

CAM LİF TAKVİYELİ ÇİMENTO HARÇLARININ AŞINMA DİRENCİ ÜZERİNE ATIK MERMER TOZUNUN ETKİSİ

EFFECT OF WASTE MARBLE DUST ON ABRASION RESISTANCE OF GLASS FIBER REINFORCED CEMENT MORTARS

Bihter GÖKÇER ^a, Servet YILDIZ ^b, Oğuzhan KELEŞTEMUR ^{c*}

^a Fırat Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü, Elazığ, Türkiye, bihtergokcer@gmail.com

^b Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye, syildiz@firat.edu.tr

^{c*} Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye, okelestemur@firat.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, farklı oranlarda cam lif ile takviye edilmiş harç numunelerinin aşınma direnci üzerine atık mermer tozu ilavesinin etkisi incelendi. Bu amaçla, 0.5 kg/m³ ve 1 kg/m³ oranlarında cam lif içeren çimento harçlarına filler malzeme ile hacimce %10, %20 ve %30 oranlarında yer değiştirecek şekilde atık mermer tozu ilave edildi. Elde edilen numuneler üzerinde ultrases geçiş hızı, kapiler su emme ve basınç dayanımı deneyleri yapılarak, aşınma deneyi sonrası meydana gelen değişimler belirlendi. Çimento harçlarında filler malzeme olarak atık mermer tozu kullanımı hem ekonomiklik hem de aşınma direnci bakımından olumlu kazanımlar sağlamıştır.

Anahtar Kelimeler: Harç, Cam Lif, Atık Mermer Tozu, Aşınma

Abstract

In this study, the effect of waste marble dust addition on the abrasion resistance of cement mortar mixtures was investigated. To this end, waste marble dust by substituting with filler material at levels of 10%, 20% and 30% by volume was added to the cement mortars containing glass fiber at levels of 0.5 kg/m³ and 1 kg/m³. Ultrasonic pulse velocity, sorptivity and compressive strength tests were carried out on the mortar specimens and changes occurred on the specimens after the abrasion test were determined. The use of waste marble dust in cement mortars as a filler material provided positive gains in terms of both economical and resistance to abrasion.

Keywords: Mortar, Glass Fiber, Waste Marble Dust, Abrasion

1.Giriş

İnsanlar, varoluşundan bu yana yaşam kalitesini artırmak amacıyla sürekli gelişim ve değişim içerisinde olmuş ve ihtiyaçlarını karşılamak için yeni arayışlara yönelmişlerdir. Bu amaçla ilk çağlardan beri doğada bulunan malzeme türleri üzerinde çeşitli tasarımlar yaparak daha efektif kullanımlar elde etmişlerdir. Günümüzde tüm teknik alanlarda olduğu gibi malzeme teknolojileri alanında da insanların ihtiyaç ve istekleri, malzemelerde yaşanan problemlere paralel olarak her geçen gün artmaktadır. Bu tür problemleri azaltmak ve talepleri karşılamak amacıyla araştırmacılar yeni malzeme türleri ve uygulamaları üzerinde çalışmakta, yeni tasarımlar ortaya koymaktadırlar [1].

Doğal hayatı korumak için yapılan çevresel çalışmaların en önemlisi, doğal kaynakların kullanımının azaltılmasını sağlayan atıkların geri dönüşümüdür. Beton üretiminde betonun dayanımı ve dayanıklılığı üzerine yapılan çalışmalarda değişik malzeme ve metotlar kullanılmaktadır. Kullanılan bu malzemelerden biride mermer tozudur. Mermerlerin düzgün geometrik şekil alabilmesi için kesilmesi gerekmektedir. Kesme işlemi sonunda mermer tozu ortaya çıkmaktadır. Mermer tozları sedimentasyon yöntemi ile çöktürülmekte veya doğrudan araziye bırakılmaktadır. Dolayısıyla çevre kirliliğinin azaltılması için mermer tozlarının farklı endüstri alanlarında değerlendirilmesi faydalı olacaktır [2].

