at least three times.

3.3.1. Grain size distribution

The frequency of a distribution of a given aggregate's particle sizes is characterized as an aggregate's gradation (Lamond and Pielert, 2006). Aggregate particle size distribution is one of the most important characteristics regarding the utilization of aggregates in concrete. Sample rocks were crushed into aggregates using a priming crusher, then sieved and divided into three sizes: 0–4 mm as fine aggregate, 4–12 mm as medium aggregate, and 12–22 mm as coarse aggregate. The separated aggregate combinations were achieved with a grade that meets the standards of TS 3530 EN 933-1 (1999). Three crushed aggregates were tested and used in this study: basalt, andesite, and marble.

Table 4 depicts the particle size distribution of the aggregates examined. Figure 8 depicts the sieve analysis test findings, divided into three sizes: 0–4 mm as fine aggregates, 4–12 mm as medium aggregates, and 12–22 mm as coarse aggregates. As demonstrated in Fig 9, the sieve analysis value of the ratio obtained for all mix aggregate is within the required limit. The grading curve for natural aggregates is positioned between the lower and higher limits of the aggregate grading requirement from TS 706 EN 12620. (2009). As a result of this finding, all aggregates are appropriate for concrete building operations.

3.3.2. Unit weight (bulk density) and specific gravity

The bulk density of an aggregate, or its unit mass, represents a portion of its void content at a particular degree of compaction and is, therefore, an indirect indicator of its grading and form properties. For typical aggregates, the bulk density ranges from 1200 to 1800 kg/m³ (Smith and Collis 1993). The aggregates' loose unit weight (bulk density) and condensed unit weight are calculated using the TS 3529 test technique.

Table 4. Grading of crushed aggregates for all aggregate type (% Passed)

Sieve (mm)	Basalt			Andesite			Marble		
	0-4 mm	4-12 mm	12-22 mm	0-4 mm	4-12 mm	12-22 mm	0-4 mm	4-12 mm	12-22 mm
22.4			100			100			100
16			51.65			25.42			22.21
11.2		95.55	10.9		96.87	3.37		97.08	1.13
8		52.04	0		40.83	0		46.94	0
5.6		19.05			6.86			8.1	
4	89.32	0		97	0		98.44	0	
2	66.63			63.86			69.87		
1	49.94			45.24			51.45		
0.5	37.82			31.79			38.28		
0.250	26.41			21.33			28.91		
0.125	16.33			11.96			17.86		
0.063	7.3			3.9			6.1		
	0			0			0		

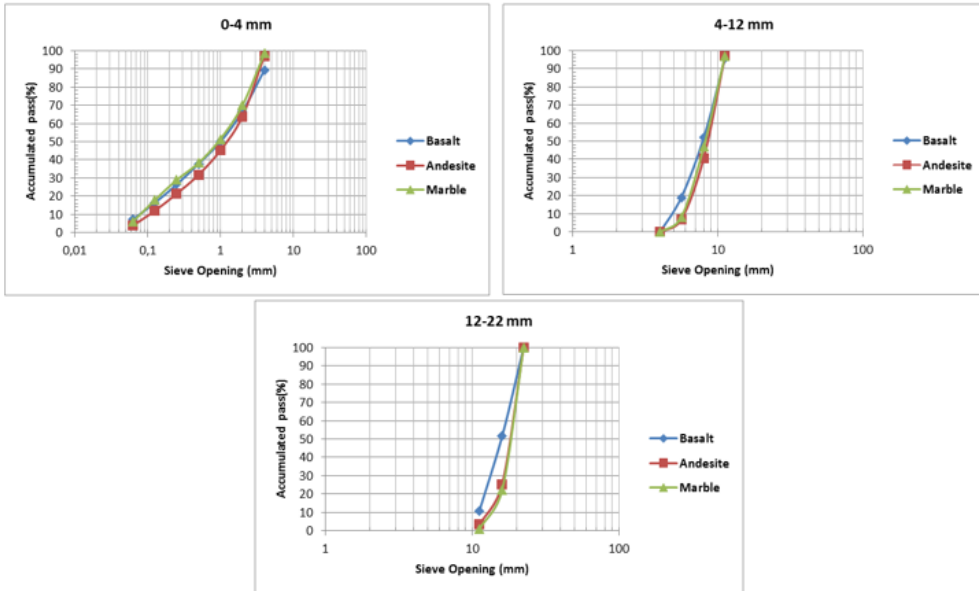


Figure 8. Grain-size distributions curve of the separated into three different sizes of natural aggregates.

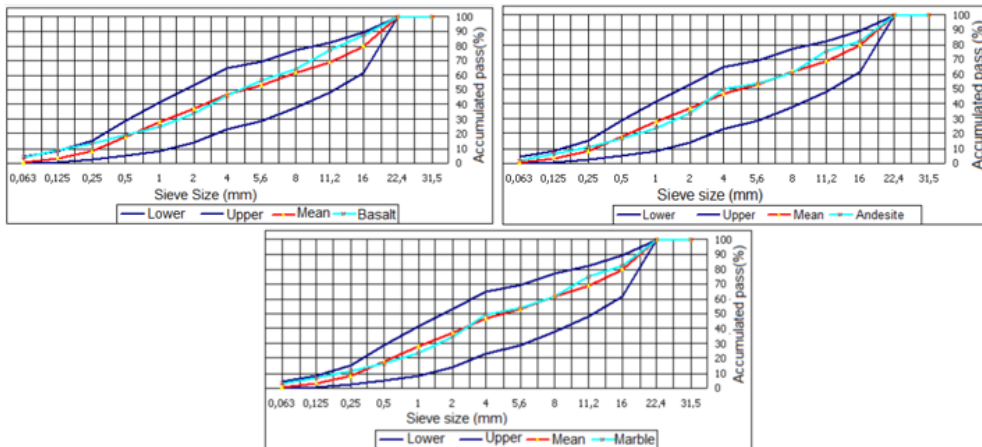


Figure 9. Sieve analysis within the lower and upper limit of the grading requirement for crushed natural aggregates from TS 706 EN 12620 (2009).

Loose unit weight and condensed unit weight of separated aggregates values were presented in Table 5. The loose unit weight of the specimens for basalt, andesite, and marble aggregates ranges from 1381 to 1571 kg/m³, 1291 to 1599

kg/m³, and 1361 to 1751 kg/m³ (Fig 10). Table 6 shows the ratio of natural aggregates' loose bulk density to compacted bulk density. The loose bulk density to compacted bulk density ratio ranges between 0.88 and 0.99. According

to Neville and Brooks (2002), this number is between 0.87 and 0.96, as indicated by the code. The specific gravity is a characteristic of the concrete, which needs to be determined in making calculations of the mix design of concrete. There are several specific gravities; dry specific gravity, bulk specific gravity, and apparent specific gravity. The specific gravity was determined according to the procedure described in TS EN 1097-6 (2002). Test

results obtained from dry, bulk and apparent specific gravity of the aggregates are summarized in Table 7. This is lower than the natural aggregate values reported by Neville and Brooks (2002), which range from 2.6 to 2.7. Apparent specific gravity ranges between 2.37 and 2.88 g/cm³ (Fig 11). Andesite has lower specific gravity values than the other rocks. The marble specimens received the greatest value.

Table 5. Properties of the loose unit weight and condensed unit weight of the aggregates

Type	Grain size (mm)	Loose unit weight (kg/m ³)			Standard required	Condensed unit weight (kg/m ³)			Standard required	CU W/L UW %
		Min	Max	Mean		Min	Max	Mean		
Basalt	12-22	1381	1403	1392	(TS 3529, 1980)	1491	1514	1504	(TS 3529, 1980)	0,93
	4-12	1413	1474	1447		1531	1556	1543		0,94
	0-4	1527	1571	1547		1611	1651	1631		0,95
Andesite	12-22	1291	1297	1294	≥1250 (kg/m ³)	1445	1450	1447	1500-1900 (kg/m ³)	0,89
	4-12	1306	1310	1308		1469	1471	1470		0,89
	0-4	1593	1599	1596		1598	1627	1612		0,99
Marble	12-22	1361	1381	1371	(kg/m ³)	1559	1567	1563	(kg/m ³)	0,88
	4-12	1441	1476	1457		1598	1605	1601		0,91
	0-4	1729	1751	1742		1873	1884	1878		0,93

Table 6. Properties of the dry, bulk, and apparent specific gravity of the aggregates

Type	Grain size (mm)	Dry specific gravity (g/cm ³)			Bulk specific gravity (saturated surface dry) (g/cm ³)			Apparent specific gravity (g/cm ³)			Standard required
		Min	Max	Mean	Min	Max	Mean	Min	Max	Mean	
Basalt	12-22	2,61	2,63	2,62	2,64	2,66	2,65	2,70	2,72	2,71	(TS EN 206-1)
	4-12	2,60	2,63	2,61	2,64	2,66	2,65	2,71	2,74	2,72	
	0-4	2,54	2,61	2,58	2,61	2,67	2,65	2,73	2,76	2,75	
Andesite	12-22	2,25	2,27	2,26	2,31	2,32	2,32	2,37	2,39	2,38	2 - 3 (g/cm ³)
	4-12	2,19	2,23	2,21	2,26	2,30	2,28	2,37	2,39	2,38	
	0-4	2,03	2,14	2,10	2,18	2,26	2,22	2,39	2,42	2,40	
Marble	12-22	2,78	2,81	2,79	2,81	2,83	2,82	2,85	2,87	2,86	(g/cm ³)
	4-12	2,71	2,73	2,72	2,75	2,77	2,76	2,83	2,85	2,84	
	0-4	2,68	2,71	2,69	2,74	2,76	2,75	2,84	2,88	2,86	

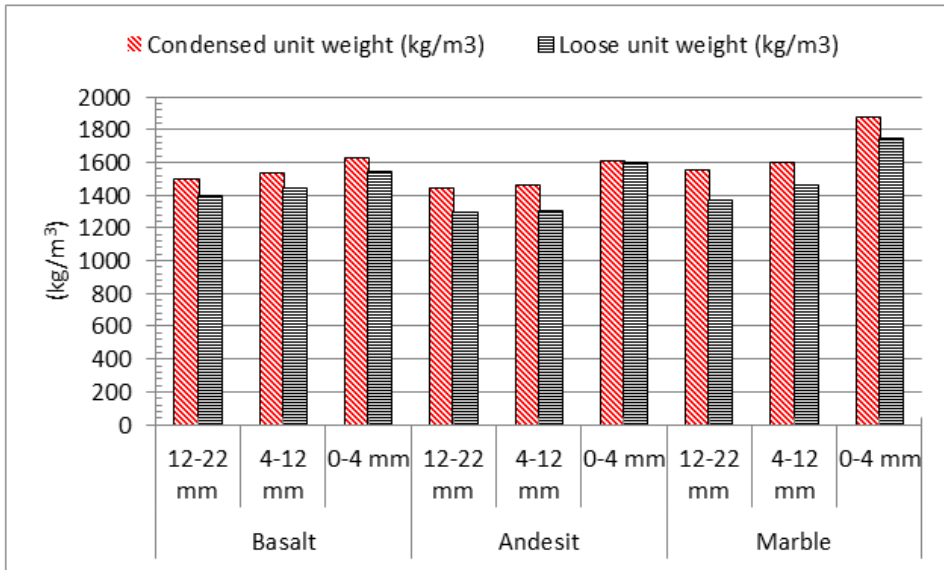


Figure 10. Loose unit weight and condensed unit weight of the aggregates.

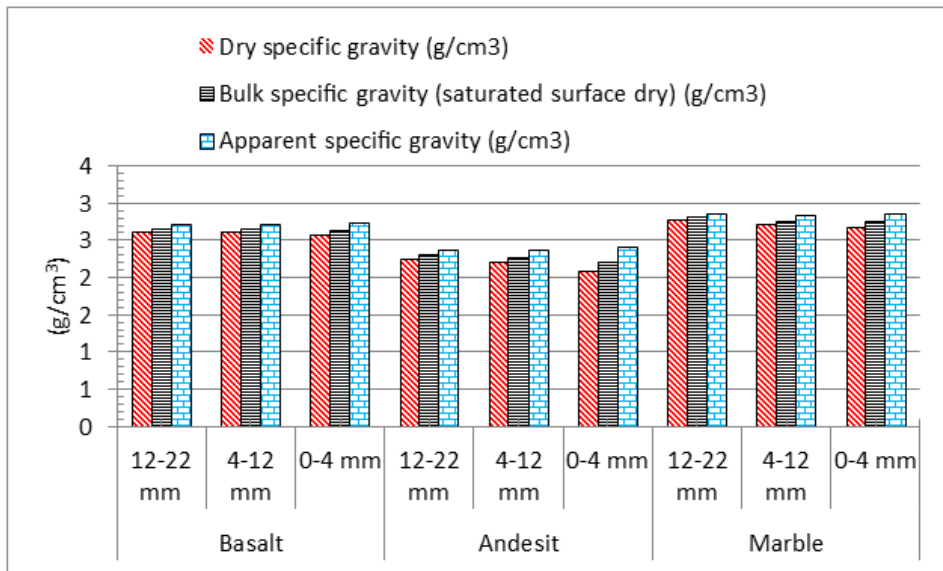


Figure 11. Dry, bulk, and apparent specific gravity of the aggregates.

Table 7. Properties of the water absorption and material finer than 63 μm of the aggregates

Type	Grain size (mm)	Water absorption (%)			Standard required	Material finer than 63 μm (%)			Standard required
		Min	Max	Mean		Min	Max	Mean	
Basalt	12-22	1.01	1.21	1.12	(TS 706 EN 12620)	0.4	0.6	0.5	(TS 706 EN 12620)
	4-12	1.28	1.80	1.55		0.6	0.7	0.65	
	0-4	2.25	2.72	2.51		2.8	3.1	3.0	
Andesite	12-22	2.22	2.30	2.27	<%10	0.9	1.2	1.0	<3
	4-12	3.10	3.37	3.21		1.05	1.24	1.13	
	0-4	5.38	7.26	6.42		14.1	15.8	14.0	
Marble	12-22	0.76	0.97	0.86	<%10	0.71	0.80	0.75	<3
	4-12	1.41	1.75	1.56		0.70	0.73	0.71	
	0-4	1.99	2.48	2.17		11.6	12.8	12.1	

3.3.3. Water absorption and material finer than 63 μm

The water absorption of the aggregates examined was measured using the techniques suggested by TS EN 1097-6. (2002). Table 8 shows the findings of water absorption levels ranging from

0.76% to 7.26%. The highest mean value of water absorption in andesite specimens was determined. The water absorption values of basalt and marble are lower than those of andesite rocks. The water absorption of andesites ranges from 2.22 to 7.26% (Fig 12).

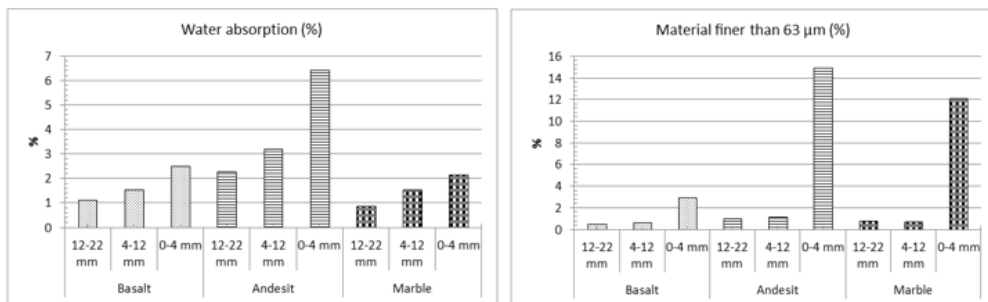


Figure 12. Water absorption and material finer than 63 μm of the aggregates

The proportion of fines in aggregates, such as clay, silt, and dust, is defined as the material passing a 63 m screen. These fine aggregate ingredients cause cementing material to expand or disrupt the connection between aggregate and cement. Test results obtained from material finer than 63 μm test are summarized in Table 8. According to the

findings, the average percentage of fines ranged between 0.50 and 14.00%. Fines percentages are greater in andesite (0-4 mm) and lower in basalts (12-22 mm).

3.3.4. Percentage of fines and flakiness index

According to TS 3530 EN 933-1, (1999), the fineness modulus (FM) of either fine aggregate is determined by adding the cumulative percentages by mass retained on each defined series of sieves and dividing the amount by 100. Table 8 summarizes the findings. The aggregates' fineness modulus (FM) varies between 2.82%, 2.7%, and 2.75% (Fig 13).

In general, solid and hard or brittle rocks yield more flakes than weak rocks, while

the latter produces more particles when crushing (Smith and Collis 1993). The flakiness index was calculated using the techniques outlined in TS 9582 EN 933-3. (1999). Table 8 summarizes the findings. As seen in this table, the basalt's flakiness index, andesite, and marble aggregates range 12.26%, 24.3%, and 14.6%, respectively (Fig 13). The maximum flakiness index values are obtained from the andesite. All the samples tested for flakiness index satisfied the requirements for use in standard concrete applications.

Table 8. Fines percentage properties and flakiness index of aggregates.

Type	Percentage of fines (%)			Standard required	Flakiness Index (%)			FI category	Standard required
	Min	Max	Mean		Min	Max	Mean		
Basalt	2,79	2,86	2,82		11,5	13,3	12,26	FI15	
Andesite	2,68	2,73	2,7	TS EN 706	23	25,3	24,3	FI35	TS 706 EN 12620
Marble	2,74	2,75	2,75		14,3	15,3	14,6	FI15	

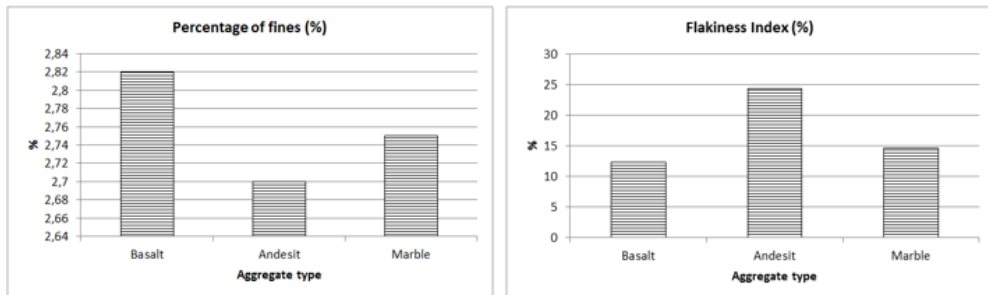


Figure 13. The aggregates' fines percentage and flakiness index

3.3.5. Los Angeles abrasion test and Mg₂SO₄ soundness

Many aggregates must be durable or resistant to wear or deterioration (Smith and Collis, 1993). To assess the durability of all aggregates, the Los Angeles abrasion test was performed by TS EN

1097-2, (2000). Table 9 summarizes the Los Angeles abrasion values (after 500 cycles). According to the data, basalt aggregates had the lowest abrasion (12.8%, 14.8%), whereas andesite aggregates had the highest abrasion (14.8 percent) (25.7%, 26.9%) (Fig. 14). According to the findings of the Los

Los Angeles abrasion tests, basalt exhibits lower abrasion loss than andesite and limestone. According to TS EN 12620 (2009), the Los Angeles abrasion value of the aggregate used to create concrete

should be less than 50%. All aggregates tested for Los Angeles abrasion values satisfied the requirements for use in standard concrete applications.

Table 9. Properties of the Los Angeles abrasion test and Mg₂SO₄ soundness of the coarse and medium aggregates

Type	Grain size (mm)	Los Angeles abrasion test (%)			Standard required	Mg ₂ SO ₄ soundness (% loss)			Standard required
		Min	Max	Mean		Min	Max	Mean	
Basalt	12-22	12,2	13,5	12,8	TS EN 12620 <%50	3,00	3,47	3,23	TS EN 12620 <%35
	4-12	14,1	15,8	14,8		6,90	12,80	9,23	
	0-4	*	*	*		*	*	*	
Andesite	12-22	24,3	26,9	25,7	TS EN 12620 <%50	12,00	14,28	13,00	TS EN 12620 <%35
	4-12	25,8	27,5	26,9		19,2	22,35	20,92	
	0-4	*	*	*		*	*	*	
Marble	12-22	22,3	23,7	22,9	TS EN 12620 <%50	5,81	7,95	6,78	TS EN 12620 <%35
	4-12	23,2	24,1	23,8		12,5	14,87	13,69	
	0-4	*	*	*		*	*	*	

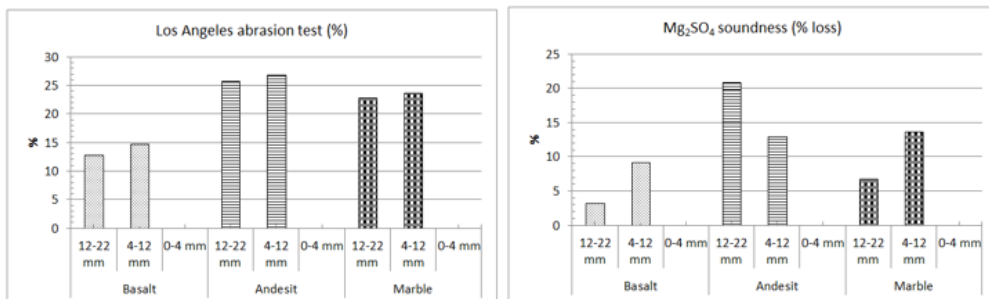


Figure 14. The Los Angeles abrasion test and Mg₂SO₄ soundness of the coarse and medium aggregates

When volume variations in the aggregate caused by weather, such as alternating cycles of wetting and drying or freezing and thawing, cause concrete degradation, it is called unsound. The word "soundness" refers to an aggregate's capacity to withstand severe volume fluctuations caused by changes in the physical environment, such as freeze-thaw cycles, thermal changes at temperatures above freezing, and so on (Smith and Collis, 1993). This test is a sped-up version of the freeze-thaw test

that uses magnesium sulfate solutions. Crystallized magnesium sulfate (Mg₂SO₄) was used in this study. One of the major issues in the cold region where aggregates are utilized is freeze-thaw. The aggregates were subjected to a Mg₂SO₄ soundness test by TS EN 1367-2. (1999). Table 10 summarizes the findings. According to the findings, maximum Mg₂SO₄ soundness value (% loss) was observed for the andesite aggregates (13.0%, 20.92%), and the minimum loss was observed for the

basalt aggregates (3.23%, 9.23%) (Fig. 14). According to TS EN 12620, (2009), the Mg_2SO_4 soundness value (% loss) should be less than 35% for the aggregate that will be used to produce concrete. All aggregates tested for Mg_2SO_4 soundness values satisfied the requirements for use in standard concrete applications.

3.3.6. Other aggregate tests

The active clay materials expand, depending on the moisture content. Swelling depends on the type of clay minerals. Swelling minerals are considered the minerals of the smectite group, with a significant representative of the montmorillonite. Smectite is a relatively common secondary product in volcanic rocks andesite, basalt, etc., resulting from low-grade alteration and weathering. Tests with methylene blue

have become popular to test aggregates, i.e., the existence of smectite minerals. The Methylene blue test is carried out on the 0/4 mm fraction in fine aggregates according to the TS EN 933-9, (2010) specifications. The methylene blue values (MB) of the aggregates varied from 0.49 to 0.75. The results are given in Table 10. In addition to XRD analysis shows the presence of the clay minerals in basalt and andesite specimens. According to the results obtained, minimum methylene blue values were observed for the marble aggregates (0.49%), and the maximum values were observed for the andesite aggregates (0.75%). According to TS EN 933-9, (2010), the methylene blue values should be less than 1 for the aggregate used to produce concrete. According to this standard, all aggregates are suitable for use in concrete applications (Fig 15).

Table 10. Properties of the Methylene blue test, organic impurities, chloride content, sulfide soluble in acid, total sulfur content, alkali-silica reaction (ASR) of the aggregates

Tests	Standard required	Basalt			Andesite			Marble		
		Min	Max	Av.	Min	Max	Av.	Min	Max	Av.
Methylene blue test (MB)	<1	0.72	0.75	0.74	0.75	0.75	0.75	0.47	0.50	0.49
Organic impurities (%)	suitable	1 - 2			0 - 1			1 - 2		
Chloride content (%)	<0.01	0.0024			0.0016			0.0047		
Sulfide soluble in acid (%)	<0.8	0.02			0.024			0.04		
Total sulfur content (%)	<%1	0.022			0.027			0.035		
Alkali-silica reaction (%)	<0.1	0.093			0.158			0.078		

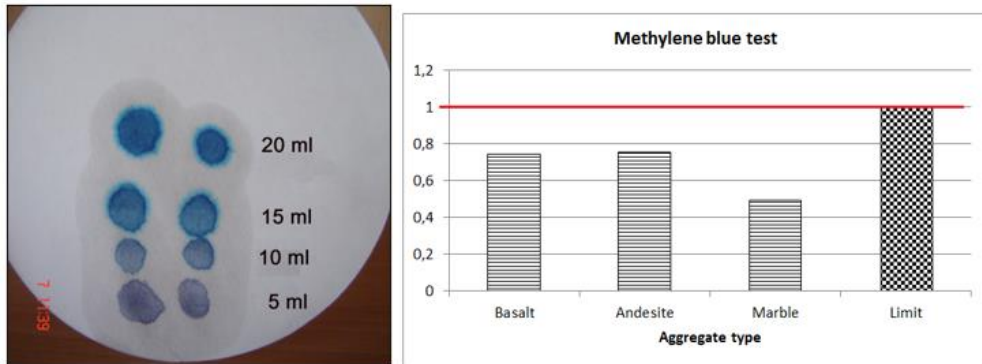


Figure 15. Methylene blue test of the fine aggregates.

Organic and chemical contaminants may slow the setting of concrete and reduce the hardened material's strength. A simple test based on TS EN 1744-1, (2010) defines the test for detecting the most dangerous organic and chemical substances. Organic impurities, chloride

content, sulfide soluble in acid, total sulfur content, alkali-silica reaction (ASR) of the aggregate test results are given in Table 10. The results of these studies are summarized in Table 10 and shown in Figure 16.

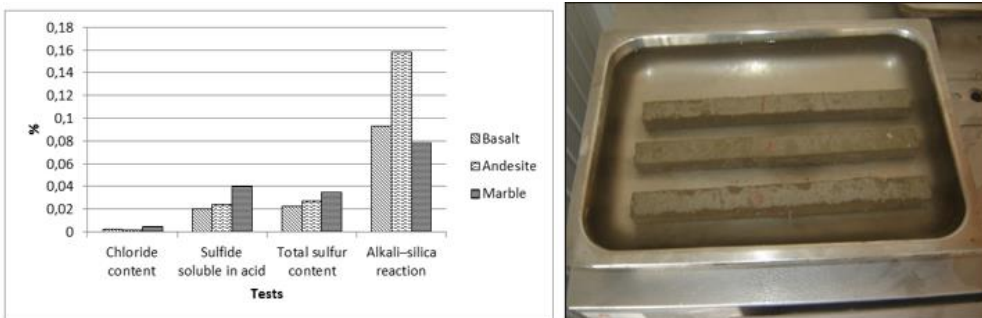


Figure 16. Chloride content, sulfide soluble in acid, total sulfur content, alkali-silica reaction (ASR) of the aggregates. Mortar bars of alkali-silica reaction test.

ASR is more common and more damaging to the mechanical characteristics of concrete. ASR is a chemical reaction between the cement between the alkaline components and the active silica-based mineral elements of specific aggregates. The reaction produces a gel that absorbs water, expands, and imposes internal pressure that can sometimes be considerably

more than what concrete can withstand, resulting in micro-cracks.

To enable ASR, three key components are required: sufficient alkalis in the pore solution, a sufficient number of reactive mineral phases in the aggregate particles, and sufficient moisture. There are now numerous ways for assessing the potential reactivity of a particular

aggregate (Marzouk and Langdon 2003). Alkali-silica reaction of aggregates determined according to ASTM C 1260-94, (1997) procedure. The results are given in Table 10. Alkali-silica reactivity potential of aggregates was investigated in concrete samples. Expansions exceeding 0.1% to 0.2% cause the aggregate to be classified as potentially reactive. Secondary minerals such as montmorillonite clays may contaminate the andesitic aggregates. In this case, andesite aggregates (0.158) expansions exceeding the limit of the alkali-silica reaction value. Basalt (0.093) and marble (0,078) aggregates showed no expansion.

4. Conclusions

Natural sand, gravel, and crushed rock aggregates represent a large proportion of the construction industry's materials. The primary ingredient of concrete is aggregate, and the characteristics of aggregate impact the properties of concrete. Three types of aggregates were employed for this project: marble, andesite, and basalt. The mineralogical and petrographic characteristics of the examined rocks were investigated using a polarizing optical microscope and X-ray diffractometry (XRD).

Mineralogical and petrographic determination is insufficient to predict aggregate performance. A variety of laboratory tests determined the physical and mechanical properties of all aggregates. TS and TS EN Standards performed tests. Aggregates were crushed and sorted based on size. It was sieved using standard sieves and divided into three groups of 0-4, 4-12,

and 12-22 mm. Studies on three types of aggregates (marble, andesite, and basalt) concrete are carried out in this paper. The following results were obtained:

XRD analyses of the İlica basalt reveal that labradorite, sanidine, montmorillonite, and muscovite are present within the rock. Andesite samples are composed of sanidine, montmorillonite, muscovite, andesine and tridymite. XRD analyses for the basalt and andesite indicated montmorillonite type clay minerals. Water absorption, material finer than 63 μm , Los Angeles abrasion test, Mg_2SO_4 soundness, and alkali-silica reaction indicate that andesite aggregate is of lower quality than basalt marble aggregates because of the clay it contains. The natural andesitic aggregate is a particular case because, in the Los Angeles abrasion test, basalt and marble aggregates lose less weight than andesite, directly related to its poor quality.

The highest mean value of water absorption in andesite specimens was determined. Basalt and marble have lower water absorption values than andesite rocks. The water absorption rate of andesites ranges from 2.22% to 7.26%.

The bulk density of concrete is determined by the kind and quantity of aggregate used. Fresh concrete with marble aggregate has the highest bulk density (2490 kg/m^3), whereas concrete with maximum andesite aggregate has the lowest (2174 kg/m^3). The largest slump was seen in concrete created with

marble aggregates (17 cm), while the lowest slump was reported in concrete made with andesite aggregates (14.5 cm).

Basalt and marble have many properties compared to the andesite and are

therefore very suitable for concrete aggregate. The results indicate that basalt from the Kütahya-Ilicak, marble from Beyyazi-Afyonkarahisar and andesite from İscehisar-Afyonkarahisar region can be used as concrete aggregates.

5. References

- Al-Oraimi, S.K., Taha, R., Hassan, H.F. (2006) The effect of the mineralogy of coarse aggregate on the mechanical properties of high-strength concrete. *Constr Build Mater*, 20:499–503
- Alonso, E., Martínez, L., Martínez, W., Villaseñor, L. (2002) Mechanical properties of concrete elaborated with igneous aggregates. *Cement Concr Res*, 32:317–321
- ASTM C 597 (2002) Standard test method for pulse velocity through concrete. Annual Book of ASTM Standards. Vol. 04.02. West Conshohocken, PA.
- ASTM C 1260-94 (1997) Standard test method for potential alkali reactivity of aggregates, Annual Book of ASTM Standards; Section Concrete and Mineral Aggregates, Philadelphia
- Black, P.M. (2005) Andesites as resources for roading and concrete industries, North Island of New Zealand. Proceedings of the 2005 New Zealand Minerals Conference, pp 328-338, Crown Minerals, Ministry of Economic Development, and the Australasian Institute of Mining and Metallurgy, New Zealand Branch.
- Donza, H., Cabrera, O., Irassar, E.F. (2002) High-strength concrete with different fine aggregate. *Cement Concr Res*, 32:1755–1761
- El-Dash, K.M., Ramadan, M.O. (2006) Effect of aggregate on the performance of confined concrete. *Cement Concr Res*, 36:599 – 605
- Etxeberria, M., Mari, A.R., Va'zquez, E. (2007) Recycled aggregate concrete as structural material. *Mater Struct*, 40:529–541
- Ikeda, T., Kawabata, Y., Hamada, H., Sagawa, Y. (2008) Alkali-silica reactivity of andesite in NaCl saturated solution. International Conference on Durability of Concrete Structures (ICDCS 2008): 26-27 November 2008: Hangzhou, China p1-8
- Kawabata, Y., Yamada, K., Matsushita, H. (2007) Petrological study on evaluating of alkali-silica reactivity and expansion analysis of andesite. *Doboku Gakkai Ronbunshuu E*, 63:689-703
- Kılıç, A., Atiş, C.D., Teymen, A., Karahan, O., Özcan, F., Bilim, C., Özdemir, M. (2008) The influence of aggregate type on the strength and abrasion resistance of high strength concrete. *Cement Concr Res*, 30 (4):290-296
- Korkanç, M., Tugrul, A. (2004) Evaluation of selected basalts from Niğde, Turkey, as source of concrete aggregates. *Eng Geol*, 75:291–307
- Lamond, J.F., Pielert, J.H. (2006) Significance of tests and properties of concrete and concrete-making materials. *American Society for Testing and Materials*, Philadelphia, PA, 337-354.
- Le Bas, M.J., Streckeisen, A.L. (1991) The IUGS systematics of igneous rocks, *Journal of the Geological Society, London*, 148:825-833
- Le Bas, M.J., Le Maitre, R.W., Woolley, A.R. (1992) The construction of the total alkali-silica chemical classification of volcanic rocks. *Miner Petrol*, 46:1-22
- Limbachiya, M.C., Leelawat, T., Dhir, R.K. (2000) Use of recycled concrete aggregate

- in high-strength concrete. *Mater Struct*, 33:574-580
- Marzouk, H., Langdon, S. (2003) The effect of alkali-aggregate reactivity on the mechanical properties of high and normal strength concrete. *Cement Concr Compos*, 25:549–556
- Meddah, M.S., Zitouni, S., Belâabes, S., (2010) Effect of content and particle size distribution of coarse aggregate on the compressive strength of concrete. *Constr Build Mater*, 24:505–512
- Neville, A.M., Brooks, J.J. (2002) *Concrete Technology*, Person Education Ltd, Delhi, India. 2 Edition, Pp 8-15,18-34, 363-384.
- Özturan, T., Çeçen, C. (1997) Effect of coarse aggregate type on mechanical properties of concretes with different strengths. *Cement Concr Res*, 27 (2):165–170
- Poitevin, P. (1999) Marble aggregate concrete, usefulness and durability. *Cement Concr Compos*, 21:89–97
- Rached, M., De Moya, M., Fowler, D.W. (2009) Utilizing aggregates characteristics to minimize cement content in portland cement concrete. Report No.ICAR 401, International Center for Aggregates Research (ICAR). National Technical Information Service Springfield, Virginia 22161
- Smith, M.R., Collis, L. (Eds.) (1993) *Aggregates - Sand, gravel and crushed rock aggregates for construction purposes*: London, Geological Society Engineering Geology Special Publication No.9, The Geological Society, 339 p.
- TS 3624 (1981) Test method for determination the specific gravity the absorption water and the void ratio in hardened concrete, Ankara.
- TS 3527, (1980) Test Method for determining the proportion of fine materials in aggregates, Turkish Standards Institution, Ankara. Turkey
- TS 3529 (1980) Test method for determination of the unit weight of aggregates for concrete, Turkish Standards Institution, Ankara. Turkey
- TS EN 197-1 (2005) Cement. Part 1: Compositions and conformity criteria for common cements, Turkish Standards Institution, Ankara, Turkey
- TS EN 206-1 (2002) Concrete- Part 1: Specification, performance, production and conformity, Turkish Standards Institution, Ankara, Turkey
- TS EN 933-9 (2010) Tests for geometrical properties of aggregates - Part 9: Assessment of fines - Methylene blue test, Turkish Standards Institution, Ankara, Turkey
- TS 706 EN 12620 (2009) Aggregates for concrete, Turkish Standards Institution, Ankara, Turkey
- TS 3530 EN 933-1 (1999) Tests for geometrical properties of aggregates - part 1: determination of particle size distribution - sieving method. Turkish Standards Institution, Ankara. Turkey
- TS 9582 EN 933-3 (1999) Determination of particle shape- flakiness index, Turkish Standards Institution, Ankara. Turkey
- TS EN 1097-2 (2000) Tests for mechanical and physical properties of aggregates - Part 2: Methods for the determination of resistance to fragmentation, Turkish Standards Institution, Ankara. Turkey
- TS EN 1097-6 (2002) Tests for mechanical and physical properties of aggregates- Part 6: Determination of particle density and water absorption, Ankara.
- TS EN 1367-2 (1999) Tests for thermal and weathering properties of aggregates - Part 2: Magnesium sulfate test, Turkish Standards Institution, Ankara. Turkey
- TS EN 1744-1 (2010) Tests for chemical properties of aggregates - Part 1: Chemical analysis, Turkish Standards Institution, Ankara. Turkey
- TS EN 12350-2 (2002) Testing fresh concrete - Part 2: Slump test, Turkish Standards Institution, Ankara. Turkey
- TS EN 12350-6 (2000) Testing fresh concrete - Part 6: Density, Turkish Standards Institution, Ankara. Turkey

- TS EN 12350-7 (2000) Testing fresh concrete - Part 7: Air content - Pressure methods, Turkish Standards Institution, Ankara. Turkey
- TS EN 12390-3 (2003) Testing hardened concrete - Part 3: Compressive strength of test specimens, Turkish Standards Institution, Ankara. Turkey
- Uysal, M. (2012) The influence of coarse aggregate type on mechanical properties of fly ash additive self-compacting concrete. *Constr Build Mater*, 37:533–540
- Xiao, J.Z., Li, J.B., Zhang, C. (2006) On relationships between the mechanical properties of recycled aggregate concrete: An overview. *Mater Struct*, 39:655-64.
- Yılmaz, M., Tuğrul, A. (2012) The effects of different sandstone aggregates on concrete strength. *Constr Build Mater*, 35:294–303
- Zarif, I.H., Tuğrul, A. (2003) Aggregate properties of Devonian marbles for use in concrete in Istanbul, Turkey. *Bull Eng Geol Env*, 62:379–388
- Wu, K.R., Chen, B., Yao, W., Zhang, D. (2001) Effect of coarse aggregate type on mechanical properties of high-performance concrete. *Cement Concr Res*, 31:1421–1425
- Zega, C.J., Villagran-Zaccardi, Y.A., Di Maio, A.A. (2010) Effect of natural coarse aggregate type on the physical and mechanical properties of recycled coarse aggregates. *Mater Struct*, 43:195–202

Araştırma Makalesi / Research Article

**Rapid Cumulative Impact Assessment for Land Use
Planning in Dhaka City**

*¹Elham AGHLARA

¹Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye,
e_ghlara@yahoo.com, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5302-7771>

Geliş / Recieved: 14.06.2021;

Kabul / Accepted: 07.09.2021

Abstract

In this study, the quantity of the cumulative impact assessment has been classified by the potential response of Valued environmental components (VEC) to pressures and resiliency, recoverability and compensability of them. In addition, the significance of the cumulative impacts of developments and projects over VECs' future conditions has been assessed. It can be concluded that the anthropogenic interventions to be carried out to protect or develop Dhaka City with the goal of protecting the area in the context of the land use plan will increase negative impacts over VECs in the area. However, it can be argued that clearing the land around flooding zones and fault lines out of settlements to preserve the natural habitat of the region will yield more sustainable outcomes. Strengthening and increasing monitoring activities in the area and imposing sanctions on violators of environmental protection laws properly, by privatizing them would strengthen cumulative impact management in Dhaka City. This study tries to provide suggestions regarding land use planning to reduce cumulative impacts resulting from the failure of previously adopted policies or targeted projects but not implemented land use plans. Individual sponsors, planning team, government and stakeholders have to fully comprehend encountered cumulative impacts and risks, and make effort to develop consistent management strategies to mitigate risks.

*¹Sorumlu yazar / Correspondingauthor

Bu makaleye atıf yapmak için

Aghlara, E. (2021). Rapid Cumulative Impact Assessment for Land Use Planning in Dhaka City. *Journal of Innovations in CivilEngineeringandTechnology (JICIVILTECH)*, 3(2), 79-91.

Keywords: *Environmental components, Cumulative impact assessment, Land use, Dhaka city*

Dakka Şehrinde Arazi Kullanım Planlaması için Hızlı Kümülatif Etki Değerlendirmesi

Öz

Bu çalışmada, kümülatif etki değerlendirmesinin miktarı, değerli çevresel bileşenlerin (VEC) baskılara karşı potansiyel tepkisine, bunların esnekliklerine, geri kazanılabilirliğine ve telafi edilebilirliğine göre sınıflandırılmıştır. Ayrıca, gelişme ve projelerin kümülatif etkilerinin değerli çevresel bileşenlerin gelecekteki koşulları üzerindeki önemi değerlendirilmiştir. Arazi kullanım planlaması kapsamında bölgenin korunması amacıyla Dhaka Şehri'nin korunması veya geliştirilmesi için yapılan antropojenik müdahalelerin, bölgedeki değerli çevresel bileşenler üzerindeki olumsuz etkileri arttıracığı sonucuna varılabilir. Ancak, bölgenin doğal yaşam alanını korumak için taşkın bölgeleri ve fay hatlarının etrafındaki arazilerin yerleşim yerlerinden arındırılmasının daha sürdürülebilir sonuçlar doğuracağı söylenebilir. Bölgedeki izleme faaliyetlerinin güçlendirilmesi ve artırılması ve çevre koruma yasalarını ihlal edenlere ceza yaptırımların doğru şekilde uygulanması Dakka Şehrinde kümülatif etki yönetimini güçlendirecektir. Bu çalışma, daha önce benimsenen politikaların veya hedeflenen projelerin başarısızlığının neden olduğu ancak uygulanmayan arazi kullanım planlarından kaynaklanan kümülatif etkileri azaltmak için arazi kullanım planlamasına ilişkin öneriler sunmaktadır. Bireysel finansörler, planlama ekibi, hükümet ve paydaşlar, karşılaşılan kümülatif etkileri ve riskleri tam olarak anlamalı ve riskleri azaltmak için tutarlı yönetim stratejileri geliştirmek için çaba göstermelidir.

