

## Cam Lif Takviyeli Çimento Harçlarının Sülfat Direncine Mermer Tozu İlavesinin Etkisi

Birsu Alişer<sup>1</sup>, Servet YILDIZ<sup>2</sup>, Oğuzhan KELEŞTEMUR<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Fırat Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü, Elazığ, Türkiye.

<sup>2</sup>Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye.

\*okelestemur@firat.edu.tr

(Geliş/Received:10.08.2016 ; Kabul/Accepted:25.09.2016 )

### Özet

Bu çalışmada, sülfat hücumuna maruz kalan cam lif takviyeli çimento harçlarının sülfat dayanıklılığı üzerine mermer tozu ilavesinin etkisi incelenmiştir. Bu amaçla 0,25 kg/m<sup>3</sup>, 0,50 kg/m<sup>3</sup>, 0,75 kg/m<sup>3</sup> ve 1 kg/m<sup>3</sup> cam lif içeren harç numunelerine hacimce %10, %20, %30, %40 ve %50 oranlarında filler malzemesi ile yer değiştirecek şekilde mermer tozu ilave edilmiştir. Elde edilen harç numunelerin sülfat etkisi altındaki boy değişimleri ve kapiler su emme miktarları belirlenmiştir. Yapılan çalışma neticesinde, cam lif takviyeli çimento harçlarında filler malzeme ile yer değiştirecek şekilde atık mermer tozu kullanımının hem ekonomiklik hem de sülfat direnci bakımından olumlu kazanımlar sağlayacağı belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Atık Mermer Tozu, Cam Lif, Harç, Sülfat Etkisi

## Effect of Marble Dust Addition on the Sulphate Resistance of Glass Fiber Reinforced Cement Mortars

### Abstract

In this study, effect of marble dust addition on the sulphate resistance of glass fiber reinforced cement mortar exposed to sulphate attack was investigated. For this purpose, marble dust was added by replacing with filler material 10%, 20%, 30%, 40%, and 50% ratios by volume to mortars samples containing 0 kg/m<sup>3</sup>, 0.25 kg/m<sup>3</sup>, 0.50 kg/m<sup>3</sup>, 0.75 kg/m<sup>3</sup> and 1 kg/m<sup>3</sup> glass fiber. Length changes and capillary water absorption of the mortar samples under sulphate attack were determined. As a result of this study, it is determined that using waste marble dust in glass fiber reinforced cement mortars by replacing filler material have provide positive outcomes in terms of both economical and sulphate resistance.

**Keywords:** Waste Marble Dust, Glass Fiber, Mortar, Sulphate Attack

### 1. Giriş

Atık ürünlerin depolanması ya da doğal çevreye atılması çevre kirliliğine ve doğal kaynakların kirlenmesi gibi sorunlara neden olabilmektedir. Günümüzde, atık olarak ortaya çıkan malzemelerin yeniden kullanımı ve geri dönüşümü konusunda yoğun olarak çalışılmaktadır. Atıkların yeniden kullanımı veya geri dönüşümü; sınırlı olan doğal kaynakların kullanımını azaltarak, doğanın tahrip edilmesini önlemekte, üretimde verimliliği arttırmakta ve atık depolanması sonucu oluşacak çevre problemlerini en aza indirmektedir [1-6].

Beton, bulunduğu ortam ile genellikle reaksiyona girme eğilimi gösteren bir malzemedir. Betona zarar veren aşındırıcı

ortamlar sulu çözeltiler olup, bunların başlıcaları sodyum, potasyum, kalsiyum, magnezyum ve amonyum gibi katyonların, sülfat, sülfat, klorür halindeki tuzlarını, asitleri ve bazı organik bileşenleri içeren yeraltı suları, yüzey suları, deniz suları, atık sular gibi çözeltilerdir [7-8].

Bu ortamlarda bulunan çeşitli iyonlar betonun bileşenleri ile reaksiyona girerler. Bu iyonların en önemlileri sodyum sülfat ve magnezyum sülfat halinde bulunan sülfat iyonlarıdır. Bu iyonların sertleşmiş beton ile yaptıkları reaksiyon sonucu oluşan ürünlerin betonun hacimsel stabilitesini bozucu yönde etki yaptığını belirten pek çok araştırma vardır [8-15]. Sülfat saldırısının mekanizması incelendiğinde sertleşmiş betonun yapısında bulunan CH (kalsiyum hidroksit) deniz suyu ve/veya yeraltı

suyunun yapısında bulunan sodyum sülfatlarla reaksiyona girerek kalsiyum sülfat ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) oluşumuna neden olur sertleşmiş betonun içerisinde alçıtaşı oluşması bir miktar genişlemeye yol açmaktadır. Ancak, asıl genişleme, alçıtaşı ve yarı kararlı durumdaki kalsiyum-alüminomonosülfhidrat arasındaki reaksiyonlar sonucunda yer almaktadır. Sertleşmiş betonun içerisinde etrenjit ( $\text{C}_6\text{AS}_3\text{H}_{32}$ ) kristallerinin oluşması, çok büyük genişlemeler yaratmakta, betonun çatlayıp parçalanmasına yol açmaktadır [16].

Bu çalışmada, cam lif takviyeli çimento harçlarının sülfat direnci üzerine atık mermer tozu ilavesinin etkisi incelenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

Deneylerde agrega olarak maksimum dane boyutu 4 mm olan Elazığ Palu yöresine ait yıkanmış dere agregası kullanılmıştır. Kullanılan agreganın su emme miktarı %2 ve özgül ağırlığı  $2.70 \text{ g/cm}^3$  tür.

