

Atık Mermer Tozu ve Cam Lif Katkılı Çimento Harçlarının Sülfat Etkisi Altındaki Mekanik ve Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi

Servet YILDIZ¹, Birsu ALİŞER², Oğuzhan KELEŞTEMUR^{1*}

¹Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye.

²Fırat Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü, Elazığ, Türkiye.

*okelestemur@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 16.06.2017; Kabul/Accepted: 13.07.2017)

Özet

Bu çalışmada, sülfat hücumuna maruz kalan atık mermer tozu ve cam lif katkı çimento harçlarının mekanik ve fiziksel özellikleri incelenmiştir. Bu amaçla 0.25 kg/m³, 0.50 kg/m³, 0.75 kg/m³ ve 1 kg/m³ cam lif içeren harç numunelerine filler malzemesi ile yer değiştirecek şekilde hacimce %10, %20, %30, %40 ve %50 oranlarında mermer tozu ilave edilmiştir. Elde edilen harç numuneleri %5'lik Na₂SO₄ çözeltisinde üç farklı kür şartına maruz bırakılmıştır. Numuneler üzerinde eğilmede çekme dayanımı, basınç dayanımı ve görünür porozite deneyleri gerçekleştirilerek, sülfat etkisi altındaki mekanik ve fiziksel değişimleri belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Atık mermer tozu, Cam lif, Harç, Sülfat etkisi.

Investigation of Mechanical and Physical Properties of the Cement Mortars with Waste Marble Dust and Glass Fiber Subjected to Sulphate Attack

Abstract

In this study, mechanical and physical properties of cement mortars with waste marble dust and glass fiber subjected to sulphate attack have been investigated. For this purpose, the marble dust was added by replacing with filler material at 10%, 20%, 30%, 40% and 50% ratios by volume to mortar samples containing 0.25 kg/m³, 0.50 kg/m³, 0.75 kg/m³ and 1 kg/m³ glass fiber. The obtained mortar samples have been subjected to three different curing conditions in a 5% Na₂SO₄ solution. The mechanical and physical changes of the samples under the sulphate attack have been determined by carrying out bending tensile strength, compressive strength and porosity tests on the samples.

Keywords: Waste marble dust, Glass fiber, Mortar, Sulphate effect.

1. Giriş

Doğal kaynakların daha az tüketilmesi, çevre kirliliğinin daha aza indirgenmesi ve enerji maliyetlerinin azaltılması amacıyla endüstriyel atık kullanımı gün geçtikçe daha fazla ilgi çeken bir konu olmaktadır. Atıklar çevre sorununun yanı sıra birçok durumda depolanma zorunluluğundan dolayı ilave maliyet getirmektedir. Bu nedenle, birçok atık içeriğine bakılmaksızın ortadan kaldırılmaya çalışılmaktadır. Ancak, atık malzemelerin de bir

değeri vardır ve atıklar katma değeri yüksek ürünlerin elde edilmesinde kullanılabilir [1].

Mermer fabrikalarından üretim atığı olarak ortaya çıkan tozların kullanılabilirliği endüstriyel açıdan kazanç olduğu kadar çevresel açıdan da bir sorunun giderilmesi anlamını taşımaktadır. Bu nedenle mermer atıklarının değerlendirilmesi konusunda bulunabilecek alternatifler, mermer fabrika işletmecilerine ve ülke ekonomisine kaynak sağlayacağı gibi bu fabrikaların çevre kirlenme özelliğini de tamamen ortadan kaldıracaktır [2].

Lifli betonlarda, bütün lif çeşitlerinde sağlanması gereken en önemli özellik liflerin beton içerisinde homojen olarak dağılması ve bu dağılımın beton karıştırıldıktan sonra da bozulmamasıdır. Üniform bir şekilde dağılan lifler, beton içerisinde oluşan çatlakları önlemekte ve çatlakların beton içerisinde ilerlemesini yavaşlatarak betonu daha dayanıklı hale getirdiği bilinmektedir. Bu özelliğinden dolayı lifli betonun özellikle çekme ve eğilme dayanımını artıran faktörler darbe etkisine karşı dayanımını da artırır [3].

Yer altı sularında, bazı killi topraklarda ve cürufu doldurulmuş arazilerde oldukça yüksek miktarda sodyum sülfat, kalsiyum sülfat, magnezyum sülfat ve potasyum sülfat gibi tuzlar bulunabilmektedir. Sertleşmiş betonun içerisine dışarıdan sızan sularla birlikte giren sülfatlar, betonun genişip çatlamasına yol açan kimyasal olayların gelişmesine neden olmaktadır. Sülfatların betonda yarattığı yıpratıcı etki, "sülfat hücumu" olarak adlandırılmaktadır. Sülfat hücumuna maruz kalan betonların yüzeyi, karakteristik olarak beyazımsı bir görünüm almaktadır. Sülfatların yıpratıcı etkisi, genel olarak beton blokların kenarından ve köşelerinden başlamaktadır. Daha sonra bu etki, betonun iç kısımlarına doğru yoğunlaşarak, beton yüzeyinin tabakalar halinde parçalanmasına neden olmaktadır [4].