Anahtar kelimeler: Çevresel bileşenler, Kümülatif etki değerlendirme, Arazi kullanımı, Dakka şehri

1. Introduction

Valued environmental components (VECs) are defined as fundamental elements of the physical, biological or socio-economic environment, including the air, water, soil, terrain, vegetation, wildlife, fish, birds and land use that may be affected by a proposed project. Valued environmental components are affected by different external natural and social stressors and pressures. In an RCIA (Rapid Cumulative Impact Assessment), impacts are measured not in terms of the intensity of the stress added by projects but in terms of the VEC response and, ultimately, any significant changes to its condition.

1.2. Objective

The main objective of this study is to classify the cumulative impacts on VECs by potential response of VECs to pressures and recoverability and compensability of them. So, the 6-step methodology for conducting RCIA for land use planning in Dhaka City was used.

2. Material and Method

An RCIA study may utilize different methods to analyze cumulative impacts on VECs and their responses to these impacts properly. One of the methods that can be combined with an RCIA study is GIS-based land use analysis. The 6-step methodology proposed by IFC is used for conducting RCIA for land use planning for Dhaka City. The

methodology is defining as the study area, identifying VECs as well as all developments and stressors affecting them, present conditions of VECs, recommended projects to save the VECs, severity of the cumulative impacts from projects over the VECs and significance of the cumulative impacts over VECs' future conditions.

3. Discussion and Findings

3.1. Defining Spatial and Temporal Boundaries

The study area contains Dhaka City that comprises ten regions in total (Figure 1). The period for which the cumulative impacts of various developments have been assessed is from 2016 to 2035 (RAJUK, 2015).

To assess the significance of the cumulative impacts over VECs' future conditions in Dhaka city, the magnitude of the cumulative impact potentials have been classified by taking the elements such as the potential response of VECs to pressure as well as their recoverability, compensability and preventability of the impacts into consideration. In order to do so, first, VECs have been defined within the context of spatial and temporal boundaries, and each VEC was given a letter from A to W. In a similar way, possible developments (possible land use plans) have also been defined within the context of temporal boundary and each development was given a specific name from Project-1 to Project-11. After that, impacts have been

classified in accordance with their severity. In classification, the number of impacts over the project and severity of them were given the utmost importance. Finally, significance of the cumulative

impacts over VECs' future conditions has been assessed.

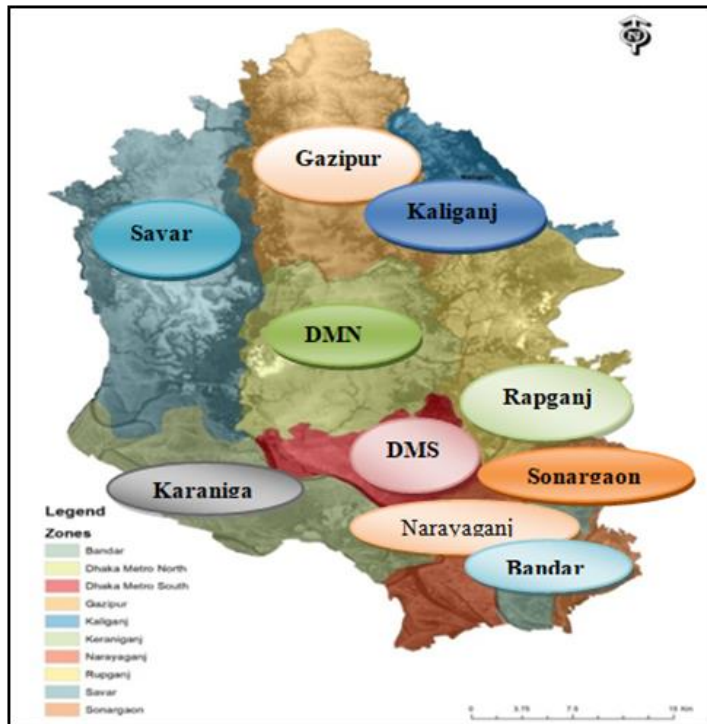


Figure 1. Districts of Dhaka City

3.2. Identifying VECs as well as all Developments and External Natural Stressors Affecting Them

Identifying external natural and social stressors, potentially affected VECs, potentially affected human structures and values, and existing cumulative impacts as natural or social elements of pressure over VECs have all been taken in to consideration. External natural and social stressors and pressures over VECs for Dhaka City are given in Table 1.

3.3. Determining Present Conditions of VECs

Present conditions of VECs in Dhaka City and risk assessment for the existing conditions are presented in Table 2. Each of these has been determined on the basis of the observational findings from environmental survey activities, studies, World Bank Reports, previous plans and various documents prepared by official bodies.

Table 1. VECs evaluated in RCIA for land use planning (Dhaka City)

External Natural and Social Stressors	Vecs	External Natural and Social Pressures Over Vecs
Air Emissions	Urban Population Around Highways / Wildlife Areas Under the Impact of Industrial Facilities / Agricultural Products / Forest Vegetation / Areas Orchards	Meteorological Conditions, Old Technologies, Lack of Monitoring, Unfiltered Chimneys
Noise	Settlements / Urban Population /	Population Density, Traffic, Construction Materials
Land Use and Soil Pollution	Agriculture Areas / Marshes and Peatlands / Wetlands / Stream Bed Biodiversity Areas / Bird Sanctuaries / Flyway of Migratory Birds	Groundwater Overuse, Unsanitary Disposal and Wastewater Discharge
Biodiversity And Habitat		Seasonal Excesses
Natural Resources	Parks/ Forests / Water Sources	Excessive Use of Groundwater
Ground Water Pollution	Ground Water Quantity	Excessive Groundwater Use, Wastewater Discharge, Unsanitary Disposal Areas, Lack of Interception Canals in Industrial Zones, Industrial Zones Where Infiltration Is Not Possible
Drinking Water Quality	Groundwater Quality and Quantity /Surface Water	Pressure Over Groundwater Quality
Wastewater And Sewage	Wildlife/ Aquatic Fauna	Seasonal Excesses Resulting from Deficiency of Separate Sewerage System
Solid Waste Management	Urban Population/ Wildlife/Ground Water/Surface Water	Topographic Limits, Practice of Traditional Approaches to Waste Management, Need for Awareness-Rising, Poor Provision of Operations Concordant with The Waste Hierarchy
Land and Excavation Management	Wetlands /Streambeds	Illegal Settlements, Sandy Soil Structure Which Does Not Allow the Excavated Soil to Be Used as A Filling Material
Smell	Settlements Around Some Industrial Facilities	Use Of Old Technology, Lack of Green-Fields/Open-Fields
Floods	/Wildlife/Agricultural Land	Topographic Conditions and Seasonal Excesses, Encroachment and Filling of Drainage Zone
Seismic Movements and Other Natural Disasters	Urban Areas and Population	Geological Formation, Structures Built on Fault Lines
Landscaping and Recreation	Natural Habitat	Unauthorized Settlements
Social and Economic Environment	Life Quality/Recreational Real Properties/Economy	

Table 2. Present conditions of VECs in Dhaka City

Valued Social and Ecosystem Components	Risk Assessment for the Existing Conditions		
	Low	Medium	High
Settlements / urban population around highway transport corridor			✓
Wildlife areas under the impact of industrial facilities			✓
Agricultural land / products			✓
Forest vegetation / areas / Orchards / Marshes and peatlands / Wetlands / Streambeds / Biodiversity areas			✓
Bird Sanctuaries / Flyway of migratory birds / National parks		✓	
Water resources / Groundwater quality / quantity			✓
Surface waters / Aquatic fauna			✓
Buildings / industrial facilities within inundation area			✓
Natural habitat / Life quality			✓
Recreational areas / Real properties		✓	

3.4. Assessing Cumulative Impacts

Recommended projects addressed in the tables below have been developed on the

basis of the findings obtained during research in this study. Possible developments (possible land use plans)

have also been defined within the context of temporal boundary and each development was given a specific name from Project-1 to Project-11. Recommended projects and developments are given below:

Project-1: Relocation of the settlements within the potentially inundated areas.

Project-2: Relocation of the industrial facilities within potential inundation area or developing free trade zones for these facilities.

Project-3: Developing new attraction and urban centers for the management of population density.

Project-4: Determining education, R&D, IT campuses.

Project-5: Increasing the natural ground level of some areas below sea level or within inundation area.

Project-6: Innovative construction techniques and land use on the land with the stability problem.

Project-7: Filling of marshes, peatlands and irrigated farmlands.

Project-8: Construction of new waste collection centers to increase solid waste management capacity.

Project-9: Planning of waste collection systems in accordance with the waste hierarchy along with recycling, recovery and waste incineration facilities.

Project-10: Burying energy transmission pipelines underground.

Project-11: Carrying out urban renewal projects within the 1 km corridor around the fault lines.

*(D): Drivers

Adverse impacts of the developments (indicated as projects) expected to take place in the study area are given below:

Project -1:

Adverse Impacts: Emission of combustion gases, acoustic emission, dust, vibration, solid waste generation, Degradation of the soil, liquefaction, degradation of the existing structure, impacts of road construction on soil / Demolition waste / Excavation waste / Non-hazardous and hazardous wastes / Use of arable land for construction / Wastewater accumulated in foundation pits.

Project -2,3 and 4:

Adverse Impacts: Combustion of gases, dust, vibration, solid waste / Contamination of pollutants into ground water / liquefaction / Degradation of the stratigraphic structure, soil erosion / Spread of water filled with materials / Penetration of leachate into soil/ the land puts pressure on VECs during the operation process / emission problems and socioeconomic problems.

Project -5:

Adverse Impacts: Emission of combustion gases / vibration, solid waste / Contamination of pollutants / Sediment accumulation.

Project -6:

Adverse Impacts: Contamination of pollutants into groundwater / Spread and penetration of pollutants / Spread of water filled with materials like cement etc.

Project -7:

Adverse Impacts: Degradation of the natural drainage structures / Reduction of carbon sinks / Depletion of the aquatic fauna / Degradation of the surface and groundwater quality / Depletion of groundwater.

Project -8:

Adverse Impacts: Since groundwater level is not very deep, Exhaust gases, smells, dust / Methane and carbon dioxide gas emissions from waste storage sites.

Project -9 and 10:

Adverse Impacts: Exhaust gases / ash / Boilers / Carbon monoxide, Hydrogen chloride, Hydrogen fluoride, Sox, NOx, PCDD/F, Dust, Mercury.

Project -11:

Indirect Impacts of all projects: New highways and railways construction/ Dust, NOx, benzo[a]pyrene emissions, resulting from the combustion of fuels / Fuel leaks / Noise / Health risks and environmental degradation / Waste discharge on the roadsides, Interventions into water and nitrogen cycle / Temporary land-grabbing practices / quality soil loss.

3.5. Importance of Cumulative Impacts over the VECs in Dhaka City

In order to determine the significance of cumulative impacts on the future conditions of the VECs, the potential response of VECs to pressure as well as their resilience, self-recovery capacity and recoverability have been evaluated, and potential cumulative impacts have been classified in accordance with their severity. This classification is based on the potential impacts of some selected developments (possible land use plans) on the land-use-related VECs in the study area. Table 3 has been organized as simple as possible to make it more understandable even for policy implementers and other stakeholders possessing only very basic technical knowledge regarding the methodology adopted in this study. Table 3 shows the severity of the cumulative impacts resulting from some selected projects/developments over the VECs in the study area.

Table 3. Severity of the cumulative impacts from projects over the VECs

VECs	Developments*											Existing Impact	TCIP**
	Project -1	Project-2	Project -3	Project-4	Project -5	Project -6	Project -7	Project -8	Project -9	Project -10	Project -11		
A.	0	2	1	0	2	2	0	2	1	2	3	3	
B.	0	1	1	0	1	0	2	2	1	0	0	2	
C.	1	0	1	0	1	0	1	0	0	2	0	3	
D.	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	3	
E.	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	2	
F.	0	0	0	0	0	0	5	1	0	0	0	3	
G.	0	0	0	0	0	0	5	1	0	0	0	3	
H.	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	4	
I.	1	1	1	0	1	0	3	2	0	0	0	3	
J.	0	0	0	0	0	0	3	1	0	0	0	1	
K.	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	
L.	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
M.	1	1	1	0	1	0	4	1	0	0	0	3	
N.	0	1	0	0	2	0	3	1	0	0	1	3	
O.	1	1	0	0	1	0	2	1	1	1	1	3	
P.	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	4	
R.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
S.	1	0	1	0	1	0	3	0	1	0	0	2	
T.	1	1	0	0	1	0	1	1	0	1	2	4	
U.	0	0	1	0	0	0	0	2	0	0	0	3	
V.	1	2	0	0	0	1	0	3	1	0	1	2	
W.	2	3	3	1	3	2	1	1	1	4	3	3	
* (0): No cumulative impact alone; (1): Very low cumulative impact; (2): Low cumulative impact; (3): Medium cumulative impact; (4): High cumulative impact; (5): Very high cumulative impact; **TCIP: Total Cumulative Impact Potential													
None (0-4)			Low (5-9)				Medium (10-14)				High (+15)		

3.6. Assessing the significance of the cumulative impacts over VECs' predicted future conditions, and managing the cumulative impacts

In this step, the significance of the cumulative impacts over VECs' future conditions has been assessed and the existing individual and cumulative impacts have been taken into consideration. The results are as follows:

4. Results and Recommendations

When the selected developments are compared and the existing individual and cumulative impacts are taken into consideration, it can be concluded that the anthropogenic interventions to be carried out with the goal of protecting or developing Dhaka City in the context of the land use plan will further increase these negative impacts. Considering the main environmental threats within the context of land use, it can be argued that clearing the land around flooding zones and fault lines out of settlements to preserve natural the habitat of the region may yield more sustainable outcomes from both economic and environmental perspectives compared to taking structural measures regarding land use to protect the land. On the other hand, extending the implementation of developments over a period of time might play a positive role in minimizing cumulative effects by ensuring that the similar pollutants and pressures won't repetitively affect the same receptors/VECs. Strengthening the monitoring mechanisms, imposing

sanctions on violators of environmental protection laws properly, and increasing monitoring activities by privatizing them would strengthen cumulative impact management in Dhaka City. It should not be ignored that land use plans are being prepared in a state where cumulative impacts already exist. The most important aim must be to make environmental improvements and to facilitate urban and socio-economic developments.

This study tries to provide suggestions regarding land use planning to reduce cumulative impacts resulting from the failure of previously adopted policies or targeted but not implemented land use plans. The problems encountered are very complex and involve a large number of parameters. The requirements for the solution far exceed the capabilities of a single Project developer. Hence, individual sponsors, planning team, government of Bangladesh and stakeholders have to fully comprehend encountered cumulative impacts and risks, and make maximum effort to develop consistent management strategies to mitigate them. More importantly, it has to be realized that no matter what mitigation strategies will be developed, an active involvement of government of Bangladesh will be required to implement them properly and effectively. While elaborating on the current problems, experts from different disciplines should evaluate the

economic system, socio-economic goals, energy system, communication system, transport system, flood management, disaster and emergency management,

waste and sewage system, water supply system, education and culture system and so on of the city altogether.

5. References

- Ahmed, K. (2012). Getting to green: a source book of pollution management policy tools for growth and competitiveness. *Washington, DC: World Bank.*
- Al Jaber, S., Ghosh, A. K., & Mahmud, M. S. (2014). Using time series of satellite images to detect vegetation cover change in Dhaka city. *Journal of Geographic Information System, 6(06)*, 653.
- Alam, M. J., & Ahmad, M. M. (2010). Analysing the lacunae in planning and implementation: spatial development of Dhaka city and its impacts upon the built environment. *International Journal of Urban Sustainable Development, 2(1-2)*, 85-106.
- Anthony, K. R., Dambacher, J. M., Walshe, T., & Beeden, R. (2013). A framework for understanding cumulative impacts, supporting environmental decisions and informing resiliencebased management of the Great Barrier Reef World Heritage Area: Final Report to the Great Barrier Reef Marine Park Authority and Department of the Environment.
- Ball, M. A., Noble, B. F., & Dubé, M. G. (2013). Valued ecosystem components for watershed cumulative effects: an analysis of environmental impact assessments in the South Saskatchewan River watershed, Canada. *Integrated environmental assessment and management, 9(3)*, 469-479.
- Barua, U., Akther, M. S., & Islam, I. (2016). Flood risk reduction approaches in Dhaka, Bangladesh. In *Urban disasters and resilience in Asia* (pp.209-226). Butterworth-Heinemann.
- Cardinale, P., & Greig, L. (2013). Cumulative impact assessment and management: Guidance for the private sector in emerging markets. Department of Environment (2012b). *Emission inspection of in-use vehicle in Bangladesh.*
- Environmental Impact Assessment of RAJUK Urban Resilience Unit Building Project, (2019). *Bangladesh University of Engineering and Technology (BUET) Dhaka-1000, Bangladesh.*
- EPD Congress (2015). Review of global environmental evaluations of policies and proposals.
- Haroon, S. M., Bhakta, A. K., Shahabuddin, M., Rahman, N., & Mahmud, M. R. (2018). Bicycling as a mode of transportation in Dhaka City, status and prospects. *4th International Conference on Advances in*

- Civil Engineering, CUET, Chittagong, Bangladesh.*
- Hossain, M. K. (2016). Bangladesh national conservation strategy biodiversity: Flora. *Ministry of Environment and Forests, GoB, Dhaka.*
- Hossain, S. (2019). Most brick kilns burn wood, use illegal drum chimneys.
- Ishtiaque, A., Mahmud, M. S., & Rafi, M. H. (2014). Encroachment of canals of Dhaka City, Bangladesh: an investigative approach. *GeoScape, 8*(2), 48-64.
- Islam, M. T. (2019). More than 50 illegal brick kilns flout laws in Barguna.
- Jie, L., Jing, Y., Wang, Y., & Shu-xia, Y. (2010). Environmental impact assessment of land use planning in Wuhan city based on ecological suitability analysis. *Procedia Environmental Sciences, 2*, 185-191.
- Maria, S., Croitoru, L., Khaliquzzaman, M., Ferdausi, S. A., & Li, J. (2011). Introducing Energy-efficient Clean Technologies in the Brick Sector of Bangladesh. *Government of Bangladesh. Washington DC: Energy Sector Management Assistance Program (ESMAP), The World Bank.*
- MoEF, (2016). Bangladesh National Conservation Strategy, Executive summary, Dhaka: IUCN, Bangladesh Forest Department, (NCS), (2016-2031).
- Motalib, M. A., Lasco, R. D., Pacardo, E. P., Rebanco, C. M., & Dizon, J. T. (2015). Health impact of air pollution on Dhaka City by Different Technologies Brick Kilns. *International Journal of Technology Enhancements and Emerging Engineering Research, 3*(05), 127.
- Mukul, S. A., Biswas, S. R., & Rashid, A. M. (2018). Biodiversity in Bangladesh. *Global Biodiversity: Volume 1: Selected Countries in Asia.*
- Plan, D. S. Dhaka Structure Plan 2016–2035, (2015). *City Region Development Project (CRDP) Package No.: CRDP/RAJUK//S-01 Loan No.: BAN-2695.*
- Roudgarmi, P. (2018). Cumulative effects assessment (CEA), a review. *Journal of Environmental Assessment Policy and Management, 20*(02), 1850008.
- Scott-Brown, M. (2018). Rapid Cumulative Impact Assessment, Addendum to the Environmental and Social Impact Assessment. *Project Number: 51274-001 018.*
- WHO (2019a). Health sustainable development, Air pollution.
- World Bank, (2018). Enhancing opportunities for clean and resilient growth in urban Bangladesh: Country environmental analysis. *Washington, DC: The World Bank Group.*

Araştırma Makalesi / Research Article

Assessment of High-Performance Fiber Reinforced Concrete (HPFRC) Durability Due to Exposing to Different Environmental Media

*¹Eslam I. N. Elhawary, ²Ashraf H. H. Elsafoury, ³Seleem. S. E. Ahmed

¹Misr Higher Institute of Engineering and Technology, Egypt, islamelhawary@yahoo.com,
<https://orcid.org/0000-0001-6516-2156>

²Zagazig Higher Institute of Engineering and Technology, Egypt, Ashraf1995@hotmail.com,
<http://orcid.org/0000-0001-6615-3083>

³Zagazig University ,Faculty of Engineerig, Egyptseleemahmad62@yahoo.com,
<http://orcid.org/0000-0001-9894-0209>

Geliş / Recieved: 27.08.2021;

Kabul / Accepted: 13.11.2021

Abstract

The durability and mechanical properties of HPFRC are experimentally investigated in this study after being exposed to four different media. Those media were air, water, sodium chloride, and magnesium sulfate with 7% concentration for both chloride and sulfate. Hooked-end galvanized steel fiber 50 mm length with three different fiber volume fractions, V_f , as follows 0.5%, 1.0% and 1.5% and polypropylene fiber with, V_f , 0.1%, 0.3%, and 0.5% were invoked in concrete containing macro silica fume, SF. Compressive, indirect tensile, and flexural tests were conducted on HPFRC specimens after exposing them to previous media after 28 and 180 days of exposure. The test results in the present work indicated that the HPFRC containing steel fiber is more durable than the other one containing polypropylene fiber, especially when exposed to sodium chloride and magnesium sulfate media. Moreover, the optimum values for compressive strength of HPFRC are obtained when V_f equals 1.0% for steel fiber and 0.3% for polypropylene fiber. On the other hand, the optimum values for indirect tensile and flexural strengths of HPFRC are obtained when V_f equals 1.5% for steel fiber and 0.5% for polypropylene fiber.

*¹Sorumlu yazar / Corresponding author

Bu makaleye atıf yapmak için

Elhawary, E. I. N., Elsafoury, A. H. H., & Ahmed, S. S. E. (2021), Assessment of High-Performance Fiber Reinforced Concrete (HPFRC) Durability Due to Exposing to Different Environmental Media, Journal of Innovations in Civil Engineering and Technology (JICIVILTECH), 3(2), 93-114.

Keywords: *High performance fiber reinforced concrete, Hooked-end steel fibers, Polypropylene fiber, Compressive strength, Indirect tensile strength*

Farklı Çevresel Ortamlara Maruz Bırakılan Yüksek Performanslı Lif Takviyeli Beton (HPFRC) Durabilitesinin Değerlendirilmesi

Öz

Bu çalışmada, Yüksek Performanslı Elyaf Takviyeli Beton (HPFRC) dört farklı ortama maruz bırakıldıktan sonra mekanik ve durabilite özellikleri deneysel olarak incelenmiştir. Bu ortamlar hava, su, her ikisi de %7 konsantrasyonda sodyum klorür ve magnezyum sülfattır. 50 mm uzunluğunda kanca uçlu galvanizli çelik lif %0.5, %1.0 ve %1.5 olmak üzere üç farklı hacim fraksiyonunda (V_f), makro silis dumanı (SF) içeren betonda ise polipropilen lif %0.1, % 0.3 ve %0.5 hacim fraksiyonlarında kullanılmıştır. HPFRC numuneleri önceki ortamlara 28 ve 180 maruz kaldıktan sonra, basınç dayanımı, dolaylı çekme ve eğilme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Mevcut çalışmadaki deney sonuçları, çelik lif içeren HPFRC'nin, özellikle sodyum klorür ve magnezyum sülfat ortamına maruz kaldığında, polipropilen lif içeren diğerine göre durabilitesinin daha iyi olduğunu göstermiştir. Ayrıca, HPFRC'nin basınç dayanımı için optimum değerler, V_f , çelik fiber için %1.0 ve polipropilen fiber için %0.3'e eşit olduğunda elde edilmiştir. Bununla birlikte, HPFRC'nin dolaylı çekme ve eğilme dayanımları için optimum değerler, V_f , çelik elyaf için %1.5 ve polipropilen elyaf için %0.5'e eşit olduğunda elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Yüksek performanslı elyaf takviyeli beton, Kancalı çelik elyaflar, Polipropilen elyaf, Basınç dayanımı, Dolaylı çekme dayanımı

1. Introduction

Reinforced concrete structures often crumble due to corrosion of steel reinforcement as a result of exposure to corrosive media. It has to serve for a long life span in a very harsh environment. With the development of fiber characteristics, such as durability and excellent mechanical properties, fiber has been used as an important addition to concrete. The fiber reinforced concrete has a perfect performance in mechanical properties and durability compared with plain concrete. Steel fiber (SF) and polypropylene fiber (PPF) outperform other fibers in terms of improving the properties of concrete and are widely used in practical engineering applications such as bridges, harbors, and road pavement. Several studies used various experimental methods to investigate the mechanical and durability properties of fiber-reinforced concrete (Polder & De Rooij, 2016). Köksal, Altun, Yiğit and Şahin (2008) studied the effect of silica fume with different percentages of 5, 10, and 15% with the addition of steel fiber 0.5 and 1% with an aspect ratio of 65 and 80 on compressive strength of FRC. It was found that the compressive strength values of concretes having an aspect ratio of 80 were higher than that of concretes with an aspect ratio of 65 for the same silica fume and steel fiber content. Experimental work for studying the effect of polypropylene fiber of concrete containing silica fume with different percentages of fiber on workability and durability of concrete was presented in Patel and Kulkarni's study (Patel & Kulkarni, 2012). The

results showed that polypropylene fiber added to concrete has a slight effect on workability. Another experiment investigated the properties of concrete with the addition of polypropylene fiber on shear, tensile and compressive strength. The results noted that increasing polypropylene fiber has a little effect on compressive strength by the addition of fiber from 0.35% to 0.50% (Ahmed et al., 2006). The polypropylene fiber with ratios of 0%, 0.1%, 0.2%, 0.3% and 0.5% of cement weight has been used in Mashrei, Sultan and Mahdi's study. (Mashrei et al., 2018). The results show that the addition of polypropylene fiber to concrete influences compressive strength. The maximum compressive strength increased for mixes that contain fibers with a percentage of 0.2% of polypropylene fiber and a decrease in compressive strength when fiber percentage exceeds 0.2%. Gao, Sun, and Morino (1997) found that increasing fiber volume fraction led to increasing splitting tensile strength. It depends on aspect ratio and various fibers volume fractions. To get high splitting tensile strength volume fraction must exceed 1.0%. Song, Hwang, and Sheu (2005) examined polypropylene fiber reinforced concrete with a fiber content of 0,6 kg / m³. The splitting tensile strength improved. Islam and Gupta (2016) used polypropylene fiber with various contents. The results show that the addition of 0.1% of polypropylene fiber gave an increase in tensile strength compared to plain concrete. Hasan, Maroof and Ibrahim (2019) found that the addition of polypropylene fiber with a volume fraction of 0.36% causes an improvement in strength properties

after 28 days. Flexural strength test specimens with a prismatic dimension of 100 x 100 x 500 mm were conducted in Rahmani, Kiani, Sami, Fard, Farnam, & Shekarchizadeh's study (Rahmani et al., 2011). Test procedure loading according to ASTM C1018 using third point loading. Three specimens were tested after 28 days. The average result shows that the addition of steel, glass, and polypropylene fibers with a volume fraction of 0.5%, 0.125%, and 0.125% respectively. The results show that the addition of fibers improves the flexural strength of concrete. Steel fiber reinforced concrete resistance to corrosion is governed by factors that affect the corrosion resistance of reinforced concrete such as chloride penetration ions, carbonation, and sulfate attack related to the permeability matrix of cement (Frazão et al., 2015). Researchers' results showed that ultra-high-performance fiber concrete (UHPC) which contains steel fibers has a high resistance to chloride penetration compared to plain concrete (Tayeh et al., 2012; Behfarnia & Behravan, 2014). The effect of steel fibers on chloride penetration resistance by using $L = 32$ mm and $L/D = 53$ was introduced in Anastasiou, Papayianni, and Papachristoforou's study (Anastasiou et al., 2014). As the volume fraction was 0.4, 0.6, and 0.8%, the penetration depth was reduced for SFRC compared to the control sample. Vegesana and Killamsetty (2020) studied the durability of steel fiber reinforced concrete and strength for end hooked type with dosage by weight of concrete 0.5%, 1.0%, and 1.5% with 60 aspect ratios. Specimens were tested after 7 and 28

days. The results show that steel fiber reinforced concrete had more resistance to sulfate attack and acid attack than conventional concrete. Krishna and Rao (2016) studied steel fiber reinforced concrete (SFRC) durability with a dosage of 0.5%, 1.0%, and 1.5% by volume of concrete. End hooked steel fibers are randomly dispersed in concrete. Cube specimens were immersed in sulfate acid with 3% for 28 days and 56 days. The addition of steel fiber was effective for acid resistance. Increasing the dosage of fiber led to a decrease in compressive strength. Basavaraj and Amaresh (2015) studied the durability of SFRC with a dosage of 0.75%, 0.1%, and 1.25% by volume and 54 aspect ratios. After 28 days of curing, the cubic specimens were removed from the curing tank and impressed in a 3% H_2SO_4 solution. SFRC is more resistant to acid attack compared to conventional concrete. A dosage of 1.25% gives a high resistance to acid attack. Vegesana and Killamsetty (2020) studied the behavior of reinforced concrete with steel fiber exposed to chemical attack with a concentration of 5% for H_2SO_4 , $MgSO_4$, and $NaCl$ solutions in both control and SFRC. The results show that loss of compressive strength and weight for H_2SO_4 is higher than $MgSO_4$ and $NaCl$. Rajak and Rai (2019) studied the effect of polypropylene fiber concrete specimens after being submerged in 5% sulfuric acid solution of H_2SO_4 at different periods. Removing specimens from H_2SO_4 solution after 56 days, some minor spalling action of chemicals was noted <1mm thick around the attacked area. The loss weight for polypropylene fiber is significantly smaller compared to

ordinary Portland cement concrete when exposed to 5% H_2SO_4 solution. Nair and Varghese (2017) investigated the effect of polypropylene fiber by casting and curing cube specimens with dimensions of 150 x 150 x 150 mm for 28 days. Sulfate attack was tested using 5% $MgSO_4$. The specimens were immersed in $MgSO_4$ for 56 days. After reaching 56 days, specimens were raised from solution, then the surface of the specimens was cleaned and weight was measured. Specimens were tested in a compression testing machine. The results showed that the compressive strength slightly decreased. The mechanical and durability properties of HPFRC were investigated experimentally in this study by exposing it to four different media. Air, water, sodium chloride, and magnesium sulfate with 7% concentration were used. Hooked-end galvanized steel fiber 50mm length with volume fraction, V_f , 0.5%, 1.0%, and 1.5% and polypropylene fiber with V_f , 0.1%, 0.3%, and 0.5% were invoked in concrete containing macro silica fume,

SF, and Master Glenium RMC 315 as superplasticizer.

2. Experimental Works

The main purpose of this research is to experimentally study the durability of HPFRC with different types of fibers exposed to different environments like air, water, chlorides, and sulfates. The evaluation of the effect of these environments is based on the mechanical properties of compressive, indirect tensile and flexural tests. The experimental program includes the investigation of the durability of steel fiber concrete and polypropylene fiber concrete after exposing to these media for 28 and 180 days.

2.1 Materials

The fine aggregate used in the concrete mix was natural siliceous sand with good quality and free from impurities. Physical properties and sieve analysis of sand was determined as shown in Table 1 and Table 2.

Table 1. Physical properties of sand

Property	Measured value	Egyptian code limits
Compactd density	1795 kg/ m ³	_____
Loose density	1700 kg/m ³	_____
Specific gravity	2.60	_____
Fine material	1.5 %	2.5 %

The nominal maximum size of used dolomite was 14 mm as coarse aggregate. Sieve analysis is shown in Table 3 and physical properties are shown in Table 4. The dolomite was

washed and immersed carefully in water to be fully saturated and then dried well over a sieve at room temperature before mixing.

Table 2. Sieve analysis of sand

Sieve opening, mm	Passing %	General limits*
5	98.9	89-100
2.36	95.4	60-100
1.18	80.5	30-100
0.6	40.6	15-100
0.3	25.9	5-70
0.15	8.2	0-15

*Egyptian code No.203/2020

Table 3. Sieve analysis of dolomite

Sieve opening, mm	Passing %	General limits*
50	100	-
37.5	100	-
20	100	100
14	98.1	85-100
10	40.5	0-50
5	3.8	0-10
2.36	0	-

Table 4. Physical properties of dolomite

Property	Measured Value	Egyptian Code Limit
Specific gravity	2.6	—
Unit weight, t / m ³	1.48	—
Absorption %	.85%	2 %
Organic materials	None	0.05-0.1 %

*Egyptian code No.203/2020

The used water in all mixes was fresh water, free from impurities and clean drinking water. The used water/cement ratio was 0.35 for all mixes. Portland cement CEMI with grade 52.5 N Sinai

Silica fume had a particle size of 0.7 μm and a bulk density of 345 kg/m³. Silica fume was added by a percentage of cement weight to the mix. It added 15% of the cement weight. A high range water reducer (HRWR) of the third generation called Master Glenium 315C

Company was used in this work. The physical properties of used cement are illustrated in Table 5 according to Egyptian standard specification.

with properties listed in Table 6 was used.

Hooked end steel fiber used in this work is shown in Fig 1. Steel fiber has length of 50 mm with .5 mm diameter and modulus of elasticity of 200 GPa. The aspect ratio (L/D) was 100. The properties of used steel fiber are given in

Table 7. Fiber volume fractions with $V_f = 0.5\%$, 1.0% and 1.5% were used.

Table 5. Physical properties of cement

Property	Test result	E.S.S 4756-1/2013
Specific gravity	3.15	-
Setting time		
Initial [min.]	90 min.	≥ 45 min.
Final [hr.]	4.35 hr.	_____
Fineness	3300 cm ² /gm*	_____
Compressive strength		
[MPa]		
2 days	30 MPa	≥ 20 MPa
28 days	65 MPa	≥ 52.5 MPa

* Sinai company Results.

Table 6. Physical properties of Glenium as per the manufacturer data sheet**

Product data	
Appearance	Off white opaque liquid
Specific gravity	1.1 g/cm ³
PH-value	6.5 ± 1
Alkali content (%)	≤ 2.00 by mass
Chloride content (%)	≤ 0.10 by mass
Air content	Fulfilled
Water reduction	≥ 112% of Reference mix

**Certificate No. 0086-CPD-469071 EN 934-2: T3.1&T3.2

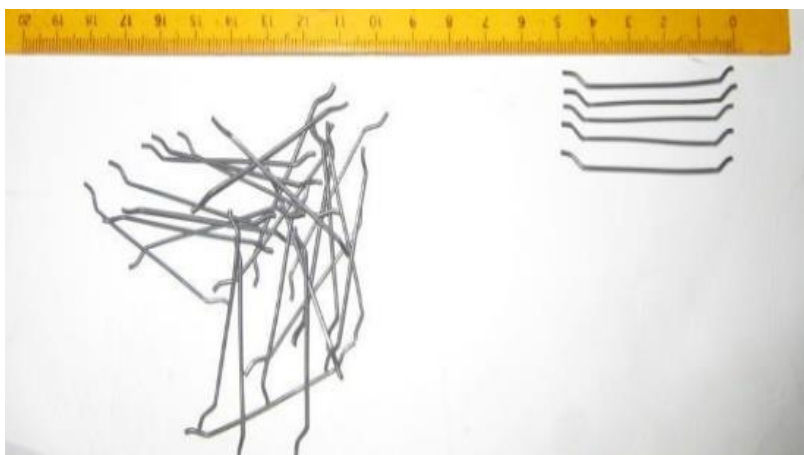


Figure 1. The hooked end steel fiber.

Table 7. Properties of the hooked-end steel fiber.

Property	Value
Type	Hocked end
Specific gravity	7.8
Tensile strength	400-800 MPa
Crimped height	2 – 3 mm
Length	50 mm
Diameter	.5 mm
Aspect ratio	100
Modulus of Elasticity	200 GPa

Polypropylene fiber is an additive fiber to reduce the occurrence of plastic shrinkage and plastic settlement cracking, whilst enhancing the surface properties and durability of hardened cementitious products. It was supplied

by Sika Company as shown in Fig 2. The properties of used polypropylene fiber are given in Table 8. Fiber volume fraction values of $V_f = 0.1\%$, 0.3% and 0.5% were used.



Figure 2. The polypropylene fiber.

Table 8. Properties of the polypropylene fiber

Property	Value
Type	Sika Fiber
Density	.91 gm nominal
Tensile strength	300-400 N/mm ²
Length	18mm
Melt point	160 ° c
Specific surface area	250 m ² /kg
Modulus of elasticity	4000 N/mm ²

3. Mix Proportion and Design

The mix proportions of all test specimens were given in Table 9 by using the absolute volume method. The fibers were added to the mix as a ratio of

its volume by the percentages illustrated in the experimental program and silica fume was added as a percentage of cement weight.

Table 9. Mix proportions

Mix items	Amount	Ratio
Cement (kg/m ³)	500	1
Silica fume (kg/m ³)	75	
Sand (kg/m ³)	750	1.31
Dolomite (kg/m ³)	1000	1.74
Water (lit/m ³)	201	0.35
Superplasticizer (lit/m ³)	10	0.017

4. Specimens Details, Mixing, Curing and Testing

The total numbers of specimens casted for testing are 168, as follows, 84 specimens casted for 28 days and 84 specimens casted for 180 days. Each media consists of 7 fiber ratios and every fiber ratio comprising of 3 specimens and the average value is reported. 168 cylindrical specimens with dimensions of 100 mm diameter and 200 mm height were casted for indirect tension test. The specimens were divided like cubes. 168 beam specimens with dimensions of 100 x 100 x 500 mm for flexural test were, also, casted and divided like cubes and cylinders. The constituent materials were initially mixed without fibers.. The fibers were then added in small amounts to avoid fiber balling and to produce concrete with uniform material consistency and good workability then compacted on a vibration table. The slump test was performed to measure the workability of the concrete mix in this

work. The slump value was 6 cm for control specimens. No sign of segregation was detected and the mixture showed good homogeneity and cohesion. It was observed that using fiber decreases the value of the slump than control specimens. The slump value for fiber concrete was 5 cm. The specimens were demolded after 24hours from the time of casting and cured in tap water for 28-days at room temperature conditions. After that specimens were placed in different media for a period of 28 and 180 days. Those media were prepared as follows: water media consists of basins filled with drinking water, air media is at room temperature on the ground, the sulfate media consists of basins containing solutions of 7% magnesium sulfate, and the chloride media consists of basins containing solutions of 7% sodium chloride. The solution was changed after 3 months to keep constant concentration during the storage duration. Three standard tests were used to measure the mechanical properties of specimens.

A universal testing machine with a maximum capacity of 1000 kN was used. Figures 3, 4 and 5 showed the test setup for compressive strength, indirect tensile

strength, and flexural strength in accordance with ASTM C-109, ASTM C-496 and ASTM C-78, respectively.



Figure 3. Compressive Strength Test.



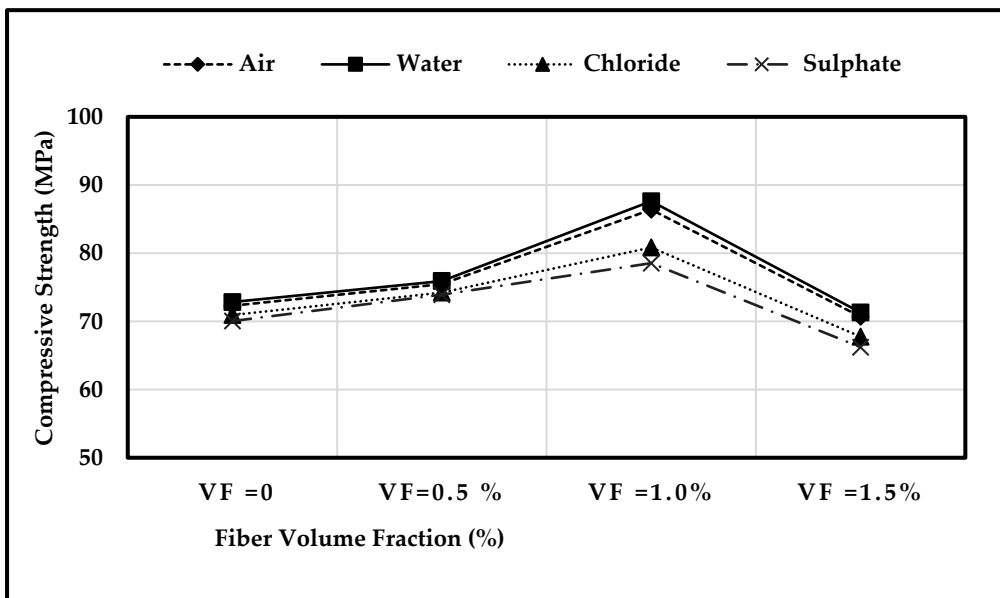
Figure 4. Indirect Tensile Strength Test.