Çalışmada kullanılan mermer tozu Elazığ Alacakaya Mermer ve Maden İşletmesi San. ve Tic. A.Ş. den temin edilmiştir. Kullanılan mermer tozunun fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

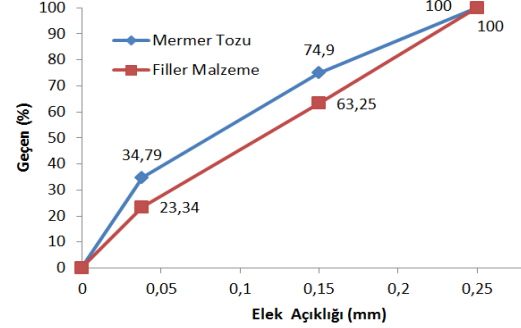
**Tablo 1.** Mermer tozunun özellikleri

Fiziksel Özellikler	
Mohs Sertliği	3.5-4
Shore Sertliği	54
Birim Hacim Ağırlığı ( $\text{gr/cm}^3$ )	2.69
Ağırlıkça Su Emme (%)	0.11
Görünür Gözeneklilik (%)	1.11
Kimyasal Özellikler	
$\text{SiO}_2$	14.25
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	4.90
$\text{CaCO}_3$	57.4

Mermer tozu filler malzemesi ile belirli oranlarda yer değiştirecek şekilde numunelere ilave edildiği için, mermer tozu ve filler malzemesine ait granülometri eğrileri Şekil 1'de verilmiştir.

Çalışmada çimento olarak CEM I 42,5 N tipi çimento kullanılmıştır. Kullanılan bu çimentoya ait kimyasal ve fiziksel özellikler Tablo 2'de verilmiştir. Harç numunelerinde lif katkısı olarak, Camelsan Sanayi A.Ş. tarafından üretilen ortalama 6 mm uzunluğundaki kırılmış cam

lifler kullanılmıştır. Kullanılan cam life ait özellikler Tablo 3'de yer almaktadır.



**Şekil 1.** Mermer tozu ve filler malzemenin granülometri eğrileri

**Tablo 2.** Çimentonun özellikleri

CEM I 42,5 N			
Kimyasal Özellikler		Fiziksel Özellikler	
S( $\text{SiO}_2$ )	21.12	Yoğunluk( $\text{g/cm}^3$ )	3.13
A( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )	5.62	Özgül yüzey( $\text{cm}^2/\text{g}$ )	3370
F( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )	3.24	Priz başlama süresi(dk)	168
C( $\text{CaO}$ )	62.94	Priz bitiş süresi(dk)	258
MgO	2.73	Basınç Dayanımı	
$\text{SO}_3$	2.30	2. gün(Mpa)	25.8
$\text{Na}_2\text{O}$	--	7. gün(Mpa)	41.8
$\text{K}_2\text{O}$	--	28. gün(Mpa)	50.7
Cl	0.009		
Kızdırma kaybı	1.78		

**Tablo 3.** Cam life ait özellikler

Lif Boyu (mm)	6
Lif Çapı ( $\mu\text{m}$ )	13
Özgül Ağırlık ( $\text{mg/m}^3$ )	2.68
Elastisite Modülü (MPa)	72000
Çekme Mukavemeti (MPa)	1700

Ayrıca, lif takviyesindeki artışa bağlı olarak meydana gelen işlenebilirlikteki azalmayı önlemek amacıyla harç karışımlarında 3. Nesil beton ve harç katkısı Sika ViscoCrete Hi- Tech 30 ürünü kullanılmıştır. Akışkanlaştırıcı ve priz geciktirici katkı maddesi deneylerde, üretici firma talimatlarına uygun olarak çimento ağırlığının %1 oranında ilave edilmiştir. Deneylerde karışım suyu olarak Elazığ ili şebeke suyu kullanılmıştır.

## 2.2. Yöntem

Numunelerin boy değişimlerini belirleyebilmek amacıyla  $25 \times 25 \times 285$  mm lik, kapiler su emme deneylerini gerçekleştirmek amacıyla da  $40 \times 40 \times 160$  mm lik harç numuneleri

hazırlanmıştır. Harç numuneleri TS EN 196-1 de belirtilen harç karışım esaslarına uygun olarak hazırlanmıştır [17]. Tüm seriler için s/ç oranı 0.50 olarak alınmıştır. Harç numunelerinin üretimi sırasında, karışıma 0.25, 0.50, 0.75 ve 1 kg/m<sup>3</sup> oranlarında kırılmış ortalama 6 mm boyunda cam lifler ilave edilmiştir. Ayrıca, cam lif takviyeli çimento harçlarına filler malzemesi ile hacimce yer değiştirecek şekilde %10, %20, %30, %40 ve %50 oranlarında mermer tozu ilave edilmiştir.

Deneyde kullanılan harç numunelerine ait karışım oranları Tablo 4'de verilmiştir. Tablo 4'de yer alan numunelerin kodlanması yapılırken

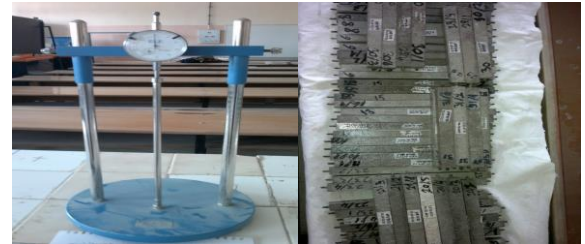
mermer tozu içeren numuneler için (MT), cam lif içeren numuneler içinde (CE) kodları kullanılmıştır.