Sodyum sülfat ve magnezyum sülfat iyonlarının sertleşmiş beton ile yaptıkları reaksiyonlar sonucu oluşan ürünlerin betonun hacimsel stabilitesini bozucu yönde etki yaptığını belirten araştırmalar literatürde mevcuttur [5-11].

Bu çalışmada, sülfat etkisine maruz bırakılmış atık mermer tozu ve cam lif takviyeli çimento harçlarının mekanik ve fiziksel özellikleri araştırılmıştır. Bu sayede lif takviyeli çimento harçlarına ilave edilen atık mermer tozunun sülfat hücumuna karşı etkisi belirlenmeye çalışılmıştır.

2. Malzeme ve Yöntem

2.1. Malzeme

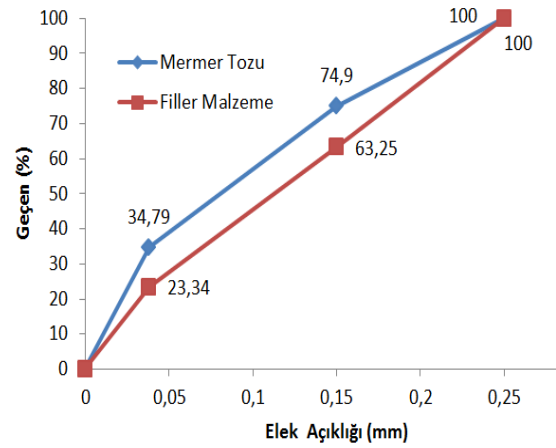
Deneyleerde kullanılan agrega maksimum dane boyutu 4 mm olan Elazığ Palu yöresine ait yıkanmış dere agregasıdır. Kullanılan agreganın su emme miktarı %2 ve özgül ağırlığı 2.70 g/cm³

tür. 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 (gr/cm ³)	2.70
Ağırlıkça Su Emme (%)	0.11
Görünür Gözeneklilik (%)	1.11
Kimyasal Özellikler	
SiO ₂	14.25
Fe ₂ O ₃	4.90
CaCO ₃	57.4

Atık mermer tozu filler malzemesi ile yer değiştirecek şekilde harç numunelerine ilave edildiği için, her iki malzemeye ait granülometri eğrileri Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Mermer tozu ve filler malzemenin granülometri eğrileri

Harç numunelerinin hazırlanmasında çimento olarak CEM I 42,5 N tipi çimento kullanılmıştır. Kullanılan bu çimentonun özellikleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Çimentonun kimyasal ve fiziksel özellikleri
CEMI 42,5 N

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

Lif takviyeli harç numunelerinin üretiminde Camelsan Sanayi A.Ş. tarafından üretilen ortalama 6 mm uzunluğundaki kırılmış cam lifler kullanılmıştır. Cam lifin özellikleri Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Cam lifin özellikleri

Lif Boyu (mm)	6
Lif Çapı (µm)	13
Özgül Ağırlık (mg/m ³)	2.68
Elastisite Modülü (MPa)	72000
Çekme Mukavemeti (MPa)	1700

Ayrıca, harç karışımlarında 3. nesil beton ve harç katkısı Sika ViscoCrete Hi- Tech 30 akışkanlaştırıcı ve priz geciktirici katkı maddesi kullanılarak lif takviyesindeki artışa bağlı olarak meydana gelen işlenebilirlikteki azalmanın önüne geçilmiştir. Bu katkı maddesi üretici firma talimatlarına uygun olarak çimento ağırlığının %1 oranında harç numunelerine ilave edilmiştir. Karışım suyu olarak içilebilir şebeke suyu kullanılmıştır.

2.2. Yöntem

Numunelerin eğilmede çekme dayanımı deneyini yapabilmek için 40x40x160 mm lik prizmatik harç numuneleri hazırlanmıştır.

Numuneler TS EN 196-1 de belirtilen harç karışım esaslarına uygun olarak hazırlanmıştır [12]. Tüm seriler için su/çimento oranı 0.50 olarak alınmıştır. Harç numunelerinin üretimi sırasında, kuru malzemeler ile birlikte karışım 0.25, 0.50, 0.75 ve 1 kg/m³ oranlarında cam lif ilave edilmiştir. Ayrıca, harç numunelerine filler malzemesi ile hacimce % 10, % 20, % 30, % 40 ve %50 oranlarında yer değiştirecek şekilde mermer tozu ilave edilmiştir. Harç numunelerinin hazırlanmasında kullanılan karışım oranları

Tablo 4'de verilmiştir. Tabloda yer alan numunelerin kodlanması yapılırken mermer tozu içeren numuneler için (MT), cam elyaf içeren numuneler içinde (CE) kodları kullanılmıştır.

Kalıplanan numuneler 24 saat sonunda kalıplardan çıkarılarak 28 günlük su kürüne tabi tutulmuştur. 28 günlük su kürünün ardından 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 (Na₂SO₄) kullanılmıştır.