Figure 5. Flexural Strength Test.**5. Results And Discussion****5.1 Compressive Strength**

The results shown in Figures 6 and 7 indicate that using steel fiber in high performance concrete containing silica fume led to improve compressive strength. The maximum values of compressive strength were obtained at 1.0% fiber ratio where an improvement by 20% and 19.7% was reported as compared with that of control specimens after 28 and 180 days, respectively. This improvement is more pronounce when concrete was cured in clean water This result is in agreement with the results of Köksal et al. (2008) and Balu, S. (2015), where they found that the highest compressive strength obtained at volume fraction of about 1.0%, which is about 13.8% and 5.6% respectively.

Moreover, one can notice that, the results in figures 6 and 7 approved that the sulfate media is the most aggressive media for the compressive strength of concrete. With the volume fraction of steel fiber increased to 1.5%, the compressive strength in all media was decreased with severe rate especially in sulfate media at 180 days. The enhancement in compressive strength with addition of steel fiber in these media can be attributed to the confinement effect of fibers that increases the stiffness of concrete, the resistance of cracking to the propagation of micro and macro-cracks and the ability of steel fibers to add cohesion between the components of the concrete mixture and also give additional strength and resistance to concrete under the influence of applied loads.

**Figure 6.** Compressive strength for steel fiber concrete after 28 days.

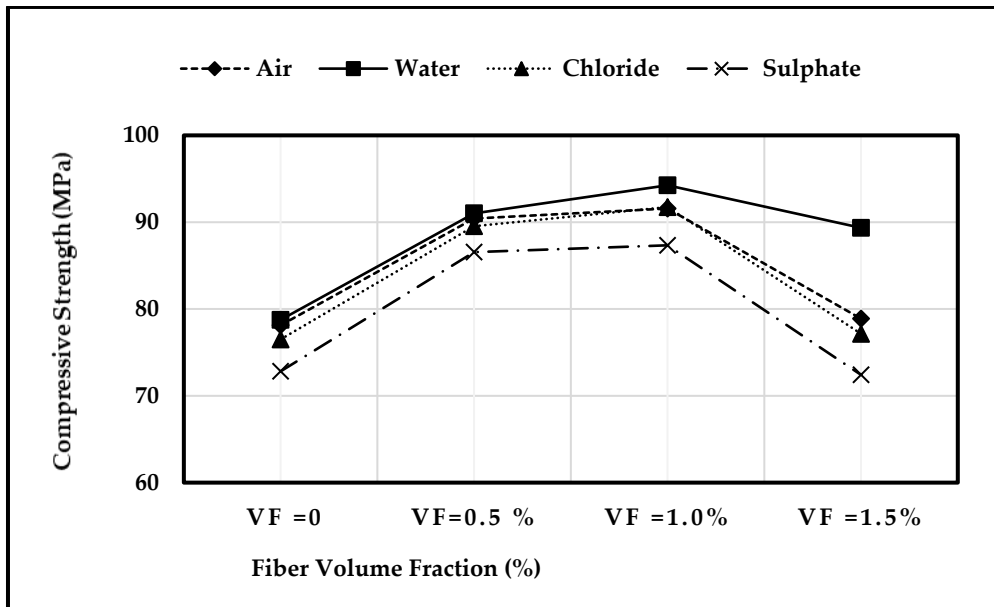


Figure 7. Compressive strength for steel fiber concrete after 180 days.

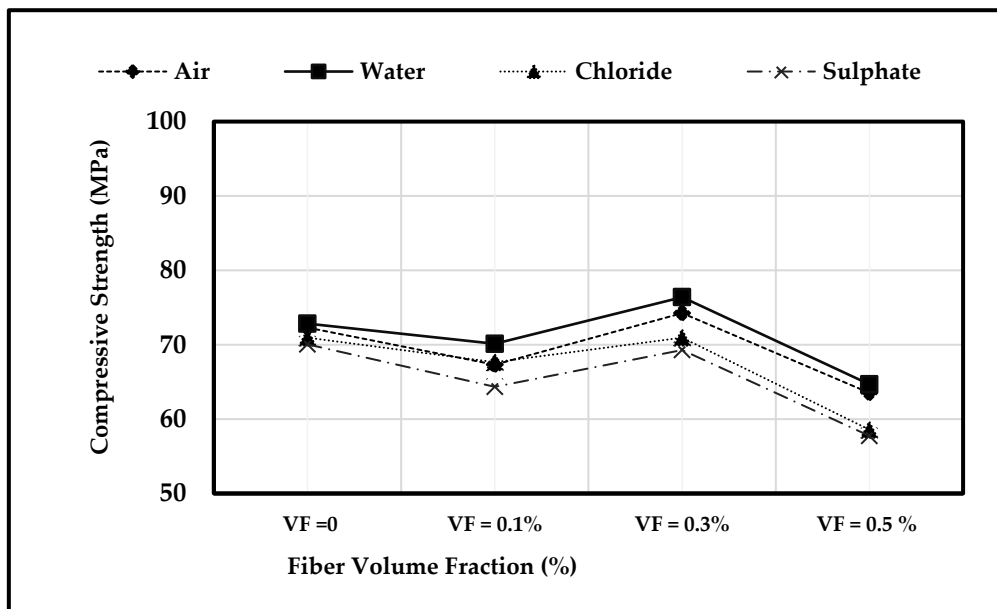


Figure 8. Compressive strength for Polypropylene fiber concrete after 28 days.

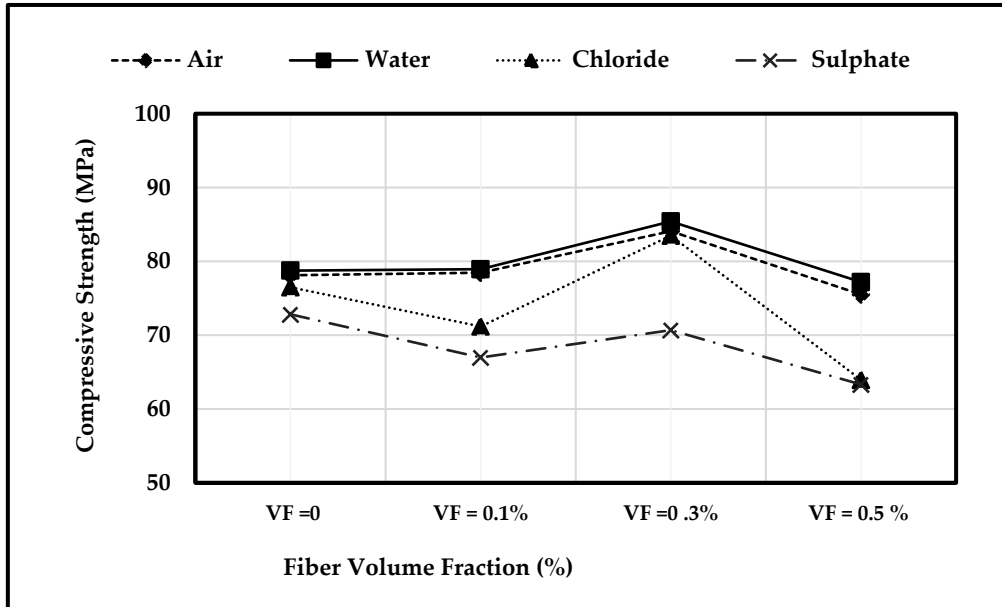


Figure 9. Compressive strength for Polypropylene fiber concrete after 180 days.

Figures 8 and 9 shows that using polypropylene fiber with a volume fraction of 0.1% did not improve compressive strength after 28 days compared to the steel fibers and there is a slight improvement of 4.8% when using a 0.3% volume fraction and curing in clean water after 28 days. Likewise, after 180 days, the improvement in compressive strength was 8.4% at a 0.3% volume fraction. This result is in agreement with the result of Ahmed. S. et al. [6] where it is noted that the addition of polypropylene fiber from

5.2 Indirect Tensile (Splitting) Strength

The results shown in Figures 10 and 11 indicate that using steel fiber in high performance concrete containing silica fume led to improve indirect tensile strength after 28 and 180 days. It is noted that increasing fiber ratio in the concrete leads to an increase in the

0.35% to 0.5% has a little effect on compressive strength. By comparing the results of compressive strength for HPFC in different media, it is clear that steel fibers improve compressive strength in all media, but in different proportions, and the ratio of 1.0% is the optimal ratio. While the propylene fibers did not lead to a noticeable improvement in compressive strength in different media, and the percentage of 0.3% gave a slight improvement rate compared to the steel fibers.

indirect tensile resistance. The maximum value obtained at 1.5% volume fraction were 94% and 143% with respect to control specimens after 28 and 180 days, respectively. This improvement is clearly when concrete is cured in clean water. This result is in agreement with the result of Jianming Gao et al. [8] where it is found that increasing volume fiber fraction from

0% to 2.0% led to increasing splitting tensile strength from 4.95 to 8.8 MPa due to the increase in the bonding between the components of the concrete mixture by increasing the percentage of fibers in the concrete mixture, which in turn delays the appearance of cracks and reduces their width. The fibers also have a great role in forming connecting bridges in the crack area, which helps the section to increase the bearing and create additional resistance.

Using polypropylene fiber, as shown in figures 12 and 13, did not improve

indirect tensile strength after 28 days compared to the steel fibers. On the hand, the values of indirect tensile strength improved by 55.6% with respect to control specimens when using a 0.5% volume fraction and curing in clean water after 180 days. From the previous results, the indirect tensile strength for HPFRC in different media increased with increasing volume fiber fraction and steel fiber improve indirect tensile strength than polypropylene fiber in all media, but in different proportions, and the ratio of 1.5% steel fiber gave a maximum value for indirect tensile strength.

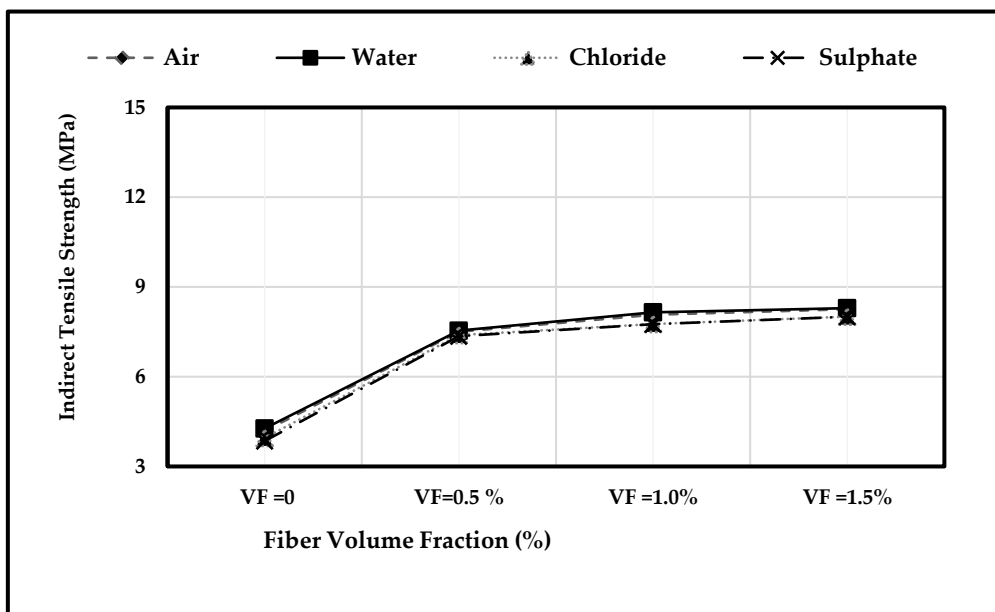


Figure 10. Indirect Tensile strength for steel fiber concrete after 28 days.

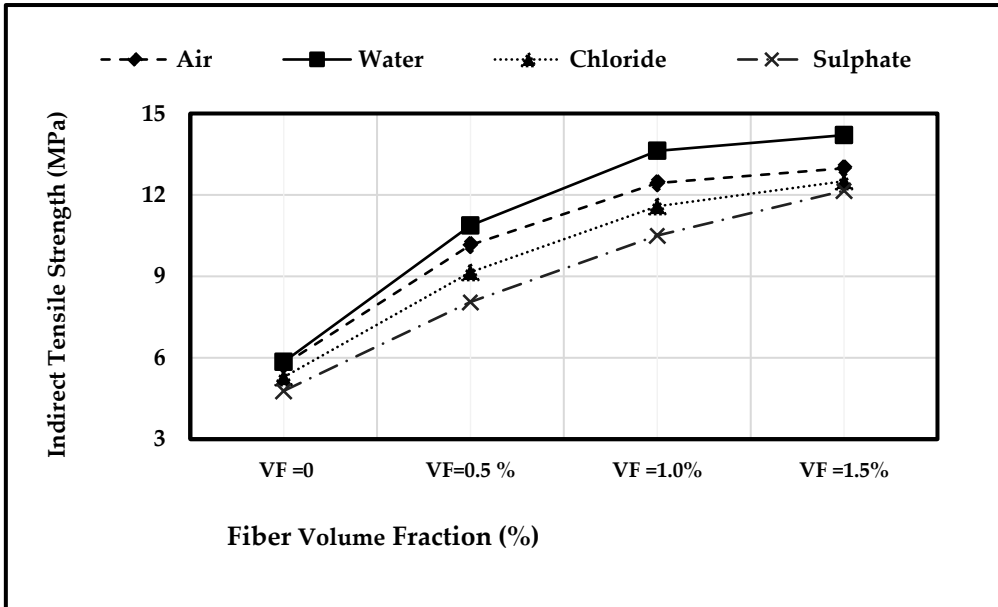


Figure 11. Indirect Tensile strength for steel fiber concrete after 180 days.

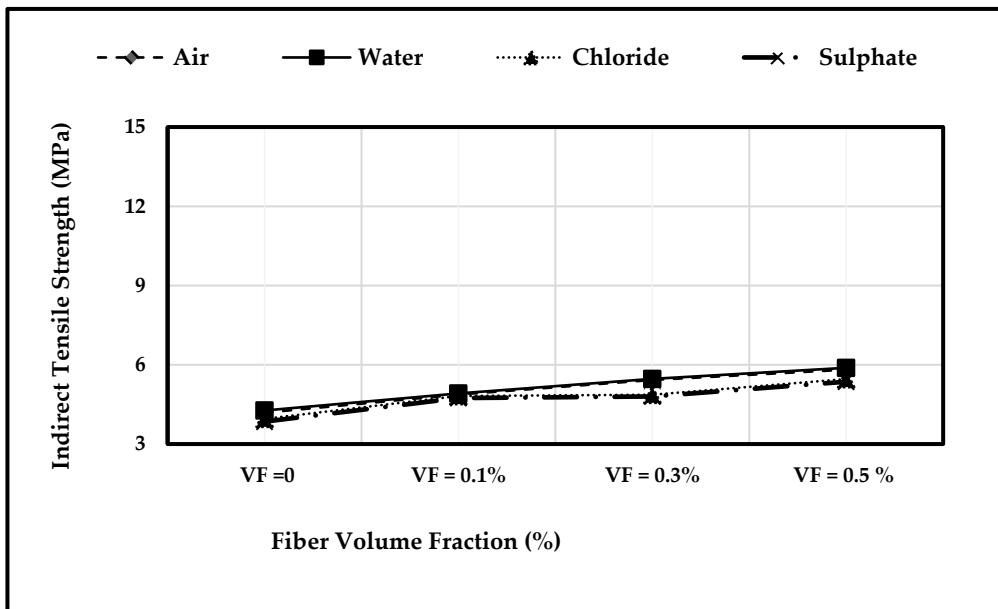


Figure 12. Indirect Tensile strength for Polypropylene fiber concrete after 28 days.

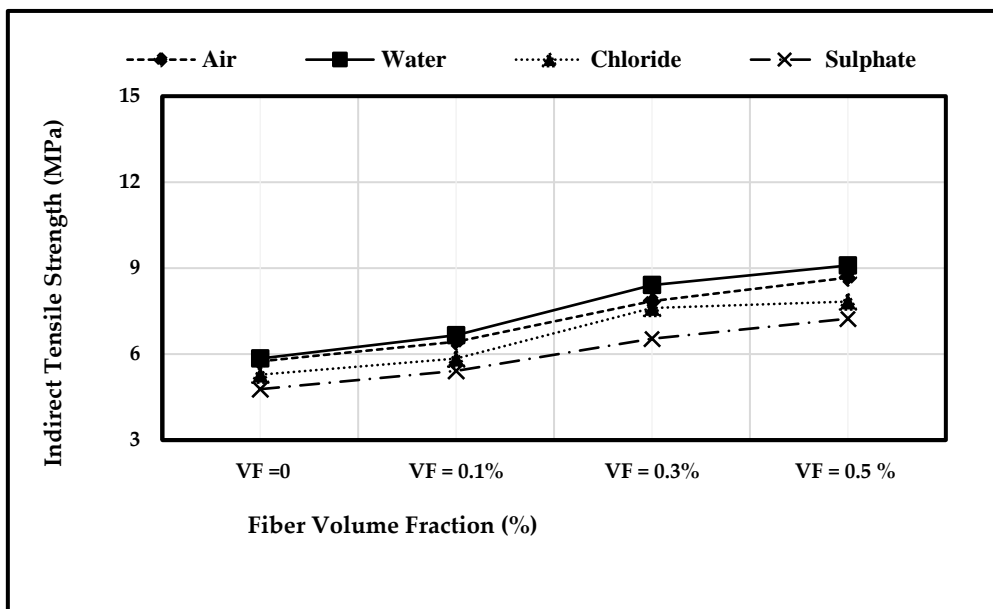


Figure 13. Indirect Tensile strength for Polypropylene fiber concrete after 180 days.

5.3 Flexural Strength

From the results shown in Figures 14 and 15, one can notice that, the experimental results for flexural strength of steel fiber reinforced concrete in different media were improved after 28 and 180 days with increasing the fiber ratio in the concrete. The maximum value obtained at 1.5% volume fraction was 47.8% and 21% with respect to control specimens after 28 and 180 days when concrete is cured in clean water. This result is in agreement with the result of T. Rahmani et al. [12] where it is found that the addition of steel fiber volume fraction led to improving flexural strength. This is due to the ability of steel fibers to significantly increase the

flexibility and durability of the concrete section, thus giving it the ability to reach maximum resistance. The data presented in Figure 16 shows that using polypropylene fiber improves flexural strength after 28 days in all media for all fiber volume fractions. On the hand, the flexural strength in all media showed a remarkable decreasing at Vf equals 0.1% and after 180 days as shown in Figure 17. After that the flexural strength starts to increase with the increase of the volume fraction of polypropylene fiber content up to 0.5%. The maximum value obtained at 0.5% volume fraction was 29.6% increase with respect to control specimens in sulfate media.

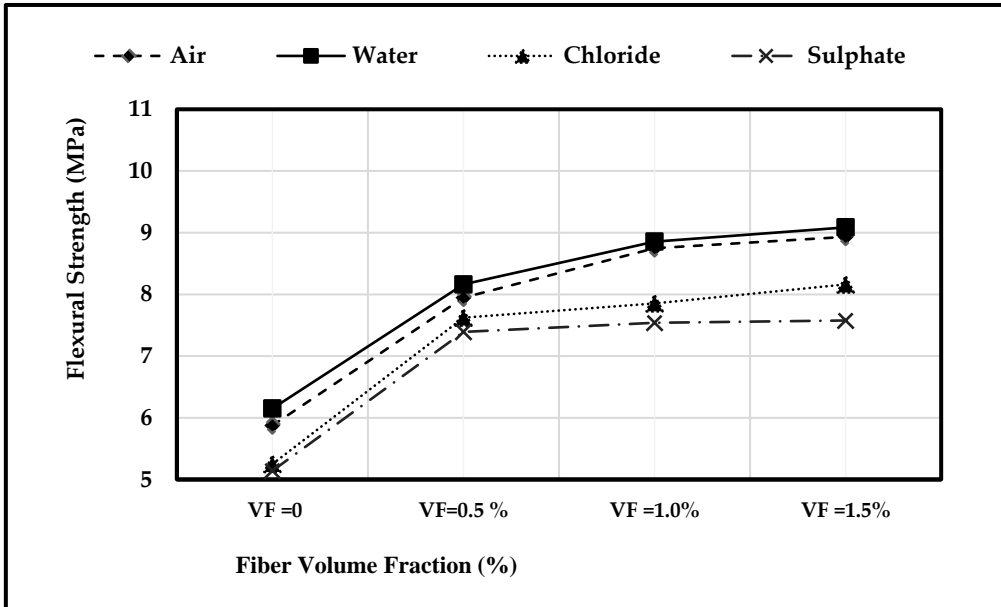


Figure 14. Flexural strength for steel fiber concrete after 28 days.

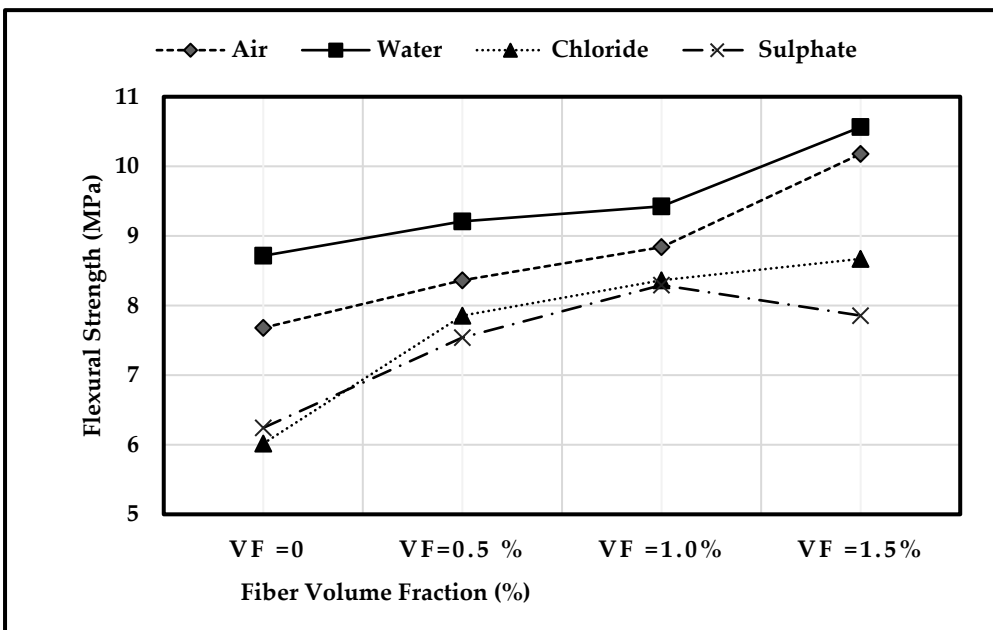


Figure 15. Flexural strength for steel fiber concrete after 180 days.

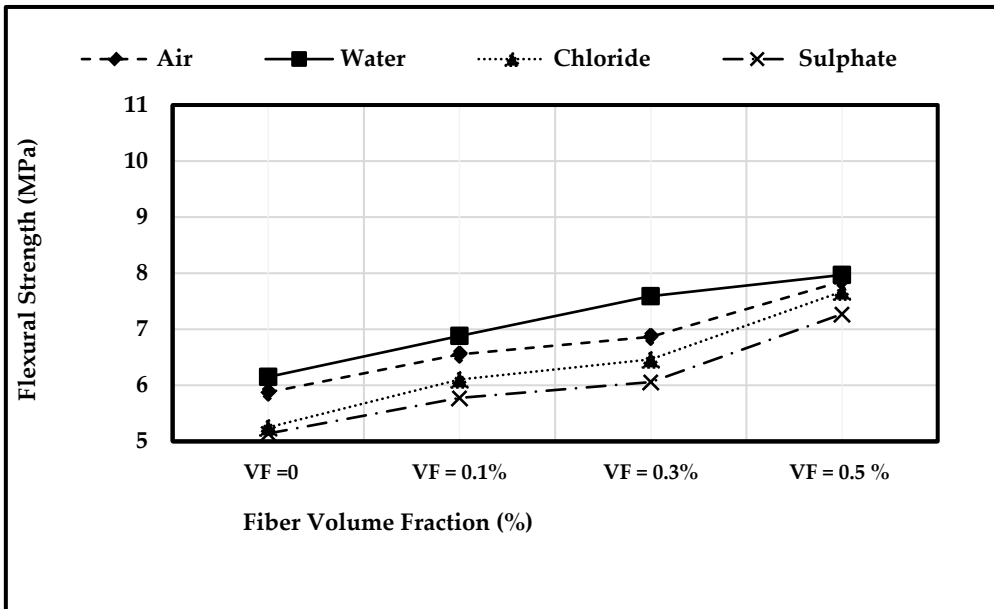


Figure 16. Flexural strength for Polypropylene fiber concrete after 28 days.

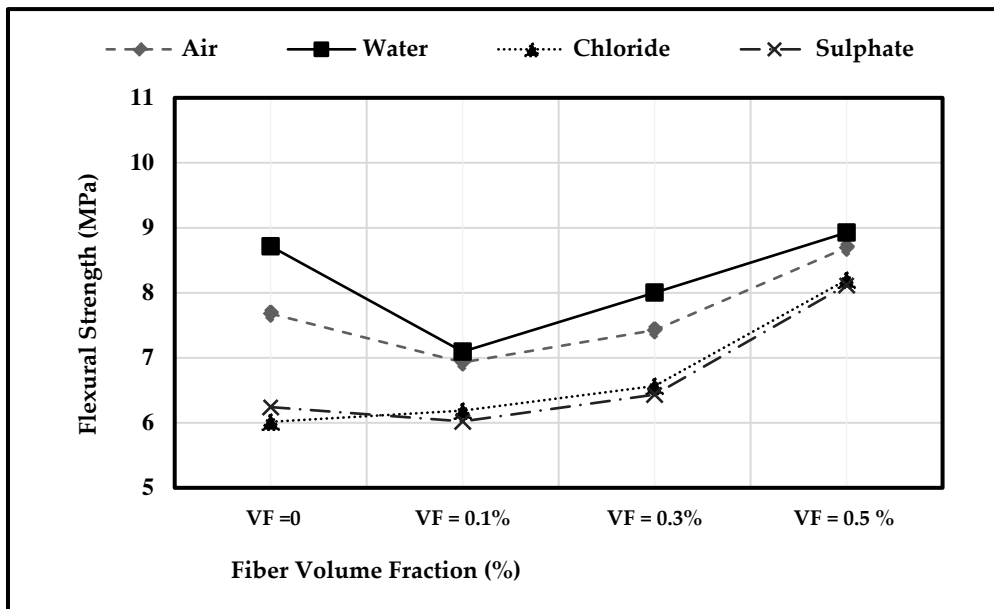


Figure 17. Flexural strength for Polypropylene fiber concrete after 180 days.

6. Conclusions

This study presents an experimental program to investigate the effect of steel and polypropylene fiber on compressive strength, indirect tensile strength and flexural strength with various volume fraction at different environmental media for different storage time.

From the obtained results, it can be concluded the following main points:

1- The optimum fiber volume fraction, V_f , in case of steel fiber concrete was 1.0% for compressive strength and 1.5% for indirect tensile and flexural strengths. While the optimum fiber volume fraction, V_f , in case of polypropylene fiber concrete was 0.3% for compressive strength and 0.5% for indirect tensile and flexural strengths.

2- At the optimum V_f , 1.0%, for steel fiber concrete the compressive strength at 180 day was found to decrease from 85.4 MPa, for water media, to 84.08 MPa,

to 83.48 MPa and to 70.86 MPa for air, chloride, and sulfate media respectively.

3- For polypropylene fiber concrete and at optimum V_f , the concrete compressive strength at 180 day was found, also, to decrease from 94.24 MPa, for water media, to 91.74 MPa, to 91.57 MPa and to 87.33 MPa for air, chloride, and sulfate media respectively.

4- At the optimum V_f , 1.0%, for steel fiber concrete the indirect tensile strength at 180 day was found to decrease from 14.4 MPa, for water media, to 12.98 MPa, to 12.5 MPa and to 12.12 MPa for air, chloride, and sulfate media respectively.

5- For polypropylene fiber concrete and at optimum V_f , the concrete flexural strength at 180 day was found, also, to decrease from 8.93 MPa, for water media, to 8.7 MPa, to 9.2 MPa and to 8.12 MPa for air, chloride, and sulfate media respectively.

References

- Ahmed, S., Bukhari, I. A., Siddiqui, J. I., & Qureshi, S. A. (2006, August). A study on properties of polypropylene fiber reinforced concrete. In *31st Conference on Our World in Concrete and Structures* (pp. 63-72).
- Anastasiou, E. K., Papayianni, I., & Papachristoforou, M. (2014). Behavior of self-compacting concrete containing ladle furnace slag and steel fiber reinforcement. *Materials & Design*, 59, 454-460.
- Balu, S. (2015). Effect of Steel Fiber on High Performance Concrete Subjected to Heating Effect of Steel Fiber on High Performance Concrete Subjected to Heating. *International Journal of Applied Engineering Research*, 10(13), 33419-33423.
- Basavaraj and Amaresh. (2015). A study on durability of steel fiber reinforced concrete. *International journal for scientific research and development*. 395-401.
- Behfarnia, K., & Behravan, A. (2014). Application of high-performance

- polypropylene fibers in concrete lining of water tunnels. *Materials & Design*, 55, 274-279.
- Frazão, C., Camões, A., Barros, J., & Gonçalves, D. (2015). Durability of steel fiber reinforced self-compacting concrete. *Construction and Building Materials*, 80, 155-166.
- Gao, J., Sun, W., & Morino, K. (1997). Mechanical properties of steel fiber-reinforced, high-strength, lightweight concrete. *Cement and Concrete Composites*, 19(4), 307-313.
- Hasan, A., Maroof, N., & Ibrahim, Y. (2019). Effects of polypropylene fiber content on strength and workability properties of concrete. *Polytechnic Journal*, 9(1), 7-12.
- Hensher, D. A. (2016). Fiber-reinforced-plastic (FRP) reinforcement for concrete structures: properties and applications (Vol. 42).
- Islam, G. S., & Gupta, S. D. (2016). Evaluating plastic shrinkage and permeability of polypropylene fiber reinforced concrete. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 5(2), 345-354.
- Köksal, F., Altun, F., Yiğit, İ., & Şahin, Y. (2008). Combined effect of silica fume and steel fiber on the mechanical properties of high strength concretes. *Construction and building materials*, 22(8), 1874-1880.
- Krishna, P. V., & Rao, N. S. (2016). Durability Studies on Steel Fiber Reinforced Concrete. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 2016, 3.
- Mashrei, M. A., Sultan, A. A., & Mahdi, A. M. (2018). Effects of polypropylene fibers on compressive and flexural strength of concrete material. *Int. J. Civ. Eng. Technol*, 9(11), 2208-2217.
- Nair, M. J., & Varghese, R. (2017). Influence of glass fiber and polypropylene fiber on M30 grade concrete and its durability study. *Int. J. Innov. Res. Sci. Eng. Technol.*, 6(5).
- Patel, M. J., & Kulkarni, S. M. (2012). Effect of polypropylene fiber on the high strength concrete. *Journal of information, knowledge and research in civil engineering*, 2(2), 127.
- Polder, R. B., & De Rooij, M. R. (2005). Durability of marine concrete structures: field investigations and modelling. *Heron*, 50 (3).
- Rahmani, T., Kiani, B., Sami, F., Fard, B. N., Farnam, Y., & Shekarchizadeh, M. (2011, April). Durability of glass, polypropylene and steel fiber reinforced concrete. In *Proceedings of the International Conference on Durability of Building Materials and Components, Porto, Portugal* (pp. 12-15).
- Rajak, M., & Rai, B. (2019). Effect of Micro Polypropylene Fibre on the Performance of Fly Ash-Based Geopolymer Concrete. *Journal of Applied Engineering Sciences*, 9(1).
- Song, P. S., Hwang, S., & Sheu, B. C. (2005). Strength properties of nylon-and polypropylene-fiber-reinforced concretes. *Cement and Concrete Research*, 35(8), 1546-1550.
- Tayeh, B. A., Bakar, B. A., Johari, M. M., & Voo, Y. L. (2012). Mechanical and permeability properties of the interface between normal concrete substrate and ultra-high-performance fiber concrete overlay.

- Construction and building materials*, 36, 538-548.
- Vegešana, K. R., & Killamsetty, S. R. (2020). Compressive Behaviour of Steel Fiber Reinforced Concrete Exposed to Chemical Attack. *American Journal of Construction and Building Materials*, 4(1), 27-32.
- Vegešana, K. R., & Killamsetty, S. R. (2020). Compressive Behaviour of Steel Fiber Reinforced Concrete Exposed to Chemical Attack. *American Journal of Construction and Building Materials*, 4(1), 27-32.
- Vlasblom, M. (2018). The manufacture, properties, and applications of high-strength, high-modulus polyethylene fibers. In *Handbook of Properties of Textile and Technical Fibers* (pp. 699-755).

Araştırma Makalesi / Research Article

Keçi Kılının Lif Olarak Horasan Harcında Kullanılması

¹Nimet ŞİMŞEK, ^{*2}İsmail KILIÇ

¹Kırklareli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Kırklareli, Türkiye, nimet.simsek@klu.edu.tr, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6095-2455>

²Kırklareli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kırklareli, Türkiye, ismail.kilic@klu.edu.tr, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5556-512X>

Geliş / Recieved: 15.09.2021;

Kabul / Accepted: 16.11.2021

Öz

Bu çalışma, keçi kılının lif olarak kullanıldığı horasan harcı üzerine yapılmıştır. Horasan harcı üretiminde, doğal hidrolik kireç, standart kum, tuğla kırığı ve keçi kılı kullanılmıştır. 0-4 mm ve 0-2 mm olmak üzere iki farklı boyutta tuğla kırığının harç içerisine aynı oranda katılması ile iki grup harç üretilerek, dane boyutunun keçi kılı katkılı horasan harçları üzerindeki etkisi incelenmiştir. Ayrıca, keçi kılı harçlara %0,2, %0,4, %0,6, %0,8 ve %1 oranlarında katılarak değişen oranların harçlar üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Harç kalıbı kullanılarak 40mm x 40mm x160mm boyutlarında prizmatik horasan harcı örnekleri üretilmiştir. Taze harçlar üzerinde yayılma deneyi, 28 ve 90 günlük prizmatik harç örnekleri üzerinde ise birim hacim ağırlık, su emme, ultrases geçiş süresi, eğilme dayanımı ve basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Deneyler sonucunda 0-2 mm tuğla kırığı ile %0,8 keçi kılı kullanımı ve 0-4 mm tuğla kırığı ile %1 keçi kılı kullanımı dayanım açısından en iyi sonuçları vermiştir.

Anahtar kelimeler: Hidrolik kireç, Horasan harcı, Keçi kılı, Kireç harcı, Tuğla kırığı

*¹Sorumlu yazar / Corresponding author

Bu makaleye atıf yapmak için

Nimet, Ş., & Kılıç, İ. (2021). Keçi Kılının Lif Olarak Horasan Harcında Kullanılması. *Journal of Innovations in Civil Engineering and Technology (JICIVILTECH)*, 3(2), 115-131.

Using Goat Hair as Fiber in Horasan Mortar

Abstract

This study was carried out on horasan mortar in which goat hair is used as fiber. In the production of horasan mortar, natural hydraulic lime, standard sand, brick broken and goat hair were used. Two groups of mortars were produced by adding 0-4 mm and 0-2 mm bricks in two different sizes into the mortar at the same rate, and the effect of grain size on the goat hair added horasan mortars was investigated. In addition, the effects of varying ratios on the mortars were investigated by adding goat hair to the mortars at the rates of 0.2%, 0.4%, 0.6%, 0.8% and 1%. 40mm x 40mm x160mm prismatic horasan mortar samples were produced using a mortar mold. Spread test on fresh mortars, unit volume weight, water absorption, ultrasound transit time, bending strength and compressive strength tests were performed on prismatic mortar samples of 28 and 90 days. As a result of the experiments, the use of 0-2 mm broken brick with 0.8% goat hair and 0-4 mm broken brick with 1% goat hair gave the best results in terms of strength.

Keywords: *Hydraulic lime, Horasan mortar, Goat hair, Lime mortar, Broken brick*

1. Giriş

Günümüzde kültür varlıklarının korunması, üzerinde önemle durulan evrensel bir konudur (Ahunbay, 2009). Tarihi bir yapının kültürel varlık niteliği kazanabilmesi için özgünlüğünün bozulmamış olması gerekir. Mimari kültür varlığının özgünlüğü dikkate alınmadan, yıkılarak yeni malzeme, işçilik, tasarım ile inşa edilmesi, özgünlüğünün bozulması anlamına gelir ve o yapının korunmuş olduğundan bahsedilemez (Binan, 2016). Tarihi eserlerin restorasyonunda, horasan harcı yaygın olarak kullanılan bir harç türüdür. Bu harcın özellikleri iyi bilinmeli ve restorasyon çalışmalarında özgünlüğüne uygun olan malzemeler ile üretilmeli ve kullanılmalıdır.

Kelime olarak Horasan, İran'ın Horasan bölgesinden gelmektedir (İpekoğlu et al., 2007; Uğurlu & Böke, 2009). Horasan, kelime anlamı olarak, kırılmış tuğla ve kiremit gibi pişmiş killere denilmektedir (Topçu et al., 2005). Tuğla kırığı, kireç, su, lifler ve katkılar kullanılarak hazırlanan harca ise horasan harcı denilmektedir. Horasan harcı taşıyıcı ve bağlayıcı özelliğe sahip harç olarak kullanılmaktadır (Özkaya & Böke, 2009; Prince et al., 2001; Mavioğlu, 2011). Kireç içeren harçlar, bağlayıcı olarak çimentonun bulunmasına kadar geçen sürede, yapılarda yaygın olarak kullanılan malzemeler olmuşlardır (Böke et al., 2004; Dariz et al., 2017; Seabra et al., 2009). Bu harçlar, sarnıç ve hamam, su kemerleri gibi inşaatlarda kullanılmıştır (Güleç & Tulun, 1997; Böke & Akkurt,

2003; Stefanidou et al., 2014; Nezerka et al., 2015).

Horasan harç karışımlarında, bağlayıcı/agrega oranı 1/1 ile 1/4 arasında değişmektedir. Genellikle 1/2 ile 1/3 arasında oranlar önerilmektedir (Matias et al., 2014; Tosun et al., 2015; Özgen, 2002; Gürdal et al., 2012). Tuğla kırığı, horasan harcının mekanik dayanımını artırmaktadır. Horasan harcının karışımında kullanılan agrega miktarı ve boyutu, harçların kullanım amaçlarına göre değişkenlik göstermektedir. Harcın içerisindeki iri boyutlu agregalar mekanik dayanımı artırdıkları için örgü harçlarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Altaş et al., 2012). Horasan harcı içerisindeki pişmiş kil tozlarında bulunan silikatlar, kirecin su ile reaksiyonu sonucunda oluşan kalsiyum hidroksit ile reaksiyona girerek harca dayanım kazandıran, suda çözünmeyen kalsiyum silikat hidrat jellerini oluşturmaktadır (Canbaz & Güler, 2017; Cinemre, 2019).

Tuğla agregaları, bünyesindeki killerin pişirilme derecelerine göre puzolanik özellik kazanmaktadır. Killer 600-900°C arasında pişirilme ile puzolanik amorf yapı oluştururlar (Mavioğlu, 2011). Horasan, kireç ile yaptığı reaksiyon sonucunda suda çözünmeyen kalsiyum silikat tuzu oluşmakta, bu reaksiyon puzolanik aktivite olarak adlandırılmaktadır. Ortamın nemli olması bu reaksiyonu hızlandırmaktadır (Çizer et al., 2004; Alhan Şimşek, 2018).

Tarihi yapıların sağlamlaştırılması ve güçlendirilmesi için kireç esaslı harçlar

uygulanmaktadır (Özgünler et al., 2010). Bu harçlar yapının bulunduğu çevre şartları ve dönemin özelliklerine bağlı olarak farklı kompozisyonlarda üretilmektedir (Uğurlu & Böke, 2009). Eski dönemlerde, kireç harçlarının kalitesini arttırmak amacıyla harç üretimi aşamasında organik veya inorganik katkı maddeleri harca ilave edilmiştir (Uğur & Güleç, 2016). Ayrıca, rötreyi önlemek amacıyla harç karışımına saman katılmıştır (Şişik, 2017). Restorasyon harçlarının yapısında saman, bitki lifleri, hayvan kılları gibi katkı maddelerinin bulunduğu bilinmektedir (Gündüz & Kalkan, 2018). Hayvansal ve bitkisel katkılar harçların fiziksel ve mekanik özelliklerini geliştirmek amacıyla kullanılmaktadır (Kılıç, 2021). Lifler, bir boyutu diğer boyutuna göre çok büyük ve dayanımları yüksek malzemelerdir. Doğal ve yapay yollarla üretilmektedir. Lifler, elastisite modülleri yüksek malzemelerdir (Kavasoglu, 2019). Lifler, harç ve sıvalarda mekanik özellikleri iyileştirmekte, genleşmeyi önlemekte, sıva uygulamaları esnasında dökülmeleri azaltmaktadır (Gürdal & Acun, 2004; Erdoğan et al., 2017).

Keçi kılları, üzerlerinde %16-18 nem taşır ve ortalama çapları 18-25 µm arasındadır (Yarbaşı, 2020). Keçi kıllarında uzunluk 40 ile 120 mm arasında ve gerilme mukavemeti ise 90 ila 120 MPa arasında değişmektedir. Keçi kılları çevre dostu, aşınmaya dayanıklı, yumuşak, elastik ve bol miktarda bulunabilen lif çeşididir (Jayaseelan et al., 2017).