24 saat bekletildikten sonra kalıplardan çıkarılan harç numuneleri 28 günlük su kürüne tabi tutulmuştur. Daha sonra numuneler üç gruba ayrılmış ve her grup 150 gün boyunca farklı kür şartlarına maruz bırakılmıştır. Bahsedilen kür şartları; su kürü, sürekli sülfat kürü ve sülfatta ıslanma-kuruma çevrimli kürlerdir. Sülfat kürüne tabi tutulan numunelerde %5'lik sodyum sülfat kullanılmıştır.

**Tablo 4.** Harç numunelerinin karışım oranları (kg/m<sup>3</sup>)

SERİLE R	SERİNİN KODU	CAM ELYA F	MERME R TOZU	AGREGA (0-0,25)	AGREGA (0,25-4)	SU	ÇİMENTO
1	CE0-MT0	0	0	407	1253.8	221.4	450
2	CE0-MT10		38.63	367	1253.8	221.4	450
3	CE0-MT20		77.25	325.4	1253.8	221.4	450
4	CE0-MT30		115.9	285.2	1253.8	221.4	450
5	CE0-MT40		154.5	243.6	1253.8	222.8	450
6	CE0-MT50		193.12	203.6	1253.8	222.8	450
7	CE0.25-MT0	0.25	0	407	1253.8	221.4	450
8	CE0.25-MT10		38.63	367	1253.8	221.4	450
9	CE0.25-MT20		77.25	325.4	1253.8	221.4	450
10	CE0.25-MT30		115.9	285.2	1253.8	221.4	450
11	CE0.25-MT40		154.5	243.6	1253.8	222.8	450
12	CE0.25-MT50		193.12	203.6	1253.8	222.8	450
13	CE0.5-MT0	0.50	0	407	1253.8	221.4	450
14	CE0.5-MT10		38.63	367	1253.8	221.4	450
15	CE0.5-MT20		77.25	325.4	1253.8	221.4	450
16	CE0.5-MT30		115.9	285.2	1253.8	221.4	450
17	CE0.5-MT40		154.5	243.6	1253.8	222.8	450
18	CE0.5-MT50		193.12	203.6	1253.8	222.8	450
19	CE0.75-MT0	0.75	0	407	1253.8	221.4	450
20	CE0.75-MT10		38.63	367	1253.8	221.4	450
21	CE0.75-MT20		77.25	325.4	1253.8	221.4	450
22	CE0.75-MT30		115.9	285.2	1253.8	221.4	450
23	CE0.75-MT40		154.5	243.6	1253.8	222.8	450
24	CE0.75-MT50		193.12	203.6	1253.8	222.8	450
25	CE1-MT0	1	0	407	1253.8	221.4	450
26	CE1-MT10		38.63	367	1253.8	221.4	450
27	CE1-MT20		77.25	325.4	1253.8	221.4	450
28	CE1-MT30		115.9	285.2	1253.8	221.4	450
29	CE1-MT40		154.5	243.6	1253.8	222.8	450
30	CE1-MT50		193.12	203.6	1253.8	222.8	450

Farklı kür şartlarına maruz bırakılan numunelerin boy değişimi ölçümleri ASTM C1012-87' de belirtilen esaslar çerçevesinde belirlenmiştir. Harç numunelerinin boy değişimi ölçümü deneylerinde Şekil 2'de görülen ELE marka 0,01 mm hassasiyetli komparatör kullanılmıştır.



**Şekil 2.** Boy değişimi ölçümünde kullanılan komparatör ve harç numuneleri

Boy ölçüm miktarları ( $\epsilon$ ) 1 nolu denklem kullanılarak hesaplanmıştır [18].

$$\epsilon = (\text{Son ölçüm} - \text{İlk ölçüm}) \cdot 0.01/285 \cdot 100 \quad (1)$$

Kılcal su emme deneyi için hazırlanan numuneler etüv kurusu haline getirildikten sonra numunelerin yan yüzeyleri ve buharlaşma neticesinde meydana gelecek su kaybını önlemek amacıyla da üst kısımları tamamen parafin ile kaplanarak sadece alt yüzeyinden su emmesi sağlanmıştır. Deney süresince beton numunenin tabanından itibaren 5 mm su içerisinde kalması sağlanmıştır. Numuneler belirli zamanlarda (0, 5, 10, 20, 30, 60, 180, 360, 1440 dak.) tartılarak kapiler su emme katsayıları (K) 2 no'lu denklem kullanılarak hesaplanmıştır [19,20].

$$K = \frac{Q}{A \times \sqrt{t}} \quad (2)$$

denklemden yer alan;

K = Kapiler su emme katsayısı (cm/sn<sup>1/2</sup>)