Harç numunelerinin porozite tayini deneyi TS EN 772-4'e uygun olarak yapılmıştır [13]. Bu amaçla, numunelerin doymun yüzey kuru ağırlığı (W_{dyk}), su altındaki ağırlığı (W_{su}) ve etüv kurusu ağırlığı (W_{kuru}) belirlenmiş ve 1 numaralı denklem kullanılarak numunelerin porozite değerleri elde edilmiştir.

$$P = \frac{W_{dyk} - W_{kuru}}{W_{dyk} - W_{su}} \times 100 \quad (1)$$

Denklemde yer alan;

P = Porozite (%),

W_{dyk} = Numunelerin doymun yüzey kuru ağırlığı (kg),

W_{kuru} = Numunelerin etüv kurusu ağırlığı (kg),

W_{su} = Numunelerin su altındaki ağırlığı (kg).

Prizmatik harç numunelerinin eğilmede çekme dayanımı deneyi ELE Autotest test cihazında yapılmıştır. Deney esnasında uygulanan yükleme hızı 0,05 N/sn olacak şekilde ayarlanmıştır.

40x40x160 mm boyutlarındaki örnekler üç noktalı eğilme deneyine tabi tutulduktan sonra, elde edilen 40x40x80 mm lik parçalar üzerinde basınç deneyi gerçekleştirilmiştir. Bu numuneler üzerinde gerçekleştirilen basınç deneyinde yükün uniform dağılımını sağlayabilmek amacıyla 40x40x40 mm lik çelik plaklar numunenin üst ve alt orta kısmına yerleştirilerek deneyler gerçekleştirilmiştir. Basınç dayanımlarının tespiti için ELE Autotest 3000 modelinde 3000 kN kapasiteli dijital göstergeli hidrolik pres kullanılmıştır.

Tablo 4. Harç numunelerinin karışım oranları (kg/m³)

SERİ	SERİNİN ADI	CAM LİF	MERMER TOZU	AGREGA (0-0,25)	AGREGA (0,25-4)	SU	ÇİMENTO	KATKI
1	CE0-MT0		0	407	1253,8	221,4	450	4,45
2	CE0-MT10		38,63	367	1253,8	221,4	450	4,45
3	CE0-MT20		77,25	325,4	1253,8	221,4	450	4,45
4	CE0-MT30	0	115,9	285,2	1253,8	221,4	450	4,45
5	CE0-MT40		154,5	243,6	1253,8	222,8	450	4,45
6	CE0-MT50		193,12	203,6	1253,8	222,8	450	4,45
7	CE0,25-MT0		0	407	1253,8	221,4	450	4,45
8	CE0,25-MT10		38,63	367	1253,8	221,4	450	4,45
9	CE0,25-MT20		77,25	325,4	1253,8	221,4	450	4,45
10	CE0,25-MT30	0,25	115,9	285,2	1253,8	221,4	450	4,45
11	CE0,25-MT40		154,5	243,6	1253,8	222,8	450	4,45
12	CE0,25-MT50		193,12	203,6	1253,8	222,8	450	4,45
13	CE0,5-MT0		0	407	1253,8	221,4	450	4,45
14	CE0,5-MT10		38,63	367	1253,8	221,4	450	4,45
15	CE0,5-MT20		77,25	325,4	1253,8	221,4	450	4,45
16	CE0,5-MT30	0,50	115,9	285,2	1253,8	221,4	450	4,45
17	CE0,5-MT40		154,5	243,6	1253,8	222,8	450	4,45
18	CE0,5-MT50		193,12	203,6	1253,8	222,8	450	4,45
19	CE0,75-MT0		0	407	1253,8	221,4	450	4,45
20	CE0,75-MT10		38,63	367	1253,8	221,4	450	4,45
21	CE0,75-MT20		77,25	325,4	1253,8	221,4	450	4,45
22	CE0,75-MT30	0,75	115,9	285,2	1253,8	221,4	450	4,45
23	CE0,75-MT40		154,5	243,6	1253,8	222,8	450	4,45
24	CE0,75-MT50		193,12	203,6	1253,8	222,8	450	4,45
25	CE1-MT0		0	407	1253,8	221,4	450	4,45
26	CE1-MT10		38,63	367	1253,8	221,4	450	4,45
27	CE1-MT20		77,25	325,4	1253,8	221,4	450	4,45
28	CE1-MT30	1	115,9	285,2	1253,8	221,4	450	4,45
29	CE1-MT40		154,5	243,6	1253,8	222,8	450	4,45
30	CE1-MT50		193,12	203,6	1253,8	222,8	450	4,45

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Görünür porozite deneyi sonuçları

Harç numuneleri üzerinde gerçekleştirilen porozite deneyi neticesinde elde edilen veriler Şekil 2’de gösterilmiştir. Şekilden görüleceği üzere 3 farklı kür şartında da mermer tozu oranının artışına bağlı olarak porozite değerleri düşmüştür. Porozite değerlerindeki bu düşüş Şekil 1’de ki granülometri eğrilerinden de anlaşılacağı üzere mermer tozunun filler malzemeye göre çok daha ince olması nedeniyle boşlukları doldurmasından kaynaklanmaktadır.