Bu çalışmada, 0-4 mm ve 0-2 mm olmak üzere iki farklı boyutta tuğla kırığının agrega olarak kullanılması ile horasan harçları üretilmiştir. Horasan harçlarının üretiminde, keçi kılı kireç ağırlığının %0,2-0,4-0,6-0,8-1 oranlarında ilave olarak harca katılarak kullanılmıştır. Lif olarak kullanılan keçi kılının, horasan harcının fiziksel ve mekanik özelliklerine ne gibi etkilerinin olduğu belirlenmiştir.

Restorasyon çalışmalarında, tarihi eserlerde mevcut olan malzemeye uyumlu, özgün malzemelerin kullanılması gerekmektedir. Yapılan literatür taramalarında, bazı horasan harçlarında keçi kılının kullanılmış olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle, restorasyon çalışmalarında, özgün malzemelerin kullanılmasına katkıda bulunmak amacıyla bu araştırmada lif olarak keçi kılı tercih edilmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

Horasan harcı üretiminde, 0-2mm ve 0-4mm aralıklarında tuğla kırığı, hidrolik kireç, standart kum, şebeke suyu ve keçi kılı kullanılmıştır. Limak Trakya Çimento Fabrikasından standart kum temin edilmiştir. Harman tuğlası adı verilen tuğlaların çeneli kırıcıda kırılması sonucu 0-4mm aralığındaki tuğla kırıkları elde edilmiştir (Şekil 1).

0-4mm tuğla kırığının gevşek birim hacim ağırlığı 1,19g/cm³, özgül ağırlığı 2,89 olarak belirlenmiştir. 0-2mm tuğla kırığının gevşek birim hacim ağırlığı 1,29g/cm³, özgül ağırlığı 2,91 olarak belirlenmiştir. Tuğla kırıklarının elek analizi sonuçları Tablo 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Tuğlanın çeneli kırıcıda 0-4mm boyuta getirilme aşaması

Bağlayıcı olarak, Teknorep 550 doğal hidrolik kireç kullanılmıştır.

karışım oranı ise 1/4 kum ve 3/4 tuğla kırığı olacak şekilde belirlenmiştir.

Horasan harcı üretiminde, ağırlıkça karışım oranları 1, 1 ve 3 olarak sırasıyla su, kireç ve agrega (kum + tuğla kırığı) için belirlenmiştir. Kum ile tuğla kırığının kendi içerisindeki ağırlıkça

Horasan harcı karışımlarında katkı olarak kullanılan keçi kılı, kireç ağırlığının yüzdesi miktarında ilave olarak eklenmiştir.

Tablo 1. 0-2mm ve 0-4mm tuğla kırıklarının elek analizi verileri

Elek No (mm)	Elekten Geçen (%)	
	0-2 mm	0-4 mm
4	100	100
2	100	53,35
1	70,51	34,12
0,5	48,07	22,66
0,25	17,25	8,53
0,125	0,48	0,18
0,075	0,01	0,02

Doğal bir lif olan keçi kılı Kırklareli ilinde yetişen keçilerden elde edilmiştir. Keçi kılıları, 19 mm uzunluğunda olacak şekilde kesilmiştir (Şekil 2). Kireç

ağırlığının %0,2, %0,4, %0,6, %0,8 ve %1 oranlarında horasan harcı içerisine ilave olarak katılarak kullanılmıştır.



Şekil 2. 19mm uzunluğunda kesilmiş, lif olarak kullanılan keçi kılları

Hazırlanan harçlar iki farklı parametreye göre değerlendirilmiştir. İlk olarak harçlarda tuğla kırığı dane boyutları farklı olarak iki grup harç oluşturulmuştur. Bir grupta 0-2 mm tuğla kırığı kullanılmış (M1), diğer grupta ise 0-4 mm tuğla kırığı kullanılmıştır (M2). Her iki grupta da keçi kılı kireç ağırlığının %0,2, %0,4, %0,6, %0,8 ve %1 oranlarında olmak üzere beş farklı oranda lif olarak kullanılmıştır. 0-2mm tuğla kırığı kullanılan horasan harçlarında şahit

numune için M10, 0-4mm tuğla kırığı kullanılan harçlarda şahit numune için M20 kodu kullanılmıştır. Keçi kılı kullanılan harçların koduna KK eklenmiştir. Keçi kılının karışımda kireç ağırlığının %0,2, %0,4, %0,6, %0,8 ve %1 oranlarında kullanılması durumunda ise karışım kodlarına sırasıyla 1,2,3,4 ve 5 rakamları eklenmiştir. Üretilen horasan harcı örneklerinin kodları, ağırlıkça karışım oranları ve miktarları Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Horasan harcı örneklerinin ağırlıkça karışım oranları ve miktarları

Karışım Kodu	Keçi Kılı (%)	Ağırlıkça Karışım Oranları					Ağırlıkça Karışım Miktarları (g)					
		Su	Kireç	Kum+ T.Kırığı		Keçi Kılı	Su	Kireç	Kum	Tuğla Kırığı		
				0-2	0-4					0-2	0-4	
M10	0	1	1	3	-	0	400	400	300	900	-	
M11KK	0,2	1	1	3	-	0,8	400	400	300	900	-	
M12KK	0,4	1	1	3	-	1,6	400	400	300	900	-	
M13KK	0,6	1	1	3	-	2,4	400	400	300	900	-	
M14KK	0,8	1	1	3	-	3,2	400	400	300	900	-	
M15KK	1,0	1	1	3	-	4,0	400	400	300	900	-	
M20	0	1	1	-	3	0	400	400	300	-	900	
M21KK	0,2	1	1	-	3	0,8	400	400	300	-	900	
M22KK	0,4	1	1	-	3	1,6	400	400	300	-	900	
M23KK	0,6	1	1	-	3	2,4	400	400	300	-	900	
M24KK	0,8	1	1	-	3	3,2	400	400	300	-	900	
M25KK	1,0	1	1	-	3	4,0	400	400	300	-	900	

Üretim aşamasında, her bir horasan harcı örneği, harç mikseri ile mekanik olarak karıştırılmıştır. Hazırlanan taze harçların, yayılma tablası üzerinde yayılma değerleri ölçülmüştür. Yayılma deneyinin ardından, taze harç karışımı sarsma tablasına yerleştirdiğimiz 40x40x160 mm boyutunda, prizmatik, önceden yağlanmış üçlü kalıba doldurulmuştur. Sarsma tablasına 25 kez düşüş yaptırılarak harcın kalıba yerleşmesi sağlanmıştır. Bir mala yardımıyla üst yüzeyi düzeltilmiş ve prizini alması için 2 gün laboratuvar ortamında bekletildikten sonra dikkatli bir şekilde kalıptan çıkartılmıştır. 28 ve 90 günlük yaşa gelinceye kadar harç örnekleri laboratuvar koşullarında bekletilmiştir. Çalışmada, 12 farklı horasan harcı karışımından, 28 ve 90 günlük deneylerde kullanılmak üzere toplam 72 adet prizmatik harç örneği üretilmiştir. Her bir horasan harcı karışımına ait örnekler üzerinde yapılan deney sonuçlarının aritmetik ortalaması

alınmıştır. Deneysel verilerde bu ortalamalar kullanılmıştır.

Harç örneklerinin kıvam deneyi, yayılma tablası ile TS EN 1015-3 standardına göre, eğilme ve basınç dayanım testleri TS EN 1015-11 standardına göre ve ultrases geçiş süresi ise ASTM C597-16 standardına uygun olarak yapılmıştır. Ultrases geçiş süresi ölçümünde Pundit PL200 marka ultrasonik test cihazı kullanılmıştır. Çalışmada, ultrases geçiş hızı (km/s) yerine ultrases geçiş süresi (μ s) dikkate alınmıştır. Bunun nedeni, horasan harç örnekleri üzerinde tespit edilen değerler arasındaki farklılığın, grafikte daha belirgin bir şekilde görülmesinin amaçlanması olmuştur.

3. Bulgular ve Tartışma

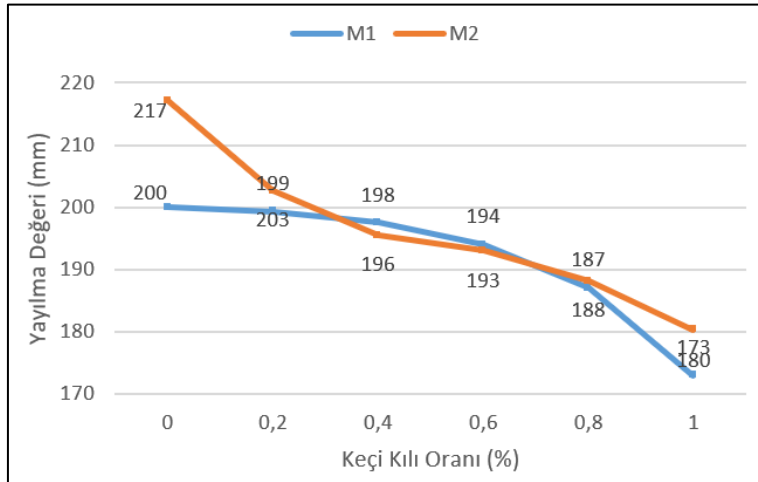
Keçi kılı katkılı horasan harç örneklerinin deney sonuçları, şahit numuneler ile birlikte Tablo 3'de ve grafik olarak ise Şekil 3-8'de verilmiştir.

Tablo 3. Keçi kılı katkılı horasan harç örneklerinin deney sonuçları

Karışım Kodu	Keçi Kılı Oranı (%)	Yayılma (mm)	Birim Hacim Ağırlık (gr/cm^3)	Su Emme (%)	Ultrases Geçiş Süresi (μ s)	Eğilme Dayanımı (MPa)		Basınç Dayanımı (MPa)	
						28 Gün	90 Gün	28 Gün	90 Gün
						M10	0	200	1,70
M11KK	0,2	199	1,71	20,50	81,87	2,66	1,42	4,78	4,33
M12KK	0,4	198	1,70	20,75	82,20	2,87	1,47	4,90	4,36
M13KK	0,6	194	1,69	20,89	83,05	2,90	1,51	5,09	4,49
M14KK	0,8	187	1,69	20,94	83,15	2,93	1,61	5,20	4,50
M15KK	1	173	1,68	20,98	84,10	2,81	1,50	4,58	4,21
M20	0	217	1,66	20,56	84,30	2,47	1,79	6,16	4,01
M21KK	0,2	203	1,70	20,61	78,37	2,71	1,91	4,81	5,10
M22KK	0,4	196	1,69	20,81	78,73	2,99	1,98	4,81	5,11
M23KK	0,6	193	1,68	21,14	79,57	3,19	2,05	4,92	5,15
M24KK	0,8	188	1,67	21,24	79,65	3,34	2,11	4,94	5,21
M25KK	1	180	1,67	21,46	80,23	3,36	2,13	4,98	5,32

0-2 mm tuğla kırığının kullanıldığı M1 grubu horasan harçlarında, keçi kılının %0,2, %0,4, %0,6, %0,8 ve %1 oranlarında lif olarak kullanılması ile horasan harçlarında yayılma değerleri sırasıyla 199, 198, 194, 187 ve 173 mm bulunmuştur. M1 grubu katkısız üretilen şahit numuneye ait yayılma değeri ise 200 mm olarak belirlenmiştir. 0-4 mm tuğla kırığının kullanıldığı M2 grubu horasan harçlarında, keçi kılının %0,2, %0,4, %0,6, %0,8 ve %1 oranlarında kullanılması ile horasan harçlarında yayılma değerleri sırasıyla 203, 196, 193, 188, 180 mm olarak belirlenmiştir. M2 grubu katkısız üretilen şahit numuneye ait yayılma değeri ise 217 mm olarak tespit edilmiştir.

Şekil 3 incelendiğinde, lif olarak keçi kılı kullanılan harç numunelerinde katkı oranı arttıkça yayılma değerleri azalmıştır. M1 grubu harçlarda en yüksek yayılma değeri %0,2 katkı oranı ile 199 mm ve en düşük yayılma değeri ise %1 katkı oranı ile 173 mm ölçülmüştür. Şahit numuneye (M10) göre yayılma değerlerinde %13,5'e varan oranda bir azalma meydana gelmiştir. M2 grubu harçlarda en yüksek yayılma değeri %0,2 katkı oranı ile 203 mm ve en düşük yayılma değeri ise %1 katkı oranı ile 180 mm olarak belirlenmiştir. Şahit numuneye (M20) göre yayılma değerlerinde %17,05'e varan oranlarda azalma olmuştur.



Şekil 3. Keçi kılı katkılı M1 ve M2 grubu horasan harçlarının yayılma değerleri grafiği

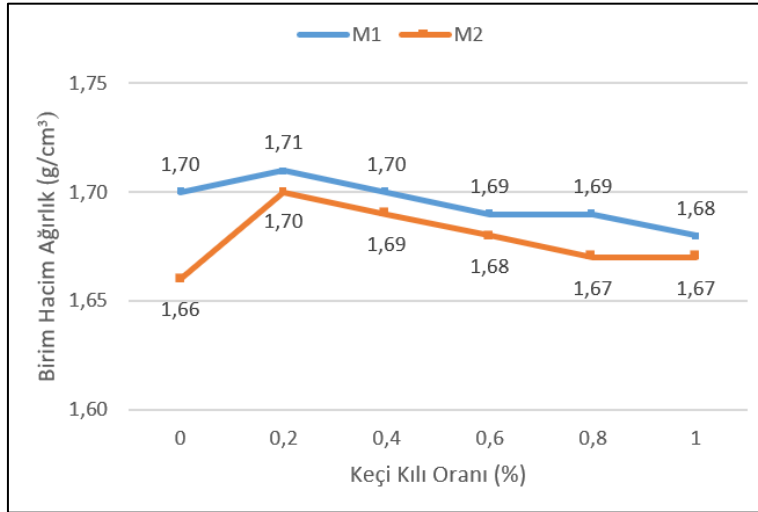
0-2 mm tuğla kırığının kullanıldığı M1 grubu horasan harçlarında, keçi kılının %0,2, %0,4, %0,6, %0,8 ve %1 oranlarında lif olarak kullanılması ile horasan harçlarının birim hacim ağırlık değerleri sırasıyla 1,71; 1,70; 1,69; 1,69; 1,68 g/cm³ olarak bulunmuştur. M1

grubu katkısız üretilen şahit numuneye ait birim hacim ağırlık değeri ise 1,70 g/cm³ belirlenmiştir. 0-4 mm tuğla kırığının kullanıldığı M2 grubu horasan harçlarında, keçi kılının %0,2, %0,4, %0,6, %0,8 ve %1 oranlarında kullanılması ile horasan harçlarında

birim hacim ağırlık değerleri sırasıyla 1,70; 1,69; 1,68; 1,67; 1,67 g/cm³ olarak elde edilmiştir. M2 grubu katkısız üretilen şahit numuneye ait birim hacim ağırlık değeri ise 1,66 g/cm³ belirlenmiştir.

Horasan harcı karışımında keçi kılı oranının artmasıyla birlikte birim hacim ağırlık değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Şahit numuneler ile kıyaslandığında, 0-2mm tuğla kırığı kullanılan M1 grubu harç örneklerinde keçi kılı sadece %0,2 kullanıldığında

değer artışı görülmüş, %0,4 kullanıldığında değer sabit kalmış, %0,6, %0,8 ve %1 kullanıldığında ise değerlerde şahit numuneye oranla düşüş gözlemlenmiştir. 0-4mm tuğla kırığı kullanılan M2 grubu harç örneklerinde ise keçi kılı kullanımının birim hacim ağırlık değerlerini arttırdığı Şekil 4'te görülmektedir. %0,2 oranında, M1 ve M2 grubu harçlarda kullanıldığı zaman en yüksek birim hacim ağırlık değerlerine 1,71 ve 1,70 g/cm³ olarak ulaşıldığı belirlenmiştir.



Şekil 4. Keçi kılı katkıli M1 ve M2 grubu harçların birim hacim ağırlık grafiği

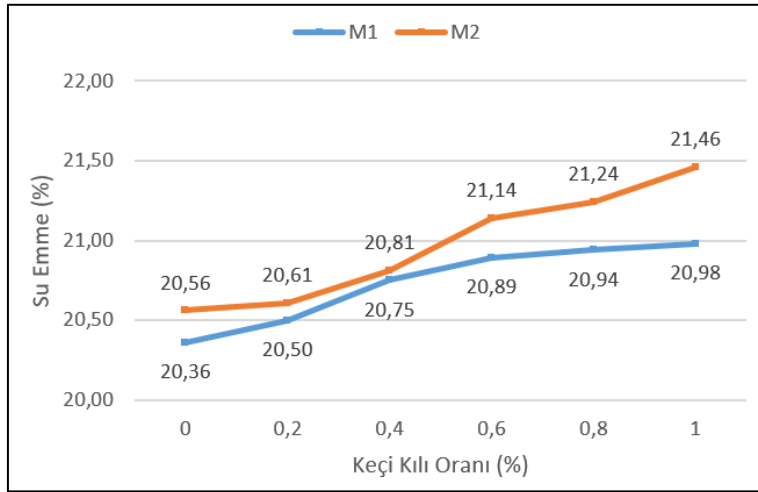
0-2 mm tuğla kırığının kullanıldığı M1 grubu horasan harçlarında, keçi kılının %0,2, %0,4, %0,6, %0,8 ve %1 oranlarında lif olarak kullanılması ile horasan harçlarının birim hacim ağırlık değerleri sırasıyla 1,71; 1,70; 1,69; 1,69; 1,68 g/cm³ olarak bulunmuştur. M1 grubu katkısız üretilen şahit numuneye ait birim hacim ağırlık değeri ise 1,70 g/cm³ belirlenmiştir. 0-4 mm tuğla kırığının kullanıldığı M2 grubu horasan harçlarında, keçi kılının %0,2, %0,4,

%0,6, %0,8 ve %1 oranlarında kullanılması ile horasan harçlarında birim hacim ağırlık değerleri sırasıyla 1,70; 1,69; 1,68; 1,67; 1,67 g/cm³ olarak elde edilmiştir. M2 grubu katkısız üretilen şahit numuneye ait birim hacim ağırlık değeri ise 1,66 g/cm³ belirlenmiştir.

Horasan harcı karışımında keçi kılı oranının artmasıyla birlikte birim hacim ağırlık değerlerinde azalma meydana

gelmiştir. Şahit numuneler ile kıyaslandığında, 0-2mm tuğla kırığı kullanılan M1 grubu harç örneklerinde keçi kılı sadece %0,2 kullanıldığında değer artışı görülmüş, %0,4 kullanıldığında değer sabit kalmış, %0,6, %0,8 ve %1 kullanıldığında ise değerlerde şahit numuneye oranla düşüş gözlemlenmiştir. 0-4mm tuğla

kırığı kullanılan M2 grubu harç örneklerinde ise keçi kılı kullanımının birim hacim ağırlık değerlerini arttırdığı Şekil 4'te görülmektedir. %0,2 oranında, M1 ve M2 grubu harçlarda kullanıldığı zaman en yüksek birim hacim ağırlık değerlerine 1,71 ve 1,70 g/cm³ olarak ulaştığı belirlenmiştir.



Şekil 5. Keçi kılı katkılı M1 ve M2 grubu horasan harçlarının su emme grafiği

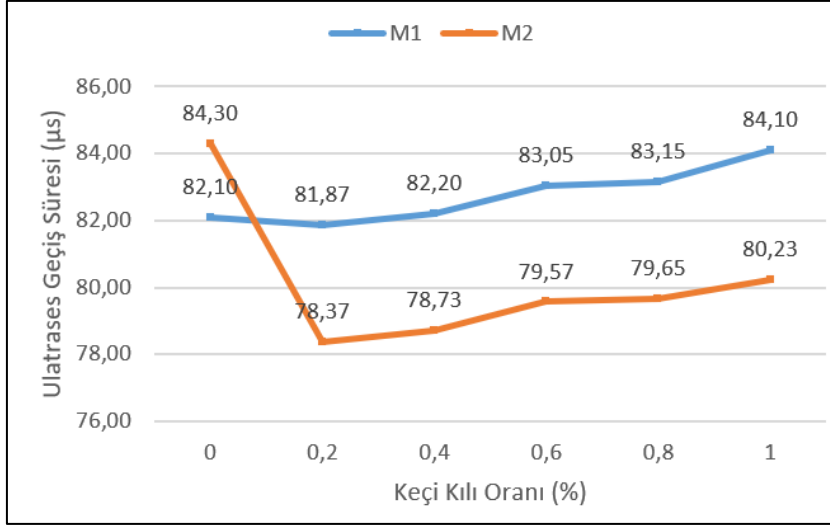
0-2 mm tuğla kırığının kullanıldığı M1 grubu horasan harçlarında, keçi kılının %0,2, %0,4, %0,6, %0,8 ve %1 oranlarında lif olarak kullanılması ile horasan harçlarının su emme değerleri sırasıyla %20,50; 20,75; 20,89; 20,94; 20,98 olarak tespit edilmiştir. M1 grubu katkısız üretilen şahit numuneye ait su emme değeri ise %20,36 bulunmuştur. 0-4 mm tuğla kırığının kullanıldığı M2 grubu horasan harçlarında, keçi kılının %0,2, %0,4, %0,6, %0,8 ve %1 oranlarında kullanılması ile horasan harçlarında su emme değerleri sırasıyla %20,61; 20,81; 21,14; 21,24; 21,46 olarak belirlenmiştir. M2 grubu katkısız

üretilen şahit numuneye ait birim hacim ağırlık değeri ise %20,56 bulunmuştur.

Şekil 5 incelendiğinde, keçi kılı katkılı M1 ve M2 grubu harç numunelerinde, katkı oranı arttıkça su emme değerleri de artmıştır. M2 grubu harçlarda M1 grubu harçlara oranla su emme yüzdeleri daha yüksek çıkmıştır. Karışımında, tuğla kırığı boyutunun artması, harçların su emme yüzdelerini artırmıştır. M1 grubu harçlarda en yüksek su emme değeri, %1 katkı oranı bulunan harç örneğinde %20,98 olarak bulunmuştur. Şahit numuneye (M10) oranla, su emme değerinde %3,05'lik bir artış olmuştur. M2 grubu harçlarda en

yüksek su emme değeri %1 katkı oranı bulunan harç örneğinde %21,46 olarak belirlenmiştir. Su emme yüzdesinde,

şahit numuneye (M20) oranla %4,38'lik bir artış meydana gelmiştir.



Şekil 6. M1 ve M2 grubu horasan harçlarının ultrases geçiş süresi grafiği

Horasan harçlarında keçi kılının %0,2, %0,4, %0,6, %0,8 ve %1 oranlarında lif olarak kullanılması ile ultrases geçiş süreleri, M1 grubu harçlarda 81,87; 82,20; 83,05; 83,15; 84,10 µs ve M2 grubu harçlarda ise 78,37; 78,73; 79,57; 79,65; 80,23 µs olarak ölçülmüştür. Şahit numunelerde ise M10 harç örneği 82,10 µs ve M20 harç örneği ise 84,30 µs olarak belirlenmiştir.

M1 grubu harç örnekleri incelendiğinde, %0,2 katkı kullanılan harç örneği hariç diğer harç örneklerinin ultrases geçiş sürelerinde şahit numuneye M10 göre artış olduğu Şekil 6'da görülmektedir. M2 grubu incelendiğinde ise şahit numuneye M20 göre katkı kullanılan harç örneklerinin tamamının ultrases geçiş sürelerinde azalma olduğu belirlenmiştir. Ultrases geçiş süresi, keçi kılının ince taneli tuğla

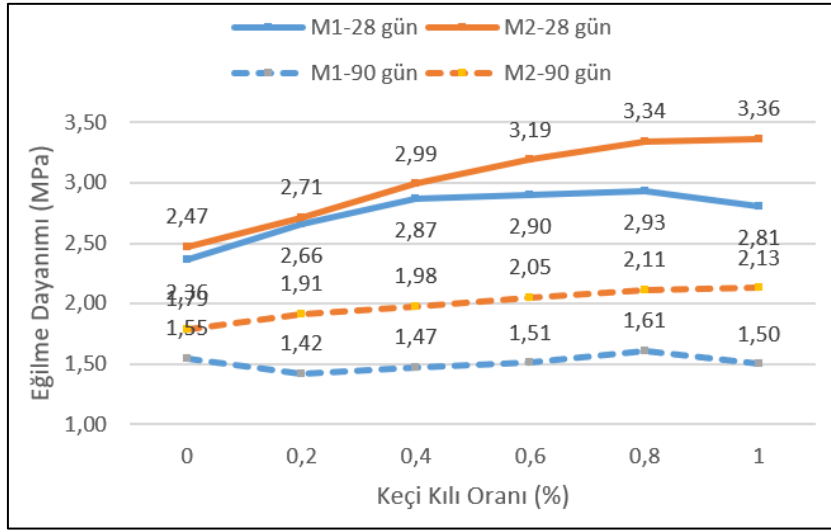
kırığı ile kullanılması ile artarken, iri taneli tuğla kırığı ile kullanılması ile azalmıştır. M1 ve M2 grubu birlikte değerlendirildiğinde, katkı kullanılan harç örneklerinde katkı oranının artmasına paralel olarak ultrases geçiş sürelerinde de artış olduğu görülmüştür.

Değerlendirmelerde ultrases geçiş süresi (µs) ile ultrases geçiş hızı (km/s) karıştırılmamalıdır. Malzemenin boşluk oranı azaldıkça, ultrases geçiş hızı artarken, ultrases geçiş süresi azalmaktadır. Bu iki değer birbiriyle karıştırıldığında sonuçları yanlış yorumlamak mümkündür.

0-4mm tuğla kırığı kullanılan M2 grubu harçlarda keçi kılı kullanılmasıyla birlikte ultrases geçiş süresi değerinde aniden bir düşüş görülmüştür. M2

grubu karışımlar daha boşluklu yapıda ve daha iri tuğla kırığı kullanılan karışımlardır. Bu boşluklu yapı ve agrega gradasyonu, keçi kılının karışımında kendisine yer bulmasını sağlayacak ortamlar oluşturmuştur. M2

grubunda ki bu keçi kılı ile agrega gradasyon uyumu, daha boşluksuz bir yapının meydana gelmesini sağlayarak, ultrases geçiş sürelerinin düşmesine neden olmuştur.



Şekil 7. Keçi kılı katkıli M1 ve M2 grubu horasan harçlarının eğilme dayanımı grafiği

M1 grubu %0,2, %0,4, %0,6, %0,8 ve %1 oranlarında keçi kılı katkıli horasan harçlarında 28 günlük eğilme dayanımları sırasıyla 2,66; 2,87; 2,90; 2,93; 2,81 MPa bulunmuştur. 90 günlük eğilme dayanımları ise sırasıyla 1,42; 1,47; 1,51; 1,61; 1,50 MPa olarak belirlenmiştir. Şahit numuneye (M10) ait 28 günlük eğilme dayanımı değeri 2,36 MPa, 90 günlük değeri ise 1,55 MPa olarak tespit edilmiştir.

M2 grubu %0,2, %0,4, %0,6, %0,8 ve %1 oranlarında keçi kılı katkıli horasan harçlarında 28 günlük eğilme dayanımları sırasıyla 2,71; 2,99; 3,19; 3,34; 3,36 MPa belirlenmiştir. 90 günlük eğilme dayanımları ise sırasıyla 1,91;

1,98; 2,05; 2,11; 2,13 MPa olarak tespit edilmiştir. Şahit numuneye (M20) ait 28 günlük eğilme dayanımı değeri 2,47 MPa, 90 günlük değeri ise 1,79 MPa olarak belirlenmiştir.

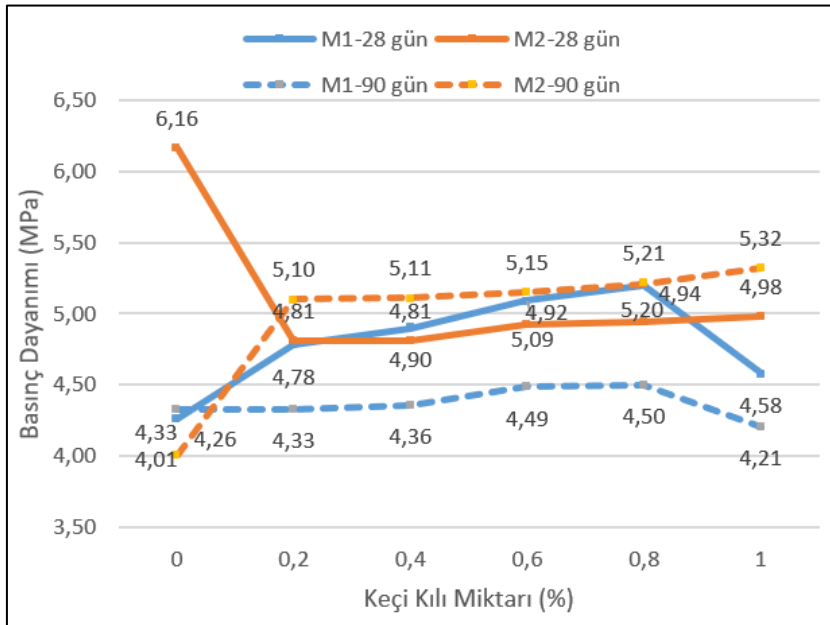
Şekil 7 incelendiğinde, keçi kılının lif olarak kullanılması ile M1 ve M2 grubu harçların 28 günlük eğilme dayanımı değerlerinde artış olduğu görülmektedir. 90 günlük değerlerde ise M2 grubunun dayanım değerlerinde artış olurken, M1 grubunda azalma meydana gelmiştir. M1 grubunda sadece %0,8 keçi kılı kullanılan harç örneği 1,61 MPa ile şahit numuneden yüksek dayanım göstermiştir.

Karışımlarda, iri taneli (0-4mm) tuğla kırığı kullanılan harç örnekleri, ince taneli (0-2mm) tuğla kırığı kullanılan örneklerden daha yüksek eğilme dayanımı değerleri göstermiştir. En yüksek dayanım değerleri 28 günlük örneklerde, M1 grubunda %0,8 katkı kullanımı ile 2,93 MPa, M2 grubunda %1 katkı kullanımı ile 3,36 MPa olarak tespit edilmiştir. 90 günlük örneklerde ise M1 grubunda %0,8 katkı kullanımı ile 1,61 MPa, M2 grubunda %1 katkı kullanımı ile 2,13 MPa olarak belirlenmiştir. Horasan harcı örnekleri yaşlandıkça dayanım değerlerinde de azalma meydana gelmiştir.

Bağlayıcı olarak hidrolik kireç kullanılması, kür koşulları nedeniyle harç örneklerinin nemini hızlı bir şekilde kaybederek kuruması ve

gevrekleşmesi, harç örneklerinin daha kırılğan bir özellik kazanmasına neden olmuştur. Bu sebeple, 90 günlük gibi ilerleyen yaşlarda daha yüksek dayanım göstermesi beklenen, horasan harcı örneklerinin dayanımlarında azalma görülmüştür. Kür koşulları değişikliğinde ilerleyen yaşlarda dayanım artışı olacağı düşünülmektedir.

M1 grubunun birim hacim ağırlık değerleri M2 grubuna göre daha yüksek, su emme oranları ise daha düşüktür. M1 grubu, daha boşluksuz bir yapıdadır ve karışımında daha fazla ince malzeme bulunmaktadır. M1 grubunda, tuğla tozu gibi ince malzeme miktarının fazlalığı, bağlayıcı ihtiyacını artırarak dayanımın düşmesine sebep olmuştur.



Şekil 8. Keçi kılı katkıli M1 ve M2 grubu horasan harçlarının basınç dayanımı grafiği

M1 grubu %0,2, %0,4, %0,6, %0,8 ve %1 oranlarında keçi kılı katkılı horasan harçlarında 28 günlük basınç dayanımları sırasıyla 4,78; 4,90; 5,09; 5,20; 4,58 MPa bulunmuştur. 90 günlük basınç dayanımları ise sırasıyla 4,33; 4,36; 4,49; 4,50; 4,21 MPa olarak elde edilmiştir. Şahit numuneye (M10) ait 28 günlük basınç dayanımı değeri 4,26 MPa, 90 günlük değeri ise 4,33 MPa olarak tespit edilmiştir.

M2 grubu %0,2, %0,4, %0,6, %0,8 ve %1 oranlarında keçi kılı katkılı horasan harçlarında 28 günlük basınç dayanımları sırasıyla 4,81; 4,81; 4,92; 4,94; 4,98 MPa belirlenmiştir. 90 günlük basınç dayanımları ise sırasıyla 5,10; 5,11; 5,15; 5,21; 5,32 MPa olarak tespit edilmiştir. Şahit numuneye (M20) ait 28 günlük basınç dayanımı değeri 2,47 MPa, 90 günlük değeri ise 1,79 MPa olarak belirlenmiştir.

Şekil 8 incelendiğinde, keçi kılının lif olarak kullanılması ile M1 grubu harçların 28 günlük basınç dayanımı değerlerinde artış olurken, M2 grubu harçların dayanımlarında azalma meydana gelmiştir. 90 günlük değerlerde ise M1 ve M2 grubunun dayanım değerlerinde artış olurken, sadece M1 grubunda %1 keçi kılı kullanılan harç örneği 4,21 MPa ile şahit numuneden düşük dayanım göstermiştir.

Horasan harcı örneklerinin yaşları ilerledikçe, iri taneli (0-4mm) tuğla kırığı kullanılan M2 grubu harç örneklerinin basınç dayanımları artarken, ince taneli (0-2mm) tuğla kırığı kullanılan M1 grubu harç

örneklerinin basınç dayanımı değerleri azalmıştır. En yüksek dayanım değerleri 28 günlük örneklerde, M1 grubunda %0,8 katkı kullanımı ile 5,20 MPa, M2 grubunda %1 katkı kullanımı ile 4,98 MPa olarak tespit edilmiştir. 90 günlük örneklerde ise M1 grubunda %0,8 katkı kullanımı ile 4,50 MPa, M2 grubunda %1 katkı kullanımı ile 5,32 MPa olarak belirlenmiştir. En iyi dayanım değerleri M1 grubunda %0,8 oranında keçi kılı kullanılması ile M2 grubunda ise %1 oranında kullanılması ile elde edilmiştir.

Dayanım açısından liflerin etkisini genelleyecek olursak, eğilme dayanımına olumlu yönde etki ettikleri bilinmektedir. Bu çalışmada da sonuçlar o yönde olmuştur. Harç örneklerinin 90 günlük dayanım değerlerinde genelde bir azalma görülürken, Şekil 8'de M2 grubu örneklerde artış meydana gelmiştir. Bu durum, M2 grubu örneklerin su emme miktarlarının fazla olması ve bünyelerinde ki suyun keçi kılı tarafından daha uzun süre tutulması, küre koşullarını hidrolik kireç açısından daha uygun hale getirmesi ile açıklanabilir.

4. Sonuçlar

Keçi kılının lif olarak horasan harcında kullanılması üzerine yapılan çalışmadan aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Üretilen harçların yayılma değerleri 173-217 mm arasında ölçülmüştür. Keçi kılı katılması sonucu harçların yayılma değerleri azalmıştır. Yayılma değerlerinde, %1 katkı oranı ile M1

grubu harçlarda %13,5, aynı katkı oranı ile M2 grubu harçlarda ise %17,05 azalma tespit edilmiştir.

Birim hacim ağırlık değerleri 1,66-1,70 g/cm³ arasında belirlenmiştir. Karışımlarda keçi kılı oranının artmasına paralel olarak harçların birim hacim ağırlık değerleri azalmıştır. Şahit numune ile kıyaslandığında, 0-4 mm tuğla kırığı kullanılan M2 grubu harç örneklerinde keçi kılı kullanımı birim hacim ağırlık değerlerini arttırmıştır.

Su emme değerleri %20,36-21,46 arasında bulunmuş ve karışımdaki keçi kılı oranı arttıkça harçların su emme değerlerinin arttığı tespit edilmiştir.

Ultras es geçiş süresi, keçi kılının ince taneli tuğla kırığı ile kullanılması ile artarken, iri taneli tuğla kırığı ile kullanılması ile azalmıştır. 0-2 mm ve 0-4 mm tuğla kırığı kullanılan horasan harç örneklerinde, katkı oranının artmasına paralel olarak ultras es geçiş sürelerinde de artış olmuştur.

M2 grubu 0-4 mm tuğla kırığı kullanılan harçların eğilme dayanımları, M1 grubu 0-2 mm tuğla kırığı kullanılan harçların eğilme dayanımlarından daha yüksek değerler almıştır. Tuğla kırığı tane boyutunun artması ile eğilme dayanımı artmıştır. M1 grubu harçlarda keçi kılı katkısı %0,8 ve M2 grubu harçlarda ise keçi kılı katkısı %1 oranlarında en yüksek eğilme dayanımı değerlerini vermişlerdir. Şahit numuneye göre eğilme dayanımında en yüksek artış %36,03 ile M2 grubunda, 28 günlük %1

oranında keçi kılı katkılı harç örneğinde 3,36 MPa olarak tespit edilmiştir.

Basınç dayanım değerleri 4,01-6,16 MPa arasında belirlenmiştir. M2 grubu 0-4 mm tuğla kırığı kullanılan harçların basınç dayanımları ilerleyen yaşlarda daha yüksek değerler almıştır. M1 grubu harçlarda keçi kılı katkısı %0,8 ve M2 grubu harçlarda ise keçi kılı katkısı %1 oranlarında en yüksek basınç dayanımı değerlerini vermişlerdir. Şahit numuneye göre basınç dayanımında en yüksek artış %32,67 ile M2 grubunda, 90 günlük %1 oranında keçi kılı katkılı harç örneğinde 5,32 MPa olarak tespit edilmiştir.

Horasan harcı üretiminde, dayanımı olumlu etkilemesi açısından, lif olarak keçi kılı kullanılması durumunda, 0-2 mm tuğla kırığı kullanılacak olan karışımlarda kireç ağırlığının %0,8 oranında, 0-4 mm tuğla kırığı kullanılacak olan karışımlarda ise %1 oranında kullanılması önerilmektedir. Liflerde, boy/çap oranındaki değişikliğin, harcın özelliklerini etkileyeceği göz önünde bulundurulmalıdır.