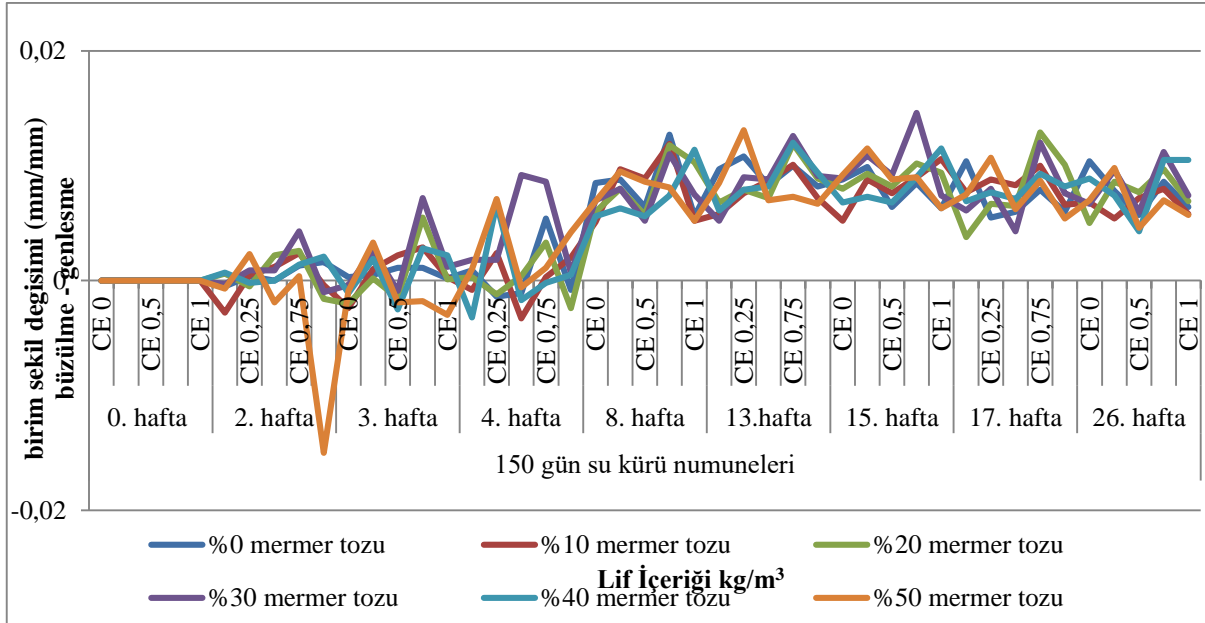
Q = Numunenin absorbe ettiği su miktarı, (cm<sup>3</sup>);  
A = Suyu temas eden yüzeyin alanı, (cm<sup>2</sup>);  
t = Zaman, (s) parametrelerini ifade etmektedir.

### 3. Bulgular ve Tartışma

#### 3.1 Boy değişimi

DeneySEL çalışma sonucunda elde edilen boy değişimi değerleri grafik olarak Şekil 3'te verilmiştir. Harç numunelerinin boy ölçümü grafiklerde yer alan negatif değerler büzülme, pozitif değerler ise şişmeyi temsil etmektedir. Grafiklerdeki boy değişim değerlerinin birimi mm/mm'dir.

Şekil 3 incelendiğinde, su içerisinde sürekli kür edilen numunelerin ilerleyen kür süresi ile birlikte genişlediği açıkça görülmektedir. Çimento hamurunun veya betonun gösterdiği genişlemeye "şişme" veya "negatif büzülme" denilmektedir. Negatif büzülmenin nedeni, çimento jelleri tarafından emilen su'dur.

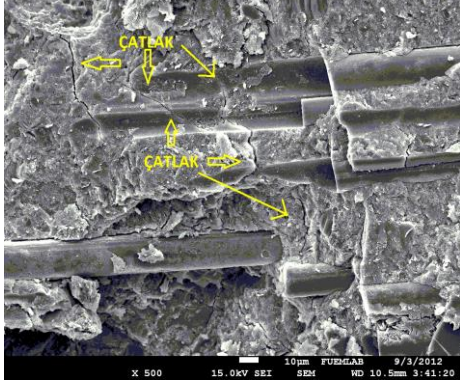


Şekil 3. Su kürü sonrası numunelerin boy ölçümü değişimleri

Su molekülleri jel parçacıklarının arasına girerek, bu parçacıkların kohezyonuna karşı koyan bir kuvvet gibi hareket etmekte, şişmeye yol açan bir basınç oluşturmaktadır [21]. Cam lif miktarındaki artışa bağlı olarak harç numunelerinde meydana gelen genişlemenin arttığı ancak mermer tozu miktarındaki artışa

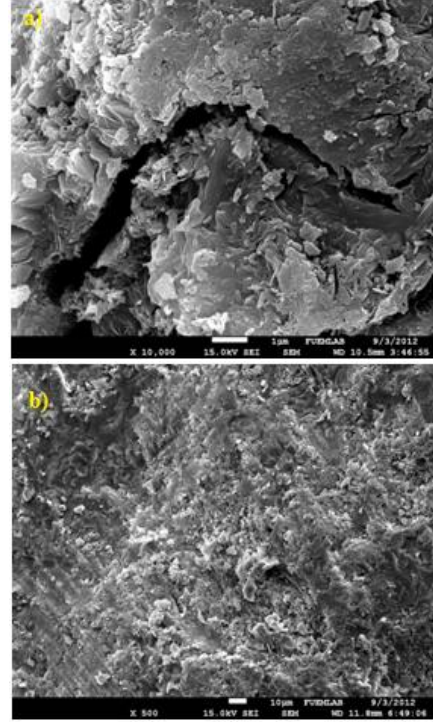
bağlı olarak ise genişlemenin azaldığı Şekil 3'den görülmektedir. Bu durum cam liflerin harç ile yeterli aderansı sağlayamayarak boşluklara yol açması, mermer tozunun ise filler malzemeden daha ince olması nedeniyle boşlukları doldurarak numune içerisine daha az su girişine sebep olmasından kaynaklanmaktadır. Numunelere

ilave edilen cam liflerin harç ile yeterince aderans sağlayamaması neticesinde oluşan boşluklar ve mermer tozunun ilavesi neticesinde harç numunelerinde oluşan daha yoğun yapı sırasıyla Şekil 4 ve Şekil 5'de yer alan taramalı elektron mikroskobu (TEM) resimlerinden görülmektedir.