Lifler, betonda mekanik özellikleri iyileştirmek amacı ile kullanılmaktadır. Oluşan çatlakların ani olarak yayılmasını engelleyerek, betonun sünek davranış göstermesini sağlayan lifler, oluşan deformasyonlarda betonun yük taşıyabilmesini sağlamakta ve enerji yutma kapasitelerini arttırmaktadır [3].

Beton günümüzde en çok kullanılan yapı malzemesidir. Betonun servis ömrü boyunca etkileyen çevresel etkiler fiziksel, kimyasal veya fizikokimyasal olabilir [4]. Bunların yanında bazı mekanik etkilerle de beton hasara uğrayabilir. Aşınma etkisi bu mekanik etkilerden biridir [5].

Aşınma, sürtünen yüzeylerin malzeme kaybı olarak tanımlanabilir [6]. Aşınma, miktarı malzemelerin türüne, sürtünen yüzeylerin biçimine ve sürtünme koşullarına bağlıdır [7]. Betonun aşınma dayanımını belirlemek için farklı deney yöntemleri vardır [5,6,8]. Bu yöntemlerde numuneye çeşitli şekillerde aşınma etkileri uygulanarak belirli numunedeki kalınlık veya ağırlık azalmaları belirlenir. Elde edilen sonuçlar kullanılan deney yöntemine göre değişmektedir. Seçilecek deney yönteminin betonun servis ömrü boyunca karşılaşıcağı aşınma etkisini yansıtacak bir yöntem olmalıdır.

Literatürde cam lif ve atık mermer tozunun bir arada kullanılmasıyla oluşturulan harç numunelerinin aşınma etkisi altındaki mekanik ve fiziksel özelliklerini inceleyen bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmada, farklı oranlarda cam lif ve atık mermer tozu katkılı harç numunelerinin aşınmaya maruz kaldıktan sonraki fiziksel ve mekanik özelliklerinde meydana gelen değişimler incelendi.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Harç numunelerinin hazırlanması amacıyla, agrega olarak Elazığ Palu yöresine ait yıkanmış 4mm'lik dere agregası kullanılmıştır. Kullanılan agreganın elek analizi değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Agreganın elek analizi

Elek Çapı (mm)	Elekten Geçen (%)
4	100
2	70.7
1	50
0,5	35.4
0,25	25

Çalışmada çimento olarak, Çimentaş Elazığ çimento fabrikasında üretilen CEM I 42.5 N tipi portland çimentosu kullanılmıştır.

Harç numunelerde lif katkısı olarak, Camelsan Sanayi A.Ş. tarafından üretilen kırılmış 6 mm'lik cam lif kullanılmıştır. Kullanılan cam life ait özellikler Tablo 2' de verilmiştir.

Tablo 2. Kullanılan cam life ait özellikler

Lif Çeşidi	Lif Boyu (mm)	Lif Çapı (µm)	Özgül Ağırlık	Elastisite Modülü (MPa)	Çekme Mukavemeti (MPa)
Cam	6	13	2,68	72000	1700

Çalışmada, Elazığ Alacakaya Mermer ve Maden İşletmesi San. ve Tic. A.Ş. den temin edilen mermer tozu kullanılmıştır. Atık

mermer tozunun fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 3' de verilmiştir.

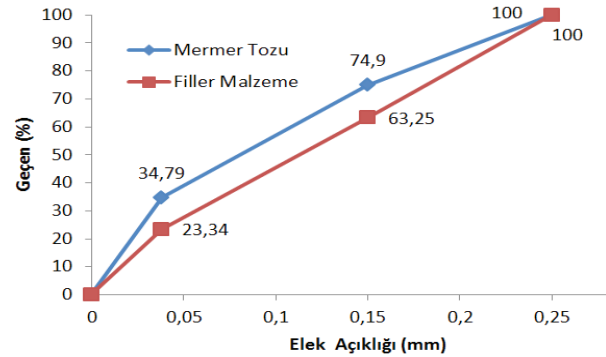
Filler malzemesi ile yer değiştirilerek kullanılan mermer tozu ve filler malzemesine ait granülometri eğrileri Şekil 1'de verilmiştir.