Mermer tozunun aksine cam lif oranındaki artışa bağlı olarak harç numunelerinin porozite değerleri artmıştır. Bu durum Şekil 3’de ki taramalı elektron mikroskobu resminden de görüleceği üzere cam liflerin harç içerisinde yer yer toplanarak boşluklara yol açmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca, lif takviyeli harç numunelerinin porozite düşüşüne yol açan nedenlerden bir diğeri ise numunelere ilave edilen cam liflerin harç ile yeterince aderans sağlayamaması neticesinde oluşan boşluklardır. Şekil 3’de görülen cam liflerin üzerinde herhangi

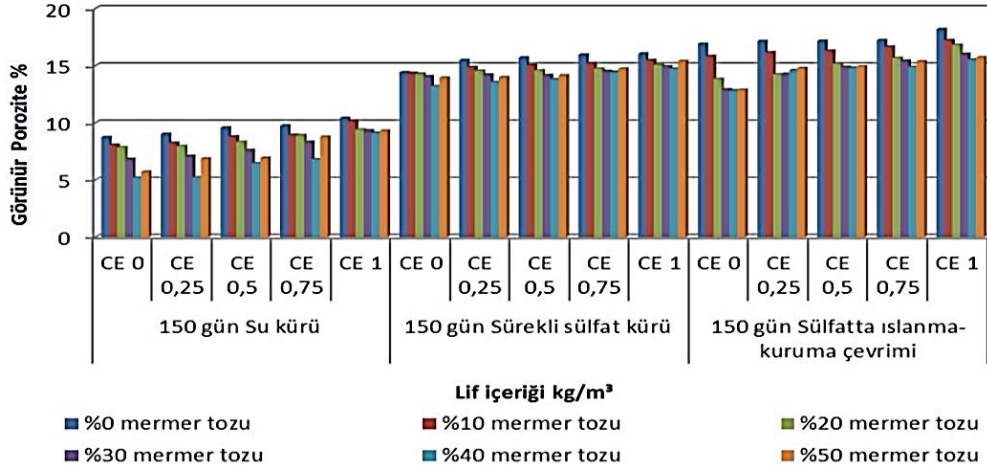
bir harç kalıntısının olmaması harç ile arasında yeterince aderans olmadığı bir göstergesidir.

Sülfat çözeltisinde ıslanma-kuruma çevrimine maruz kalan numuneler diğer numunelere göre daha yüksek porozite değerlerine sahiptir. Bu durum, ıslanma-kuruma çevrimlerinde kuruma esnasında harç numunelerinde meydana gelen büzülme neticesinde mikro çatlakların oluşması ve oluşan bu çatlaklardan ıslanma esnasında daha fazla sülfatın numune bünyesine girerek daha fazla etrenjit oluşumuna bağlı olarak zarar vermesinden kaynaklanmaktadır.

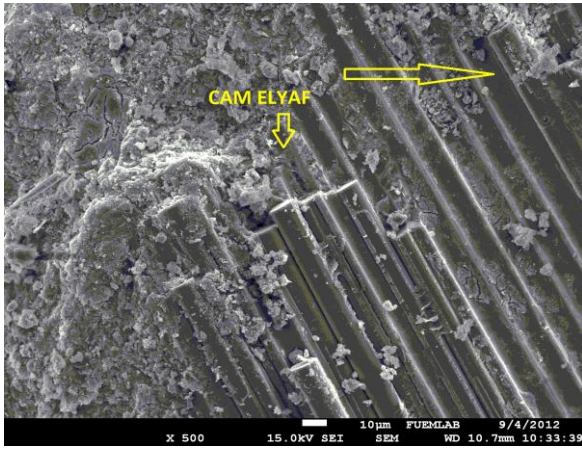
3.2. Eğilmede çekme dayanımı deneyi sonuçları

Prizmatik harç numuneleri üzerinde gerçekleştirilen eğilmede çekme dayanımı deneyi sonuçları Şekil 4’de gösterilmiştir. Şekilden görüleceği üzere cam lif oranındaki artışa bağlı olarak harç numunelerinin çekme dayanımlarında artış gözlenmiştir. Bu durum, ilave edilen cam liflerin harç içerisinde oluşacak olan çatlakları önlemesinden ve oluşan çatlakların harç içerisinde ilerlemesini

yavaşlatmasından kaynaklanmaktadır. mevcuttur [14, 15].
Literatürde bu sonucu destekleyen çalışmalar