5. Kaynaklar

- Ahunbay, A. (2009). Tarihi çevre koruma ve restorasyon. *YEM Yayın-28. İstanbul.*
- Alhan Şimşek, E. T. (2018). *Tarihi yapılarda tuğla duvarların çelik hasır ve tekstil donatılı horasan harcı ile güçlendirilmesinin deneysel olarak incelenmesi.* Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Altaş, G.K., Özgünler, S.A., Güldal, E. (2012). İstanbul'daki Roma dönemi saray

- yapılarındaki horasan harçlarının incelenmesi. Vakıf Restorasyon Yıllığı, 4. American Society for Testing and Materials. (2016). ASTM C597-16: Standard test method for pulse velocity through concrete, *ASTM International, West Conshohocken, PA*.
- Binan, C. (2016). Türkiye mimari mirası koruma bildirgesi ve koruma-restorasyon uygulamalarında ilkelerin önemi üzerine bir değerlendirme. *Kültür Varlıklarında Koruma Türkiye ve İtalya'dan Restorasyon Uygulamaları Sempozyumu*. 106-121. Ankara, Türkiye.
- Böke, H., Akkurt, S. (2003). Ettringite formation in historic bath brick-lime plasters. *Cement and Concrete Research*, 33(9), 1457-1464. Doi:10.1016/S0008-8846(03)00094-2.
- Böke, H., Akkurt, S., İpekoğlu, B. (2004). Tarihi yapılarda kullanılan horasan harcı ve sıvalarının özellikleri. *Yapı Dergisi*, 269, 90-95.
- Canbaz, M., Güler E. (2017). Kireç türünün horasan harcı özelliklerine etkisi. 6. *Tarihi Yapıların Korunması ve Güçlendirilmesi Sempozyumu*. Trabzon, Türkiye.
- Cinemre, M. (2019). *Kesme taş duvarlarda kullanılan tarihi horasan harçlarının mekanik özelliklerinin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Sakarya, Türkiye.
- Çizer, Ö., Böke, H. İpekoğlu, B. (2004). Bazı Osmanlı dönemi hamam yapılarının kubbe ve duvarlarında kullanılan kireç harçların özellikleri. II. *Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi*, TMMOB Mimarlar Odası Büyükşehir Şubesi, 1-13. Türkiye.
- Dariz, P., Schmid, T. (2017). Ferruginous phases in 19th century lime and cement mortars: A Raman microspectroscopic study. *Materials Characterization*, 129, 9-17. Doi: 10.1016/j.matchar.2017.04.009.
- Erdoğan, Ş., Nas, M., Nayır, S., Kandil, U. (2017). Uçucu kül ve polipropilen lifli kireç harçlarının çimento takviyesi ile mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi. 6. *Tarihi Yapıların Korunması ve Güçlendirilmesi Sempozyumu*, 247-256. Trabzon, Türkiye.
- Güleç, A., Tulun, T. (1997). Physico-chemical and petrographical studies of old mortars and plasters of Anatolia. *Cement and Concrete Research*, 27(2), 227-234. Doi:10.1016/S0008-8846(97)00005-7
- Gündüz, L., Kalkan, Ş. O. (2018). Yapısal restorasyon harçlarında kırıltı boyutlarının harcı teknik özelliklerine etkisinin incelenmesi. *Aurupa Bilim, Sanat ve Kültür Konferansı*, 243-251. Türkiye.
- Gürdal, E., Acun, S. (2004). Mineral esaslı sıvalarda polipropilen lif katkısının fiziksel ve mekanik özelliklere etkisinin incelenmesi. 2. Ulusal Yapı malzemesi Kongre ve Sergisi, TMMOB Mimarlar Odası Büyükşehir Şubesi, Türkiye.
- Gürdal, E., Altaş, G.K., Özgünler, S.A. (2012). İstanbul'da bulunan Erken Bizans dönemi dini yapılarında kullanılan horasan harçlarının özelliklerinin incelenmesi. Vakıf Restorasyon Yıllığı, 2.
- İpekoğlu, B., Böke, H., Çizer, Ö. (2007). Assessment of material use in relation to climate in historical buildings. *Building and Environment*, 42(2), 970-978. Doi:10.1016/j.buildenv.2005.10.029
- Jayaseelan, J., Vijayakumar, K. R., Ethiraj, N., Sivabalan, T., Andrewallayan, W. (2017). The effect of fibre loading and graphene on the mechanical properties of goat hair fibre epoxy composite. IOP Conference Series: *Materials Science and Engineering*, 282, Busan, Korea.
- Kavasoğlu, E. (2019). *Mikro fiber ve uçucu kül katkılı çimento harçlarının dayanıklılık indeksinin belirlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Afyon, Türkiye.
- Kılıç, İ. (2021). Horasan harcında yumurta akı kullanımının incelenmesi. *Kırklareli Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 7 (1), 122-134. DOI:10.34186/klujes.882789
- Matias, G., Faria, P., Torres I. (2014). Lime mortars with heat treated clays and

- ceramic waste:a review. *Construction and Building Materials*, 73, 125-136. Doi: 10.1016/j.conbuildmat.2014.09.028
- Mavioğlu, Ü.A. (2011). *Farklı puzolanik katkıları ile hazırlanan horasan harçlarının değişen parametrelerinin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Nezerka, V., Nemecek, J., Slizkova, Z., Tesarek, P. (2015). Investigation of crushed brick-matrix interface in lime-based ancient mortar by microscopy and nanoindentation. *Cement and Concrete Composites*, 55, 122-128. Doi: 10.1016/j.cemconcomp.2014.07.023
- Özgen, Ö. (2002). *Horasan harcı üzerine deneysel çalışmalar*. Uzmanlık Tezi, T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı İstanbul Rölöve ve Anıtlar Müdürlüğü. Türkiye.
- Özgülner, A. S., Ersen, A., Güleç, A. (2010). Yedikule Kara Surları'nda kullanılan Erken Bizans dönemi harçlarının karakterizasyonu üzerine bir araştırma. *İstanbul Büyükşehir Belediyesi, Restorasyon ve Kons. Çalışmaları Dergisi*, 5, 31-39.
- Özkaya, Ö.A., Böke H. (2009). Properties of roman bricks and mortars used in Serapis Temple in the city of Pergamon. *Materials Characterization*, 60(9), 995-1000. Doi: 10.1016/j.matchar.2009.04.003
- Prince, W., Castanier, G., Giafferi, J.L. (2001). Similarity between alkali-aggregate reaction and the natural alternation of rocks. *Cement and Concrete Research*, 31(2), 271-276. Doi:10.1016/S0008-8846(00)00478-6
- Seabra, M., Paiva, H., Labrincha, J. Ferreira, V. (2009). Admixtures effect on fresh state properties of aerial lime based mortars. *Construction and Building Materials*, 23(2), 1147-1153. Doi: 10.1016/j.conbuildmat.2008.06.008
- Stefanidou, M., Pacht, V., Konopissi, S., Karkadelidou, F., Papayianni, I. (2014). analysis and characterization of hydraulic mortars from ancient cisterns and baths in Greece. *Materials and Structures*, 47(4), 571-580.
- Şişik, Ö. (2017). *Edirne'de bulunan 15.yy ve 16.yy'da inşa edilmiş tarihi cami ve türbelerin taşıyıcı sistem analizi ve çözüm önerileri*. Yüksek Lisans Tezi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Konya, Türkiye.
- Topçu, İ. B., Canbaz, M., Karanfil, H. (2005). Horasan harç ve betonun özellikleri. *Yapı Mekaniği Semineri*, ODTÜ-ESOGÜ. 99-107. Eskişehir, Türkiye.
- Tosun, Y., Oltulu, M., Polat, R., Şahin, R., Bingöl, A.F. (2015). Hidrolik kireçli harçlarda uçucu kül kullanımı. *5.Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu*, Cilt 1, 103-112. Erzurum, Türkiye.
- Türk Standartları Enstitüsü. (2000). TS EN 1015-3: Kağıt harcı-deneysel metotları-bölüm 3: taze harç kıvamının tayini (yayılma tablası ile), Ankara.
- Türk Standartları Enstitüsü. (2020). TS EN 1015-11: Kağıt harcı-deneysel yöntemleri-bölüm 11: sertleşmiş harcın eğilmede çekme ve basınç dayanımının tayini, TSE, Ankara, 2020.
- Uğur, T., Güleç, A. (2016). Harç, sıva ve diğer kompozit malzemelerde kullanılan bağlayıcılar ve özellikleri. *Restorasyon ve Konservasyon Dergisi*, 17, 77-91.
- Uğurlu, E., Böke, H. (2009). Osmanlı dönemi yapılarında kullanılan horasan sıvalarının özellikleri. *Kağıt Yapılarda Koruma ve Onarım Semineri*, KUDEB, 135-142. İstanbul, Türkiye.
- Uğurlu, E., Böke, H. (2009). The use of brick-lime plasters and their relevance to climatic conditions of historic bath buildings. *Construction and Building Materials* 23(6), 2442-2450. Doi: 10.1016/j.conbuildmat.2008.10.005
- Yarbaşı, N. (2020). Doğal bir materyal olarak keçi kılı lifleriyle modifiye edilen kohezyonlu zeminlerin donma-çözülme direnci. *Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 13, 157-16

Araştırma Makalesi / Research Article

**İnşaat Sektöründe Faaliyet Gösteren İşletmelerdeki
Yöneticilerin Benimsedikleri Dönüşümcü Liderlik
Davranışları**

*¹Burcu DEREYURT BORAK, ²Gökhan GELİŞEN

¹Bahçeşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı İşletmesi, İstanbul, Türkiye,
dereyurtb@gmail.com, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-1487-0811>

²Bahçeşehir Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İstanbul, Türkiye,
gokhan.gelisen@eng.bau.edu.tr, ORCID ID <http://orcid.org/0000-0002-2711-6658>

Geliş / Recieved: 25.08.2021;

Kabul / Accepted: 25.11.2021

Öz

Diğer tüm sektörlerde olduğu gibi inşaat sektöründe de bir projenin başarıya ulaşabilmesi için, yöneticilerin sahip olduğu liderlik vasıfları önemli derecede rol oynamaktadır. Çünkü liderin, çalışanların tutum ve davranışlarını önemli derecede etkilemesi bu örgütlerin performansını da etkilemektedir. Bu araştırmanın genel amacı güçlü bir değişime öncülük edecek liderlik türü olan dönüşümcü liderlik davranışlarını belirlemek ve bu davranışları inşaat sektöründeki yönetici davranışlarında saptamaktır. Araştırma evrenini, 2021 yılında İstanbul İl genelinde faaliyet gösteren inşaat sektöründeki firmaların yöneticileri oluşturmaktadır. Araştırmanın örneklemini ise gönüllülük esasına göre araştırmaya katılmayı kabul eden toplam 132 inşaat yöneticisi oluşturmuştur. Araştırmada verilerin analizinde, normallik testi (Kolomogorov Smirnov), tanımlayıcı istatistikler (Frekans analizi, betimsel istatistikler), bağımsız grup karşılaştırması (Bağımsız örneklem t testi, One-Way ANOVA), pearson korelasyon analizi ve güvenilirlik analizi (Cronbach's alpha) kullanılmıştır. Araştırma, inşaat sektörü yöneticilerinin dönüşümcü liderlik rol ve davranışları gösterdiklerini ortaya koymuştur. İnşaat sektöründeki yöneticilerinin büyük çoğunluğunun ideal anlamda dönüşümü gerçekleştirebilecek yeterli donanımına sahip oldukları söylenebilir.

*¹Sorumlu yazar / Corresponding author

Bu makaleye atıf yapmak için

Dereyurt Borak, B., & Gelişen, G. (2021). İnşaat Sektöründe Faaliyet Gösteren İşletmelerdeki Yöneticilerin Benimsedikleri Dönüşümcü Liderlik Davranışları. *Journal of Innovations in Civil Engineering and Technology (JICIVILTECH)*, 3(2), 133-154.

Anahtar kelimeler: Liderlik, Dönüşümcü liderlik, İnşaat, İnşaat yöneticisi.

Transformational Leadership Behaviours by Managers in Business Operating in the Construction Sector

Abstract

In the construction sector, as in all other sectors, the leadership qualities of a manager play an important role in the success of a project. Because the leader significantly affects the attitude, behaviour, and success levels of employees, it also affects the performance of the organization. The aim of this study is to identify transformational leadership behaviour, which is a model of leadership that leads to strong change, and to relate them to management behaviours in the construction sector. The population of the research consists of company managers that operate in the construction sector throughout Istanbul province in 2021. A total of 132 construction managers who agreed to participate voluntarily in the research constituted the sample of the research. In the study, to analyse the data normality test (The Kolmogorov Smirnov test), descriptive statistics (Frequency analysis, inferential statistics), independent group comparison (Independent sample t-test, One-Way ANOVA), Pearson correlation analysis and reliability analysis (Cronbach's alpha) were used. The research proved that the managers in the construction industry display the roles and the behaviours of transformational leadership. It can be stated that the great majority of the managers in the construction sector are equipped to make the ideal transformation.

***Keywords:** Leadership, Transformational leadership, Construction, Construction manager.*

1.Giriş

Günümüz dünya düzeni her geçen gün değişmekte, bu durum da en çok liderleri zor durumda bırakmaktadır. Liderlerin yaşanan bu değişimde çevrelerindeki kişiler, teknolojiler ve yenilikler gibi birçok etmeni kontrol altında tutabilmesi gerekmektedir.

İyi bir lideri diğerlerinden ayıran temel özelliklerin başında, buldukları ortama yeni fikirler, süreçler ve ürünler geliştirmeleri gelmektedir (Baumol, 1968). Özel yeteneklere sahip olan kişilerin buldukları ortamda ilerlemesi ve yükselmesini sağlayan liderlerin, kendi niteliklerini yetkileri çerçevesinde etkili kullanması; yönetim kalitesinin artmasını sağlamaktadır (Marşap, 1999).

Günümüz koşullarında liderler, organizasyonlarına inovasyon getirme hususunda geçmişteki liderlere kıyasla oldukça fazla sorumluluk altında kalmaktadırlar. Bu bağlamda liderlerin hem organizasyonun genel yapısında hem de çalışanlar üzerinde yenilikçi tavır sergilemesi gerekmektedir (Ak, 2006).

Dönüşümcü liderlik kavramı ise, çalışan bireylere vizyon sağlayan, kazandıkları bu vizyona katkı sağlamaları için kendilerine ilave misyonlar veren ve örgütsel kültürde farklılıklar yaratarak onlara yaptıklarından ya da yapabileceklerini düşündüklerinden çok daha fazlasını gerçekleştirebileceklerini inandıran liderlik tarzıdır (Eren, 2001). Ana hedefleri değişim olan dönüşümcü liderler, gerçekleştirdikleri faaliyetlerle

çevresinden sıyrılmaya çalışırlar. Dönüşümcü liderlik teorisinde lider, takipçilerinin inanç sistemini ve gereksinimlerini, organizasyonun çıkarlarıyla uzlaşacak şekilde güncellemeye çalışır (Luthans, 1995). Bu süreçte liderler, sahip oldukları vizyonu organizasyondaki diğer üyelere kabul ettirerek, değişim sürecindeki engelleri en aza indirmeye çalışırlar (Özalp, 2000).

Akademik araştırmalar örgütlerin değişiminde ve başarısında rol oynayan liderlik çeşitleri hakkında önemli özellikler ve sonuçlar ortaya koymaktadır. Konu ile ilgili benzer çalışmalar incelendiğinde; Yenipazarlı (2006)'nın inşaat sektöründe liderlik davranışlarını incelediği, Tarım (2010)'ın inşaat sektöründeki liderlik yaklaşımları ve cinsiyet arasındaki ilişkiyi incelediği ve Kasapoğlu (2013)'nin Türkiye'deki mimari tasarım ofislerinin liderlik biçimlerini incelediği çalışmalarından farklı olarak işletmelerdeki değişimi sağlayacak en uygun liderlik tipi olan dönüşümcü liderliğin incelenmesi çalışmanın farkını ortaya koyarak önem kazanmaktadır. Çalışmanın genel amacını, inşaat yöneticilerinin dönüşümcü liderlik davranışlarının incelenmesi ve çalışanlar tarafından nasıl algılandığının belirlenmesi oluşturmaktadır. Araştırmanın bir diğer amacı ise inşaat sektöründe liderlik kavramına dikkat çekmek ve farkındalık oluşturmaktır. Araştırma İstanbul İl genelinde Nisan 2021 – Mayıs 2021 tarihleri arasında 132 inşaat yöneticisi kapsamında gerçekleştirilmiştir.

2. Yöntem

2.1 Araştırmanın Modeli

Bu çalışma tanımlayıcı araştırma metodu ile yapılmıştır. Tanımlayıcı araştırma, bir sorun veya problem ile ilgili durumları, geçmiş olayları ve ilişkileri açıklamaya çalışan bir araştırma metodudur. Araştırmada veri toplama aracı için anket ölçeği tekniği kullanılmıştır. Anketler inşaat firması yöneticilerine dünya genelinde yaşanan sağlık salgını covid-19'un oluşturduğu risk ve tehlikelerden ötürü Google Forms aracılığıyla online olarak gerçekleştirilmiştir. Araştırmanın modeli doğrultusunda belirlenen hipotez "İnşaat sektöründeki yöneticilerin sosyo-demografik özellikleri ile benimsedikleri dönüşümcü liderlik davranışları arasında anlamlı bir ilişki vardır" şeklindedir.

2.2 Evren ve Örneklem

Araştırma evrenini İstanbul İl genelinde faaliyet gösteren inşaat sektöründeki firmaların yöneticileri oluşturmaktadır. Araştırma evreninin geniş olmasından dolayı, belirlenen evren üzerinden örneklem alma yoluna gidilerek rastgele örneklem seçim tekniği kullanılmıştır. Araştırmanın örneklemini ise gönüllülük esasına göre araştırmaya katılmayı kabul eden toplam 132 inşaat yöneticisi oluşturmuştur.

2.3 Veri Toplama Aracı

Araştırmada veri toplama araçları olarak; anket çalışmasının ilk bölümde araştırmacı tarafından hazırlanan 10 soruluk kişisel sorular formu, ikinci bölümünde ise 52 maddelik 'Kesinlikle Katılıyorum-5'den 'Kesinlikle Katılmıyorum-1'e kadar puanlanmış 5'li likert tipinde "Dönüşümcü Liderlik Ölçeği" (DLÖ) kullanılmıştır. Taş ve Çetiner'in 2007 yılında geliştirmiş olduğu 34 maddelik DLÖ ölçeğinden yararlanılarak ölçeğe son hali verilmiştir. Bu doğrultuda, kullanılan ölçeğin güvenilirlik ve geçerlilik testleri sonuçlarına göre alt boyutları arasında anlamlı bir ilişki bulunmuştur.

Kullanılan ölçeğin güvenilirlik katsayıları: "Vizyon Belirleme ve Geliştirme" için (0,935), "Entelektüel Uyarım" için (0,931), "Davranış Modeli Oluşturma" için (0,932), "Grup Amaçlarının Kabulünü Oluşturma" için (0,905), "Bireysel Destek Sağlama" için (0,928), "Yüksek Performans Beklentilerine Sahip Olma" için (0.814) ve dönüşümcü liderlik boyutuna ilişkin 5 faktörü oluşturan maddelerin cronbach's alfa katsayısı (0.989) olarak hesaplanmıştır.

Dönüşümcü liderlik ölçeğinde kullanılan maddelerin tümüne ve faktörler bazında Cronbach's alfa güvenilirlik analizi yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntemle ölçekte yer alan ifadelerin homojen bir yapı gösteren bir olguyu ifade edip etmediği incelenir. Ölçekte yer alan maddelerin varyanslarının toplam varyansa oranı ile hesaplanmaktadır. 0 ile 1 arasında bir

değer alır. 0,60- 0,80 arası oldukça güvenilir ifade etmekteyken 0,80-1,00 arası ise yüksek güvenilirliktedir. Ayrıca ölçekte yer alan tüm ifadelerin korelasyonları 0,20'nin altında olmamasına da dikkat edilir. Bu değerlerin altında yer alan ifadeler de güvenilirlik analizinde yer almaz. Bu şekilde dönüşümcü liderlik algıları ölçeği için güvenilirlik analizi uyguladığımızda; minimum cronbach's alfa katsayısı 0.80'den yüksek olarak bulunmuştur. Sonuç olarak uyguladığımız bu ölçek ölçmek istediğimiz olguyu iyi bir şekilde ölçmektedir.

2.4 Verilerin Analizi

Çalışmada istatistiksel programlardan olan SPSS v26.0 paket sürümü kullanılmıştır. Bu doğrultuda verilerin analizinde kullanılan testler: normallik testi (Kolomogorov Smirnov), tanımlayıcı istatistikler (frekans analizi, betimsel istatistikler), bağımsız grup karşılaştırması (Bağımsız örneklem t testi, One-Way ANOVA), pearson korelasyon analizi ve güvenilirlik analizi (Cronbach's alpha)'dır.

Verilerin çözümlenmesinde frekans, yüzde, aritmetik ortalama, standart sapma, minimum, maksimum gibi tanımlayıcı istatistiklerden faydalanılmıştır. Verilerin analizinde normallik dağılım testlerinden Kolmogorov-Smirnov testi kullanılmış olup analiz sonucunda normallik varsayımları sağlandığından parametrik testlerden faydalanılmıştır. Bağımsız 2 grubun ortalamaları karşılaştırılmasında bağımsız örneklem t testi, 2'den fazla bağımsız grubun karşılaştırılmasında

One-way ANOVA testi sonucu kullanılmıştır. ANOVA testi için varyans homojenliği için Levene testi ve grup farklılıkları için ise varyans homojenliği sağlanıyorsa ($p \geq 0.05$) Tukey HSD ve LSD, varyans homojenliği sağlanmıyorsa ($p < 0.05$) Tamhane çoklu karşılaştırma testi kullanılmıştır. Ölçeklerin ilişki analizinde Pearson korelasyon katsayısı hesaplanmıştır. Ölçeklerin güvenilirlik analizinde Cronbach's alpha katsayısı kullanılmıştır. Tüm test sonuçları 0.05 anlamlılık düzeyinde değerlendirilmiştir.

3. Bulgular

Katılımcıların demografik özelliklerin dağılımına ilişkin sonuçlar Tablo 1'de verilmiştir. Araştırmada kişilerin %68,2'sinin erkek, %31,8'inin kadın olduğu; %21,2'sinin 18-25 yaş arasında, %28,8'inin 26-30 yaş arasında, %12,1'inin 31-35 yaş arasında, %16,7'sinin 36-40 yaş arasında ve %21,2'sinin 41 yaş ve üzerinde olduğu; %50'sinin evli, %50'sinin bekar olduğu; %2,3'ünün lise ve dengi okul mezunu, %9,1'inin ön lisans mezunu, %60,6'sının lisans mezunu, %25'inin yüksek lisans ve %3'ünün ise doktora mezunu olduğu görülmektedir. Kişilerin meslek durumları değerlendirildiğinde %32,6'sının mimar, %29,5'inin mühendis, %21,2'sinin işletme-idari birimler ve %16,7'sinin ise diğer meslek türlerinde olduğu; %6,8'inin aylık gelirlerinin çok düşük, %12,1'inin düşük, %60,6'sının orta ve %20,5'inin ise aylık gelirlerinin yüksek olduğu; kişilerin %27,3'ünün firmada 0-1 yıl arasında çalıştığı, %42,4'ünün 2-5 yıl

arasında, %14,4'ünün 6-10 yıl arasında, %9,8'inin 11-15 yıl arasında ve %6,1'inin ise 16 yıl ve üzerinde firmalarında çalıştıkları; kişilerin %18,2'sinin şirket sahibi olduğu, %8,3'ünün üst düzey yönetici, %3'ünün danışman, %18,9'unun orta düzey yönetici, %23,2'sinin yönetici, %1,5'inin müşavir, %0,8'inin analist, %12,1'inin uzman ve %12,9'unun ise firmada stajyer olduğu; kişilerin %90,2'sinin lokasyon olarak yurt içinde çalıştığı görülmektedir.

Tablo 1. Sosyo-Demografik Özelliklerin Dağılımı

		n	%
Cinsiyet	Erkek	90	68,2
	Kadın	42	31,8
Yaş	18-25 arası	28	21,2
	26-30 arası	38	28,8
	31-35 arası	16	12,1
	36-40 arası	22	16,7
	41 ve üzeri	28	21,2
Medeni durumu	Evli	66	50,0
	Bekar	66	50,0
Eğitim durumu	Lise ve dengi mezunu	3	2,3
	Ön lisans mezunu	12	9,1
	Lisans mezunu	80	60,6
	Yüksek lisans mezunu	33	25,0
	Doktora Mezunu	4	3,0
Meslek	Mimar	43	32,6
	Mühendis	39	29,5
	İşletme-İdari Birimler	28	21,2
	Diğer	22	16,7
Aylık gelir	Çok düşük	9	6,8
	Düşük	16	12,1
	Orta	80	60,6
	Yüksek	27	20,5
Firmadaki çalışma süresi	0-1 yıl	36	27,3
	2-5 yıl	56	42,4
	6-10 yıl	19	14,4
	11-15 yıl	13	9,8
	16 yıl ve üzeri	8	6,1
Pozisyon	Şirket sahibi (Ortak, Hisse Sahibi, Yönetim Kurulu Üyesi, vb.)	24	18,2
	Üst düzey yönetici (CEO, CIO, CFO, COO, CTO vb.)	11	8,3
	Danışman	4	3,0
	Orta düzey yönetici (Direktör, Koordinatör vb.)	25	18,9
	Yönetici (Müdür, Şef vb.)	32	24,2
	Müşavir	2	1,5
	Analist	1	0,8
	Uzman	16	12,1
	Stajyer	17	12,9
Lokasyon	Yurt içi	119	90,2
	Yurt dışı	13	9,8
Toplam		132	100,0

Araştırmada kişilerin dönüşümcü liderlik algılarına ilişkin betimsel istatistikleri değerlendirildiğinde (Tablo 2); dönüşümcü liderlik algılarından vizyon belirleme ve geliştirme ortalama puanı 3.85, entelektüel uyarım ortalama puanı 3.83, davranış modeli oluşturma ortalama puanı 3.92, grup amaçlarının

kabulünü oluşturma ortalama puanı 3.84, bireysel destek sağlama ortalama puanı 3.74, yüksek performans beklentilerine sahip olma ortalama puanı 3.97 ve dönüşümcü liderlik genel ortalama puanı ise 3.86 olarak elde edilmiştir.

Tablo 2: Dönüşümcü Liderlik Algılarına İlişkin Betimsel İstatistik Dağılımı

	N	\bar{X}	SS	Min. – Maks.
Vizyon Belirleme ve Geliştirme	132	3,85	0,94	1-5
Entelektüel Uyarım	132	3,83	1,02	1-5
Davranış Modeli Oluşturma	132	3,92	1,00	1-5
Grup Amaçlarının Kabulünü Oluşturma	132	3,84	0,99	1-5
Bireysel Destek Sağlama	132	3,74	1,09	1-5
Yüksek Performans Beklentilerine Sahip Olma	132	3,97	0,79	1-5
<i>Dönüşümcü Liderlik</i>	132	3,86	0,94	1-5

Araştırmada kişilerin dönüşümcü liderlik algıları puanlarına ait normallik dağılımı Kolmogorov Smirnov testi ile değerlendirildiğinde (Tablo 3); veriler normal dağılım göstermemiştir ($p < 0.05$). Ancak puanların normal dağılım göstermemesine rağmen normal dağılımın diğer varsayımları olan basıklık ve çarpıklık değerlerinin ± 2

arasında olmasından dolayı dönüşümcü liderlik algıları puanlarına ait verilerin normal dağıldığı kabul edilmiştir. Çalışmada dönüşümcü liderlik algısı ile sosyo-demografik özellikler arasındaki ilişki analizlerinde anlamlı farklılıkların bulunduğu grupların tablo verilerine yer verilmiştir.

Tablo 3: Dönüşümcü Liderlik Algılarına İlişkin Normallik Dağılım Analizi

	Kolmogorov-Smirnov			Skewness (Çarpıklık)	Kurtosis (Basıklık)
	Test istatistiği	Sd.	p		
Vizyon Belirleme ve Geliştirme	0,150	132	0,000	-1,079	0,783
Entelektüel Uyarım	0,125	132	0,000	-0,886	0,233
Davranış Modeli Oluşturma	0,141	132	0,000	-0,951	0,321
Grup Amaçlarının Kabulünü Oluşturma	0,149	132	0,000	-1,011	0,443
Bireysel Destek Sağlama	0,147	132	0,000	-0,842	-0,086
Yüksek Performans Beklentilerine Sahip Olma	0,128	132	0,000	-0,751	0,007
<i>Dönüşümcü Liderlik</i>	0,112	132	0,000	-0,977	0,457

Araştırmaya katılan kişilerin dönüşümcü liderlik algıları puanları yaş gruplarına göre tek yönlü varyans analizi testi ile değerlendirildiğinde (Tablo 4); dönüşümcü liderlik algılarından bireysel destek sağlama ortalama puanı kişilerin yaş gruplarına göre anlamlı bir farklılık göstermektedir (F(4,127): 2.613, $p \leq 0.05$). Grup varyanslarının homojenliği Levene testi ile test edilmiş ve varyansların homojen dağıldığı tespit edilmiştir ($p > 0.05$). Gruplar arası farklılığın hangi yaş grubu arasında olduğunu tespit etmek için yapılan LSD testi sonuçlarına göre, 36-40

yaş arasındaki kişilerin bireysel destek sağlama ortalama puanı (\bar{X} :4.20,SS:0.86) anlamlı olarak 18-25 yaş ve 31- 35 yaş arasında olan kişilerin ortalama puanından yüksek; 26-30 yaş arasındaki kişilerin bireysel destek sağlama ortalama puanı (\bar{X} :3.96,SS:0.89) anlamlı olarak 18-25 yaş arasındaki kişilerin ortalama puanından yüksek olduğu görülmektedir. Bununla birlikte dönüşümcü liderlik algıları ve genel ortalama puanları kişilerin yaş grupları arasında anlamlı farklılık göstermemektedir ($p > 0.05$).

Tablo 4: Dönüşümcü Liderlik Algılarının Yaş Gruplarına Göre Karşılaştırılması

	Yaş										F	p
	18-25 arası (n=28)		26-30 arası (n=38)		31-35 arası (n=16)		36-40 arası (n=22)		41 ve üzeri (n=28)			
	\bar{X}	SS	\bar{X}	SS	\bar{X}	SS	\bar{X}	SS	\bar{X}	SS		
Vizyon												
Belirleme ve Geliştirme	3,71	0,96	3,92	0,93	3,60	1,01	4,23	0,66	3,75	1,03	1,498	0,207
Entelektüel Uyarım Davranış Modeli	3,63	1,18	3,94	0,87	3,46	1,07	4,25	0,73	3,74	1,14	1,913	0,112
Oluşturma Grup Amaçlarının Kabulünü Oluşturma	3,75	1,07	3,97	0,93	3,65	0,96	4,38	0,62	3,84	1,21	1,774	0,138
Bireysel Destek Sağlama	3,64	1,15	3,87	0,87	3,64	1,01	4,31	0,64	3,76	1,12	1,780	0,137
Yüksek Performans Beklentilerine Sahip Olma	3,39	1,24	3,96	0,89	3,41	1,13	4,20	0,86	3,64	1,20	2,613	0,038*
Dönüşümcü Liderlik	3,87	0,85	4,06	0,87	3,71	0,61	4,22	0,59	3,92	0,84	1,213	0,309
	3,64	1,09	4,00	0,80	3,53	0,89	4,24	0,67	3,77	1,07	2,135	0,080

Tek Yönlü Varyans (One-Way ANOVA) Analizi, * $p \leq 0.05$, ** $p \leq 0.01$, *** $p \leq 0.001$

Araştırmaya katılan kişilerin dönüşümcü liderlik algıları puanları aylık gelir durumlarına göre tek yönlü varyans analizi testi ile değerlendirildiğinde (Tablo 5); dönüşümcü liderlik algılarından vizyon belirleme ve geliştirme ortalama puanı kişilerin aylık gelir düzeylerine göre anlamlı bir farklılık göstermektedir (F(2, 129): 6.323, $p \leq 0.01$). Grup varyanslarının homojenliği Levene testi ile test edilmiş ve varyansların homojen dağılmadığı tespit edilmiştir ($p < 0.05$). Gruplar arası farklılığın hangi aylık gelir düzeyi arasında olduğunu tespit etmek için yapılan Tamhane testi sonuçlarına göre, aylık geliri yüksek olan kişilerin vizyon belirleme ve geliştirme ortalama puanı (\bar{X} :4.25,SS:0.76) anlamlı olarak aylık geliri düşük olan kişilerin ortalama puanından yüksek olduğu görülmektedir. Dönüşümcü liderlik algılarından entelektüel uyarım ortalama puanı kişilerin aylık gelir düzeylerine göre anlamlı bir farklılık göstermektedir (F(2, 129): 6.476, $p \leq 0.01$). Grup varyanslarının homojenliği Levene testi ile test edilmiş ve varyansların homojen dağılmadığı tespit edilmiştir ($p < 0.05$). Gruplar arası farklılığın hangi aylık gelir düzeyi arasında olduğunu tespit etmek için yapılan Tamhane testi sonuçlarına göre, aylık geliri yüksek olan kişilerin entelektüel uyarım ortalama puanı (\bar{X} :4.19,SS:0.85) anlamlı olarak aylık geliri düşük olan kişilerin ortalama puanından yüksek olduğu görülmektedir.

Dönüşümcü liderlik algılarından davranış modeli oluşturma ortalama puanı kişilerin aylık gelir düzeylerine göre anlamlı bir farklılık göstermektedir

(F(2, 129): 6.953, $p \leq 0.001$). Grup varyanslarının homojenliği Levene testi ile test edilmiş ve varyansların homojen dağıldığı tespit edilmiştir ($p > 0.05$). Gruplar arası farklılığın hangi aylık gelir düzeyi arasında olduğunu tespit etmek için yapılan Tukey HSD testi sonuçlarına göre, aylık geliri orta düzeyde (\bar{X} :3.98,SS:0.98)ve yüksek düzeyde olan kişilerin davranış modeli oluşturma ortalama puanı (\bar{X} :4.30,SS:0.89) anlamlı olarak aylık geliri düşük olan kişilerin ortalama puanından yüksek olduğu görülmektedir.

Dönüşümcü liderlik algılarından grup amaçlarının kabulünü oluşturma ortalama puanı kişilerin aylık gelir düzeylerine göre anlamlı bir farklılık göstermektedir (F(2, 129): 8.467, $p \leq 0.001$). Grup varyanslarının homojenliği Levene testi ile test edilmiş ve varyansların homojen dağılmadığı tespit edilmiştir ($p < 0.05$). Gruplar arası farklılığın hangi aylık gelir düzeyi arasında olduğunu tespit etmek için yapılan Tamhane testi sonuçlarına göre, aylık geliri orta düzeyde (\bar{X} :3.91,SS:0.92) ve yüksek düzeyde olan kişilerin grup amaçlarının kabulünü oluşturma ortalama puanı (\bar{X} :4.25,SS:0.81) anlamlı olarak aylık geliri düşük olan kişilerin ortalama puanından yüksek olduğu görülmektedir.

Dönüşümcü liderlik algılarından bireysel destek sağlama ortalama puanı kişilerin aylık gelir düzeylerine göre anlamlı bir farklılık göstermektedir (F(2, 129): 6.924, $p \leq 0.001$). Grup varyanslarının homojenliği Levene testi ile test edilmiş ve varyansların homojen dağılmadığı tespit edilmiştir ($p < 0.05$).

Gruplar arası farklılığın hangi aylık gelir düzeyi arasında olduğunu tespit etmek için yapılan Tamhane testi sonuçlarına göre, aylık geliri yüksek düzeyde olan kişilerin bireysel destek sağlama ortalama puanı (\bar{X} :4.16,SS:0.95) anlamlı olarak aylık geliri düşük olan kişilerin ortalama puanından yüksek olduğu görülmektedir.

Dönüşümcü liderlik algılarından yüksek performans beklentilerine sahip olma ortalama puanı kişilerin aylık gelir düzeylerine göre anlamlı bir farklılık göstermektedir (F(2, 129): 4.459, $p \leq 0.05$). Grup varyanslarının homojenliği Levene testi ile test edilmiş ve varyansların homojen dağıldığı tespit edilmiştir ($p > 0.05$). Gruplar arası farklılığın hangi aylık gelir düzeyi arasında olduğunu tespit etmek için yapılan Tukey HSD testi sonuçlarına göre, aylık geliri orta düzeyde (\bar{X} :4.02,SS:0.78) ve yüksek düzeyde olan kişilerin yüksek

performans beklentilerine sahip olma ortalama puanı (\bar{X} :4.20,SS:0.74) anlamlı olarak aylık geliri düşük olan kişilerin ortalama puanından yüksek olduğu görülmektedir.

Dönüşümcü liderlik genel ortalama puanı kişilerin aylık gelir düzeylerine göre anlamlı bir farklılık göstermektedir (F(2, 129): 7.450, $p \leq 0.001$). Grup varyanslarının homojenliği Levene testi ile test edilmiş ve varyansların homojen dağıldığı tespit edilmiştir ($p > 0.05$). Gruplar arası farklılığın hangi aylık gelir düzeyi arasında olduğunu tespit etmek için yapılan Tukey HSD testi sonuçlarına göre, aylık geliri orta düzeyde (\bar{X} :3.93,SS:0.86) ve yüksek düzeyde olan kişilerin dönüşümcü liderlik genel ortalama puanı (\bar{X} :4.20,SS:0.83) anlamlı olarak aylık geliri düşük olan kişilerin ortalama puanından yüksek olduğu görülmektedir.

Tablo 5: Dönüşümcü Liderlik Algılarının Aylık Gelir Durumuna Göre Karşılaştırılması

	Aylık Gelir						F	p
	Düşük (n=25)		Orta (n=80)		Yüksek (n=27)			
	\bar{X}	SS	\bar{X}	SS	\bar{X}	SS		
Vizyon Belirleme ve Geliştirme	3,36	1,07	3,88	0,89	4,25	0,76	6,323	0,002**
Entelektüel Uyarım Davranış Modeli Oluşturma	3,24	1,17	3,89	0,96	4,19	0,85	6,476	0,002**
Grup Amaçlarının Kabulünü Oluşturma	3,34	0,97	3,98	0,98	4,30	0,89	6,953	0,001***
Bireysel Destek Sağlama	3,10	1,32	3,81	0,98	4,16	0,95	6,924	0,001***
Yüksek Performans Beklentilerine Sahip Olma	3,58	0,80	4,02	0,78	4,20	0,74	4,459	0,013*
<i>Dönüşümcü Liderlik</i>	3,28	1,05	3,93	0,86	4,20	0,83	7,450	0,001***

Tek Yönlü Varyans (One-Way ANOVA) Analizi, * $p \leq 0.05$, ** $p \leq 0.01$, *** $p \leq 0.001$

Araştırmaya katılan kişilerin dönüşümcü liderlik algıları puanları firmadaki pozisyon durumlarına göre tek yönlü varyans analizi testi ile değerlendirildiğinde (Tablo 6); dönüşümcü liderlik algılarından vizyon belirleme ve geliştirme ortalama puanı kişilerin pozisyonlarına göre anlamlı bir farklılık göstermektedir ($F(5, 126): 2.801, p \leq 0.05$). Grup varyanslarının homojenliği Levene testi ile test edilmiş ve varyansların homojen dağıldığı tespit edilmiştir ($p > 0.05$). Gruplar arası farklılığın hangi pozisyon arasında olduğunu tespit etmek için yapılan Tukey HSD testi sonuçlarına göre, şirket sahibi olan kişilerin vizyon belirleme ve geliştirme ortalama puanı ($\bar{X}: 4.29, SS: 0.84$) anlamlı olarak firmada yönetici olan kişilerin ortalama puanından yüksek olduğu görülmektedir.

Dönüşümcü liderlik algılarından entelektüel uyarım ortalama puanı kişilerin pozisyonlarına göre anlamlı bir farklılık göstermektedir ($F(5, 126): 2.645, p \leq 0.05$). Grup varyanslarının homojenliği Levene testi ile test edilmiş ve varyansların homojen dağılmadığı tespit edilmiştir ($p < 0.05$). Gruplar arası farklılığın hangi pozisyon arasında olduğunu tespit etmek için yapılan Tamhane testi sonuçlarına göre, şirket sahibi olan kişilerin entelektüel uyarım ortalama puanı ($\bar{X}: 4.31, SS: 0.86$) anlamlı olarak firmada yönetici olan kişilerin ortalama puanından yüksek olduğu görülmektedir.

Dönüşümcü liderlik algılarından davranış modeli oluşturma ortalama puanı kişilerin pozisyonlarına göre

anlamlı bir farklılık göstermektedir ($F(5, 126): 2.837, p \leq 0.05$). Grup varyanslarının homojenliği Levene testi ile test edilmiş ve varyansların homojen dağıldığı tespit edilmiştir ($p > 0.05$). Gruplar arası farklılığın hangi pozisyon arasında olduğunu tespit etmek için yapılan Tukey HSD testi sonuçlarına göre, şirket sahibi olan kişilerin davranış modeli oluşturma ortalama puanı ($\bar{X}: 4.46, SS: 0.80$) anlamlı olarak firmada yönetici olan kişilerin ortalama puanından yüksek olduğu görülmektedir.

Dönüşümcü liderlik algılarından grup amaçlarının kabulünü oluşturma ortalama puanı kişilerin pozisyonlarına göre anlamlı bir farklılık göstermektedir ($F(5, 126): 2.966, p \leq 0.05$). Grup varyanslarının homojenliği Levene testi ile test edilmiş ve varyansların homojen dağılmadığı tespit edilmiştir ($p < 0.05$). Gruplar arası farklılığın hangi pozisyon arasında olduğunu tespit etmek için yapılan Tamhane testi sonuçlarına göre, şirket sahibi olan kişilerin grup amaçlarının kabulünü oluşturma ortalama puanı ($\bar{X}: 4.36, SS: 0.76$) anlamlı olarak firmada yönetici olan kişilerin ortalama puanından yüksek olduğu görülmektedir.

Dönüşümcü liderlik algılarından bireysel destek sağlama ortalama puanı kişilerin pozisyonlarına göre anlamlı bir farklılık göstermektedir ($F(5, 126): 4.685, p \leq 0.001$). Grup varyanslarının homojenliği Levene testi ile test edilmiş ve varyansların homojen dağılmadığı tespit edilmiştir ($p < 0.05$). Gruplar arası farklılığın hangi pozisyon arasında olduğunu tespit etmek için yapılan

Tamhane testi sonuçlarına göre, şirket sahibi olan kişilerin bireysel destek oluşturma ortalama puanı (\bar{X} :4.30,SS:0.84) anlamlı olarak firmada yönetici ve stajyer olan kişilerin ortalama puanından yüksek; firmada üst düzey yönetici olan kişilerin bireysel destek oluşturma ortalama puanı (\bar{X} :4.33,SS:0.61) anlamlı olarak firmada yönetici ve stajyer olan kişilerin ortalama puanından yüksek olduğu görülmektedir.

Dönüşümcü liderlik genel ortalama puanı kişilerin pozisyonlarına göre

anlamlı bir farklılık göstermektedir (F(5, 126): 3.309, $p \leq 0.01$). Grup varyanslarının homojenliği Levene testi ile test edilmiş ve varyansların homojen dağılmadığı tespit edilmiştir ($p < 0.05$). Gruplar arası farklılığın hangi pozisyon arasında olduğunu tespit etmek için yapılan Tamhane testi sonuçlarına göre, şirket sahibi (\bar{X} :4.34,SS:0.78) ve üst düzey yönetici olan kişilerin dönüşümcü liderlik genel ortalama puanı (\bar{X} :4.28,SS:0.48) anlamlı olarak firmada yönetici olan kişilerin ortalama puanından yüksek olduğu görülmektedir.