Harç numunelerin üretimi esnasında, artan su ihtiyacını karşılayabilmek amacıyla, Sika Yapı Kimyasalları A.Ş. tarafından üretilen, Sika ViscoCrete Hi-Tech 30 ürün kodlu akışkanlaştırıcı ve priz geciktirici katkı maddesi kullanılmıştır. Akışkanlaştırıcı ve priz geciktirici katkı maddesi deneylerde, üretici firma talimatlarına uygun olarak çimento ağırlığının %1 oranında kullanılmıştır.

Deneylerde karışım suyu olarak şebeke suyu kullanılmıştır.

Tablo 3. Kullanılan mermer tozunun özellikleri

Fiziksel Özellikler	
Mohs Sertliği	3.5-4
Shore Sertliği	54
Birim Hacim Ağırlığı (gr/cm ³)	2.69
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



Şekil 1. Kullanılan filler malzemenin ve mermer tozunun granülometri eğrileri

2.2. Metot

Karışım oranları TS EN 196-1 de belirtilen harç karışım esaslarına uygun olarak hazırlanmıştır. Cam elyaf bulunan numuneler (CE), mermer tozu bulunan numuneler (MT) olarak kodlanmıştır. Numunelere katılan mermer tozu %10, %20 ve %30 oranlarında filler malzeme ile hacimce yer değiştirilerek kullanılmıştır. Harç numunelerinin üretimi sırasında, karışıma 0.50 ve 1 kg/m³ oranlarında kırılmış 6 mm boyunda cam lif ilave edilmiştir. Karışıma tüm serilerde sabit olacak şekilde bağlayıcı miktarının %1'i oranında akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanılmıştır. Deneyde kullanılan malzemelerin karışım oranları Tablo 4' de verilmiştir.

Karışım esaslarına göre hazırlanan numuneler aşınma deneyi için 70.7mm x 70.7mm x 70.7mm'lik küp kalıplara yerleştirilmiştir. Kalıplardan çıkarılan harç numuneleri 28 gün boyunca 22±3°C kirece doymun suda kür edilmiştir. Kür süresini tamamlayan numuneler üzerinde aşınma deneyi öncesinde ve sonrasında olmak üzere ultrases geçiş hızı, kapiler su emme tayini ve basınç dayanımı tayini deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Tablo 4. Numunelere ait karışım oranları (kg/m³)

SERİ	Elyaf Oran	MERMER TOZU	AGREGA (0-0,25)	SU	ÇİMENTO	AGREGA (0,25-4)
CE0-MT0	0	0	407	221.4	450	1253.8
CE0-MT10		38.63	367	221.4	450	1253.8
CE0-MT20		77.25	325.4	221.4	450	1253.8
CE0-MT30		115.9	285.2	221.4	450	1253.8
CE0.5-MT0	0.5	0	407	221.4	450	1253.8
CE0.5-MT10		38.63	367	221.4	450	1253.8
CE0.5-MT20		77.25	325.4	221.4	450	1253.8
CE0.5-MT30		115.9	285.2	221.4	450	1253.8
CE1-MT0	1	0	407	221.4	450	1253.8
CE1-MT10		38.63	367	221.4	450	1253.8
CE1-MT20		77.25	325.4	221.4	450	1253.8
CE1-MT30		115.9	285.2	221.4	450	1253.8

Numuneler üzerinde ultrases geçiş hızı tayini deneyi ASTM C597-02'ye uygun olarak yapılmıştır. Ultrases geçiş hızı (1) numaralı denklem kullanılarak hesaplanmıştır.

$$V = \frac{S}{t} \times 10^3 \quad (1)$$

Burada;

V= Ses üstü dalga hızı (km/sn),

S= ses üstü dalga gönderilen yüzeyi ile dalganın alındığı yüzey arasındaki mesafe (m),

t= ses üstü dalganın numune üzerinden geçme süresi (µs).

Numuneler üzerinde kapiler su emme tayini deneyi TS EN 1015-18'e uygun olarak yapılmıştır. İlk olarak etüvde kurutulan numunelerin yan yüzeyleri parafin ile kaplanarak sadece alt yüzeyinden su emmesi sağlanmıştır. Harç numunelerinin tabanından itibaren suyun yüksekliği deney süresince 5mm olarak sabit tutulmuştur. Numuneler belirli zamanlarda (0, 5, 10, 20, 30, 60, 180, 360, 1440 dk.) tartılarak kapiler su emme katsayıları (2) numaralı denklem kullanılarak hesaplanmıştır [9,10].