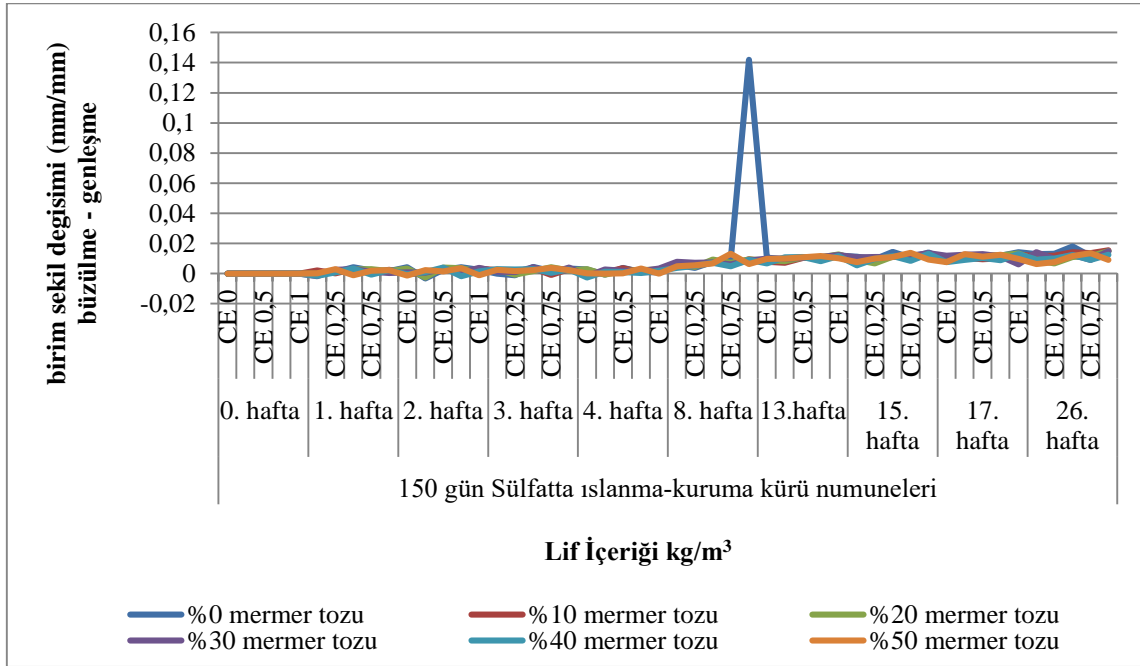


Şekil 4. Harç numunelerinde yer alan cam lifler

Şekil 4'de görünen liflerin üzerinde herhangi bir harç kalıntısının olmaması harç ile arasında yeterli aderansın olmamasının bir göstergesidir.



Şekil 5. a) Mermer tozu bulunmayan numune, b) Mermer tozu bulunan numune

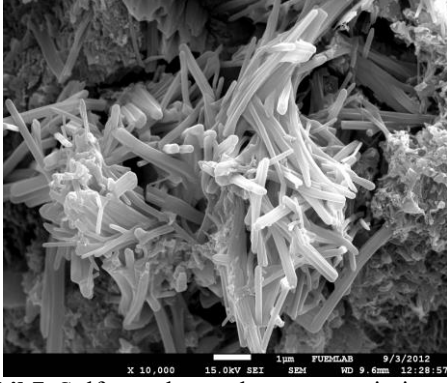


Şekil 6. Sülfatta ıslanma-kuruma çevrimi sonrası numunelerin boy ölçümü değişimleri

Şekil 6'da sülfatta ıslanma-kuruma çevrimi sonrası numunelerde meydana gelen boy değişimi değerleri verilmiştir. Şekil incelendiğinde, dördüncü haftadan sonra numunelerde genişleme

meydana geldiği ve meydana gelen genişlemenin yirmi altıncı haftanın sonuna kadar düşük miktardaki artışlarla ilerlediği görülmektedir. Literatürde yer alan bir çalışma [22], sülfatta

ıslanma - kuruma çevrimine maruz kalan numunelerde meydana gelen genişlemenin yavaş ilerlemesinin, kuruma sırasında oluşan büzülmenin etkisinden kaynaklandığını ifade etmiştir. Cam lif oranının artışıyla genişlemenin arttığı ve mermer tozu oranının artışı ile de genişlemenin azaldığı Şekil 6'da görülmektedir.



Şekil 7. Sülfatta ıslanma-kuruma çevrimi sonrası harç numunelerinde oluşan etrenjit

Sülfatta ıslanma-kuruma çevrimine maruz kalan numunelerde sülfat etkisiyle etrenjit oluşumu gözlenmiştir. Oluşan etrenjitler Şekil 7'de yer alan TEM görüntüsünde görülmektedir.

Sülfatta ıslanma-kuruma çevrimi sonrasında oluşan etrenjitlerin ve çimento jelleri tarafından

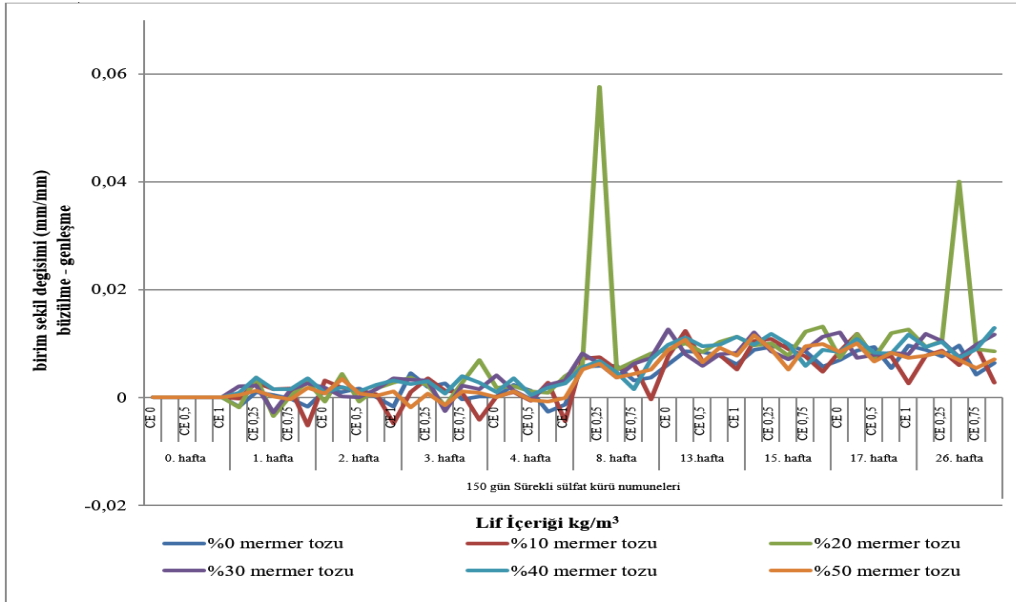
absorbe edilen suyun etkisi ile Şekil 8'de görüldüğü gibi numunelerde genişleme sonucu çatlaklar ve dökülmeler meydana gelmiştir.