Tablo 6: Dönüşümcü Liderlik Algılarının Pozisyon Durumuna Göre Karşılaştırılması

	Pozisyon										F	p		
	Şirket sahibi (n=24)		Üst düzey yönetici (n=11)		Orta düzey yönetici (n=25)		Yönetici (n=32)		Diğer (Müşavir, Analist, Uzman vb.) (n=23)				Stajyer (n=17)	
	\bar{X}	SS	\bar{X}	SS	\bar{X}	SS	\bar{X}	SS	\bar{X}	SS			\bar{X}	SS
Vizyon														
Belirleme ve Geliştirme	4,29	0,84	4,27	0,45	3,94	0,95	3,53	0,94	3,74	0,94	3,59	1,02	2,801	0,020*
Entelektüel Uyarım	4,31	0,86	4,11	0,41	3,97	1,04	3,49	1,11	3,77	0,94	3,45	1,16	2,645	0,026*
Davranış Modeli	4,46	0,80	4,29	0,65	3,98	1,04	3,63	1,02	3,75	0,99	3,64	1,10	2,837	0,018*
Oluşturma Grup Amaçlarının Kabulünü Oluşturma	4,36	0,76	4,16	0,46	3,98	0,99	3,54	1,05	3,7	0,97	3,48	1,15	2,966	0,014*
Bireysel Destek	4,30	0,84	4,33	0,61	3,93	1,06	3,29	1,12	3,75	0,99	3,15	1,24	4,685	0,001**
Sağlama Yüksek Performans Beklentilerine Sahip Olma	4,22	0,69	4,44	0,5	4	0,85	3,89	0,75	3,85	0,71	3,61	1,03	2,170	0,062
<i>Dönüşümcü Liderlik</i>	4,34	0,78	4,28	0,48	3,95	0,93	3,55	0,99	3,78	0,85	3,47	1,08	3,309	0,008**

Tek Yönlü Varyans (One-Way ANOVA) Analizi, * $p \leq 0.05$, ** $p \leq 0.01$, *** $p \leq 0.001$

Araştırmada dönüşümcü liderlik algıları arasındaki ilişki pearson korelasyon testi ile değerlendirildiğinde (Tablo 7); dönüşümcü liderlik ile dönüşümcü liderlik algılarından vizyon belirleme ve geliştirme (r: 0.954, $p \leq 0.01$), entelektüel uyarım (r: 0.952, $p \leq 0.01$), davranış modeli oluşturma (r: 0.953, $p \leq 0.01$), grup amaçlarının kabulünü oluşturma (r: 0.955, $p \leq 0.01$), bireysel destek sağlama (r: 0.960, $p \leq 0.01$) ve yüksek performans beklentilerine sahip olma (r: 0.838, $p \leq 0.01$) arasında pozitif yönde, güçlü düzeyde ve anlamlı bir ilişki (korelasyon) vardır.

Dönüşümcü liderlik algılarından vizyon belirleme ve geliştirme ile entelektüel uyarım (r: 0.902, $p \leq 0.01$), davranış

modeli oluşturma (r: 0.928, $p \leq 0.01$), grup amaçlarının kabulünü oluşturma (r: 0.935, $p \leq 0.01$), bireysel destek sağlama (r: 0.900, $p \leq 0.01$) ve yüksek performans beklentilerine sahip olma (r: 0.774, $p \leq 0.01$) arasında pozitif yönde, güçlü düzeyde ve anlamlı bir ilişki (korelasyon) vardır.

Dönüşümcü liderlik algılarından entelektüel uyarım ile davranış modeli oluşturma (r: 0.909, $p \leq 0.01$), grup amaçlarının kabulünü oluşturma (r: 0.917, $p \leq 0.01$), bireysel destek sağlama (r: 0.914, $p \leq 0.01$) ve yüksek performans beklentilerine sahip olma (r: 0.806, $p \leq 0.01$) arasında pozitif yönde, güçlü düzeyde ve anlamlı bir ilişki (korelasyon) vardır.

Tablo 7: Dönüşümcü Liderlik Algılarının Korelasyon Analizi Sonuçları

	1	2	3	4	5	6	7
Dönüşümcü Liderlik¹	r 1						
	p						
Vizyon Belirleme ve Geliştirme ²	r .954**	1					
	p .000						
Entelektüel Uyarım ³	r .952**	.902**	1				
	p .000	.000					
Davranış Modeli Oluşturma ⁴	r .953**	.928**	.909**	1			
	p .000	.000	.000				
Grup Amaçlarının Kabulünü Oluşturma ⁵	r .955**	.935**	.917**	.925**	1		
	p .000	.000	.000	.000			
Bireysel Destek Sağlama ⁶	r .960**	.900**	.914**	.889**	.901**	1	
	p .000	.000	.000	.000	.000		
Yüksek Performans Beklentilerine Sahip Olma ⁷	r .838**	.774**	.806**	.780**	.798**	.814**	1
	p .000	.000	.000	.000	.000	.000	

Pearson Korelasyon, * $p \leq 0.05$, ** $p \leq 0.001$

Dönüşümcü liderlik algılarından davranış modeli oluşturma ile grup amaçlarının kabulünü oluşturma (r: 0.925, $p \leq 0.01$), bireysel destek sağlama (r: 0.889, $p \leq 0.01$) ve yüksek performans beklentilerine sahip olma (r: 0.780,

$p \leq 0.01$) arasında pozitif yönde, güçlü düzeyde ve anlamlı bir ilişki (korelasyon) vardır.

Dönüşümcü liderlik algılarından grup amaçlarının kabulünü oluşturma ile

bireysel destek sağlama ($r: 0.901, p \leq 0.01$) ve yüksek performans beklentilerine sahip olma ($r: 0.798, p \leq 0.01$) arasında pozitif yönde, güçlü düzeyde; ayrıca bireysel destek sağlama ile yüksek performans beklentilerine sahip olma ($r: 0.814, p \leq 0.01$) arasında pozitif yönde, güçlü düzeyde ve anlamlı bir ilişki (korelasyon) vardır.

4. Sonuçlar

Günümüzde hızla değişen dünyanın gereksinim duyduğu yeni koşullar, birçok modern yönetim sisteminin oluşmasına katkı sağladığı gibi liderlik tarzlarının da farklılaşmasını sağlamıştır. Dönüşümcü liderlik tarzı da bahsi geçen bu süreçte, geçmişteki yönetim şekillerinin eksik kalması sonucunda beliren bir liderlik tarzı olarak değerlendirilmektedir. Takipçilerinin gereksinimlerini ve düşünce yapısını, organizasyon çıkarlarına yönelik maksimum verimi elde edecek şekilde güncellemeye çalışan dönüşümcü liderler, onların çalıştıkları işten tatmin olmalarını ve yüksek moral motivasyona sahip olmalarını da sağlamaya çalışmaktadırlar.

Araştırma sonuçlarına göre, dönüşümcü liderlik boyutlarından Yüksek Performans Beklentilerine Sahip Olma en yüksek, Bireysel Destek Sağlama ise en düşük düzeyde algılanan boyut olmuştur. Bu durum inşaat yöneticilerinin, hedeflere ulaşılabilmesi için çalışanlardan inisiyatif alarak bireysel anlamda daha çok performans göstermelerini isteyen kişiler oldukları şeklinde yorumlanabilir.

Yapılan araştırmada erkek sayısı kadın sayısından oldukça fazla çıkmıştır. Bu sonuçla birlikte inşaat sektörünün erkek baskın bir sektör olduğu kanısına kolaylıkla varılabilir. Daha önce bu konuyla ilgili yapılan çalışmalarda bu sonucu destekler niteliktedir (Yenipazarlı, 2006). Araştırma bulgularından bir diğeri; yönetici pozisyonlarında, kadınların sayılarının erkeklere oranla çok az olmasıdır. Erkek yöneticiler kadın yöneticilerden fazladır. Bu sonuç da daha önce yapılan pek çok araştırmayı desteklemektedir (Evetts, 1996; Mamaş, 2015).

Yöneticilerin cinsiyet değişkenine göre dönüşümcü liderlik ölçeği ve alt boyutları olan "Vizyon Belirleme ve Geliştirme, Entelektüel Uyarım, Davranış Modeli Oluşturma, Grup Amaçlarının Kabulünü Oluşturma, Bireysel Destek Sağlama ve Yüksek Performans Beklentilerine Sahip Olma" değerlendirildiğinde, yöneticilerin ortalama puanlarına göre anlamlı bir farklılık göstermediği sonucuna ulaşılmıştır. Literatürde benzer sonuçtaki araştırmaların çoğunlukta olduğu görülmüştür. Brown ve Reilly (2008)'nin "Duygusal zekâ, dönüşümcü liderlik ve cinsiyet: ilişki ve etkileşim olasılığı" konulu araştırması da bulgumuzu destekler niteliktedir. Araştırma sonucuna göre, 161 yöneticinin ortalama puanları, dönüşümcü liderlik ve alt boyutlarının cinsiyet değişkenine göre anlamlı bir farklılık göstermemiştir. Vicky (2005)'de duygusal zekâ ve dönüşümcü liderlik arasındaki ilişkiyi incelediği çalışmasında cinsiyetin bu iki değişken

arasındaki ilişki üzerinde herhangi bir etkisinin bulunmadığını saptamıştır.

Yöneticilerin yaş değişkenine göre dönüşümcü liderlik ölçeği arasındaki ilişki incelendiğinde, bireysel destek sağlama alt boyutu ortalama puanının kişilerin yaş durumlarına göre anlamlı bir farklılık gösterdiği elde edilmiştir. 36-40 yaş arasındaki kişilerin bireysel destek sağlama ortalama puanı anlamlı olarak, 18-25 yaş ve 31- 35 yaş arasında olan kişilerin ortalama puanından yüksek; 26-30 yaş arasındaki kişilerin bireysel destek sağlama ortalama puanı ise anlamlı olarak 18-25 yaş arasındaki kişilerin ortalama puanından yüksek olduğu görülmektedir. Bu farklılık 36-40 yaş arasında olan kişilerin genel olarak elde ettikleri tecrübelerine göre diğer yaşlardaki kişilere göre liderlerin onlara karşı sergiledikleri farklılıkları daha objektif algılayıp değerlendirme niteliğine sahip olduklarından kaynaklanabildiği söylenebilir. Bunun dışında dönüşümcü liderlik algıları ve genel ortalama puanları kişilerin yaş grupları arasında anlamlı farklılık göstermemiştir. Elde edilen bu bulguda literatürdeki araştırmalarla paralellik göstermektedir. Mansurova (2017) dönüşümcü liderlik davranışlarının örgüt kültürüne olan etkisini incelediği çalışmada yaş değişkeni için aynı sonuca ulaşmıştır. Yavuz (2009)'da işgörenlerin dönüşümcü liderlik ve örgütsel bağlılık ile ilgili tutumlarını incelediği çalışmada cinsiyet faktörüyle dönüşümcü liderlik algısında farklılaşma bulgulanmıştır.

Yöneticilerin pozisyon durumu değişkenine göre dönüşümcü liderlik

ölçeği ve alt boyutları arasındaki ilişki incelendiğinde anlamlı bir farklılık tespit edilmiştir. Literatürde Mansurova (2017), Manafzadehtabriz (2020) ve Yılmaz ve Gürhan Arcasoy (2019)'da araştırmanın bu bulgusunu destekler nitelikte sonuçlar elde etmişlerdir. Yapılan analizlerde dönüşümcü liderlik davranışlarından herhangi bir alt boyutu için medeni durumuna, eğitim seviyesine, mesleğine, tecrübesine, iş yerindeki kıdemine ve lokasyona göre gruplar arasında anlamlı bir farklılık bulunamamıştır.

Araştırmada ayrıca dönüşümcü liderlik ile dönüşümcü liderlik algıları olan vizyon belirleme ve geliştirme, davranış modeli oluşturma, entelektüel uyarım, bireysel destek sağlama, grup amaçlarının kabulünü oluşturma ve yüksek performans beklentilerine sahip olma alt boyutları aralarında pozitif yönde, güçlü düzeyde ve anlamlı bir ilişki (korelasyon) tespit edilmiştir. Bu kapsamda araştırma genel olarak ele alındığında inşaat sektörü yöneticilerinin, dönüşümcü liderlik davranışları sergilediklerini ortaya koymaktadır. İnşaat sektöründeki yöneticilerinin büyük çoğunluğunun yeteri derecede dönüşümü sağlayabilecek gerekli donanımına sahip oldukları söylenebilir.

Araştırmada inşaat yöneticilerinin dönüşümcü liderlik davranışları ve çalışanlar tarafından nasıl algılandığı incelenmiştir. Devam eden çalışmalar için; inşaat sektöründeki liderlik türlerini belirleme konusunda, yöneticilerle birlikte takipçilerin de anket çalışmasına dahil edilmesi,

böylece araştırmanın tarafsızlık açısından da bir bütün olarak desteklenmesi ve konunun geliştirilmesi önerilebilir. Anketin örnekleme, Türkiye ölçeğinde yer aldığından, Dünya düzeyinde yapılacak olan bir çalışmada

daha farklı sonuçlar elde edileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Çünkü diğer ülkelerde bulunanların bakış tarzlarının, oranın koşullarına bağlı olarak farklı gelişmesi beklenmektedir.

5. Kaynaklar

Ak, M. (2006). *İlköğretim okulu yöneticilerinin değişimi yönetme yeterlikleri (Uşak ili örneği)*, (Master's thesis, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü).

Brown, F. W., & Reilly, M. D. (2008). Emotional intelligence, transformational leadership and gender: correlation and interaction possibilities. *The Journal of International Management Studies*, 3(2), 1-9.

Eren, E. (2001), *Örgütsel Davranış ve Yönetim Psikolojisi*, Beta Basım Yayım Dağıtım, İstanbul.

Evetts, J. (1996). *Gender and career in science and engineering* (Vol. 2). CRC Press.

Kasapoğlu, E. (2014). Leadership Styles in Architectural Design Offices in Turkey, *ASCE, Journal of Construction Engineering and Management*, 140(2): 1-9.

Koçel, T. (2003), *İşletme yöneticiliği*. Beta Yayıncılık, İstanbul.

Luthans, F. (1995), *Organizational behavior*, McGraw Hill, New York.

Black, J. S., Porter, L. W., & Hitt, M. A. (2000). *Management: Meeting new challenges*.

Mamaş, G. (2015). *Türk İnşaat Proje Yönetimi Sektöründe Çalışan Üst ve Orta Düzey Yöneticilerin Dönüşümcü Liderlik Davranışları Üzerine Bir Araştırma* (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Manafzadehtabriz, S. (2020). *Üniversite yöneticilerinin ruhsal zekâ ve duygusal zekâ ile dönüşümcü liderlik davranışları arasındaki ilişkinin incelenmesi*, (Doctoral dissertation, Atatürk Üniversitesi, Eğitim Bilimleri Enstitüsü).

Mansurova, S. (2017), *İşletmelerde dönüşümcü liderlik davranışlarının örgüt kültürüne etkisi ve bir uygulama* (Master's thesis, İstanbul Aydın Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü).

Marşap, A. (1999), *Yaratıcı liderlik*. Öncü Kitap, Ankara.

Özalp, İ. Ö. (2000), *Örgütlerde dönüştürücü (transformational) liderlik yaklaşımı*. *Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 3(4), ss.207-227.

Tarım, N. (2010), *Türk İnşaat Sektöründe Liderlik Yaklaşımları ve Cinsiyet Arasındaki İlişki Üzerine Bir Araştırma*, (Master's thesis, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Taş, A., Çetiner, A. (2011), *Ortaöğretim okulu müdürlerinin dönüşümcü liderlik davranışlarını gerçekleştirme durumlarına ilişkin öğretmen görüşleri*. *Türk Eğitim Bilimleri Dergisi*, 9(2), ss.369-392.

Vicky, Y.S.N. (2005), *Investigating the Relationship between Emotional Intelligence and Transformational Leadership style: a Gender Comparison*, Hong Kong Baptist University, Hong Kong.

Yavuz, E. (2009), *İşgörenlerin dönüşümcü liderlik ve örgütsel bağlılık ile ilgili tutumlarına yönelik bir araştırma*. *İşletme Araştırmaları Dergisi*, 1(2), ss.51-69.

Yenipazarlı, G. (2006), *Türk İnşaat Sektöründe Liderlik Davranışları Üzerine Bir Araştırma*, (Master's thesis, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Yılmaz, S., Gürhan Arcasoy, G. (2016), *Dönüşümcü liderlik ve örgütsel sessizlik arasındaki ilişki*. *Uluslararası Sosyal ve Beşerî Bilimler Araştırma Dergisi*, 6(40), ss.2066-208.

SEMBOLLER

- f : Frekans
p : Probability; Olasılık
S.S. : Standart sapma
 \bar{X} : Ortalama

EKLER

EK 1: Anket Formu

Birinci Bölüm Kişisel Sorular

1. Cinsiyetiniz?

- Kadın Erkek

2. Yaşınız?

- 18-25 arası
 26-30 arası
 31-35 arası
 36-40 arası
 41 ve üzeri

3. Medeni durumunuz?

- Evli Bekar

4. Eğitim durumunuz?

- Lise ve dengi okul mezunu
 Ön lisans mezunu
 Lisans mezunu
 Yüksek Lisans mezunu
 Doktora mezunu

5. Mesleğiniz?

- Mimar Mühendis İşletme-İdari Bilimler Diğer

6. Aylık geliriniz?

- Çok Düşük Düşük Orta Yüksek

7. Şu an bulunduğunuz firmadaki çalışma süreniz?

- 0-1 yıl 2-5 yıl 6-10 yıl 11-15 yıl 16 yıl ve üzeri

8. İnşaat sektöründeki toplam mesleki deneyiminiz?

- 0-1 yıl 2-5 yıl 6-10 yıl 11-15 yıl 16 yıl ve üzeri

9. Şu an bulunduğunuz pozisyon nedir?

- Şirket sahibi
 Üst düzey yönetici (CEO, CIO, CFO, COO, CTO vb.)
 Danışman
 Orta düzey yönetici (Direktör, Koordinatör vb.)
 Yönetici (Müdür, Şef vb.)
 Müşavir
 Analist
 Uzman
 Stajyer

10. Bulduğunuz lokasyon?

- Yurtiçi
 Kuzey Amerika
 Güney Amerika
 Kuzey Afrika
 Güney Afrika
 Batı Avrupa
 Doğu Avrupa
 Ortadoğu
 Uzakdoğu

() Okyanusya

İkinci Bölüm

Dönüşümcü Liderlik Ölçeği

	Yöneticinizi dönüşümcü liderlik açısından değerlendireceğiniz ifadeler...	Kesinlikle Katılmıyorum	Katılıyorum	Ne katılıyor Ne katılmıyorum	Katılmıyorum	Kesinlikle Katılmıyorum
1	Karmaşık sorunları ele almada çok başarılıdır.					
2	En iyi performansımızı göstermemizde ısrarlıdır.					
3	Problemleri etkin bir şekilde çözmeye yardımcı olur.					
4	Çalışanların önerilerine kulak verir.					
5	Yapılacak işin amacını belirlerken fikrimizi alır.					
6	Şirket hedeflerini gerçekleştirme sürecinde kişisel gelişimimizi değerlendirmemiz için bizleri cesaretlendirir.					
7	Çalışanlara iyi bir lider modeli oluşturur.					
8	Çalışanlara üstünlük taslamaz.					
9	Şirketi topyekûn hedefe yönlendirir.					
10	Otoritesini astlarının üstlenmesine müsaade eder.					
11	Genel olarak empati kurabilir.					
12	Problemlere farklı açılardan yaklaşmamızı sağlar.					
13	Hedeflere ulaşmada çalışanlara örnek olur.					
14	Çalışanların ihtiyaçlarını önemser.					
15	Çalışanların önerilerine olumlu yaklaşır.					
16	Gelişme ihtiyacımızı karşılamak için kaynak sağlar.					

17	Hem öğreten hem de öğrenen bir şirket yapısı oluşturmaya çalışır.					
18	Farklılıklarımızı ortaya koymamıza yardımcı olur.					
19	Her dönem içinde mesleki performansımızı değerlendirir.					
20	Çalışanlara adil ve dürüst davranır.					
21	Yaratıcılığıyla değişimi destekler.					
22	Doğru kararlara varmada çalışanlara güvenir.					
23	Çalışanların kendi fikrini benimsemesini ister.					
24	Şirkette çalışanların kendilerini rahat hissetmelerini sağlar.					
25	Çalışanlara karşı açık davranır.					
26	Saygımızı ve güvenimizi kazanır.					
27	Hedeflere ulaşmada kapasitemizi zorlamamızı ister.					
28	Çalışanların kişisel sorunlarıyla ilgilenir.					
29	Performansımızı yükseltebilmemizi sağlayacak kaynak temin eder.					
30	Bireysel farklılıklarımıza önem verir.					
31	Önceki başarımızı geçmemiz konusunda ısrarlıdır.					
32	Kendi gücümüzün ve liderlik potansiyelimizin farkına varmamıza çalışır.					
33	Problem çözerken yaratıcılığımızı kullanmamızı teşvik eder.					
34	Bir işin üzerine cesaretle gitmemizi sağlar.					
35	İşçi sağlığına, iş güvenliğine ve çevreye önem verir.					
36	Sürdürülebilirliğe önem verir.					
37	Çalışanların profesyonel anlamda eğitimlerini teşvik eder.					
38	Kaliteden ödün vermez.					
39	Takım ruhunu sosyal ve kültürel faaliyetlerle destekler.					

40	Başarıyı takdirle motive eder.					
41	Çalışanları korumaya ve şirket hafızasına önem verir.					
42	Hataları anlayışla karşılar, tekrarını önlemek için gerekenleri tavsiye eder.					
43	Çalışanların özel hayatlarına saygı duyar.					
44	Pandemiyle başlayan süreçte çalışanları destekler.					
45	Değer ve geleneklere saygıyla yanaşır.					
46	Onsuz kalırsa da hedeflere ulaşılabilceğini çalışanlara hissettirir.					
47	Her bir çalışanına bir birey olarak davranır.					
48	Çalışanına iyi bir iş başardığında beğenisini ifade eder.					
49	Zamanını çalışanlarına yol göstermek için harcar.					
50	Çalışanların ihtiyaçlarının karşılanması yönünde çabalar.					
51	Çalışanlara gelişim imkânlarını sunar.					
52	Yalın İnşaat, Yapı Bilgi Modellemesi, Prefabrikasyon, 3 Boyutlu Yazıcı kullanımı vb. yenilikçi yaklaşımları teşvik eder.					

Araştırma Makalesi / Research Article

Efficiency of Self-Healing Chemical Additives on the Freeze/Thaw Resistance of Cement Composites

*¹Anita GOJEVIĆ, ²Ivanka NETINGER GRUBEŠA, ³Berislav MARKOVIĆ,
⁴Nikolina FILIPOVIĆ

¹Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Civil Engineering and Architecture Osijek, Osijek, Republic of Croatia, agojevic@gfos.hr

²Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Civil Engineering and Architecture Osijek, Osijek, Republic of Croatia, nivanka@gfos.hr

³Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Department of Chemistry, Osijek, Republic of Croatia, bmarkovi@kemija.unios.hr

⁴Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Department of Chemistry, Osijek, Republic of Croatia, nfilipovic@kemija.unios.hr

Geliş / Received: 12.11.2021;

Kabul / Accepted: 20.12.2021

Abstract

Self-healing of concrete is the process in which the material regenerates itself healing present cracks. It can be either autogenous/natural self-healing or autonomous/artificial self-healing. Autonomous self-healing techniques include the use of crystalline hydrophilic additives, the bacterial method, and the microencapsulation method. Since internal cracking is one of the damage forms that are occurring by freeze/thaw cycles, the idea in this paper was to estimate the effectiveness of artificial self-healing techniques such as crystalline hydrophilic additive and microcapsules on the freeze/thaw resistance of cement composites. The reference mortar mixture, the mortar mixture with crystalline hydrophilic additive as well as the mortar mixture with toluene diisocyanate (TDI) microcapsules (both additives added in 2% by cement weight) were prepared. Hardened mortar samples are subjected to freezing and thawing cycles according to CEN/TS 12390-9:2006 and the amount of scaling material due to freeze/thaw cycles have been measured. The amount of scaling material was lower in case of both mortar mixtures with self-healing additives than in case of reference mortar mixture which indicate that self-

*¹Sorumlu yazar / Corresponding author

Bu makaleye atıf yapmak için

Gojevic, A., Grubesa, I. N., Markovic, B., & Filipovic, N., (2021). Efficiency of Self-Healing Chemical Additives on the Freeze/Thaw Resistance of Cement Composites. *Journal of Innovations in Civil Engineering and Technology (JICIVILTECH)*, 3(2), 155-168.

healing chemical additives used here could improve resistance of the cement composites to freeze/thaw cycles.

Anahtar kelimeler: Crystalline hydrophilic additive, TDI microcapsules, Cement composites, Freeze/thaw resistance

Çimento Kompozitlerinin Donma/Çözülme Direnci Üzerinde Kendi Kendini İyileştiren Kimyasal Katkı Maddelerinin Etkinliği

Öz

Betonun kendi kendini iyileştirmesi, malzemenin mevcut çatlakları iyileştirerek kendini yenileme sürecidir. Bu ya otojen/doğal kendi kendini iyileştirme ile ya da otonom/yapay kendi kendini iyileştirme ile olabilir. Otonom kendi kendini iyileştirme teknikleri arasında kristalli hidrofilik katkı maddelerinin kullanımı, bakteriyel yöntem ve mikroenkapsülasyon yöntemi yer alır. İçsel çatlamlar, donma/çözülme döngüleri tarafından meydana gelen hasar biçimlerinden biri olduğundan, bu makalenin amacı, kristal hidrofilik katkı maddesi ve mikrokapsüller gibi yapay kendi kendini iyileştirme tekniklerinin çimento kompozitlerinin donma/çözülme direnci üzerindeki etkinliğini değerlendirmektir. Bu amaçla, şahit harç karışımı, kristal hidrofilik katkılı harç karışımı ve toluen diizosiyanat (TDI) mikrokapsüllü harç karışımı (her iki katkı da çimento ağırlığına göre %2 oranında eklenmiştir) hazırlanmıştır. Sertleşmiş harç numuneleri CEN/TS 12390-9:2006 'ya göre donma/çözülme döngülerine tabi tutulmuş ve donma/çözülme döngülerinden kaynaklanan tufal malzeme miktarı ölçülmüştür. Kendi kendini iyileştiren katkı maddelerine sahip her iki harç karışımında tufal malzeme miktarının, burada kullanılan kendi kendini iyileştiren kimyasal katkı maddelerinin çimento kompozitlerinin donma/çözülme döngülerine karşı direncini artırabileceğini gösteren referans harç karışımına göre, daha düşük olduğu görülmüştür.

***Anahtar kelimeler:** Kristal hidrofilik katkı maddesi, TDI mikrokapsüller, Çimento kompozitleri, Donma/çözülme direnci*

1. Introduction

The durability is one of the main requirements placed on building structures and materials. Freezing and thawing cycles are considered to be one of the main factors reducing the durability of these materials (Koroth, 1997). When the temperature drops below zero, water present in the material freezes and turns into ice having a larger volume than the water from which it was formed, and thus formed ice creates stresses on the walls of the material (Pilehvar et al, 2019). Repeated freeze/thaw cycles lead to material damage. Such damage in cement composites occurs either in the form of surface scaling or in the form of internal cracking (Richardson, 2002). According to the European legislation, the resistance of concrete to surface scaling has to be tested according to the Technical Specification CEN/TS 12390-9:2006 while the Technical Report CEN/TR 15177:2006 can be used to monitor the internal cracking occurred by freeze/thaw cycles (CEN/TS 12390-9:2006, 2006; CEN/TR 15177:2006, 2006). The resistance of a concrete to freeze/thaw cycles is usually improved by adding an air entraining agent to the mixture but it can also be improved by other admixtures such as slag, fly ash, and silica fume (Qiu et al, 2020; Nicula et al, 2020; Islam et al, 2018; Zang & Li 2013).

As previously mentioned, internal cracking (i.e. the formation of cracks in the interior of the cement composite) is one of the damage forms that are occurring by freeze/thaw cycles. The

self-healing of cracks is an already known phenomenon, especially when it comes to autogenous or natural self-healing (Byoung Sun & Young, 2019). Namely, in cracked cement composite, the non-hydrated cement particles react with water that is present and this reaction restarts the hydration process creating hydration products that will fill the cracks. Autogenous healing can heal cracks up to 0.1 mm (Žáková et al, 2020; Park & Choi, 2020). However, nowadays, artificial methods of self-healing, the so-called autonomous self-healing, are employed which can make also the wider cracks healed. Autonomous self-healing techniques include the use of crystalline hydrophilic additives, the bacterial method, and the microencapsulation method (Danish et al, 2020). Crystalline hydrophilic additive can induce non-hydrated cement to form crystals that bridge the cracks in concrete, but for their effectiveness, a constant presence of water in concrete is necessary (Danish et al, 2020). Today, such crystalline hydrophilic admixtures are commercially available (Xypex, Kryton, Penetron) and it is recommended to put them in a concrete in the amounts of 0.3-2 % by weight of cement (Calvo et al, 2019; Cappellesso et al., 2016; García-Vera et al, 2019). Their primary purpose is to reduce the water permeability of concrete. Bacterial spores, on the other hand, produce calcite by their own respiration to repair cracks, and the healing process is very time-consuming (Danish et al, 2020). In the process of self-healing by the method of microencapsulation, microcapsules previously installed in concrete and

settled in the path of crack formed, brake and their "healing" content is poured into the crack, sealing it (Danish et al, 2020). According to the content of the core material, microcapsules can be one-component and two-component (Du et al, 2019). When it comes to two-component, Kanellopoulos et al used gelatin and gum acacia as a membrane, and sodium silicate as a "healing" substance/core (Kanellopoulos et al, 2017). Li, Zhu, Zhao and Jiang (2016) used melamine urea-formaldehyde resin as a membrane and epoxy resin as a "healing" substance/core, with n-butyl glycidyl ether as the substance to synthesize the previously mentioned two components. Tong and Li (2013) used melamine urea formaldehyde as a membrane, epoxy resin as a core, and sebacate hydrazide as a substance for their synthesis. Du et al (2019, 2020, 2021) made capsules from paraffin as a membrane, toluene diisocyanate (TDI) as a core and perfluorotributylamine for their preparation. However, successful encapsulation is only possible if the mechanical resistance of the microcapsules used can overcome the internal forces in the concrete. Microcapsules should have a sufficient proportion of the substance that seals the crack, and a sufficiently strong membrane to be mixed into concrete, and therefore researchers, in addition to components for microcapsule preparation, vary the temperature as well as mixing speed and time in the process of microcapsule preparation (Du et al, 2019; Kanellopoulos et al, 2017; Li et al, 2016; Tong & Li, 2013; Du et al, 2020; Du et al, 2021; Mao et al, 2020). Some of these authors use a constant

percentage of microcapsules, and some vary the percentage of microcapsules in a cement composite (Du et al, 2019; Kanellopoulos et al, 2017; Li et al, 2016; Du et al, 2020; Du et al, 2021). In the latter case, the percentage of these microcapsules in the cement composite ranges from 1.5-6 % by cement weight (Du et al, 2019; Kanellopoulos et al, 2017; Li et al, 2016; Tong & Li, 2013; Du et al, 2020; Du et al, 2021).

Danish et al. (2020) systematizes self-healing methods into chemical (crystalline hydrophilic additives and microcapsules) and biological (bacteria). The use of chemical self-healing additives to improve the freeze/thaw resistance of concrete is a poorly researched topic in the scientific literature. So far, one paper has been found investigating the use of a crystalline hydrophilic additive to improve the freeze/thaw resistance of concrete and one paper investigating the use of microcapsules for the same purpose (Wang et al, 2019; Du et al, 2021). The effect of a crystalline hydrophilic additive in the amount of 0.5 % by the cement weight is observed in and the effect of microcapsules in the amount of 3% by the cement weight on the freeze/thaw resistance of concrete is observed in and the results are promising (Wang et al, 2019; Du et al, 2021). No papers comparing the effectiveness of these two methods in improving the freeze/thaw resistance of concrete have been found so far.

It is expected that the addition of any additive will increase the total cost of concrete. For example, concrete

containing 400 kg of cement/1 m³ of concrete with 0.05-0.2% by cement weight of air entraining agent (dosage according to manufacturer's recommendation) and at a price of about 1,33 € per kg of air entraining agent, would be more expensive than concrete without additives for 0,27-1,06 €. For the same amount of cement, a crystalline hydrophobic additive at a price of 10,37 € per kg and in the amount of 0.3-2% by cement weight would increase the price of concrete for 12,5-82,96 €. The cost of microcapsules preparation is unknown at the moment and, therefore, it is not possible to specify the total cost of concrete containing them but, no doubt, an increased price of such concrete is expected. However, it should be emphasized that the air entraining agent reduces the strength of concrete while the crystalline hydrophilic additives do not affect the compressive strength of cement composite and microcapsules can even improve it (Abas Abdela Salem et al, 2017; Cappellesso et al, 2016; García-Vera et al, 2019; Gojević et al, 2021; Du et al, 2019; Du et al, 2021).

According to Danish et al the maintenance costs of buildings are more than two times higher than the costs of concrete production, while Du et al claims that about 50% of the construction costs belong to the costs of its maintenance (Danish et al, 2020; Du et al, 2019). In addition, it should be considered that there are buildings or their parts that are difficult to access to repair, such as: bridges, water tanks,

structures subjected to chemical reactions, prefabricated tunnel parts, nuclear installations, dams, concrete pavements, pylons, plane runways (Danish et al, 2020; Gardner et al, 2018). In order to reduce the maintenance costs and to extend the life of hard-to-reach buildings, it could be beneficial to additionally invest in the composition of the concrete mix and make it self-healing and more resistant to freeze/thaw cycles.

This paper compares the efficiency of a crystalline hydrophilic additive and the TDI microcapsules on the freeze/thaw resistance of concrete. The microcapsules used in this paper were prepared in the laboratory using the procedure previously described in the available literature (Du et al, 2019).

2. Materials and methods

Mortar mixtures

Three different mortar mixtures were prepared: reference mortar mixture - R, mortar mixture with crystalline hydrophilic additive (PenetronAdmix) - M1 and mortar mixture with TDI microcapsules - M2. CEM II / A-M (S-V) 42.5 N cement with a density of 3.0 kg/dm³ and sand with a density of 2.65 kg/dm³ were used to prepare the mixtures. An enlarged view of the microcapsules is shown in Figure 1a while a comparative view of the crystalline hydrophilic additive and the microcapsules used in the experimental part is shown in Figure 1b.



Figure 1. Appearance of: (a) TDI microcapsules (enlarged) and (b) crystalline hydrophilic additive (left) and TDI microcapsules (right)

The composition of TDI microcapsules is shown in Table 1. To prepare the microcapsules, 10 g of paraffin beads were weighed and then heated to 75 °C until complete melting. Further, 20 g of toluene diisocyanate (TDI) were added and the mixture was stirred with a mechanical stirrer for 3 h at a constant temperature of 75 °C and rotation speed of 600 rpm. Upon cessation of heating, 100 cm³ of perfluorotributylamine (PFTBA) was added to the mixture, resulting in the formation of microcapsules which were isolated by vacuum filtration and dried at 40 °C for 24 h.

Both chemical self-healing additives were added into the mortar mixtures in the amount of 2% by cement weight. The crystalline hydrophilic additive is a powdered material partly composed of cement. Therefore, to keep constant the amount of powdered material, this additive was used as a partial replacement of cement in mortar mixture M1. Analogously, the cement was replaced partially with microcapsules in the mortar mixture M2. Table 2 shows the composition of mortar mixtures.

Table 1. Composition of TDI microcapsules

Paraffin beads (g)	TDI (g)	PFTBA (cm ³)
10	20	100

The consistence of the mortar mixtures was tested in accordance with EN 1015-3:2000/A1:2005. Figure 2 shows the

mortar workability test while the measurement results are presented in Table 3.

Table 2. Composition of mortar mixtures

Mortar mixtures	Component mass (g)				
	Cement	Sand	Water	Crystalline hydrophilic additive	TDI microcapsules
R	450	1550	225	-	-
M1	441	1550	225	9	-
M2	441	1550	225	-	9



Figure 2. Testing the mortar consistence by flow table

Table 3. Results of mortar consistence testing

Mortar mixture	R	M1	M2
Consistence (cm)	21	20	23

Testing the resistance of mortar to freezing and thawing cycles

Fresh mortar was poured into the prism molds measuring 4x4x16 cm. Samples of hardened mortar were removed from

the molds after 24 hours (Figure 3) and immersed in water until 28 days of age.



Figure 3. Samples of hardened mortar

After 28 days of curing in water, the prisms were placed in molds made of styrofoam and the edges around the upper surface of the mortar prisms and molds sealed with the sanitary silicone. A 3% solution of NaCl in distilled water

was poured onto the saturated samples (Figure 4). The samples thus prepared were placed in a chamber (Figure 5) and treated as prescribed by CEN/TS 12390-9:2006.



(a)



(b)



(c)

Figure 4. Mortar samples prepared for exposure to freeze/thaw cycles: (a) reference mortar mixture (R), (b) mortar mixture with crystalline hydrophilic additive (M1) and (c) mortar mixture with TDI microcapsules (M2)



Figure 5. Mortar samples in the chamber

3. Results and Discussion

After the 28th and 56th cycles of freezing and thawing, the samples were taken out of the chamber and a solution was poured out along with the scaling concrete. The solution was poured over the filter paper to collect all the scaling material/concrete. Figures 6 and 7 show the appearance of the prism series R, M1 and M2 after 28th and 56th cycles. Figure

8 shows a comparison of the collected material formed by scaling of all 6 prisms within the same series of samples (series R, M1 and M2) after 28 cycles while, as shown in Figure 7, all samples were completely decomposed after 56 cycles and it was not possible to measure the weight loss.

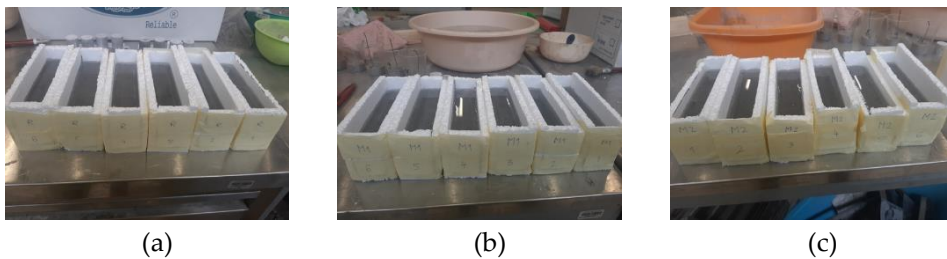


Figure 6. Appearance of mortar prisms after 28 cycles of freezing and thawing: (a) reference mortar mixture (R), (b) mortar mixture with crystalline hydrophilic additive (M1) and (c) mortar mixture with TDI microcapsules (M2)

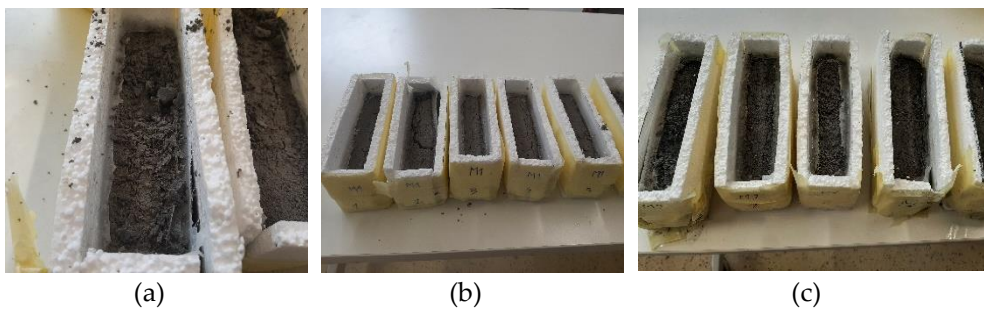


Figure 7. Appearance of mortar prisms after 56 cycles of freezing and thawing: (a) reference mortar mixture (R), (b) mixture with crystalline hydrophilic additive (M1) and (c) mortar mixture with TDI microcapsules (M2)



Figure 8. Total residues of scaling material of mortar mixture M2 (left), mortar mixture M1 (in the middle) and reference mortar mixture R (right)

Table 4. Masses and amount of scaling material after 28 cycles of freezing and thawing Composition of mortar mixtures

Mortar mixture/prism	R		M1		M2	
	m (g)	a (kg/m ²)	m (g)	a (kg/m ²)	m (g)	a (kg/m ²)
1	4,97	0,78	3,57	0,56	8,01	1,25
2	5,34	0,83	5,27	0,82	6,21	0,97
3	6,86	1,07	3,33	0,52	6,61	1,03
4	8,54	1,33	6,32	0,99	4,08	0,64
5	8,60	1,34	2,95	0,46	5,01	0,78
6	9,76	1,53	2,40	0,38	3,90	0,61
Σ/average value; standard deviation	44,07	1,15; 0,3	23,84	0,62; 0,23	33,82	0,88; 0,25

The masses (m) and the amount of scaling material per unit area (a) are shown in Table 4

The total mass of scaling material of all six prisms for the reference mortar mixture (R) is 44.07 g, mortar mixture M1 - 23.84 g and mortar mixture M2 - 33.82 g. The average value of the amount of scaling material in mortar mixture R is 1.15 kg /m², mortar mixture M1 0.62 kg /m² and mortar mixture M2 0.88 kg /m². From the above it can be concluded that

the weight loss due to 28 cycles of freezing and thawing in both mortar samples with self-healing chemical admixtures (M1 and M2) is lower than for reference mortar R. This means that using the crystalline hydrophilic additive (PenetronAdmix) in mortar mixture M1 and the TDI microcapsules in mortar mixture M2 can improve the resistance of cement composites to freeze/thaw cycles. However, no mortar mixture has survived 56 freeze/thaw cycles.