Şekil 2. Harç numunelerinin görünür porozite deneyi sonuçları



Şekil 3. Harç numunelerindeki cam liflerin görüntüsü

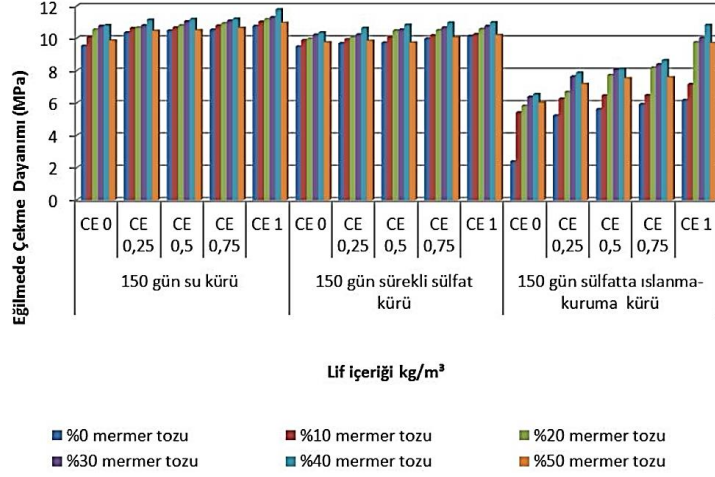
Harç numunelerine ilave edilen %40 mermer tozu oranına kadar çekme dayanımlarında artışın meydana geldiği ancak mermer tozu için optimum değer olan bu orandan sonra numunelerin çekme dayanımlarında bir miktar düşüş meydana geldiği Şekil 4'den görülmektedir. Mermer tozunun filler malzemeye göre daha ince olması boşlukları doldurmasına yol açarak çekme dayanımında artışa yol açmıştır.

Ancak, mermer tozunun filler malzemeye göre daha ince olması dayanımının da düşük olmasına neden olacağı için optimum değerden sonra harç numunelerinin çekme dayanımında düşüşe neden olmuştur.

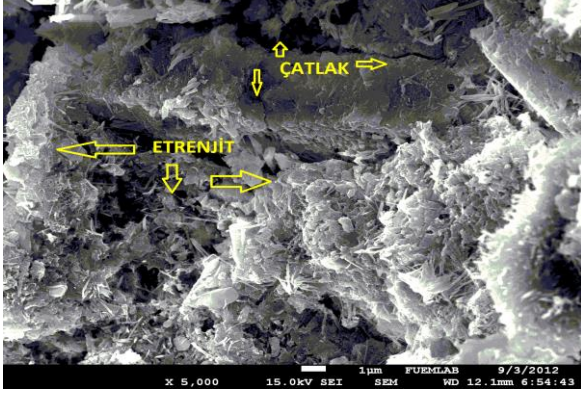
Sülfat etkisine maruz kalan harç numunelerinde çekme dayanımının düştüğü Şekil 4'den açıkça görülmektedir. Sülfat

çözeltisinin numunenin bünyesine girmesiyle birlikte hidrasyon ürünü olan kalsiyum alümino monosülfhidrat (C4ASH12) larm etrenjite (C6AS3H32) dönüşmesi neticesinde meydana gelen yaklaşık %227 lik hacim artışı harç numunelerinde çatlaklara yol açarak dayanımını ve dayanıklılığını düşürmektedir. Sülfat hücumu sonucu oluşan etrenjitler ve çatlaklar Şekil 5'de yer alan taramalı elektron mikroskobu resminde görülmektedir. Şekil 4 incelendiğinde, sülfat çözeltisinde ıslanma-kuruma çevrimine maruz kalan harç numunelerinde daha fazla miktarda çekme dayanımı kaybının meydana geldiği görülmektedir. Bu durum, porozite deneyi sonuçlarını destekler niteliktedir. Sülfat çözeltisinde ıslanma-kuruma çevrimine maruz kalan numunelerin sürekli sülfat çözeltisinde bekletilen numunelere göre daha fazla hasar gördüğü Alişer ve diğ. tarafından yapılan bir başka çalışmada da belirtilmiştir [16]. Mermer tozunun ilavesi harç numunelerindeki boşlukları doldurarak sülfat girişinin azalmasına buna bağlı olarak da dayanımın artmasına yol açmıştır.

Ayrıca, sülfat çözeltisinde ıslanma-kuruma çevrimine maruz kalan harç numunelerinden farklı olarak sürekli sülfat etkisine maruz kalan harç numuneleri içerisindeki cam liflerin zamanla sülfattan etkilenerek liflerin üzerinde boşlukların oluştuğu da Alişer ve diğ. tarafından bildirilmiştir [16].