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

Burada;

Q= Numunenin absorbe ettiği su miktarı (cm³),

A= suya temas eden yüzeyin alanı (cm²),

k= kapiler su emme katsayısı (cm/s^{1/2}),

t= zaman (sn).

Harç numuneleri TS 699'da belirtilen esaslara göre aşınma deneyine tabi tutulmuştur. TS-699'a göre sürtünme ile yüzey aşındırma deneyi, numunelerin kalınlıklarında ya da hacimlerinde meydana gelen kaybın ölçülmesi suretiyle yapılır. Yapılan deneysel çalışmada aşınma kaybı hacim azalmasının ölçülmesi yoluyla tayin edilmiştir. Deney numunelerinin her birinin önce hacimleri tayin edilmiştir. Bunun için deney numuneleri, içerisinde 20±5°C sıcaklıkta su bulunan bir kap içerisine yarısına kadar daldırılır. Bu durumda 1 saat bekletildikten sonra, 20 ± 5 mm kalınlıkta su ile örtülecek şekilde en az 24 saat süre ile su içerisinde bırakılır. Bu şekilde su ile doymun hale getirilen deney numuneleri sudan çıkarılarak Arşimet terazisinde su içerisinde 0.1gr hassasiyetle tartılır (A_{ds}). Bundan sonra deney numunesi üzerindeki su damlaları süngerle alınmış ve bekletilmemeksizin havada 0.1gr hassasiyetle tartılmıştır (A_{dh}). Deney numunesi hacmi (3)'de verilen denklemi yardımıyla hesaplanmıştır.

$$V_0 = A_{dh} - A_{ds} \quad (3)$$

V₀ = Deney numunesinin deneyden önceki hacmi (cm³)

A_{dh} = Deney numunesinin havadaki kütlesi (gr)

A_{ds} = Deney numunesinin sudaki kütlesi (gr)

Bulunan sonuçlar 0.1 cm³'e yuvarlatılarak kaydedilmiştir.

Sürtünme şeridi üzerine 20±0.5gr zımpara tozu (korund) serpilmiş ve deney numunesine çelik manivela aracılığıyla 30 kgf yük uygulanarak deney numunesinin sürtünme şeridine 0.6 kgf/cm²'lik bir basınç ile bastırılması sağlandıktan sonra cihaz çalıştırılıp disk harekete geçirilmiştir. Diskin dönme hareketi sırasıyla sürtünme şeridi dışına çıkan zımpara tozları deney aleti üzerinde yer alan, uygun bir tertibat ile sürtünme şeridine toplanmıştır. Her 22 devir sonunda otomatik olarak duran disk üzerindeki zımpara tozları ve aşınma ile deney numunesinden ayrılan kısımlar uygun bir fırçayla temizlendikten sonra sürtünme şeridi üzerine yeniden 20±0.5 gr zımpara tozu serpilmiştir. Deney numunesi düşey eksen etrafında 90° çevrilmek suretiyle 22'şer devirlik 20 aşındırma periyodu, yani toplam 440 devir uygulanmıştır.

Aşınma kaybı değeri numunelerde meydana gelebilecek hacim azalmasının ölçülmesi suretiyle tayin edildiği için deney numunesinin deneyden sonraki hacmi, deneyde önce yapıldığı gibi su ile doymun hale getirildikten sonra su içinde ve havada 0.1gr hassasiyetle tartılması yolu ile hesaplanmış ve bulunan sonuçlar 0.1cm³'e yuvarlatılarak kaydedilmiştir (V₁).

$$\Delta V = \frac{V_0 - V_1}{A} \text{ cm}^3 / 50 \text{ cm}^2 \quad (4)$$

Bulunan sonuçlar 0.01 cm³/50cm²'ye yuvarlatılarak belirtilmektedir. Burada;

ΔV : Numunenin Böhme yüzey aşınma kaybı değeri (cm³/50cm²)

V_0 : Numunenin deneyden önceki hacmi (cm³)

V_1 : Numunenin deneyden sonraki hacmi (cm³)

A : Numunenin aşınma uygulanan yüzünün alanı (cm²) olarak ifade edilir.