Şekil 8. Sülfatta ıslanma-kuruma çevrimi sonrası genişleyen numune

Şekil 9'da sürekli sülfat çözeltisinde kür edilen numunelerinin gösterdiği boy değişimleri görülmektedir. Şekil 9'dan görüleceği üzere, dördüncü haftanın sonuna kadar genişleme ve büzülme gösteren numuneler daha sonraki haftalarda sürekli genişleme göstermiştir.

Bu durum etrenjit oluşumunun dördüncü haftadan itibaren yoğun bir şekilde meydana geldiğinin göstergesidir. Ancak, sülfatta ıslanma-kuruma çevrimine maruz kalan numunelere göre meydana gelen genişleme miktarı bu numunelerde daha düşük olmuştur.



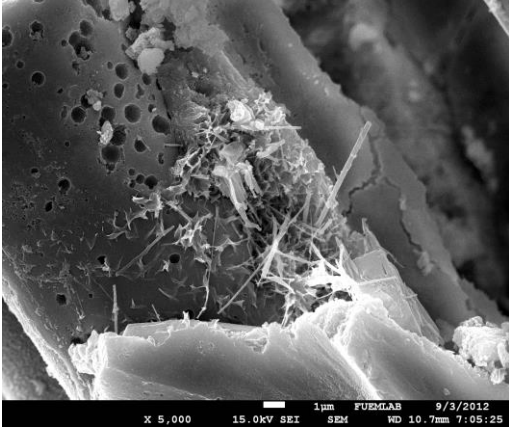
Şekil 9. Sürekli sülfat kürü sonrası numunelerin boy ölçümü değişimleri

Bu durum, ıslanma-kuruma çevrimlerinde kuruma esnasında numunede meydana gelen

büzülme etkisiyle çatlakların oluşması ve oluşan bu çatlaklardan ıslanma esnasında daha fazla

sülfatın numune bünyesine girerek daha fazla zarar vermesi şeklinde izah edilebilir.

Islanma-kuruma çevrimine maruz kalan harç numunelerinden farklı olarak, sürekli sülfat kürüne maruz kalan numuneler içerisindeki cam liflerin zamanla sülfattan etkilenerek liflerin üzerinde boşlukların oluştuğu, genişlemenin meydana geldiği ve buna bağlı olarak da çatlakların oluştuğu görülmüştür. Bu durum Şekil 10'da yer alan taramalı elektron mikroskobu (TEM) görüntüsünden açıkça görülmektedir.



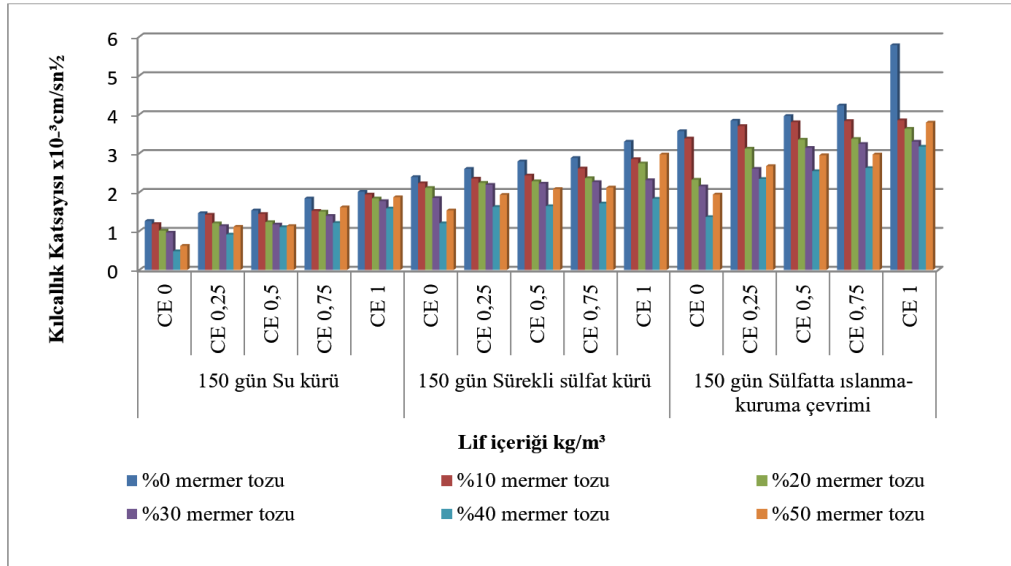
Şekil 10. Sürekli sülfat etkisine maruz kalan numunedeki liflerin görüntüsü

