

ATIK MERMER TOZU VE CAM LİF İÇEREN HARÇ NUMUNELERİNİN DONMA-ÇÖZÜLME ETKİSİ ALTINDAKİ DAVRANIŞLARI

Bihter GÖKÇER*, Servet YILDIZ, Oğuzhan KELEŞTEMUR

Özet

Bu çalışmada, farklı oranlarda cam lif ve atık mermer tozu kullanılarak üretilen harç numunelerinin donma-çözülme etkisine karşı dayanıklılıkları araştırıldı. Bu amaçla, değişik oranlarda cam lif içeren harç numunelerine filler malzeme ile ağırlıkça %10, %20 ve %30 oranlarında yer değiştirecek şekilde atık mermer tozu ilave edildi. Elde edilen numuneler üzerinde porozite, kılcal su emme, ultrases geçiş hızı, basınç dayanımı ve eğilmede çekme dayanımı deneyleri yapılarak donma-çözülme deneyi sonrası numunelerde meydana gelen değişimler belirlendi.

Anahtar Kelimeler: Cam Elyaf, Mermer Tozu, Harç, Donma-Çözülme

BEHAVİORS OF MORTAR SAMPLES WITH WASTE MARBLE POWDER AND GLASS FİBER UNDER FREEZE-THAW EFFECT

Abstract

In this study, freeze-thaw strength of mortars samples produced with various ratio glass fibre and waste marble dust were investigated. For this purpose, waste marble dust by substituting with filler material at levels of 10%, 20% and 30% by weight was added to mortar samples which reinforced with various ratio of glass fibre. Porosity, sorptivity, ultrasonic pulse velocity, tensile bending strength experiments were performed on the prepared mortar samples and changes occurred on the samples after the freeze-thaw experiment were determined.

Keywords: Glass Fibre, Marble Dust, Mortar, Freeze-Thaw

1. Giriş

Mermer işletmelerinde üretim ve imalat sonrası açığa çıkan ve değerlendirilemeyen mermer havuz çökelti malzemesi yapısal olarak filler malzemesine benzemektedir. Bu açıdan, havuz çökeltileri ve diğer kırıntı mermer atıklarından bilhassa havuz çökeltisi adı verilen malzemenin beton üretiminde kumun yanında belirli oranlarda kullanılmasının araştırılması ile ekonomiye ve çevre kirliliğini önlemek açısından yararlı olacağı düşünülmektedir. (Ünal, O., Demir, İ. ve Ergün, A.,2003)

Bilindiği gibi beton boşluklu bir malzemedir. Bu boşluklarda ya betonun üretilmesi sırasında kullanılan karma suyu ya da betonun geçirimsizliği nedeniyle dışarıdan içeriye girmiş su

* Fırat Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü, ELAZIĞ
E-posta: bihtergokcer@gmail.com

bulunmaktadır. Bu nedenle beton donma olayının etkisi altında kalmaya ve bunun sonucu olarak da hasar görmeye elverişli bir malzemedir. Betonun donmaya dayanıklı olması üzerinde yörenin iklim şartlarının büyük etkisi vardır. En elverişsiz koşullar geceleri donma olayının meydana gelmesi, gündüzleri de sıcaklığın sıfırın üstüne çıkması durumudur. Böyle bir durumda donma ve çözülme olayları yıl içerisinde birçok defa tekrarlanacak ve birkaç yıl sonra beton parçalanacaktır.(Ünal, O.,Uygunoğlu T. 2004)

Donma olayı zararlı etkisini, betonun bileşenlerinden olan agrega taneleri ve çimento hamuru fazlarının her ikisinde gösterir. Eğer donmaya dayanıklı bir beton elde etmek istiyorsak çimento hamurunun kompasitesini büyük, agreganın porozitesi küçük olan malzeme seçilmelidir. (Sun, W., 1999),(Erdoğan, T.Y., 2003).