Deney, yaklaşık 50 cm² alan oluşturmak için 7x7x7cm³ hacme sahip küp numuneler üzerinde yapılmıştır. Sürtünme ile yüzey aşınması deneyi için Böhme Yüzey Aşındırma Aleti Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 2. Hassas Tartı ve Böhme Yüzey Aşındırma Aleti

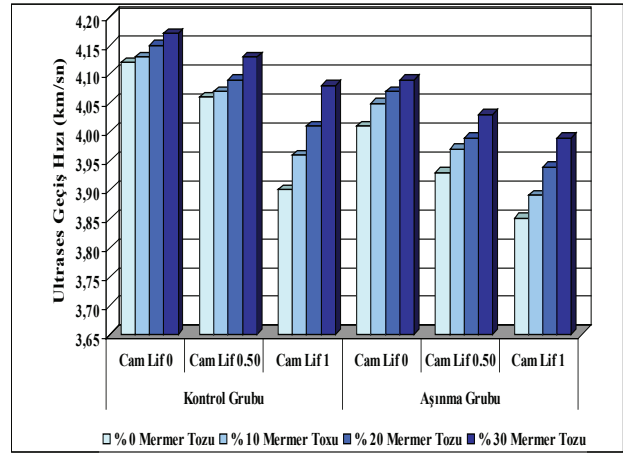
3. Bulgular ve Tartışmalar

3.1. Ultrases Geçiş Hızı Deney Sonuçları

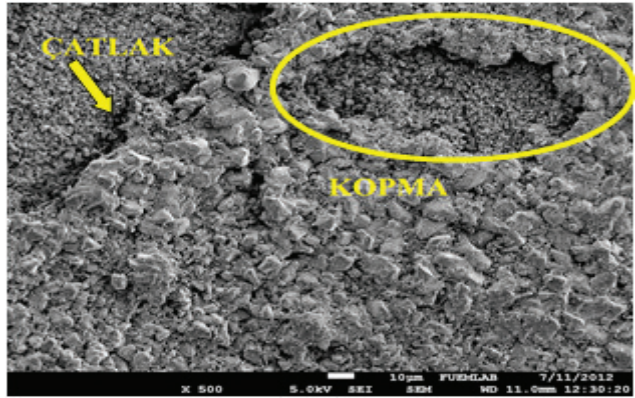
DeneySEL çalışmalarda elde edilen harç numunelere ait ultrases geçiş hızı değerleri Şekil 3'de verilmiştir.

Şekil 3'deki grafik incelendiğinde ultrases geçiş hızı değerlerinde aşınma sonrası azalma olduğu görülmüştür. Numunelerde oluşan kopmalar ve çatlaklar boşluk oluşumunu arttırmıştır. Boşluk miktarının artması, vericiden çıkan ses dalgalarının boşlukların etrafından geçme süresini arttırmış ve ultrases geçiş hızını azaltmıştır. Şekil 4'de yer alan taramalı elektron mikroskop (TEM) resminde numunelerde oluşan çatlaklar ve kopmalar gösterilmiştir.

Cam lifin artışı numunelerin ultrases geçiş hızını azaltırken, mermer tozu ultrases geçiş hızını arttırmıştır. En yüksek ultrases geçiş hızı değeri cam lifin bulunmadığı ve %30 mermer tozunun bulunduğu CE0-MT30 serisinde görülmüştür. En düşük değer ise cam lifin en yoğun olduğu ve mermer tozunun bulunmadığı CE1-MT0 serisinde belirlenmiştir. Aşınma numunelerinin ultrases geçiş hızı değerlerinde kontrol numunelerine göre %1.28-%3.20 değerleri arasında azalma olmuştur.