### 3.2. Kapiler su emme deneyi

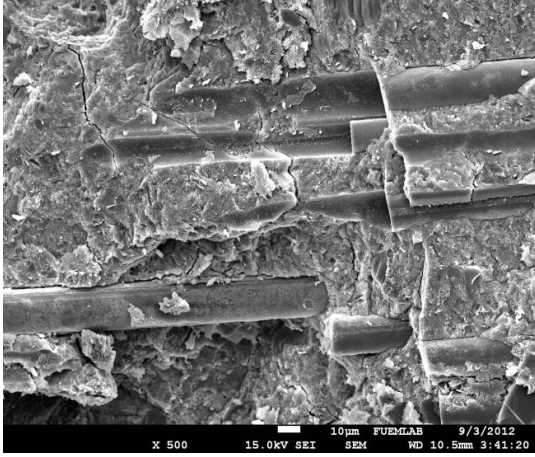
Farklı kür şartlarına maruz kalan cam lif ve mermer tozu içeren harç numunelerinin kapiler su emme deneyleri neticesinde elde edilen değerler Şekil 11'de verilmiştir. Şekilden görüleceği üzere, mermer tozu katkısı ile su emme değerlerinde düşüş gözlenmiştir. Sülfat çözeltisinde ıslanma-kuruma çevrimine maruz kalan numuneler diğer numunelere göre daha yüksek kılcallık katsayısına sahiptir.

Bu durum boy değişimi değerlerini destekler niteliktedir. Islanma-kuruma çevrimleri esnasında oluşan çatlak miktarının daha fazla olması bu numunelerin kılcallık katsayılarının daha yüksek çıkmasının nedenidir. Şekilden görüleceği üzere, sülfat çözeltisindeki numunelerde mermer tozu oranı arttıkça ince malzemenin boşlukları doldurmasından dolayı kapilarite değeri düşmüştür. Fakat lif içeriğinin artması ile kapilarite katsayılarında artış meydana gelmiştir.

Şekil 12'den görüleceği gibi harç numunelerine cam lif ilavesiyle birlikte meydana gelen boşluklar, bu numunelerdeki kapilarite değerlerinin artmasına yol açmıştır. Literatürde de bu durumu destekleyen çeşitli çalışmalar mevcuttur [23-25].



Şekil 11. Farklı kür şartlarına maruz kalan numunelerin kılcallık katsayıları



Şekil 12. Cam lif ilavesi ile oluşan boşluklar

#### 4. Sonuçlar

Cam lif takviyeli çimento harçlarının sülfat direnci üzerine mermer tozu ilavesinin etkisini incelemek amacıyla yapılan bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Sürekli su içerisinde kür edilen numunelerde beklediği üzere genleşme meydana gelmiştir. Bu durum çimento jelleri tarafından emilen suyun bir sonucudur. Bu numunelerdeki cam lif miktarındaki artışa bağlı olarak genleşmenin arttığı ancak mermer tozu ilavesi ile birlikte meydana gelen genleşmenin azaldığı belirlenmiştir.
- Sülfatta ıslanma-kuruma çevrimine maruz bırakılan harç numunelerinde, dördüncü haftadan sonra genleşme meydana geldiği ve meydana gelen genleşmenin yirmi altıncı haftanın sonuna kadar düşük miktardaki artışlarla ilerlediği belirlenmiştir. Bu numunelerde meydana gelen genleşmenin yavaş ilerlemesi, kuruma sırasında oluşan büzülmenin etkisinden kaynaklanmaktadır. Sülfatta ıslanma-kuruma çevrimine maruz bırakılan numunelerde de cam lif oranının artışıyla genleşmenin arttığı ve mermer tozu oranının artışı ile de genleşmenin azaldığı belirlenmiştir.
- Sülfat çözeltisinde sürekli bekletilen harç numunelerinde meydana gelen genleşme miktarının, sülfatta ıslanma-kuruma çevrimine maruz kalan numunelere göre daha düşük olduğu belirlenmiştir. Bu durum, ıslanma-kuruma çevrimlerinde kuruma esnasında numunede meydana gelen büzülme

etkisiyle çatlakların oluşması ve oluşan bu çatlaklardan ıslanma esnasında daha fazla sülfatın numune bünyesine girerek daha fazla zarar vermesi şeklinde izah edilebilir. Ayrıca, ıslanma-kuruma çevrimine maruz kalan harç numunelerinden farklı olarak, sürekli sülfat kürüne maruz kalan numuneler içerisindeki cam liflerin zamanla sülfattan etkilenerek liflerin üzerinde boşlukların oluştuğu, genleşmenin meydana geldiği ve buna bağlı olarak da çatlakların oluştuğu görülmüştür.

- Sülfat etkisine maruz kalan harç numunelerinde etrenjit oluşumunun genel olarak dördüncü haftadan sonra hızlandığı görülmüştür.
- Kapiler su emme deneyi neticesinde elde edilen değerler harç numunelerinin boy ölçüm değişimlerini destekler niteliktedir. Sülfat çözeltisinde ıslanma-kuruma çevrimine maruz kalan numuneler diğer numunelere göre daha yüksek kılcallık katsayısına sahiptir. ıslanma-kuruma çevrimleri esnasında oluşan çatlak miktarının daha fazla olması bu numunelerin kılcallık katsayılarının daha yüksek çıkmasının nedenidir. Yapılan bu çalışma ile, sülfat çözeltisindeki numunelerde mermer tozu oranı arttıkça ince malzemenin boşlukları doldurmasından dolayı kapilarite değerinin düştüğü, ancak lif miktarındaki artışa bağlı olarak da kapilarite katsayılarının arttığı belirlenmiştir.
- Yapılan çalışma neticesinde, cam lif takviyeli çimento harçlarında filler malzeme ile yer değiştirecek şekilde atık mermer tozu kullanımının hem ekonomiklik hem de sülfat direnci bakımından olumlu kazanımlar sağlayacağı sonucuna varılmıştır.