Şekil 4. Harç numunelerinin eğilmede çekme dayanımı deneyi sonuçları



Şekil 5. Harç numunelerindeki etrenjitlerin görüntüsü

3.3. Basınç dayanımı deneyi sonuçları

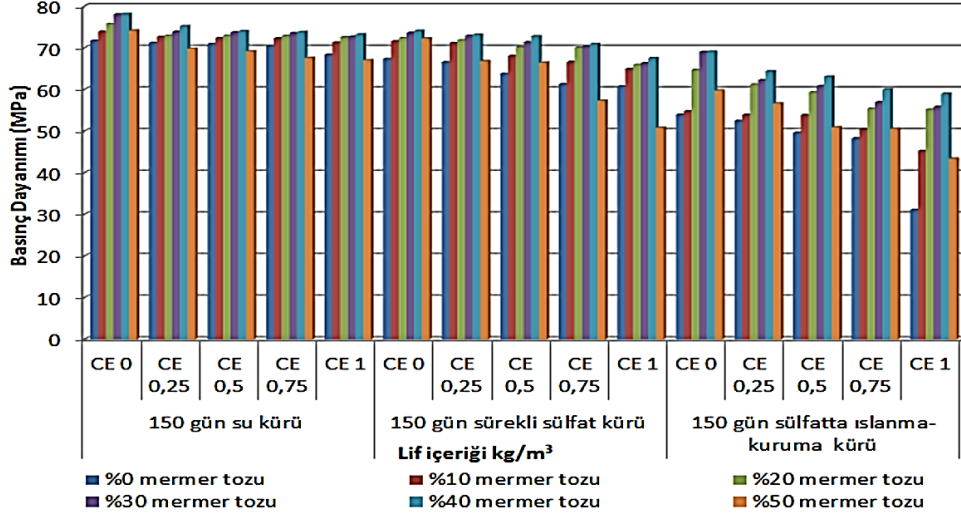
Harç numuneleri üzerinde gerçekleştirilen basınç deneyi sonrası elde edilen veriler Şekil 6'da gösterilmiştir. Şekilden görüleceği üzere, cam lif oranındaki artışa bağlı olarak basınç dayanımlarında bir miktar düşüş meydana gelmiştir. Bu durum daha öncede belirtildiği gibi cam liflerin harç ile yeterince aderans sağlayamaması ve yer yer topaklanarak boşluk oluşturmasından kaynaklanmaktadır.

Mermer tozu ilaveli harç numunelerinin basınç dayanımı değerleri ile eğilmede çekme dayanımı değerleri birbiri ile benzer değişimler göstermiştir. Şekil 6'dan görüleceği üzere, % 40 mermer tozu ilavesine kadar harç numunelerinin basınç dayanımlarında artış meydana gelirken daha fazla miktarda mermer tozu ilavesi ile basınç dayanımlarında bir miktar düşüş meydana gelmiştir. Sülfata maruz harç numunelerinde

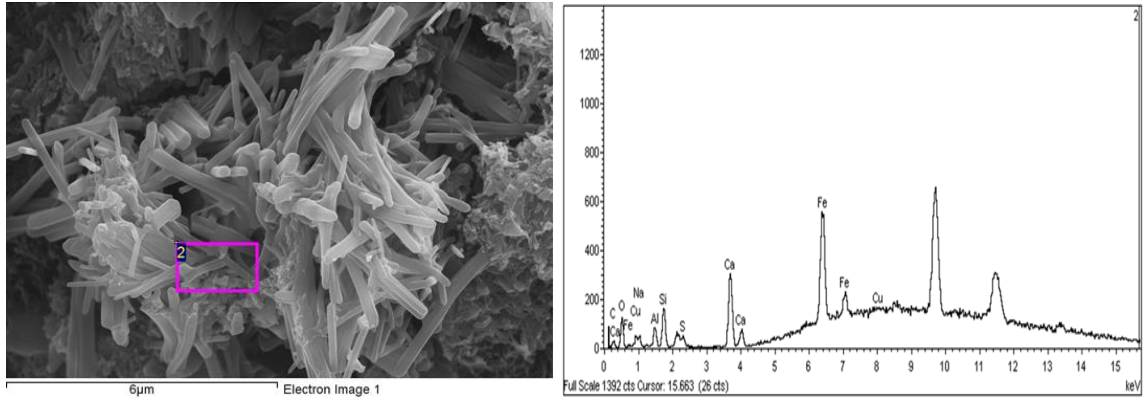
mermer tozu kullanımı dayanım kaybının daha az meydana gelmesine yol açmıştır.

Bu durum, filler malzemeye göre daha ince olan mermer tozunun boşlukları doldurarak harç numunelerinin daha az sülfat hücumuna maruz kalmasından kaynaklanmaktadır.

Şekil 6' incelendiğinde, 150 gün sürekli sülfat çözeltisinde kalan harç numunelerinin basınç dayanımı değerlerinin sürekli su kürüne tabi tutulan numunelerden daha düşük olduğu görülmektedir. Bunun nedeni, sürekli sülfat etkisi altında kalan numunelerin bünyesine giren sülfat iyonlarının etrenjit oluşumuna yol açmasıdır. Benzer bir sonuç Güneysi ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada da elde edilmiştir [17]. Harç numuneleri içerisinde oluşan etrenjite ait taramalı elektron mikroskop resmi ve etrenjitin bulunduğu bölgeden alınan EDX (Enerji Dağılımlı X-Işınları Analizi) sonuçları Şekil 7'de görülmektedir. Şekil 7'de görülen etrenjit oluşumu sürekli sülfatta kür edilen numunelere kıyasla sülfatta ıslanma-kuruma çevrimine maruz kalan harç numunelerinde daha fazladır. Bunun nedeni daha önce de belirttiğimiz gibi kuruma esnasında harç numunelerinde meydana gelen büzülmeyle bağlı olarak oluşan mikro çatlaklardır. Oluşan bu mikro çatlaklardan harç bünyesine daha fazla sülfat girmesi neticesinde ise daha fazla etrenjit oluşumu meydana gelmiştir. Yazıcı tarafından yapılan bir çalışmada da, sülfatta ıslanma-kuruma çevrimine maruz bırakılan yüksek firm cürufu katkılı harç numunelerinin basınç dayanımının diğer numunelerden daha düşük çıkmış olması bulduğumuz bu sonucu desteklemektedir [18].