Şekil 3. Numunelerinin ultrases geçiş hızı değerleri

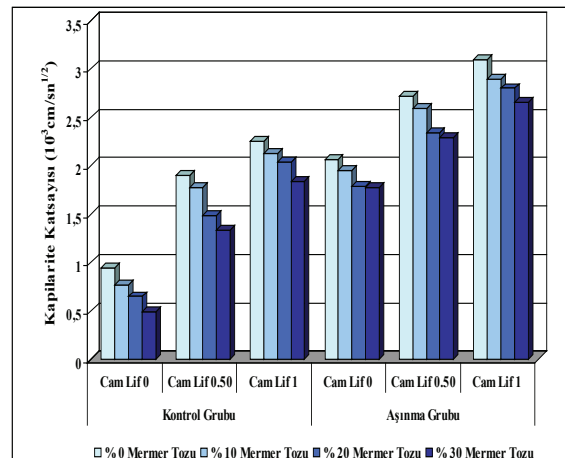


Şekil 4. Aşınma sonrası numuneye ait TEM görüntüsü

3.2. Kapiler Su Emme Deney Sonuçları

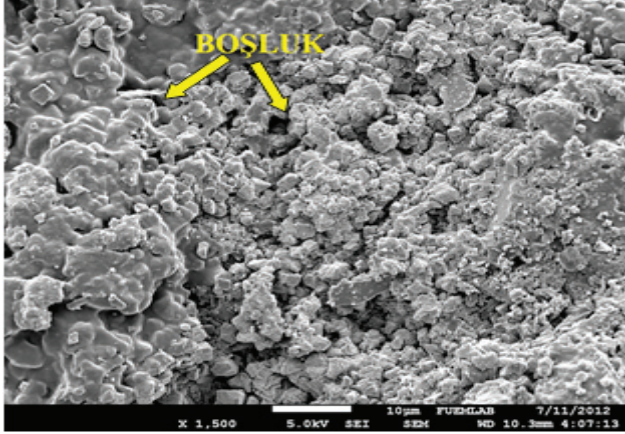
DeneySEL çalışmalarda elde edilen harç numunelere ait kapiler su emme katsayıları Şekil 5'de verilmiştir.

Şekil 5'deki grafikten de anlaşılacağı üzere, en yüksek kapilarite değerini cam lifin en yoğun olduğu ve mermer tozunun bulunmadığı CE1-MT0 serisi göstermiştir. En düşük kapilarite değeri ise CE0-MT30 serisinde yer almıştır. Aşınma numunelerinin kontrol numunelerine göre kapilarite katsayılarında %26.30-%72.32 değerleri arasında artış olmuştur.



Şekil 5. Numunelerinin kapilerite katsayısı değerleri

Aşınma sonrası numunelerin kapilarite katsayıları artmıştır. Şekil 5'deki grafik incelendiğinde numunelerin kapilarite değerleri cam lif miktarına bağlı olarak artarken, mermer tozunun artışıyla azalmıştır. Aşınmanın etkisiyle çatlaklar artmış ve kapilarite değerleri yükselmiştir. Şekil 6'da aşınma sonrası numunelerde oluşan boşluklar gösterilmiştir.