#### 5. Kaynaklar

1. Gökçer B, Yıldız S, Keleştemur O. (2013). Atık Mermer Tozu ve Cam Lif Katkılı Harç Numunelerinin Yüksek Sıcaklık Altındaki Davranışları, SDU International Technologic Science, **5(2)**: 42-55.
2. Yalınbaş, M., Yıldız, S. ve Keleştemur, O. (2005). Investigation of the Tensile Strength of Bending in Buildings Plasters with Silica Fumes. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, **20(3)**: 395-399.



3. Keleştemur, O. ve Demirel, B. (2010). Corrosion Behavior of Reinforcing Steel Embedded in Concrete Produced with Finely Ground Pumice and Silica Fume. *Construction and Building Materials*, **24(10)**: 1898-1905.
4. Keleştemur, O. ve Demirel, B. (2015). Effect of Metakaolin on the Corrosion Resistance of Structural Lightweight Concrete. *Construction and Building Materials*, **81(1)**: 172-178.
5. Keleştemur, O., Arıcı, E., Yıldız, S. ve Gökçer, B. (2014). Performance Evaluation of Cement Mortars Containing Marble Dust and Glass Fiber Exposed to High Temperature by Using Taguchi Method. *Construction and Building Materials*, **60(1)**: 17-24.
6. Keleştemur, O. (2010). Utilization of Waste Vehicle Tires in Concrete and Its Effect on the Corrosion Behavior of Reinforcing Steels. *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, **17(3)**: 363-370.
7. Keleştemur, O. ve Yıldız, S. (2005). Effect of Various NaCl Concentration on Corrosion of Steel in Concrete Produced by Addition of Styrofoam. *G.U. J. Sci*, **19(3)**:163-172.
8. Meyer (1974). Anleitung für die herstellung von dauerhaften beton, *Beton*, **24 (7)**: 261-264.
9. Hime, W.G., Mather, B. (1999). Sulfate attack, or is it?, *Cement and Concrete Research*, **29**: 789-791.
10. Biricik H., Gündüz A.S., Çakır Ö., Sarier N., (2003). Doksan Gün Sülfat Etkisinde Kaldıktan Sonra Kalker ve Silis Dumanı Katkılı Betonların Bazı Özellikleri, *5. Ulusal Beton Kongresi (1-3 Ekim 2003)*, İstanbul, 493-502.
11. Karahan O., Arı K., Haktanır T., Atış C.D., (2003) Farklı Portland Çimentolu Betonların Sülfürük Asitli Ortamdaki Dayanıklılığının Karşılaştırılması, *5.Ulusal Beton Kongresi, (1-3 Ekim 2003)*, İstanbul, 575-584.
12. Şahmaran M., Kasap Ö. ve Yaman İ.Ö., (2005). Tras ve Uçucu Kül Katkılı Çimentoların Sülfat Etkisindeki Performansları, *6. Ulusal Beton Kongresi, (16-18 Kasım 2005)* İstanbul, 201-208.
13. Uygunoğlu T., Yücel K.T., Yurtcu Ş. (2006). Betonun zararlı ortamlardaki durumu: Yeraltı suyu etkisi, *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi* **1**: 29-35.
14. Rousan R.A., Haddad R., Al-Sa'di K. (2013). Effect of sulfates on bond behavior between carbon fiber reinforced polymer sheets and concrete. *Materials & Design*, **43**: 237-248.
15. Erdoğan Ş., Karataş E., (2003). Sülfat iyonu konsantrasyonu düşük ortamlara maruz betonun durabilitesinin karşılıklı olarak incelenmesi. *5.Ulusal Beton Kongresi, (1-3 Ekim 2003)*, İstanbul, 555-566.
16. Erdoğan, Y.T., (2003). Beton, ODTÜ Yayıncılık, Ankara.
17. TS EN 196-1: Çimento Deney Metotları, Türk Standartları Enstitüsü, 2002.
18. Kızıllığın B. (2009). Çelik ve Karbon Lifli Harçların Sülfat Etkilerine Dayanıklılığının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Malzemesi Anabilim Dalı.
19. Goldman, A., and Bentur, A. (1993). The Influence of Microfiller on Enhancement of Concrete Strength, *Cement and Concrete Research*, **23**: 962-972.
20. Atış, C.D., and Bilim, C. (2007). Wet and dry cured compressive strength of concrete containing ground granulated blast-furnace slag, *Building and Environment*, **42(8)**: 3060-3065.
21. Lerch, W., (1957). Volume Changes of Concrete," *J. of American Concrete Institute*, 797-802.
22. Yazıcı H. (2006). Yüksek Fırın Curufu Katkılı Harçların Sülfat Dayanıklılığının İncelenmesi, *Deü Mühendislik Fakültesi Fen Ve Mühendislik Dergisi*, **8(1)**: 51-58.
23. Demirel, B. and Gönen, T. (2007). Karbon Fiber Takviyeli Betonda Farklı Fiber Boyunun Kapilariteye Etkisi, *Fırat Üniversitesi D.A.U.M Dergisi*, **6**: 12-15.
24. Gökçer B., Yıldız S., Keleştemur O. (2013). Atık mermer tozu ve cam lif içeren harç numunelerinin donma-çözülme etkisi altındaki davranışları. *SDU International Technologic Science*, **5(3)**, 18-30.
25. Alişer B. (2013). Mermer tozu ve cam elyaf katkılı çimento harçlarının sülfat dayanıklılığının araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 93s.
26. Yıldız S., Bölükbaş Y., Keleştemur O. (2010) Cam Elyaf Katkısının Betonun Basınç ve Çekme Dayanımı Üzerindeki Etkisi, *Politeknik Dergisi*, **13(3)**, 239-243.