Şekil 6. Harç numunelerinin basınç dayanımı deneyi sonuçları



Şekil 7. Sülfat çözeltisinde ıslanma-kuruma çevrimi sonrası oluşan etrenjit ve o bölgeden alınan EDX analizi

4. Sonuçlar

Atık mermer tozu ve cam lif katkılı çimento harçlarının sülfat hücumu sonrasında mekanik ve fiziksel özelliklerinde meydana gelen değişimleri belirleyebilmek amacıyla yapılan bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Farklı kür şartlarına maruz kalan harç numunelerinin tamamında mermer tozu oranındaki artışa bağlı olarak porozite değerlerinde düşüş meydana gelmiştir. Bu durum, filler malzemeye göre daha ince yapıya sahip olan mermer tozunun boşlukları doldurması ile izah edilebilir.
- Harç numunelerine ilave edilen cam lif miktarındaki artışa bağlı olarak porozite değerlerinde artış meydana gelmiştir. Bu

durum, cam lif ile harç arasında yeterli aderansın olmaması ve liflerin yer yer toplanarak boşluklar oluşturmasının bir sonucudur.

- Sülfat çözeltisinde ıslanma-kuruma çevrimine maruz kalan numuneler diğer numunelere göre daha yüksek porozite değerlerine sahip olmuşlardır. Bunun nedeni, ıslanma-kuruma çevrimlerine maruz kalan harç numunelerinde kuruma esnasında meydana gelen büzülme neticesinde mikro çatlakların oluşması ve oluşan bu çatlaklardan ıslanma esnasında daha fazla sülfatın numune bünyesine girerek hasar vermesidir.
- Tüm serilerde cam lif oranındaki artışa bağlı olarak harç numunelerinin çekme dayanımlarında artış meydana gelmiştir. Cam

- liflerin harç içerisinde oluşacak olan çatlakları önlemesi ve oluşan çatlakların harç içerisinde ilerlemesini yavaşlatması numunelerdeki çekme dayanımının yüksek çıkmasının nedenidir.
- % 40 oranına kadar mermer tozu ilavesi harç numunelerinin çekme dayanımlarını artırmıştır. Daha fazla miktarda mermer tozu ilavesi ise çekme dayanımında düşüşe yol açmıştır. Çekme dayanımındaki artış mermer tozunun boşlukları doldurmasından kaynaklanmaktadır. Ancak, mermer tozunun filler malzemeye göre daha ince olması nedeniyle mukavemetinin azalması optimum değer olan % 40 oranından sonra harç numunelerinin çekme dayanımında düşüşe neden olmuştur.
 - Sülfat hücumu neticesinde harç numunelerinin çekme dayanımı düşmüştür. Sülfat çözeltisinin numunenin bünyesine girmesiyle birlikte oluşan etrenjitin hacim artışına yol açması harç numunelerinde çekme dayanımının düşmesine yol açmıştır.
 - Sülfat çözeltisinde ıslanma-kuruma çevrimine maruz kalan harç numunelerinde daha fazla miktarda çekme dayanımı kaybı meydana gelmiştir.
 - Harç numunelerinin basınç dayanımı değerleri ile çekme dayanımı değerleri benzer değişimler göstermiştir. Cam lif oranındaki artışa bağlı olarak basınç dayanımlarında da bir miktar düşüş meydana gelmiştir. Bu durum, yukarıda da belirtildiği gibi cam liflerin harç ile yeterince aderans sağlayamaması ve yer yer topaklanarak boşluklar oluşturmasından kaynaklanmaktadır.
 - Harç numunelerinin basınç dayanımı değerlerinde de % 40 mermer tozu ilavesine kadar artış meydana gelmiştir. Bu durum, mermer tozunun boşlukları doldurarak harç numunelerinin daha az sülfat hücumuna maruz kalmasının bir sonucudur. Filler malzemeye oranla yük taşıma kapasitesi daha az olan mermer tozunun optimum değer olan % 40'dan fazla kullanımı numunelerin basınç dayanımında düşüşe yol açmıştır.
 - 150 gün sürekli sülfat çözeltisinde kalan harç numunelerinin basınç dayanımı değerleri sürekli su kürüne tabi tutulan numunelerden daha düşük olduğu belirlenmiştir. Bunun nedeni, sürekli sülfat etkisi altında kalan

numunelerin bünyesine giren sülfat iyonlarının etrenjit oluşumuna yol açmasıdır.