Sertleşmiş ve suya doymun haldeki bir beton don etkisinde kalınca, çimento harcının içindeki kapiler boşluklardaki su donar ve yaklaşık %9 oranında genişir. Çözülme takip eden yeniden donma sonrasında bu boşluklar kümülatif olarak artar. Tekrarlı donma çözümler sonrası betonlarda dona dayanıklılığı belirleyen en önemli parametreler betonun doymunluk derecesi, boşluk miktarı ve boşluk tipidir. Suların bulunduğu boşluk çapı donma sıcaklığını belirleyen diğer bir faktördür. (Gönen T., Yazıcıoğlu S., Demirel B., 2007).

Literatürde cam lif ve atık mermer tozunun bir arada kullanılmasıyla oluşturulan harç numunelerinin donma-çözülme altındaki mekanik ve fiziksel özelliklerini inceleyen bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmada farklı oranlarda cam lif ve atık mermer tozu katkılı harç numunelerinin donma-çözülme etkisi altındaki fiziksel ve mekanik özellikleri incelendi. Deney öncesi numunelerin özelliklerine göre gösterdikleri değişimler belirlendi.

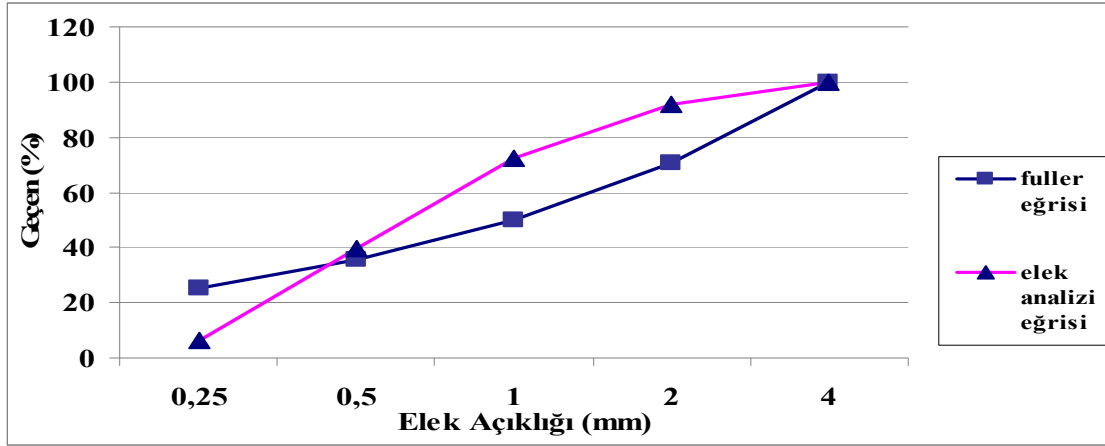
2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Harç numunelerinin hazırlanması amacıyla, agrega olarak Elazığ Palu yöresine ait yıkanmış, 4mm'lik dere agregası kullanılmıştır. Kullanılan agreganın fuller parabolüne göre ayrılışı ve granülometri eğrisi sırasıyla Tablo 1 ve Şekil 1'de verilmiştir.

Tablo1. Fuller parabolüne göre 5000 gr agreganın ayrılışı

Elek Numarası	Fuller oranı	Fullere Göre Agregası Miktarı
4 mm'lik	%29	1450gr
2mm 'lik	%21	1050gr
1mm'lik	%15	750gr
0,5µm'lik	%10	500gr
0,25µm'lik	%25	1250gr



Şekil 1. Kullanılan agreganın granülometri eğrisi

Çalışmada çimento olarak, Çimentoş Elazığ çimento fabrikasında üretilen CEM I tipi PÇ 42,5 N Portland çimentosu kullanılmıştır. Kullanılan çimentoya ait kimyasal ve fiziksel özellikler Tablo 2' de verilmiştir.

Tablo 2. Kullanılan çimentonun özellikleri

Kimyasal Kompozisyon (%)		Fiziksel Özellikler	
SO ₃	2,69	Özgül Ağırlık (mg/m ³)	3,12
MgO	2,1	Özgül Yüzey (cm ² /gr)	3749
Cl	0,005	Priz Başlangıcı (Dakika)	161
Serbest Kireç	0,5	Priz Sonu (Saat)	04,20
Çözünmeyen Kalıntı	0,26	Su İhtiyacı (Vicac Suyu) (%)	29,6
Kızdırma Kaybı	1,58	Hacim Sabitliği (mm)	0,4
Eşdeğer Alkali (Na ₂ O+0,658K ₂ O)	-	2Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	22,4
		7 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	39,4
		28 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	51

Beton numunelerde lif katkısı olarak, Camelsan Sanayi A.Ş. tarafından üretilen kırılmış 6 mm'lik cam lif kullanılmıştır. Kullanılan cam life ait özellikler Tablo 3' de verilmiştir.