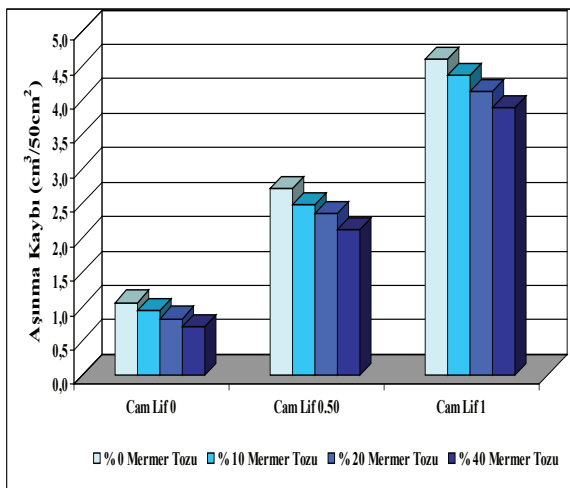


Şekil 6. Aşınma numunelerinde oluşan boşluklar

3.3. Aşınmaya Dayanıklılık Deney Sonuçları

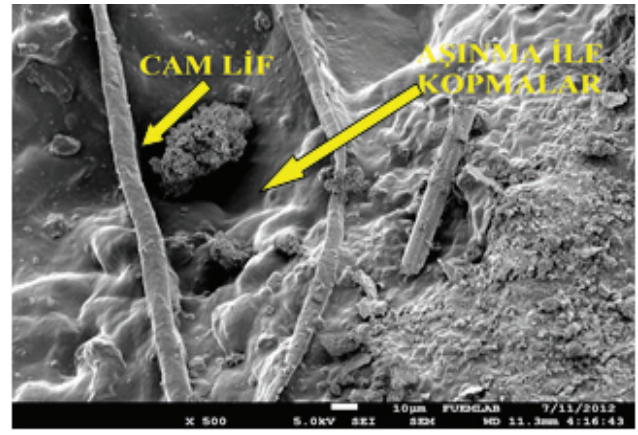
Deneysel çalışmalarda elde edilen harç numunelere ait aşınma kaybı değerleri Şekil 7'de verilmiştir.

Şekil 7'deki grafik incelendiğinde, aşınmaya maruz bırakılmış harç numunelerinin aşınma kayıpları, mermer tozunun artması ile azalırken, cam lif miktarının artmasıyla artış göstermiştir. Numunelerin yapısındaki cam lifin harçla yeterli aderansı sağlayamaması ile boşluklar oluşmuştur. Numunenin yapısının boşluklu olması ise aşınmaya karşı dayanımın azalmasına sebep olmuştur. Mermer tozunun artışı aşınma kaybını azaltmıştır. Mermer tozunun boşlukları doldurması malzemeyi daha dayanıklı hale getirmiştir.



Şekil 7. Aşınma kaybı değerleri

En fazla aşınmaya uğrayan numune cam lifin en yoğun olduğu ve mermer tozunun bulunmadığı CE1-MT0 serisidir. En az aşınma kaybını ise lifin bulunmadığı ve mermer tozunun en yoğun olduğu CE0-MT30 serisi göstermiştir.



Şekil 8. Aşınma sonrası numunelerin yüzeyinden alınan TEM görüntüsü

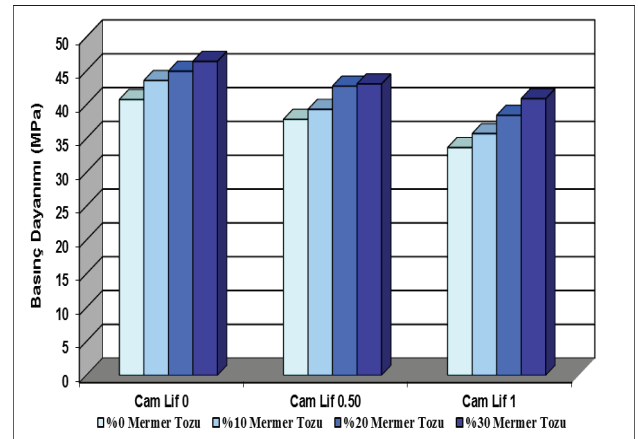
Şekil 8'den görüldüğü gibi numunelerde aşınma etkisiyle liflerin çapı azalmıştır. Lifler sürtünmenin etkisiyle incelenerek kopma durumuna gelmiştir. Numunelerde 0.47–4.60 cm³/50 cm² değerleri arasında aşınma dayanımını kaybı görülmüştür.

Ünal B., ve Köksal F., yapmış oldukları bir çalışmada benzer bir sonuç elde ederek, polipropilen lif içeren beton numunelerinin aşınma dirençlerinde azalma olduğunu ifade etmiştir [11].

Özbolat M., farklı agrega tipleri kullanarak yaptığı çalışmada ince malzeme oranı fazla olan numunelerin aşınma dayanımlarının daha yüksek olduğunu belirtmiştir [4]. Şekil 7'den de görüleceği üzere mermer tozunun artması harç numunelerinin aşınmaya karşı dayanıklılığını arttırmıştır.