- Sürekli sülfatta kür edilen numunelere kıyasla sülfatta ıslanma-kuruma çevrimine maruz kalan harç numunelerinde daha fazla etrenjit oluştuğu için sülfatta ıslanma-kuruma çevrimine maruz kalan harç numunelerinin basınç dayanımı değerleri diğer numunelerden daha düşük çıkmıştır. Bu durum, kuruma esnasında harç numunelerinde meydana gelen büzülmeyle ilgili olarak oluşan mikro çatlaklar ve bu çatlaklardan giren sülfatın oluşturduğu etrenjitlerden kaynaklanmaktadır.
- Yapılan çalışma neticesinde, çekme dayanımını artırmak amacıyla cam lif takviye edilmiş harç numunelerinde filler malzeme ile hacimce % 40 oranına kadar yer değiştirecek şekilde mermer tozu kullanımının hem ekonomiklik hem de sülfat direnci bakımından olumlu kazanımlar sağlayacağı sonucuna varılmıştır.

5. Kaynaklar

1. Beycioğlu, A., Başyigit, C. ve Subaşı S. (2008). Endüstriyel atıkların inşaat sektöründe kullanımı ile geri kazanılması ve çevresel etkilerinin azaltılması, *Çevre Sorunları Sempozyumu, (14-17 Mayıs 2008)*, Kocaeli, 1386-1394.
2. Ceylan, H. (2000). Mermer fabrikalarındaki mermer toz atıklarının ekonomik olarak değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta.
3. Kozak, M. (2003). Çelik lifli betonlar ve kullanım alanlarının araştırılması. *Süleyman Demirel Üniversitesi, Teknik Bilimler Dergisi, 3(5):26-35*
4. Erdoğan, Y.T. (2003). Beton, ODTÜ Yayıncılık, Ankara.
5. Karahan, O., Arı, K., Haktanır, T. ve Atiş, C.D. (2003). Farklı portland çimentolu betonların sülfürik asitli ortamdaki dayanıklılığının karşılaştırılması. 5. *Ulusal Beton Kongresi, (1-3 Ekim 2003)*, İstanbul, 575-584.
6. Şahmaran, M., Kasap, Ö. ve Yaman İ.Ö. (2005). Tras ve uçucu kül katkı çimentoların sülfat etkisindeki performansları, 6. *Ulusal Beton Kongresi, (16-18 Kasım 2005)*, İstanbul, 201-208.
7. Uygunoğlu, T., Yücel, K.T. ve Yurtcu, Ş. (2006). Betonun zararlı ortamlardaki durumu: Yeraltı suyu etkisi, *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, 1: 29-35*.
8. Rousan, R.A., Haddad, R. ve Al-Sa'di, K. (2013). Effect of sulfates on bond behavior between carbon fiber reinforced polymer sheets and concrete. *Materials & Design, 43: 237-248*.

9. Ilıca, T. (2008). Farklı çimenterlerle üretilen betonlarda sülfat etkisi ve klorür geçirirnililiği. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Mühendisliği Programı.
10. Canpolat, F. ve Yılmaz, K. (2002). Doğal zeolit ve uçucu kül katkı ve katkısız harçların sülfat dayanıklılığı. *Osmangazi Üniversitesi Müh. Mimarlık Fak. Dergisi*, **16(2)**: 11-24.
11. Postaciođlu, B. (1986). Beton, Bağlayıcı Maddeler, Agregalar Cilt-1.
12. TS EN 196-1. (2002). Çimento deney metotları, Türk Standartları Enstitüsü.
13. TS EN 772-4, (2000). Tabii taş kagir birimlerin toplam ve görünen porozitesi ile boşluksuz ve boşluklu birim hacim kütesinin tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
14. Biricik, H., Gündüz, A.S., Çakır, Ö. ve Sarier, N. (2003). Doksan gün sülfat etkisinde kaldıktan sonra kalker ve silis dumanı katkı betonların bazı özellikleri. 5. *Ulusal Beton Kongresi*, (1-3 Ekim 2003), İstanbul, 493-502.
15. Muratođlu, Y. (2009). Kendiliđinden yerleşen betonda farklı filler malzemelerin rötre üzerindeki etkilerinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Eğitimi Anabilim Dalı.
16. Alişer, B., Yıldız, S. ve Keleştemur, O. (2016). Cam lif takviyeli çimento harçlarının sülfat direncine mermer tozu ilavesinin etkisi. *Fırat Üniv. Müh. Bil. Dergisi*, **28(2)**: 175-183.
17. Güneyisi, E., Gesođlu, M. ve Mermerdaş, K. (2007). Metakaolin katkı betonların sülfat dayanıklılığının incelenmesi. 7. *Ulusal Beton Kongresi*, (28-30 Kasım 2007), İstanbul, 259-269.
18. Yazıcı, H. (2006). Yüksek fırın curufu katkı harçların sülfat dayanıklılığının incelenmesi. *DEU Mühendislik Fakültesi Fen Ve Mühendislik Dergisi*, **8(1)**: 51-58.