4. Conclusion

The paper compares the efficiency of two self-healing chemical methods (crystalline hydrophilic additive and TDI microcapsules) on the freeze/thaw resistance of the cement composites. Three mortar mixtures were prepared: a reference mixture, a mixture with crystalline hydrophilic additive, and a mixture with the addition of the TDI microcapsules, with 2% of each additive by cement weight. Hardened mortar samples are subjected to freeze-thaw cycles according to CEN/TS 12390-9:2006. and the amount of scaling material due to freeze/thaw cycles have been measured. The testing results indicate that the self-healing chemical additives used here could improve the freeze/thaw resistance of cement composites.

Here presented results are a part of a preliminary research on the possibility of using self-healing additives to improve the freeze/thaw resistance of concrete. Given the affirmative research results, the authors will further expand their research to concrete mixtures level and with variation in the quantity of self-healing additives.

5. References

- Salem, M. A. A., & Pandey, R. K. (2017). Effect of air entrainment on compressive strength, density, and ingredients of concrete. *Int. J. of Advances in Mech. and Civil Eng*, 4(6), 77-81.
- Byoungsun, P., & Young, C. C. (2019). Investigating a new method to assess the self-healing performance of hardened cement pastes containing supplementary cementitious materials and crystalline admixtures. *Journal of Materials Research and Technology*, 8(6), 6058-6073.
- García Calvo, J. L., Sánchez Moreno, M., Carballosa, P., Pedrosa, F., & Tavares, F. (2019). Improvement of the concrete permeability by using hydrophilic blended additive. *Materials*, 12(15), 2384.
- Cappellesso, V. G., dos Santos Petry, N., Dal Molin, D. C. C., & Masuero, A. B. (2016). Use of crystalline waterproofing to reduce capillary porosity in concrete. *Journal of Building Pathology and Rehabilitation*, 1(1), 1-12.
- CEN: Brussels. (1999) *EN 1015-3:1999, Methods of test for mortar for masonry. Determination of consistence of fresh mortar (by flow table)*. Belgium.
- CEN: Brussels. (2006) *CEN/TR 15177:2006. Testing the freeze-thaw resistance of concrete - Internal structural damage*. Belgium.
- CEN: Brussels. (2006) *CEN/TS 12390-9:2006. Testing hardened concrete - Part 9: Freeze-thaw resistance – Scaling*. Belgium.
- Danish, A., Mosaberpanah, M. A., & Salim, M. U. (2020). Past and present techniques of self-healing in cementitious materials: A critical review on efficiency of implemented treatments. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(3), 6883-6899.
- Du, W., Liu, Q., & Lin, R. (2021). Effects of toluene-di-isocyanate microcapsules on the frost resistance and self-repairing capability of concrete under freeze-thaw cycles. *Journal of Building Engineering*, 102880.
- Du, W., Yu, J., Gu, Y., Li, Y., Han, X., & Liu, Q. (2019). Preparation and application of microcapsules containing toluene-di-isocyanate for self-healing of concrete. *Construction and Building Materials*, 202, 762-769.
- Du, W., Yu, J., He, B., He, Y., He, P., Li, Y., & Liu, Q. (2020). Preparation and characterization of nano-SiO₂/paraffin/PE wax composite shell

- microcapsules containing TDI for self-healing of cementitious materials. *Construction and Building Materials*, 231, 117060.
- García-Vera, V. E., Tenza-Abril, A. J., Saval, J. M., & Lanzón, M. (2019). Influence of crystalline admixtures on the short-term behaviour of mortars exposed to sulphuric acid. *Materials*, 12(1), 82.
- Gardner, D., Lark, R., Jefferson, T., & Davies, R. (2018). A survey on problems encountered in current concrete construction and the potential benefits of self-healing cementitious materials. *Case studies in construction materials*, 8, 238-247.
- Gojević, A., Ducman, V., Netinger Grubeša, I., Baričević, A., & Banjad Pečur, I. (2021). The Effect of Crystalline Waterproofing Admixtures on the Self-Healing and Permeability of Concrete. *Materials*, 14(8), 1860.
- Islam, M. M., Alam, M. T., & Islam, M. S. (2018). Effect of fly ash on freeze-thaw durability of concrete in marine environment. *Australian Journal of Structural Engineering*, 19(2), 146-161.
- Kanellopoulos, A., Giannaros, P., Palmer, D., Kerr, A., & Al-Tabbaa, A. (2017). Polymeric microcapsules with switchable mechanical properties for self-healing concrete: synthesis, characterisation and proof of concept. *Smart Materials and Structures*, 26(4), 045025.
- Koroth, S. R. (1997). *Evaluation and improvement of frost durability of clay bricks. A Thesis in The Centre for Building Studies. Ottawa, Canada*
- Li, W., Zhu, X., Zhao, N., & Jiang, Z. (2016). Preparation and properties of melamine urea-formaldehyde microcapsules for self-healing of cementitious materials. *Materials*, 9(3), 152.
- Mao, W., Litina, C., & Al-Tabbaa, A. (2020). Development and application of novel sodium silicate microcapsule-based self-healing oil well cement. *Materials*, 13(2), 456.
- Nicula, L. M., Corbu, O., & Iliescu, M. (2020). Influence of Blast Furnace Slag on the Durability Characteristic of Road Concrete Such as Freeze-Thaw Resistance. *Procedia Manufacturing*, 46, 194-201.
- Park, B., & Choi, Y. C. (2021). Effect of healing products on the self-healing performance of cementitious materials with crystalline admixtures. *Construction and Building Materials*, 270, 121389.
- Pilehvar, S., Szczotok, A. M., Rodríguez, J. F., Valentini, L., Lanzón, M., Pamies, R., & Kjøniksen, A. L. (2019). Effect of freeze-thaw cycles on the mechanical behavior of geopolymer concrete and Portland cement concrete containing micro-encapsulated phase change materials. *Construction and Building Materials*, 200, 94-103.
- Qiu, Y., Peng, H., & Zhao, H. (2020, June). Study on new type of concrete air-entraining agent. In *2020 International Conference on Artificial Intelligence and Electromechanical Automation (AIEA)* (pp. 807-810). IEEE.
- Richardson, M. G. (2002). *Fundamentals of durable reinforced concrete*. CRC Press.
- Tong, X. M., & Li, C. F. (2013). Preparation and characterization of self-healing microcapsules containing two-component. In *Advanced Materials Research* (Vol. 734, pp. 2176-2180). Trans Tech Publications Ltd.
- Wang, R., Yu, J., He, P., Gu, S., Cao, Z., & Liu, Q. (2019). Investigation of ion chelator and mineral admixtures improving salt-frost resistance of cement-based materials. *Construction and Building Materials*, 227, 116670.
- Zhang, P., & Li, Q. F. (2014). Freezing-thawing durability of fly ash concrete composites containing silica fume and polypropylene fiber. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and Applications*, 228(3), 241-246.

Žáková, H., Pazderka, J., & Reiterman, P.
(2020). Textile Reinforced Concrete in
Combination with Improved Self-

Healing Ability Caused by Crystalline
Admixture. *Materials*, 13(24), 5787.

Araştırma Makalesi / Research Article

Taban Akışının Simbiyotik Arama Algoritması ile Tespit Edilmesi: Fırat Havzası Örneği

¹Kemal SAPLIOĞLU, ²Ramazan ACAR

¹Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye,
kemalsaplioglu@sdu.edu.tr, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-0016-8690>

²Munzur Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Tunceli, Türkiye,
ramazanacar@munzur.edu.tr, ORCID ID <http://orcid.org/0000-0001-5864-0076>

Geliş / Recieved: 27.11.2021;

Kabul / Accepted: 25.12.2021

Öz

Artan nüfus ve sanayileşme su kaynaklarının etkin bir biçimde kullanılmasını gerekli hale getirmektedir. Bu nedenle su kaynaklarını oluşturan parametrelerin doğru bir şekilde tespit edilerek projelendirilmesi önemlidir. Yüzeysel akışın yaklaşık %70'ini oluşturan taban akışı da bu parametrelerin başında gelmektedir. Literatürde taban akışının belirlenmesi ile ilgili pek çok çalışma mevcuttur. Bu çalışmada, literatürde mevcut Chapman yönteminin sabit katsayılı olması ile katsayının kalibre edilmesi arasındaki fark gösterilmiştir. Ayrıca Chapman formülünde yüzeysel akış ile taban akışının modeldeki etkisini belirleyen birbiri ile bağımlı katsayıların birbirinden bağımsız hale gelmesini sağlamak için Chapman formülündeki birbirine bağlı katsayı yerine iki katsayılı ve katsayıların simbiyotik organizmalar arama algoritması (SOA) ile bulunduğu bir yöntem önerilmiştir. Her iki model için de katsayıların kalibrasyonu için SOA ile optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara bakıldığında Chapman yöntemini baz alan çift parametrelili ve SOA ile kalibre edilen metodun Chapman yöntemindeki hidrograftan uzaklaşma veya kurak dönemlerde yüzeysel akışla taban akışının birbirinden farklı olması problemini azalttığı gözlemlenmiştir. Model ile taban akışının hidrografi kesmemesi de sağlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Taban akışı, Simbiyotik arama algoritması, Chapman yöntemi, Fırat havzası

*¹Sorumlu yazar / Corresponding author

Bu makaleye atıf yapmak için

Acar, R., & Saplıoğlu, K. (2021). Taban Akışının Simbiyotik Arama Algoritması İle Tespit Edilmesi: Fırat Havzası Örneği. *Journal of Innovations in Civil Engineering and Technology (JICIVILTECH)*, 3(2), 169-183.

The Detection of Baseflow with Symbiotic Search Algorithm: Fırat Basin Example

Abstract

Increasing population and industrialization make it necessary to use water resources effectively. For this reason, it is important to accurately determine and project the parameters that make up water resources. The baseflow, which constitutes approximately 70% of the surface flow, is also one of these parameters. There are many studies in the literature on the determination of baseflow. In this study, the difference between the constant coefficient of the Chapman method available in the literature and the calibration of the coefficient is shown. In addition, in order to ensure that the dependent coefficients that determine the effect of the surface flow and the bottom flow in the model in the Chapman formula become independent from each other, a method with two coefficients instead of the interconnected coefficient in the Chapman formula and the coefficients are found by the symbiotic organisms' search algorithm (SOA). Optimization of both models with symbiotic organisms' search algorithm (SOA) is performed to calibrate the coefficients. When the results obtained are examined, it has been observed that the dual parameter method based on the Chapman method and calibrated with SOA reduces the problem of divergence from the hydrograph in the Chapman method or the difference between the surface flow and the baseflow in dry periods. With the model, it is ensured that the baseflow does not cut the hydrograph.

Keywords: Baseflow, Symbiotic search algorithm, Chapman method, Fırat basin

1. Giriş

Akarsu akımı varyasyonlarının havza özellikleri açısından yorumlanması, havza ve akarsu yönetimini geliştirmek için uzun bir süredir hidrolojinin esas görevi olmuştur. Bu görev için iki temel konu, taban akışı ayrımı ve durgunluk analizidir (Hall, 1968; Brutsaert & Nieber, 1977; Tallaksen, 1995; Smakhtin, 2001). Taban akışı ayrımı, akarsu akışını iki bileşene (dolaysız akış ve taban akışı) ayırmayı amaçlar. Dolaysız akış, yağışın ardından meydana gelen doğrudan akıştır. Taban akışı ise yağmurun olmadığı dönemlerde meydana gelen gecikmeli akıştır (Stewart, 2015).

Taban akışının tahmini; su temini (Linsley, Kohler, Paulhus, 1975), taşkın hidrolojisi (Murphy, Graszkiwicz, Hill, Neal, Nathan & Ladson, 2009), akarsu ekolojisi (Price, 2011) vb. gibi birçok çevresel sistemin yönetiminde önemli bir rol oynar. Yeraltı suyu deşarjı (Chapman, 1999; Freeze, 1972), yavaş akış ve sürekli akış (Hall, 1968) dahil olmak üzere çeşitli taban akışı tanımları vardır. Arazideki taban akışının tahmini ile ilgili zorluklar nedeniyle 20. yüzyılın başlarından beri ölçülen akış verileri kullanılarak taban akışı tahmini için çeşitli grafiksel ve otomatik teknikler geliştirilmiştir. Bu teknikler arasında özyinelemeli dijital filtreler (RDF) yöntemi (Nathan & McMahon, 1990; Arnold, Allen, Muttiah & Bernhardt, 1995), basit olması ve uygulama kolaylığı sağlaması nedeniyle pratikte taban akışını tahmin etmek amacıyla en sık kullanılan yöntemlerden biridir. Literatürde birçok RDF konfigürasyonu ileri sürülmüştür. Bunlar; Lyne ve

Hollick filtresi (Lyne & Hollick, 1979; Nathan & McMahon, 1990), tek parametrelili Chapman algoritması (Chapman & Maxwell, 1996), iki parametrelili Boughton filtresi (Boughton, 1993; Chapman, 1999) ve Eckhardt filtresi (Eckhardt, 2005) yöntemleridir (Li, Maier, Partington, Lambert & Simmons, 2014).

Ladson, Brown, Neal & Nathan (2013) Lyne ve Hollick filtresi olarak bilinen taban akışı ayırma yöntemini literatüre dahil etmişlerdir. Li, Maier, Lambert, Simmons & Partington (2013) taban akışı tahmini için Lyne ve Hollick filtresinin uygulanması ile RDF'lerin performansını geliştirmişlerdir. Xie, Liu, Wang, Yang, Liang & Liu (2020) Birleşik Devletler 'de 1815 havza için dört grafik yöntemi ve beş dijital filtre yöntemini içeren dokuz taban akışı ayırma yöntemini değerlendirmişlerdir. Değerlendirmeler sonucunda Eckhardt (2005) tarafından önerilen dijital filtreleme yönteminin en iyi performansa sahip olduğunu belirtmişlerdir. Hu, Zhao & Jian (2021) Çin'deki Yellow Nehri havzasında taban akışı tahmini için dört tek parametrelili dijital filtreleme, HYSEP ve RDF yöntemini (Eckhardt yöntemi) değerlendirmişlerdir. Değerlendirme sonucunda taban akışı ayrımı konusunda en iyi performansı sergileyen yöntemin RDF yöntemi olduğunu söylemişlerdir. Collischonn & Fan (2013) Eckhardt'ın dijital taban akışı filtresi için parametreleri tanımlamışlardır. Kissel & Schmalz (2020) Alman sıradağlarında bir

havzadaki taban akışını tahmin etmeye çalışmışlardır. Ayrıca bu çalışma ile bu bölge için uygun olan taban akışı tahmin yöntemlerini belirlemişlerdir. Sonuç olarak; Chapman ve Maxwell filtresinin Eckhardt filtresine göre bu bölgede daha iyi sonuçlar verdiğini söylemişlerdir. Novita & Wahyuningsih (2016) taban akışı ayrımı konusunda en uygun yöntemi belirlemek için çalışma yapmışlardır. Sonuç olarak, Lyne ve Hollick ile yerel minimum yöntemlerinin diğer yöntemlere göre daha iyi performans sergilediğini söylemişlerdir. Meshgi, Schmitter, Babovic & Chui (2014) taban akışının tahmininde genetik programlama (GP) yöntemini kullanmışlardır. Sonuç olarak, GP'nin taban akışının tahmininde etkili olduğunu söylemişlerdir.

Bu çalışmada, Fırat Havzası'nda bulunan 21162 numaralı Ayvalı Tohma Suyu akım gözlem istasyonundan (AGİ), temin edilen günlük akım verileri kullanılarak taban akışı ayrılması için simbiyotik arama algoritmasından (SOA) faydalanılmıştır. Çalışmada SOA, Chapman yönteminde bulunan katsayıyı kalibre etmek için kullanılmış ve literatürde mevcut diğer belirlenmiş katsayılar ile kıyaslanmıştır. Ayrıca Chapman yönteminde kullanılan, taban akışını ve yüzeysel akışı beraber kontrol eden katsayı yerine iki katsayı kullanılması ve bu katsayıların da SOA ile belirlenmesi amaçlanmıştır. Elde edilen tüm sonuçlar kıyaslanarak önerilen yöntemin doğruluğu araştırılmıştır.

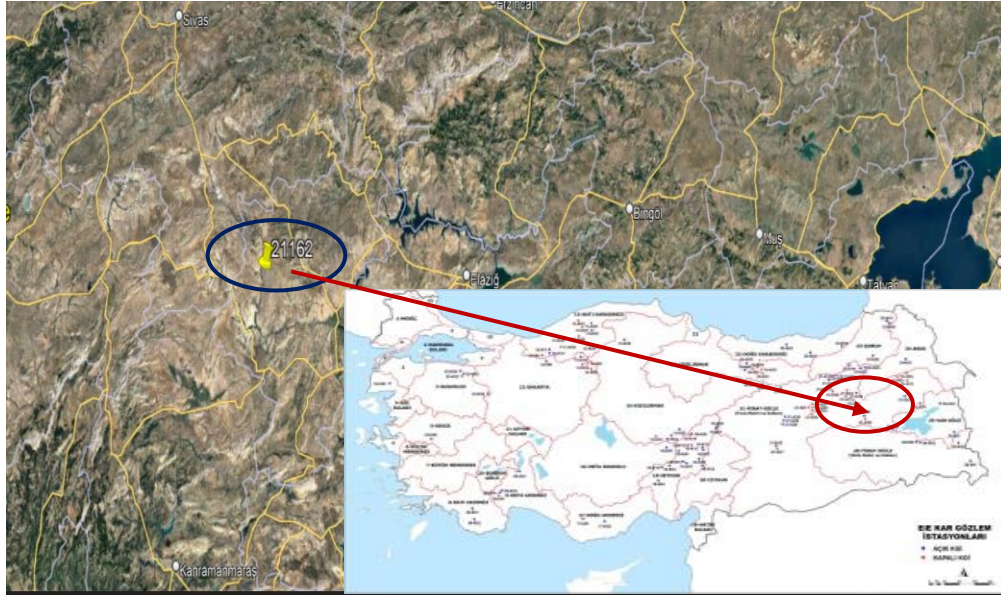
2. Materyal ve Yöntem

2.1. Materyal

Çalışma bölgesi olarak Fırat Havzası seçilmiştir. Fırat Nehri, Türkiye ve Güneybatı Asya'nın en geniş drenaj sahasına sahip bir akarsudur. Doğu Anadolu Bölgesi'ndeki kaynağının 3000 m yükseltisi vardır. Fırat Nehri Türkiye'de birkaç ilin sınırını belirler. Bunlar Erzincan, Elâzığ, Malatya, Tunceli, Adıyaman, Diyarbakır, Gaziantep ve Şanlıurfa illeridir. Türkiye'de bu illerin sınırlarından sonra Suriye, daha sonra Irak topraklarına girer. Fırat Nehri iki ana kol (Murat-Karasu) ile birlikte onlarca yan koldan beslenir. Murat Nehri bu kollar arasında en önemli yeri kapsamaktadır. Ağrı Dağı eteklerinden doğan Murat Nehri, güneybatıya doğru yaklaşık olarak 500 km akış gösterir ve daha sonra kuzeyden gelen Karasu Nehri ile Keban Barajı'nın yaklaşık olarak 10 km kuzeyinde birleşir (Yıldırım, 2006). Seçilen bölgede havza boyunca birçok akım gözlem istasyonu (AGİ) inşa edilmiştir. Bu AGİ'ler arasından 21162 numaralı Ayvalı Tohma Suyu, istasyonu seçilmiştir. Bu istasyon ile ilgili detaylı bilgiler aşağıda Şekil 1 ve Tablo 1'de verilmiştir. Tüm veriler Runs homojenlik testine tabi tutulmuştur ve %95 güven aralığında verilerin homojen olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 1. Ayvalı Tohma Suyu istasyonuna ait genel bilgiler

İstasyon No	Rasat Yılları	Enlem-Boylam	Yükseklik (m)	Ort. Akım (m ³ /s)	Maks. Akım (m ³ /s)	Min. Akım (m ³ /s)	Run Testi Önem Derecesi
D21A162	1979-1992	38°42'24" K - 37°39'59"D	1160	9,465	51	2,01	0,0001



Şekil 1. Akım gözlem istasyonlarının yer bulunduru haritası

Bu çalışmada, bu istasyondan alınan günlük akım verileri değerlendirilmiştir. Bu veriler kullanılarak taban akışının ayrılması konusunda Chapman yöntemi kullanılmıştır.

2.2. Metot

2.2.1. Simbiyotik Organizmalar Arama Algoritması (SOA)

Mevcut meta-sezgisel algoritmalar doğal olaylarını (fenomenleri) taklit eder. Örneğin; yapay arı kolonisi bal

arısı sürülerinin yiyecek arama davranışını simüle eder, parçacık sürü optimizasyonu (PSO) hayvan sürüsü davranışını simüle eder ve genetik algoritma doğal evrim sürecini simüle eder. SOA ise en uygun aramak için kullanılan bir eşleştirilmiş organizma ilişkisi içerisindeki Simbiyotik etkileşimleri simüle eder (Cheng & Prayogo, 2014).

Meta-sezgisel yöntemlerden biri olan SOA, 2014 yılında Cheng ve Prayogo tarafından tanıtılmıştır. Diğer birçok

meta-sezgisel algoritma gibi, SOA da popülasyon tabanlıdır, doğadan ilham alır ve belli bir dereceye kadar rastgelelikten faydalanır. Algoritmada, doğadaki organizmaların ekosistemde hayatta kalması için bir ihtiyaç olan ortak yaşam olarak bilinen güvene dayalı etkileşim olgusundan yararlanır. Herhangi iki farklı organizma arasında zorunlu veya isteğe bağlı olmak üzere iki tür simbiyotik ilişki olabilir. İlk durumda, iki türün hayatta kalması birbirine bağlıdır. İkinci durumda ise iki tür de zorunlu olmayacak bir şekilde karşılıklı yarar sağlayan bir ilişki içerisinde birlikte yaşayabilir.

Simbiyotik organizmalar arama algoritmasında (SOA) arama işlemi rastgele bir N organizma popülasyonu tarafından başlatılır. Daha sonra karşılıklı fayda birlikteliği (mutualizm), tek taraflı birliktelik (kommensalizm) ve asalaklık (parasitizm) olmak üzere üç

gerçekçi simbiyotik evre kullanılarak popülasyon üyeleri geliştirilir. SOA'nın yinelemesi devam ederken yukarıdaki üç aşama, uygunluk değeri etkileşim öncesi uygunluğundan daha iyi ise her etkileşimden üretilen çözümün koşulsuz olarak kabul edildiği ve aksi takdirde reddedildiği yerde yürütülür (Çelik, 2020).

2.2.1.1. Karşılıklılık evresi (mutualizm)

Karşılıklılık evresinde her bir X_i organizması için ekosistemden rastgele bir X_j organizması seçilir ve karşılıklı bir ilişki kurulması temelinde X_i (burada $X_i \neq X_j$) ile etkileşime geçer. Bununla birlikte X_i ve X_j arasındaki ilişki ekosistem içerisindeki iki organizmanın karşılıklı hayatta kalma oranını arttırmaktadır. Yeni aday çözümler X_i (yeni) ve X_j (yeni) sırasıyla Denklem 1 ve Denklem 2 kullanılarak üretilir ve X_{mutual} Denklem 3'te verilen ifade kullanılarak elde edilir.

$$x_{i(yeni)} = x_i + rand(0,1) * (x_{best} - x_{mutual} * BF_1) \quad (1)$$

$$x_{j(yeni)} = x_j + rand(0,1) * (x_{best} - x_{mutual} * BF_2) \quad (2)$$

$$x_{mutual} = \frac{x_i + x_j}{2} \quad (3)$$

$$BF_1 = (1 + round(rand(0,1))), | rand \in [0,1] \quad (4)$$

$$BF_2 = (1 + round(rand(0,1))), | rand \in [0,1] \quad (5)$$

Rand (0,1) işlevi 0 ile 1 aralığında düzgün dağılmış rastgele sayıların bir vektörüdür. X_{best} ekosistemdeki adaptasyon derecesi açısından en iyi amaç veya uygunluk fonksiyonu değerine sahip organizma, X_{mutual} ise hayatta kalma avantajlarını artırmak için

iki organizma arasında sergilenen karşılıklı bir özelliği ifade eder. Fayda faktörleri olan BF_1 ve BF_2 değerleri Denklem 4 ve Denklem 5 kullanılarak rastgele belirlenir. Bu faktörler her organizma için etkileşimden yararlanma

düzeyini temsil eder (Ezugwu, Adewumi & Frincu, 2017).

2.2.1.1. Ortakçılık evresi (kommensalizm)

Karşılıklı evresine benzer bir şekilde ekosistem popülasyonundan rastgele bir organizma X_j seçilir ve X_i organizması

ile etkileşime girmesi sağlanır. İlişki etkileşimi, etkileşimden yalnızca bir organizmanın yararlanacağı şekildedir.

Örneğin, X_i 'nin yürüttüğü organizma, X_j ile etkileşimden yarar sağlarken X_j etkileşimin bir sonucu olarak ne fayda sağlar ne de zarar görür (Denklem 6).

$$x_{i(yeni)} = x_i + rand(-1,1) * (x_{best} - x_j) \quad (6)$$

Burada, $(X_{best} - X_j)$ terimi X_j organizması tarafından ekosistemdeki hayatta kalma avantajı düzeyini arttırmada X_i 'ye yardımcı olmak için sağlanan faydayı temsil eder (Ezugwu & Adewumi, 2017).

Simbiyotik Organizmalar Arama Algoritması (SOA) verilmiştir.

2.2.2. Chapman Yöntemi

Chapman (1991) Lyne-Hollick algoritmasının hatalı olduğunu, yüzey akışı sona erdiğinde sırasıyla sabit bir akış "y" veya taban akışı "b" sağladığını belirtmiştir ve bu nedenle Denklem 7'de verilen yeni algoritmayı geliştirmiştir ($b_k < y_k$ 'ye tabidir) (Eckhardt, 2005). Burada, α filtre parametresidir.

2.2.1.1. Asalaklık evresi (parasitizm)

Bu evrede, X_{pv} ile gösterilen yapay bir parazit vektörü X_i organizmasını mutasyona uğratarak ve daha sonra rastgele ve daha sonra rastgele bir sayı kullanarak rastgele seçilen boyutlarını değiştirerek problem arama uzayında yaratılır. X_j 'li $\neq j$ organizması, X_{pv} 'ye ev sahibi olarak hizmet etmek için ekosistem popülasyonundan rastgele seçilir. Eğer X_{pv} 'nin uygunluk değeri X_j organizmasınınkinden daha iyi ise X_{pv} popülasyondaki X_j 'nin yerini alır. X_j 'nin uygunluk değeri daha iyi ise X_j X_{pv} 'ye karşı bağışıklık oluşturacak ve ardından X_{pv} popülasyondan kaldırılacaktır (Ezugwu & Adewumi, 2017). Şekil 2'de

Denklem 7'nin eşdeğeri Denklem 8'deki gibidir.

Daha çok yeraltı suyu beslenmesi olmayan yağışsız dönemlerde taban akışı durgunluğunu tanımlamak için kullanılır. Bu nedenle, filtre parametresi α artık bir durgunluk analizi ile nesnel olarak türetilir (Eckhardt, 2005).

$$x_{i(yeni)} = x_i + rand(-1,1) * (x_{best} - x_j) \quad (6)$$

$$b_k = \frac{3\alpha - 1}{3 - \alpha} * b_{k-1} + \frac{1 - \alpha}{3 - \alpha} * (y_k + y_{k-1}) \quad (7)$$

$$b_k = \alpha * b_{k-1} + \frac{1-\alpha}{2} * (f_k + f_{k-1}) \quad (8)$$

$$b_k = \alpha * b_{k-1} \quad (9)$$

Simbiyotik Organizmalar Arama Algoritması

```

1: Başlangıç ekosistemini rasgele olarak belirle
2: while Durdurma kriteri? do
3:   for  $i \leftarrow 1$  to  $eko_{boyut}$  do
4:     for  $i \leftarrow 1$  to  $eko_{boyut}$  do
5:        $f(X_i)$   $\triangleright$  Organizmaların uygunluk değerlerini hesapla
6:     end for
7:      $X_{eniyyi}$ 'yi belirle
8:     //Mutualizm aşaması
9:      $X_i$  organizmasından farklı  $X_j$  organizmasını rasgele seğ
10:     $[X'_i, X'_j] = mutualizm(X_i, X_j, X_{eniyyi})$   $\triangleright$  Adayları oluştur
11:    if  $f(X'_i) < f(X_i)$  then
12:       $X_i = X'_i$ 
13:    end if
14:    if  $f(X'_j) < f(X_j)$  then
15:       $X_j = X'_j$ 
16:    end if
17:    //Kommensalizm aşaması
18:     $X_i$  organizmasından farklı  $X_j$  organizmasını rasgele seğ
19:     $X'_i = kommensalizm(X_i, X_j, X_{eniyyi})$   $\triangleright$  Adayı oluştur
20:    if  $f(X'_i) < f(X_i)$  then
21:       $X_i = X'_i$ 
22:    end if
23:    //Parazitizm aşaması
24:     $X_i$  organizmasından farklı  $X_j$  organizmasını rasgele seğ
25:     $X_i$  organizmasının parazitini ( $P_{X_i}$ ) oluştur
26:    if  $f(P_{X_i}) < f(X_j)$  then
27:       $X_j = P_{X_i}$ 
28:    end if
29:  end for
30: end while

```

şekil 2. SOA algoritması pseude kod (Saplıoğlu, oban, şenel & Uzundurukan, 2020)

2.2.3. Önerilen Yöntem

Denklem 7 de değerinin başındaki b_k 'ya bağlı katsayı ile $(y_k + y_{k-1})$ 'in başındaki α değerine bağlı katsayı birbiri ile ilişkili olup sabit sayılarla işleme tabi tutulduğu için ayrılmaları imkansızdır. Bu nedenle çalışmada bu katsayıların

yerine katsayılarının kullanılması önerilmiştir (Denklem 10). Ayrıca bu yöntemde katsayıların tespiti için SOA ile optimizasyon yapılması düşünölmüştür. Modelin optimizasyonu aşamasında yüzeysel akışı geçen taban akışına sebep olan katsayıların olması durumunda bu

katsayıların optimizasyondan değerlerde kurak dönemlerde taban çıkartılması birinci kısıt fonksiyonu akışı ile yüzeysel akışın örtüşmesi olmuştur. Ayrıca optimize edilen şekilde düşünülmüştür (Denklem 11).

$$b_k = \alpha_1 * b_k + \alpha_2 * (y_k + y_{k-1}) \quad (10)$$

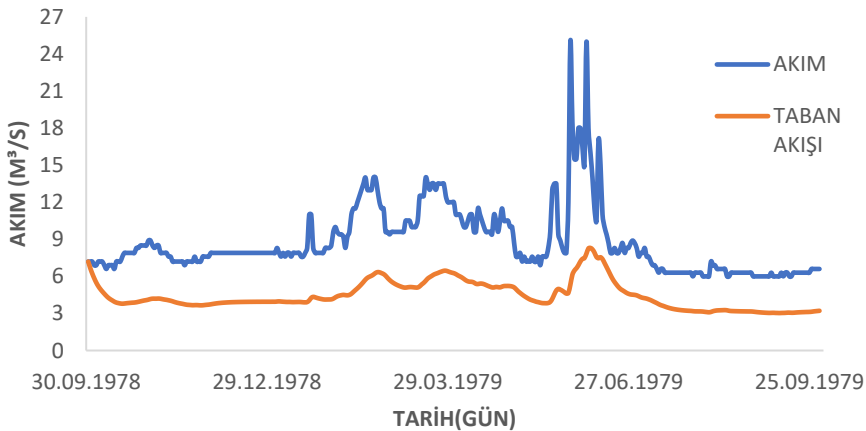
$$cf = \min (y_k - b_k) \quad (11)$$

3. Bulgular

Çalışma, üç kısımdan oluşmaktadır. Birinci kısımda Chapman yöntemi literatürde mevcut olan katsayılarla denenmiş ve taban akışı ayrılmıştır. İkinci kısımda Chapman katsayısının kalibre edilebilmesi için bir yazılım hazırlanmıştır. Hazırlanan bu yazılım SOA ile entegre edilerek 1979-1992 yılları arasındaki yıllar için taban akışı katsayısı belirlenmiştir. Üçüncü kısımda Chapman formülü baz alınarak önerilen iki katsayılı denklem ve bu denklemin kalibresi için oluşturulan yazılım SOA ile uygulanmıştır.

3.1. Sabit Katsayılı Chapman Uygulaması

Çalışmanın bu kısmında, Chapman (1991) tarafından önerilmiş olan 0,925 katsayısı Denklem 7'de uygulanmıştır (Şekil 3). Şekilde görüldüğü gibi sabit katsayı başlangıç taban akışını hızla azaltmış ve kurak dönemlerde yüzeysel akışın taban akışından çok daha fazla olduğu görülmüştür. Katsayının 1'e yaklaştıkça taban akışı değerlerini düzleştirdiği, 0'a yaklaştıkça da yüzeysel akış ile paralellik gösterdiği bilinmektedir. Aradaki fark kalibre edilmiş Chapman uygulamasında gösterilecektir.



Şekil 3. 1979 su yılı sabit katsayılı (0.925) Chapman yöntemi taban akışı ayırma örneği

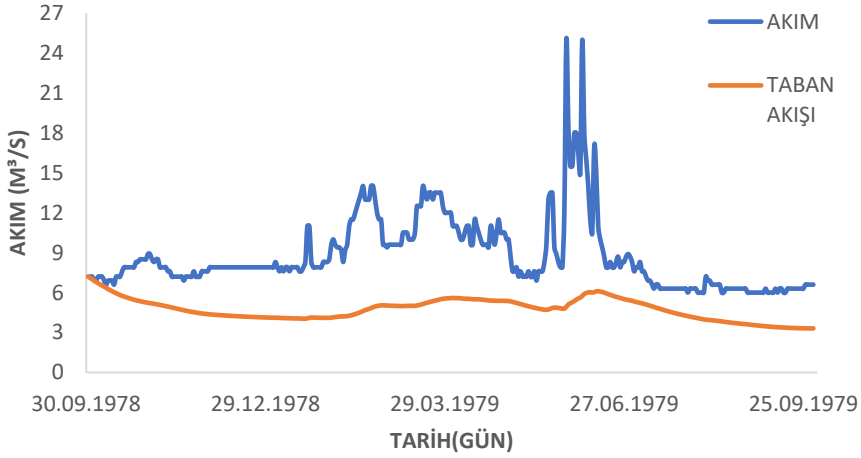
3.2. SOA ile Kalibre Edilmiş Katsayı Uygulanan Chapman Yöntemi

Chapman yönteminde sabit bir katsayı olmayacağı ve her yılın kendine özgü bir katsayısı olacağı yapılan çalışmalarda gösterilmiştir (Novita & Wahyuningsih, 2016). Genellikle katsayı belirleme işlemi deneme yanılma yöntemi ile yapılmaktadır (Wittenberg & Sivapalan, 1999). Bu çalışmada ise Denklem 7 kullanılarak oluşturulan taban akışı ayırma yöntemi için kısıt fonksiyonları belirlenmiş ve kurak dönemlerde taban akışının yüzeysel akışa en yakın olduğu katsayı tespit edilmeye çalışılmıştır. Kısıt fonksiyonu olarak da taban akışının akım hidrografını geçmemesi kabul edilmiştir. Şekil 4'te görüldüğü gibi taban akışı kurak dönemlerde yüzeysel akışa yaklaşmıştır. Bu yakınsaklık katsayısının aşağıdaki ve yukarıdaki değerler için kaybolmaktadır. Tablo 2'de 1979-1992

yılları arasında elde edilen Chapman katsayısı değerleri verilmiştir. Sabit katsayılı Chapman yönteminde elde edilen hidrografın şekline yakın ancak kurak dönemlerde yüzeysel akışa uzak taban akışından, daha düz ve kurak dönemlerde yüzeysel akışa yakın bir grafiğe geçilmiştir. Tablo 2'de de görüldüğü gibi yıllara göre Chapman katsayısı 0.92 ile 0.9999 arasında değişen değerler almıştır. Burda bulunan değerlerin herbiri sadece kendi su yılında kullanılabildiği için yöntemin elle kalibrasi oldukça zordur. Oluşturulan bilgisayar modeli ile çok kısa sürede bu kalibrasyon yapılabilmektedir. Çalışmada, SOA için 100 adet simbiyotik organizma 500 iterasyonla çalıştırılmış ve bu işlem herbir su yılı için 30'ar kere tekrar edilmiştir. Yani herbir katsayının tespiti için bir buçuk milyon deneme çok kısa sürede gerçekleştirilmiştir.

Tablo 2. SOA ile kalibre edilmiş Chapman katsayıları

Su yılı	Chapman Katsayısı (α)
1979	0.9855
1980	0.9841
1981	0.9971
1982	0.999
1983	0.9995
1984	0.9578
1985	0.9975
1986	0.9992
1987	0.9922
1988	0.9203
1989	0.9689
1990	0.9706
1991	0.9312
1992	0.9716



Şekil 4. 1979 su yılı SOA ile kalibre edilmiş katsayı uygulanan Chapman yöntemi taban akışı ayırma örneği

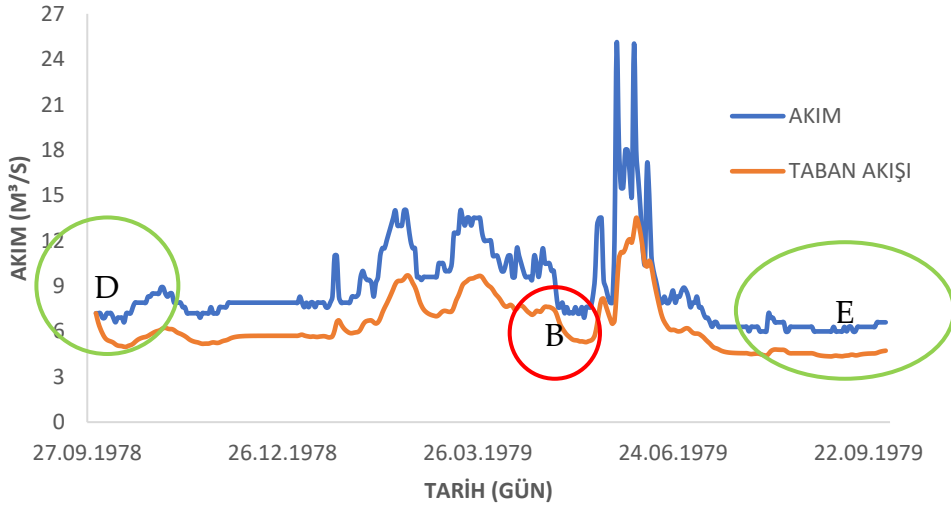
3.3. Önerilen Yöntem ile elde edilen taban akışı

Bir önceki bölümde bahsedilen Chapman katsayısı (Denklem 7) her ne kadar taban akışı için ayrı yüzeysel akış için ayrı bir katsayıya dönüşse de formülde bu dönüşümü sağlayan sabit değerler olduğu için birbirine tam bağımlı şekilde değişmektedir. Bu tam bağımlılığı çözmek amacıyla Bölüm 2.2.3'te önerdiğimiz Denklem 10 SOA ile entegre edilerek taban akışı ayırma yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntemle amaç fonksiyonu Denklem 11 ile belirlenen yüzeysel akış ile taban akışının kurak dönemlerde birbirine yakın olması prensibine dayandırılmıştır. Kısıt fonksiyonu olarak da taban akışının yüzeysel akışı kesmemesi düşünülmüştür. Bu şekilde oluşturulan modelde taban akışı ve yüzeysel akış için belirlenen katsayılar Tablo 3'te özetlenmiştir. Şekil 5'te 1979

yılına ait bir örnek verilmiştir. Bu örnekte görüldüğü gibi önerilen yöntem ile Chapman yönteminde ve kalibre edilmiş Chapman yönteminde oluşan hidrograftan uzaklaşma ve taban akışının ani düşüş problemi düzeltilmeye çalışılmıştır. Şekil 5'te A, B, C ile gösterilen noktaların hidrografi kesmemesi, D noktasındaki hızlı düşüşün azaltılmış olması ve E alanındaki yüzeysel akışa yakınlık modelin artıları olarak göze çarpmaktadır. Ancak birbirinden bağımsız iki katsayılı bir model olması ve kısıt fonksiyonu olarak belirlenen hidrografi kesmeme ile amaç fonksiyonu olarak belirlenen hidrografa yakınlık kalibrasyonun elle yapılmasını zorlaştırmaktadır. Bu nedenle kalibrasyon oluşturulurken burada olduğu gibi bir optimizasyon yöntemine entegre edilmesi modelin kullanılabilirliği açısından önemlidir.