3.4. Basınç Dayanımı Deney Sonuçları

Deneysel çalışmalarda elde edilen harç numunelere ait basınç dayanımı değerleri Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 9. Aşınma sonrası numunelerin basınç dayanımı değerleri

Şekil 9'dan anlaşılabacağı üzere, numunelerin aşınma sonrası basınç dayanımlarında cam lif miktarının artışına bağlı olarak azalma görülürken, mermer tozu miktarındaki artışa bağlı olarak yükselme meydana gelmiştir. Grafikte en yüksek basınç değerini cam lifin bulunmadığı ve mermer tozunun %30 olduğu CE0-MT30 serisi almıştır. En düşük basınç değerini ise CE1-MT0 serisi almıştır.

Uygunoğlu yaptığı çalışmada numunelerin ağırlık kayıpları ile basınç dayanımları arasında ilişki olduğunu, aşınma miktarı çok olan numunelerin basınç dayanımlarının da düşük olduğunu ifade etmiştir [13]. Yapmış olduğumuz çalışma neticesinde elde edilen veriler, literatürdeki çalışmalarla benzerlik göstermiştir.

4. Sonuçlar

- Numunelerin aşınma kayıpları cam lif miktarındaki artışa bağlı olarak artmıştır. Mermer tozu ilavesine bağlı olarak harç numunelerinin aşınma dayanımı arttırmıştır.
- Aşınma sonrası numunelerin ultrases geçiş hızlarında azalma olmuştur. Aşınmayla kopan parçalar harcın yapısında boşluk ve çatlak oluşturmuştur. Oluşan boşluklarda ultrases geçiş süresini azaltmıştır.
- Aşınma deneyi sonrası numunelerdeki kapilarite değerleri arttırmıştır. En yüksek kapilarite değerini cam lifin en yoğun olduğu CE1-MT30 serisi almıştır. En düşük kapilarite katsayısını ise mermer tozunun %30 bulunduğu CE0-MT30 serisi almıştır.
- Numunelerin aşınmaya dayanıklılıklarıyla basınçları arasında paralellik vardır. Aşınma dayanımı yüksek olan serilerin basınç dayanımları daha yüksektir. Cam lifin artışı basınç dayanımını azaltırken, mermer tozu arttırmıştır.

Kaynaklar

- [1]. Aydın, F., "Cam Lifi Takviyeli Plastik (GFRP) Kompozit ve Beton İle Üretilen Hibrit Yapı Elemanlarının Mekanik Performansının Araştırılması" Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2011).
- [2]. Terzi, S., Kardeşahin M., "Mermer Toz Atıklarının Asfalt Betonuna Karışımında Filler Malzemesi Olarak Kullanımı", İMO Teknik Dergi, 193: 2903-2922, (2003).
- [3]. Yıldız, S., ve Ulucan, Z. Ç., "Beton Borularda Cam Lif Katkısının Tepe Yük Dayanımına Etkisinin Araştırılması", Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 23, 267-271, (2008).
- [4]. Özbolat, M., "Sert Agregalı İle Üretilen Parketaş Üst Tabakasının Aşınmaya Karşı Dayanımının İncelenmesi" Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul Üniversitesi, (2005).
- [5]. Eriç, M., "Yapı Fiziği ve Malzemesi", Literatür Yayıncılık, İstanbul, 1994.
- [6]. JENNINGS, H.M., "Toward high performance cement based materials, new horizons in construction materials", ST. Louis, October, (1998).
- [7]. Postacioğlu, B., "Beton, Cilt-1, Bağlayıcı Maddeler", Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul, (1986).
- [8]. POPOVICS, Design of high strength cement based materials, Materials Science And Technology, April, 285-290, (1986).
- [9]. Goldman, A., and Bentur, A., "The Influence of Microfiller on Enhancement of Concrete Strength, Cement and Concrete Research", vol.23, pp.962-972, (1993).
- [10]. Atiş, C.D., and Bilim, C., "Wet and dry cured compressive strength of concrete containing ground granulated blast-furnace slag, Building and Environment", 42, 8, 3060-3065, (2007).
- [11]. Ünal, B., Köksal, F., "Polipropilen ve Çelik Liflerin Yol Kaplama Betonlarının Mekanik ve Durabilite Özelliklerine Etkisi".
- [12]. Uygunoğlu, T., "Hafif Agregalı Kendiliğinden Yerleşen Betonların Özellikleri", Doktora Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta (2008).