Tablo 3. SOA ile kalibre edilmiş önerilen yöntem katsayıları

Su yılı	α_1	α_2
1979	0.7028	0.1074
1980	0.8064	0.0724
1981	0.8238	0.0568
1982	0.6253	0.1409
1983	0.812	0.0637
1984	0.7295	0.083
1985	0.883	0.0361
1986	0.7511	0.0924
1987	0.7399	0.094
1988	0.7458	0.0906
1989	0.6667	0.1137
1990	0.9246	0.0233
1991	0.833	0.0477
1992	0.8179	0.0522

**Şekil 5.** 1979 su yılı SOA ile kalibre edilmiş katsayı uygulanan önerilen yöntemin taban akışı ayırma örneği

4. Sonuçlar

Su yapılarının projelendirilmesinde ve işletilmesinde hidrolojik verilerin

bilinmesi veya öngörülmesi oldukça önemlidir. Bu amaçla çalışmada literatürde mevcut Chapman yöntemi, Chapman yönteminin SOA ile kalibresi

ve Chapman yöntemini baz alan iki parametrelili ve SOA ile kalibre edilen yöntem ile Fırat Havzası'nda bulunan Ayvalı Tohma Suyu istasyonuna ait verilerin taban akışları tespit edilmiştir. Çalışmanın asıl amacı optimizasyon yöntemlerinin katsayı belirlemedeki önemini göstermektir. Öncelikle literatürde mevcut katsayılarla oluşturulmuş Chapman yöntemi ile bu katsayının SOA ile kalibresinden sonra elde edilmiş taban akışı grafikleri incelenmiştir. Chapman yönteminde herhangi bir katsayı (literatürde mevcut) ile gerçek taban akışını temsil edememe probleminin azaltıldığı görülmüştür. Çalışmanın ikinci kısmında iki katsayılı gibi gözükken fakat bu katsayıların birbirine bağlı olmasından dolayı tek katsayılı diyebileceğimiz Chapman yönteminin gerçek iki katsayılı hale getirilip bu katsayıların SOA ile bulunması sağlanmıştır. Elde edilen sonuçlar irdelendiğinde teklif edilen yöntemin diğerlerine göre kurak dönemlerde hidrografa daha çok yaklaştığı görülmüştür. Ayrıca diğer dönemlerde taban akışının hidrografi hiçbir şekilde kesmediği bir modelleme oluşturulmuştur. Diğer yöntemlerde hem hidrografi kesmeme hem de kurak dönemlerde taban akışının hidrografa yaklaştırılabilmesi için birtakım zorluklar olduğu tespit edilmiştir. Chapman yönteminde bu iki şartı sağlayan katsayının tespiti deneme yanılma yöntemi ile yapılmakta ve bu işlem oldukça uzun sürmektedir. Ayrıca elde edilen katsayı değerinin en iyi sonucu verip vermediği de bilinmemektedir. Chapman yöntemini bu sorundan kurtarmak için çalışmada SOA ile birlikte kombine edilmiş ve

katsayı belirleme süresi ile ilgili sorun ortadan kaldırılmıştır. Ancak hidrografın kesilmemesi ve kurak dönemlerde hidrografa yaklaşılmaması tek katsayı ile oldukça zor olmaktadır. Hidrografın şekline göre değişen rastgele doğruluklar olmasına karşın hidrografi kesmeme birinci öncelik olduğu için genellikle kurak dönemlerde taban akışı hidrograftan uzaklaşmaktadır. Önerilen yöntemde ise taban akışı iki katsayılı bir formülle bulunmaktadır. Bundan dolayı hidrografi kesmeme problemi kurak dönemlerde hidrograftan uzaklaşma problemini etkilememektedir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde özellikle kurak dönemlerde taban akışının hidrografa önerilen yöntemde daha çok yaklaştığı dolayısıyla diğerlerine göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. İleriki çalışmalarda diğer istasyonlar, meta-sezgisel yöntemler ve farklı taban akışı ayırma yöntemleri için de bu yaklaşım incelenerek derinlemesine tartışılabilir.

5. Kaynaklar

- Arnold, J. G., Allen, P. M., Muttiah, R., & Bernhardt, G. (1995). Automated base flow separation and recession analysis techniques. *Groundwater*, 33(6), 1010-1018.
- Boughton, W. C. (1993). A hydrograph-based model for estimating the water yield of ungauged catchments. In *Hydrology and Water Resources Symposium, Newcastle, IEAust, 1993*.
- Brutsaert, W., & Nieber, J. L. (1977). Regionalized drought flow hydrographs from a mature glaciated plateau. *Water Resources Research*, 13(3), 637-643.

- Chapman, T. G. (1991). Comment on "Evaluation of automated techniques for base flow and recession analyses" by RJ Nathan and TA McMahon. *Water Resources Research*, 27(7), 1783-1784.
- Chapman, T. (1999). A comparison of algorithms for stream flow recession and baseflow separation. *Hydrological Processes*, 13(5), 701-714.
- Chapman, T. G., & Maxwell, I. A. (1996, May). Baseflow separation-comparison of numerical methods with tracer experiments. In *NATIONAL CONFERENCE PUBLICATION-INSTITUTION OF ENGINEERS AUSTRALIA NCP* (Vol. 2, pp. 539-546). Institution of Engineers, Australia.
- Cheng, M. Y., & Prayogo, D. (2014). Symbiotic organisms search: a new metaheuristic optimization algorithm. *Computers & Structures*, 139, 98-112.
- Collischonn, W., & Fan, F. M. (2013). Defining parameters for Eckhardt's digital baseflow filter. *Hydrological Processes*, 27(18), 2614-2622.
- Çelik, E. (2020). A powerful variant of symbiotic organisms search algorithm for global optimization. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 87, 103294.
- Eckhardt, K. (2005). How to construct recursive digital filters for baseflow separation. *Hydrological Processes: An International Journal*, 19(2), 507-515.
- Eckhardt, K. (2008). A comparison of baseflow indices, which were calculated with seven different baseflow separation methods. *Journal of Hydrology*, 352(1-2), 168-173.
- Ezugwu, A. E. S., & Adewumi, A. O. (2017). Discrete symbiotic organisms search algorithm for travelling salesman problem. *Expert Systems with Applications*, 87, 70-78.
- Ezugwu, A. E. S., Adewumi, A. O., & Frıncu, M. E. (2017). Simulated annealing based symbiotic organisms search optimization algorithm for traveling salesman problem. *Expert Systems with Applications*, 77, 189-210.
- Freeze, R. A. (1972). Role of subsurface flow in generating surface runoff: 1. Base flow contributions to channel flow. *Water Resources Research*, 8(3), 609-623.
- Güçlü, Y. S. (2020). Improved visualization for trend analysis by comparing with classical Mann-Kendall test and ITA. *Journal of Hydrology*, 584, 124674.
- Hall, F. R. (1968). Base-flow recessions—A review. *Water resources research*, 4(5), 973-983.
- Hu, C., Zhao, D., & Jian, S. (2021). Baseflow estimation in typical catchments in the Yellow River Basin, China. *Water Supply*, 21(2), 648-667.
- Kissel, M., & Schmalz, B. (2020). Comparison of baseflow separation methods in the german low mountain range. *Water*, 12(6), 1740.
- Ladson, A. R., Brown, R., Neal, B., & Nathan, R. (2013). A standard approach to baseflow separation using the Lyne and Hollick filter. *Australasian Journal of Water Resources*, 17(1), 25-34.
- Li, L., Maier, H. R., Lambert, M. F., Simmons, C. T., & Partington, D. (2013). Framework for assessing and improving the performance of recursive digital filters for baseflow estimation with application to the Lyne and Hollick filter. *Environmental modelling & software*, 41, 163-175.
- Li, L., Maier, H. R., Partington, D., Lambert, M. F., & Simmons, C. T. (2014). Performance assessment and improvement of recursive digital baseflow filters for catchments with different physical characteristics and hydrological inputs. *Environmental Modelling & Software*, 54, 39-52.
- Linsley Jr, R. K., Kohler, M. A., & Paulhus, J. L. (1975). Hydrology for engineers.
- Lyne, V., & Hollick, M. (1979, September). Stochastic time-variable rainfall-runoff modelling. In *Institute of Engineers Australia National Conference* (Vol. 79, No.

- 10, pp. 89-93). Barton, Australia: Institute of Engineers Australia.
- Meshgi, A., Schmitter, P., Babovic, V., & Chui, T. F. M. (2014). Predicting Baseflow Using Genetic Programing.
- Murphy, R., Graszkiwicz, Z., Hill, P., Neal, B., Nathan, R. J., & Ladson, T. (2009). Project 7: Baseflow for catchment simulation (Phase 1-Selection of baseflow separation approach). *Australian Rainfall and Runoff Technical Committee: Australia*.
- Nathan, R. J., & McMahon, T. A. (1990). Evaluation of automated techniques for base flow and recession analyses. *Water resources research*, 26(7), 1465-1473.
- Novita, E., & Wahyuningsih, S. (2016). Preliminary study on baseflow separation at watersheds in East Java regions. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 9, 538-550.
- Price, K. (2011). Effects of watershed topography, soils, land use, and climate on baseflow hydrology in humid regions: A review. *Progress in physical geography*, 35(4), 465-492.
- SAPLIOĞLU, K., ÇOBAN, E., ŞENEL, F. A., & UZUNDURUKAN, S. Beton Ağırlıklı Barajların Simbiyotik Arama Algoritması ile Optimizasyonu. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 9(4), 1734-1744.
- Smakhtin, V. U. (2001). Low flow hydrology: a review. *Journal of hydrology*, 240(3-4), 147-186.
- Stewart, M. K. (2015). Promising new baseflow separation and recession analysis methods applied to streamflow at Glendhu Catchment, New Zealand. *Hydrology and Earth System Sciences*, 19(6), 2587-2603.
- Swed, F. S., & Eisenhart, C. (1943). Tables for testing randomness of grouping in a sequence of alternatives. *The Annals of Mathematical Statistics*, 14(1), 66-87.
- Tallaksen, L. M. (1995). A review of baseflow recession analysis. *Journal of hydrology*, 165(1-4), 349-370.
- Xie, J., Liu, X., Wang, K., Yang, T., Liang, K., & Liu, C. (2020). Evaluation of typical methods for baseflow separation in the contiguous United States. *Journal of Hydrology*, 583, 124628.
- Yıldırım, A. (2006). Karakaya Barajı ve Doğal Çevre Etkileri. *Dicle Üniversitesi Ziya Gökalp Eğitim Fakültesi Dergisi*, (6), 32-39.

Araştırma Makalesi / Research Article

Portland Kompoze Çimento Katkısı ile Şişen Killerin Stabilizasyonu

*¹Murat KİLİT, ²Uğur Şafak ÇAVUŞ, ³İsmail ZORLUER

¹Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Afyon, Türkiye, mkilit@aku.edu.tr, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1912-6151>

²Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye, ugrcavous@isparta.edu.tr, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4804-8735>

³Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Afyon, Türkiye, izarluer@aku.edu.tr, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5017-084X>

Geliş / Recieved: 22.09.2021;

Kabul / Accepted: 30.12.2021

Öz

Şişme potansiyeli yüksek zeminlerin iyileştirilmesinde çimento, uçucu kül, bazı organik bileşikler gibi katkı maddeleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada; Eskişehir Osmangazi Üniversitesi kampüs alanında yer alan yüksek şişme potansiyeline sahip killerin Portland Kompoze çimentosu ile iyileştirilmesi araştırılmış, çimento katkısı-şişme yüzdesi ilişkisi, şişme yüzdesi-su içeriği değişimi ve şişme yüzdesinin zamanla değişimi incelenmiştir. Bu amaçla, standart ve modifiye enerji seviyelerinde ve farklı çimento katkı yüzdelerinde (% 0, 2, 4) hazırlanmış numuneler üzerinde klasik ödometre cihazı ile serbest şişme yüzdesi deneyleri yapılmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlara göre çimento katkısının, killerin şişme potansiyelini azalttığı tespit edilmiş olup katkının % 2 seviyesinden sonra kullanımında daha etkili olduğu tespit edilmiş bu etkinin de yüksek enerji düzeyinde kısmen daha da arttığı belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Stabilizasyon, Şişen killer, Çimento, Şişme miktarı

*¹Sorumlu yazar / Corresponding author

Bu makaleye atıf yapmak için

Kilit, M., Çavuş, U. Ş., & Zorluer, İ. (2021). Portland Kompoze Çimento Katkısı ile Şişen Killerin Stabilizasyonu. *Journal of Innovations in Civil Engineering and Technology (JICIVILTECH)*, 3(2), 185-195.

Stabilization of Swelling Clays with Portland Cement Admixture

Abstract

Some admixtures such as organics, portland composite cement, fly ash, and cement are used to improve soils having a high swelling potential. In this study, improvement of the clays with high swelling potential located on the Osmangazi University campus site is investigated using Portland composite cement. Relationships with cement rate and swelling percentage, swelling percentage and resulting water content, and variation of swelling ratio with time are all studied. That's why swelling percentage tests are performed on the specimens prepared with different standard and modified energy levels and different cement rates such as 0, 2, and 4 percentages by using a classic odometer test device. Results of the tests show that cement with some specified rates may successively be used to improve clays having high swelling potential. The effects on the improvement of the clays are increased for the cement rates more than %2 and for the high energy levels.

Keywords: Swelling clays, Cement, Stabilization, Swell quantity

1. Giriş

Farklı su muhtevası değerlerinde büzülme ve şişme kapasitesine sahip zeminlere şişen zemin denilmektedir. İnşaat mühendisliğinin ilgi alanında bulunan yapıların hasar görmesinin sebeplerinden bir tanesi, zeminden kaynaklanan problemler olarak gösterilebilir. Kilin şişme özelliği; suya doygun halde bulunmayan kil yapıdaki zeminlerin su ile birlikte etkileşimde bulunması sonucu bünyesine aldığı suya bağlı olarak hacim artışı ile ortaya çıkacak ilave şişme basıncı olarak ifade edilmektedir. Aşırı basınçların oluşması sonucu yapı temellerinde hasarlar tespit edilmektedir. Killi zeminlerde yapılan ağırlığı oldukça düşük, açık sulama kanalı, karayolu, demiryolu, havaalanı pistlerinin temellerinde bu problemlerle karşılaşmaktadır. Zeminlerin su muhtevsındaki değişikliğin başlıca nedeni mevsimsel değişiklikler olup, yağışlı mevsimlerde yüzeyde biriken yağış sularının zeminin içerisine sızmasıyla zeminin su muhtevası artmakta, sıcak mevsimlerde ise buharlaşma nedeniyle azalmaktadır (Demir ve Kılıç, 2010).

ABD Su İşleri Teşkilatı(USBR) teknik personeli, Oregon eyaletindeki Owyhee projesinde yapılmış olan çelik sifonun temelinde, zıt yönde hareket eden deplasmanlar tespit etmişlerdir(Chen, 1988). Suyla temas ettiklerinde şişen zeminler genellikle dört mevsim yağış almayan kurak, yarı kurak iklimlerde görülmektedir. Ülkemizde Ankara ilinde ve ayrıca Güneydoğu Anadolu

Projesi kapsamında inşa edilen zati ağırlığı düşük sulama yapılarında bu tür problemler görülmüştür (Tosun ve Kırmızıtaş, 1993).

Fakat 1940'lı yıllardan sonra doğrudan zemin üzerine inşa edilen beton yapıların hızlı artışı, şişen zeminlerden kaynaklı hasarların artmasına neden olmuştur. Zemine bağlı hasarlardaki bu artış, temel zemininde yapılması zorunlu olan çalışmaların yetersizliğini ve geoteknik çalışmalardaki eksikliklerin neden olduğu belirtilmelidir (Chen, 1988).

Katkı maddeleri ile iyileştirme işleminde, zeminlerin mekanik özelliklerinde çevre ve yükleme koşullarına göre gerekli iyileştirmenin güvenli, ucuz ve doğal malzeme yardımıyla gerçekleştirilmesi amaçlanmaktadır. Daha çok ulaştırma yapıları, su yapıları, yapı temelleri katı atık depolama tesislerinde uygulanmakta olan bu işlemde kullanılan katkı malzemeleri olarak çimento, kireç, uçucu kül, bitüm, klorit, lignin, melas ve bazı özel kimyasal bileşikler sayılabilir (Kılıç, 2008).

Bu çalışmada şişen killerin çimento katkısıyla stabilizasyonu konusu araştırılmış, deneysel olarak sonuçlar ortaya konulmuştur. Ayrıca bu tür zeminlerin inşa sırasında ortaya çıkaracakları problemlerin önlenmesi için tasarım önlemleri de değerlendirilmiştir.

1.1. Çimento Katkısı ile Stabilizasyon

Zeminlerin stabilizasyonu işlemi için çimento kullanımı fikri 19. yüzyılın başlarında gelişmiştir. Bu amaçla 100 yıldan bu yana kullanılmakta olan çimento malzemesi içerisinde en çok bilinen Portland kompoze çimentosudur. Zemin iyileştirme çalışmasındaki en temel amaç, zeminin geçirgenliğini düşürmek, plastisitesini azaltmak, sıkışabilirliğini azaltmak ve mukavemetini arttırmaktır. Böylece zemin daneleri arasındaki bağlar kuvvetlendirilmektedir. Kireç katkısının zeminin likit limit değerine bağlı olarak plastisite indisinde artış veya azalmı oluşturduğu, çimento katkısının ise iri daneler arasındaki boşlukların dolmasını sağlayarak zeminin mukavemetinin artmasına katkı yaptığı, uçucu kül katkısının ise plastisite indisini düşürücü etki yaparak, zeminin özelliklerine bağlı olarak yine mukavemet artışını sağladığı bilinmektedir (Kılıç, 2008).

Çimento ile stabilizasyon işlemi gerçekleştirilen zeminin dayanımı; kullanılan çimentonun tipine, zemin iyileştirilmesi sırasında uygulanan kür koşullarına, kullanılan çimentonun yüzdesine, zeminin cinsine, çimentonun içerisinde katkı maddelerinin miktarına bağlıdır. İçerisinde bol miktarda silis bulunduran, ana hammaddesi kil ile kalker olan ve mineral parçalarını (çakıl, kum, briket, tuğla. vs) birleştirmede kullanılan yapı malzemesi olan çimento, su ile birlikte reaksiyona girmesi sonucu sertleşen bir bağlayıcı olup bir seri reaksiyon sonucu zemin yapısında güçlü bağlar oluşturur.

Çimento-Zemin etkileşim reaksiyonlarının 1. aşamasında çimentonun bilinen hidroliz ve hidratlaşması rol oynarken (Kılıç, 2008) ikincil reaksiyonlarda kilin mineral yapısı ve ortamda bulunan amorf yapıda olan malzemede değişiklikler sonucu yeni bir bağlayıcı etki oluşmasını sağlamaktır. Çimento, beton karışımında hacim olarak en az yeri kaplayan önemli bir bileşendir. Günümüzde en fazla kullanılan çimento tipleri Katkılı Çimento, Portland Kompoze Çimento, Sülfata Dayanıklı Çimento ve Cürufu Çimento'dur. Bunun yanı sıra özel amaçlar için bazı tip çimentolarla birlikte Beyaz Portland Çimentosu kullanılmaktadır. Klasik bir betonda agrega taneleri en önemli ve en sağlam unsur olduğundan diğer iki önemli unsur da (aderans ve çimento hamuru) mukavemeti tayin etmektedir. Uygulama aşamasında kullanılan çimento; sulandırılmış veya kuru halde olabilir. Ancak kuru halde uygulamada, zemin içerisinde topaklanma, çevre ve hava kirliliği gibi problemlere neden olabilir. Bu tarz uygulamalarda, yeterli miktarda su verilememesi gibi durumlarla da karşılaşılması mümkündür.

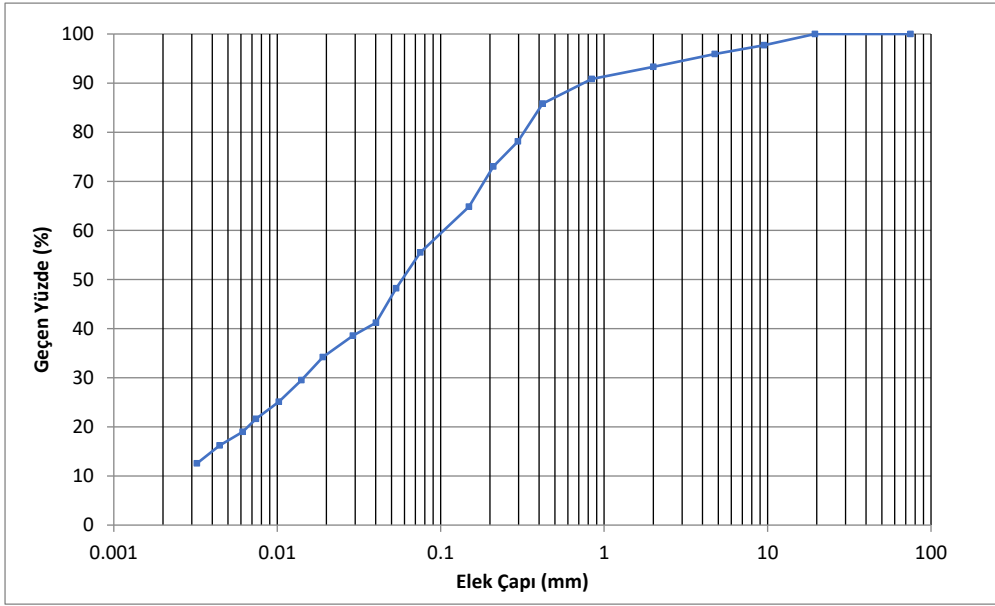
2. Materyal ve Yöntem

2.1 Zemin ve Malzeme Özellikleri

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi yerleşkesinde genel olarak kireçtaşı ve kumtaşı birimlerini içeren yaşlı bir formasyon olan Pleyistosen bulunmaktadır. Bu yaşlı birimler; zaman içerisinde ayrışarak siltli kil, kumlu kil ve kil zemin haline dönüşmüştür. Bu

yapının büyük bir kısmı Porsuk vadisi içerisinde taşınmış ve Vişnelik bölgesi diye adlandırılan killeri oluşturmuştur (Türköz, 2006). Bu çalışma kapsamında; bölge bölge aşırı konsolide halde

bulunan ve kil özelliklerini taşıyan “Meşelik kili” olarak adlandırılan zemine belirli oranlarda portland kompoze çimento katkısı ile birlikte stabilizasyonu araştırılmıştır.



Şekil 1. Numunelerin tane dağılım deney grafiği

Zemin örnekleri bir bölgeden alınmış ve bu zemin örneklerinin sınıflama ve tanımlama değerleri TS 1900-1 esasında tespit edilmiştir. Şekil 1’de alınan numunelerin tane dağılımı görülmektedir.

Numunenin %4,1 çakıl, %40,4’i kum, %55,5’i ince taneli malzemedir. Başlangıç su muhtevası, Atterberg (Kıvam) limitleri, birim hacim ağırlıkları gibi zeminin indeks özellikleri zemin

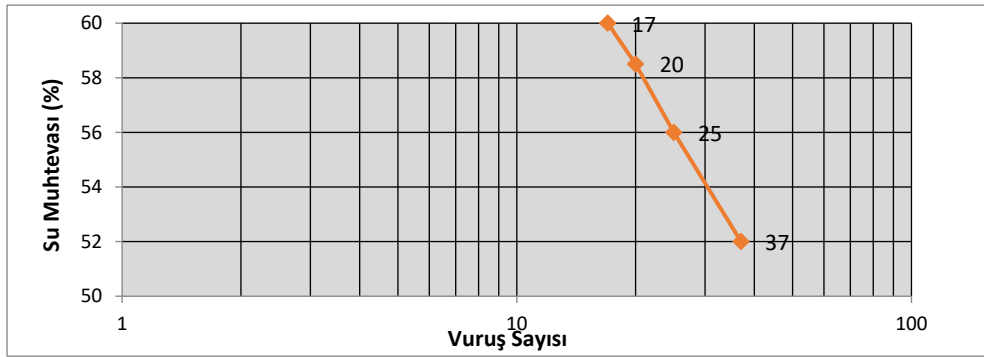
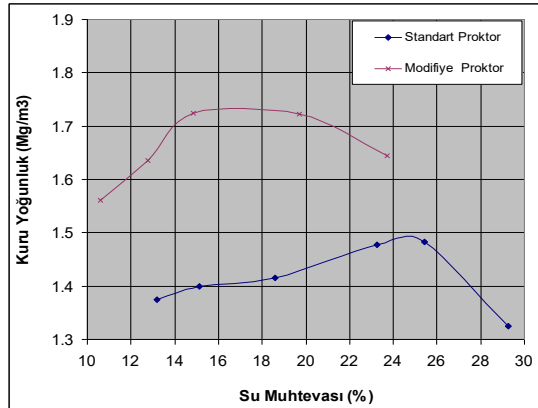
sınıflandırılmasında ve tanımlanmasında en yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Atterberg (Kıvam) limitleri, ince daneli zeminlerin kıvam limitlerindeki su muhtevasını belirler. Meşelik kilinden alınan numuneler üzerinde plastik limit deneyi yapılmıştır. Yapılan deney sonucunda elde edilen değerlerin bir bölümü Tablo 1 de sunulmuş, ortalama plastik limit 30,53 olarak tespit edilmiştir.

Tablo 1. Numunelerin plastik limit deney tablosu

Deney no:	Plastik Limit			
	1	2	3	4
Kap + Yaş zemin (g)	24.2	22.7	23	22.4
Kap + Kuru zemin (g)	21.7	20.8	20.8	20.4
Kap ağırlığı (g)	14	14.2	13.6	13.8
Su Kütlesi (g)	2.5	1.9	2.2	2
Kuru Zemin Kütlesi (g)	7.7	6.6	7.2	6.6
Su Muhtevası (%)	32.47	28.79	30.56	30.3
Ortalama Plastik Limit	30.53			

Meşelik kilinden alınan numuneler üzerinde Casagrande likit limit cihazı ile likit limit tespit edilmiştir. Likit limit değeri Şekil 2 de gösterilen grafikte 25 vuruşa karşılık gelen 56.5 değeridir. Yapılan deneyler sonucunda plastisite

indisi 25,97 olarak hesaplanmıştır. Özgül ağırlık 2,72 olarak tespit edilmiştir. Tamamen ince daneli olan zemin numuneleri, “yüksek plastisiteli kil (CH)” olarak sınıflandırılmıştır.

**Şekil 2.** Casagrande cihazı ile yapılan likit limit deney grafiği**Şekil 3.** Numunenin Standart Proktor (SP) ve Modifiye Proktor (MP) enerji seviyelerine ait sıkışma eğrileri.

Kompaksiyon özelliklerini belirlemek amacıyla; Modifiye Proktor (MP) ve Standart Proktor (SP) enerji seviyelerinde kompaksiyon deneyleri yapılmıştır. Kompaksiyon deney sonuçlarından, numunelerin hazırlanması için kullanılacak optimum su muhtevası ve en büyük kuru yoğunluk değerleri elde edilmiştir. Şekil

3’de iki farklı enerji seviyesindeki kompaksiyon eğrileri verilmiştir. Standart proktor deneyinde optimum su muhtevası %24,5, maksimum kuru yoğunluk ise 1.49 Mg/m³ olarak bulunmuştur. Modifiye proktor deneyi sonucunda optimum su muhtevası %18, maksimum kuru yoğunluk ise 1.725 Mg/m³ olarak tespit edilmiştir.

Tablo 2. Portland kompoze çimentonun kimyasal yüzdesi

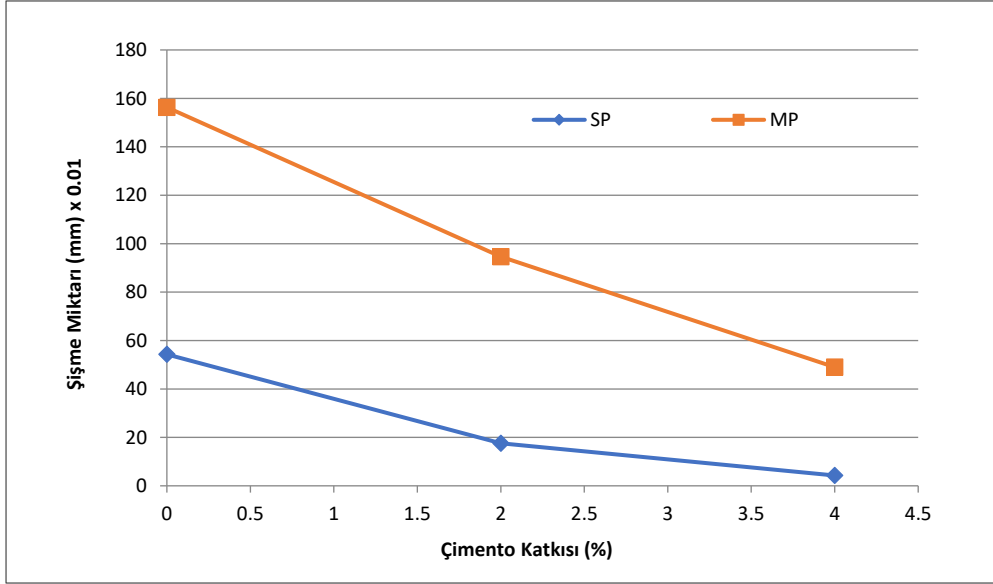
Oksit	Ağırlık %
SiO ₂	25.7
Al ₂ O ₃	6.95
Fe ₂ O ₃	4.07
CaO	53.33
MgO	3.87
SO ₃	1.9
K ₂ O	1.21
Na ₂ O	0.48
KK	1.1

Deneyisel çalışmada, Eskişehir Çimento Sanayi T.A.Ş Fabrikasında üretilen CEM II / B-M 42.5R Portland Kompoze Çimento kullanılmıştır. Kullanılan portland kompoze çimentoya ait kimyasal özellikler Tablo 2’de gösterilmiştir. Çimento stabilizasyonu ile zemin iyileştirme deneyi, kil zeminin üzerine çimento eklenmesi ve karıştırılması ile gerçekleştirilmiştir.

2.2. Numune Hazırlanması

Deneyisel çalışmalar kapsamında, Standart Proktor enerji düzeyinde (600

kJ/m³) kil numunesine üç ayrı katkı yüzdesinde (%0, 2, 4) portland çimento eklenerek hazırlanan numuneler şişme deneyine tabi tutulmuştur. Her katkı yüzdesi için dört (4) adet numune üretilmiştir. Bu işlemlerin aynısı Modifiye Proktor enerji düzeyi (2700 kJ/m³) için de tekrar gerçekleştirilmiştir. Şişme deneyleri, ödometre standart deney kalıbı (D:75 mm ve H=20 mm) kullanılarak ödometre deney cihazında yapılmıştır. Şişme deneyine tabi tutulan numuneler, dinamik sıkıştırma yöntemi kullanılarak hazırlanmıştır (Şekil 4).



Şekil 4. Şişme miktarı çimento katkı yüzdesi ilişkisi.

3. Bulgular

3.1 Şişme Deney Sonuçları

Hazırlanan numuneler ön yüklemeye tabi tutulduktan (7 kPa) sonra suya batırılarak belirli zaman aralıklarında (0.5, 1, 2, 4, 8, 16, 32, 60, 120, 240, 300 ve 1440 dk) şişme deneyine tabi tutularak değişimleri ölçülmüştür. Bu deney kapsamında standart proktor ve modifiye proktor enerji seviyelerinde iki adet çimento katkı yüzdesinde ve her katkı yüzdesinde dört adet numune üzerinde toplam 24 deney yapılmıştır. Bu deneyin sonuçları zamana bağlı şişme miktarı, su içeriğine bağlı şişme miktarı ve şişme miktarı-çimento katkı yüzdesi esaslarına göre değerlendirilmiştir.

Şişme miktarı ile çimento katkı yüzdesi ilişkisi Şekil 4'de verilmektedir. Bu

ilişkiyi araştırmak için her katkı seviyesinde deney başlama zamanından itibaren 24 saatin sonunda ölçülen dört adet şişme miktarının ortalamaları alınmıştır. Şekil 4'de görüleceği üzere çimento katkısı arttıkça şişme miktarı azalmıştır. Standart proktor'da %2 çimento karışımı ile şişme miktarı %18 düşmüştür. Standart proktor'da %4 çimento karışımı ile şişme miktarı %4'e düşmüştür. Modifiye proktor'da %2 çimento karışımı ile şişme miktarı %95'e düşmüştür. Modifiye proktor'da %4 çimento karışımı ile şişme miktarı %49'a düşmüştür. Modifiye proktor sıkılığındaki numunelerin şişme miktarının daha fazla olduğu belirlenmiştir.

Bunun nedeni, modifiye proktor ile sıkıştırma sonucu zeminde daha az boşluk kalmasıdır. Birim hacimdeki boşluğun az olması daha çok zemin

tanesi demektir. Bu da daha büyük, spesifik yüzey alanıdır. Spesifik yüzey alanı artınca şişme daha yüksek miktarda gerçekleşir. Modifiye Proktor sıklığındaki numunelerin katkısız durumda yüksek şişme değerleri verdiği, numunelere çimento katkısı eklendiği zaman numunelerin serbest şişme miktarının azaldığı tespit edilmiştir. Kil tanelerinin yüzeyi elektriksel çekim kuvveti ile katkı maddelerinin iyonlarını tutar. Bu sayede, kilin çekebileceği su molekülü miktarı veya su moleküllerinin tutunacağı kil tanesi yüzeyi küçülür. Kil daha az su molekülü çeker ve şişme miktarı düşer, katkı arttıkça şişme daha da azalır. Şişme miktarının zamana bağlı değişimi Şekil 5’de verilmiştir. Bu şekilde tüm numune serilerinden birer adet seçilmiş numunelerin kayıtları dikkate alınmıştır. Şekil 5’de görülebileceği gibi her iki enerji seviyesinde katkısız numunelerin şişme miktarı çimento katkılı numunelere göre oldukça yüksektir.

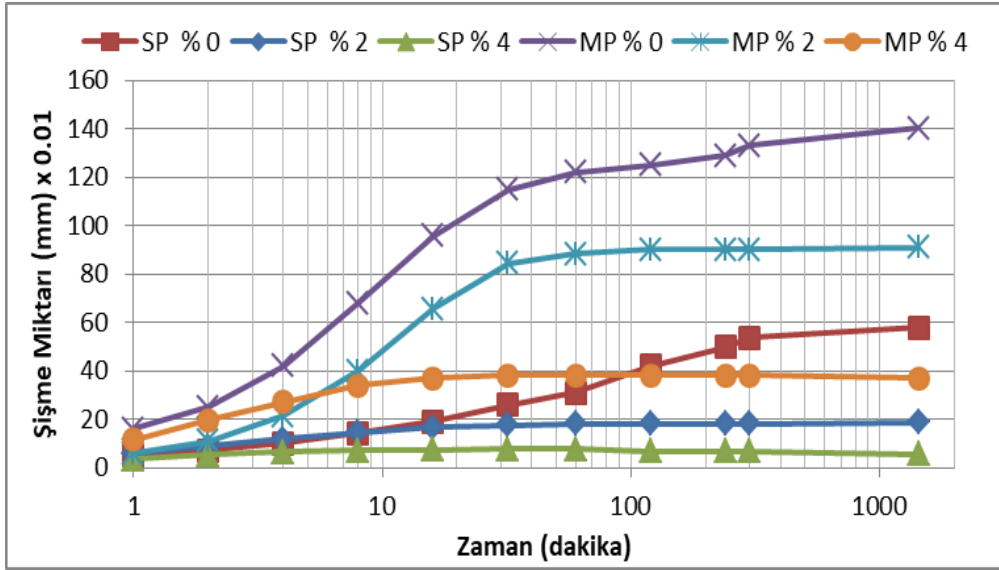
Deney sonuçlarına göre sıkıştırılmış numunelerin şişme miktarı, yüksek enerji düzeyinde daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Standart proktor enerji seviyesinde ve %0 çimento katkı oranında yapılan deneyin 120. dakikasındaki şişme miktarı 42(x0.01mm) iken modifiye proktor enerji seviyesinde ve %0 çimento katkı oranında yapılan deneyin 120. dakikasındaki şişme miktarı 125(x0.01mm) olmaktadır.

Şekil 5’den görüleceği üzere standart enerji seviyesinde %4 çimento katkısı eklenen numunelerde miktar olarak en düşük şişme değeri elde edilmiştir. Standart Proktor ve Modifiye Proktor deneyleri ile hazırlanan katkılı numunelerin deney başlangıcından itibaren ilk yarım saat içerisinde nihai şişme miktarına yakın değere ulaştığı belirlenmiştir.

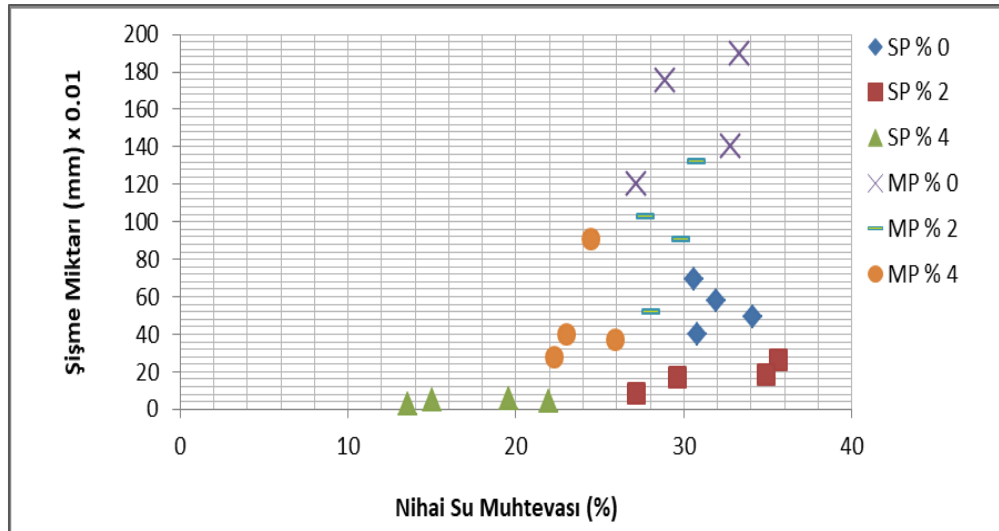
Çimentonun su ile reaksiyonu sonucunda oluşan hidratasyon etkisi nedeniyle zemin stabilizasyonun sağlandığı açıkça görülmüştür. Bu etki neticesinde, tabakalar halinde sıkıştırma işlemi ile birlikte inşa edilen yapılarda (karayolu, demiryolu vb), kısa süre içinde stabilizasyonun sağlanması nedeniyle kullanışlıdır.

Şekil 6’da görüldüğü üzere deneye tabi tutulan numunelerin şişme miktarı ile deney sonrasındaki su içeriği değişimi verilmektedir. Bu değişim hem modifiye proktor hem de standart proktor enerji düzeyi için araştırılmıştır.

Bazı seviyeler için özellikle de katkılı numunelerde su muhtevası değişimi geniş bir dağılım göstermektedir. Bu değişim; çimento katkısının zemin içerisinde üniform bir şekilde dağılmamasından kaynaklandığı tespit edilmiştir. Bu durum zeminin çimento katkısı ile stabilizasyonunda bir sıkıntı olarak görülmektedir.



Şekil 5. Numunenin şişme miktarı zaman ilişkisi.



Şekil 6. Serbest şişme miktarı-nihai su muhtevası değişimi

4. Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi yerleşkesi içerisinde alınan ve "Meşelik kili" olarak bilinen yüksek plastisiteli kil (CH) zeminin, portland kompozite çimento katkısı ile şişme

potansiyelinin stabilizasyonu araştırılmıştır. Deneysel çalışmalar neticesinde elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir;

- Sıkıştırılmış zemin numunelerinin şişme miktarı, yüksek enerji düzeyinde daha yüksek elde

edilmiştir. Düşük enerji düzeyinde ise çimento katkısının etkisi daha belirgin olduğu tespit edilmiştir.

•Katkılı zemin numunelerinde meydana gelen şişme olayının büyük bir kısmı, çok kısa bir süre içerisinde meydana geldiği görülmektedir. Lakin katkısız numunelerde ise bu sürenin kısmen daha uzun olduğu tespit edilmiştir. Bu farklılığın temel nedeni ise % olarak çimento katkısının meydana getirmiş olduğu hidrasyon reaksiyonu olarak ifade edilebilir.

•Katkılı zemin numunelerinde, çimento katkısı ile birlikte zeminin plastisite indisinin düşmesi sebebiyle, şişme yüzdeleri kısmen daha düşük olarak gerçekleşmiştir. Başka bir ifade ile çimento katkısı, zeminin su içeriğini de düşürmektedir.

•Deneysel çalışma neticesinde katkı malzemesi olarak kullanılan çimentonun, kil zeminlerin şişme potansiyelinin kontrolünde başarıyla kullanılabilceği ve bu katkının ise %4 seviyesinde kullanımında etkili olduğu tespit edilmiş ve bu olumlu etkinin yüksek enerji düzeyinde

kısmen daha yüksek olduğu görülmüştür.

Teşekkür

Bu çalışma için Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Geoteknik laboratuvarından yararlanılmıştır.

5. Kaynaklar

- Chen F. H. (2008). Foundation on expansive soils. *American Elsevier Science Publication, New York*.
- Demir, S., & Kılıç, M. (2010). Şişen Zeminlerin Tanımlanması ve Zemin İyileştirme Yöntemleri. *GOÜ. Ziraat Fakültesi Dergisi*, 27(1), 95-104.
- Kılıç G. (2008). Çimento ile zemin stabilizasyonu. *Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye*.
- Tosun, H., & Kırmızıtaş, H. (1993.). Harran Killerinin Şişme Potansiyeli ve Bölgede İnşa Edilecek Su Yapıları İçin Önemi. *Dolgu Barajlar Yönünden Zemin Mekanik Problemleri Sempozyumu*.
- Türköz, M. (2006). Şişen killerin kireç katkısı ile stabilizasyonu ve Eskişehir - Meşelik killere uygulanması. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 19(2), 75-88.