Tablo 3. Kullanılan cam life ait özellikler

Lif Çeşidi	Lif Boyu (mm)	Lif Çapı (µm)	Özgül Ağırlık (mg/m ³)	Elastisite Modülü (MPa)	Çekme Mukavemeti(MPa)
Cam	6	13	2,68	72000	1700

Çalışmada atık mermer tozu katkısı olarak, Elazığ Alacakaya Mermer ve Maden İşletmesi San. ve Tic. A.Ş. tarafından üretilen iki ayrı mermer türünün (Elazığ vişne, Hazar bej) üretimleri sırasında açığa çıkan sulu atıklar kurutulup öğütülerek kullanılmıştır. Atık mermer tozu olarak kullanılacak ürünün elde edildiği mermer malzemelerin fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 4' de verilmiştir.

Tablo 4. Mermerin fiziksel ve mekanik özellikleri

Elazığ Vişne Mermeri		Hazar Bej Mermeri	
Mohs Sertliği	3,5-4	Mohs Sertliği	3-4
Shore Sertliği	53	Shore Sertliği	55
Birim Hacim Ağırlığı (gr/cm ³)	2,69	Birim Hacim Ağırlığı (gr/cm ³)	2,69

Ağırlıkça Su Emme (%)	0,7	Ağırlıkça Su Emme (%)	0,14
Görünür Gözeneklilik (%)	1,86	Görünür Gözeneklilik (%)	0,36
Tek Eksenli Basınç Day. (MPa)	94,5	Tek Eksenli Basınç Day. (MPa)	61,4
Çekme Dayanımı (MPa)	8,54	Çekme Dayanımı (MPa)	5,65
Eğilme Dayanımı (MPa)	13,50	Eğilme Dayanımı (MPa)	14
Darbe Dayanımı (MPa)	1,2	Darbe Dayanımı (MPa)	2,0

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 Elazığ şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

2.2. Metot

Deneylerde kullanılan 40mm x 40mm x 160mm' lik prizmatik ve 50mm x 50mm x 50mm'lik küp harç numuneleri, TS EN 196-1 'de belirtilen harç karışım esaslarına göre hazırlanmıştır. Mermer tozu bulunan numuneler (MT), Cam lif bulunan harç numuneleri (CE) olarak kodlanmıştır. Karışıma giren kum uygun eleklerde yıkanıp, etüvde 105±5 °C kurutulup, fuller parabolüne göre ayrılmıştır. Karışım hesabında kullanılmak üzere su/çimento oranı olarak tüm seriler için 0.50 olarak belirlenmiştir. Hazırlanan harç numunelerinin üretimi sırasında, karışıma 10, 20 kg/m³ oranlarında kırılmış 6 mm boyunda cam lif ilave edilmiştir. Ayrıca harç karışımlarına filler malzeme ile ağırlıkça %10, %20 ve %30 oranlarında yer değiştirecek şekilde atık mermer tozu ilave edilmiştir. Her seri için 5 adet numune hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelerin karışım oranları Tablo 5' de verilmiştir.

Tablo.5 Deney için hazırlanan numunelere ait karışım oranları (kg/m³)

SERİLER	SERİNİN ADI	CAM ELYAF	MERMER TOZU	AGREGA (0-0,25)	AKIŞKANLAŞTIRICI	SU	ÇİMENTO	AGREGA (0,25-4)
1	CE0-MT0	0	0	372,79	5,86	293	586	1757,81
2	CE0-MT10		43,95	395,55	5,86	293	586	1757,81
3	CE0-MT20		87,9	351,6	5,86	293	586	1757,81
4	CE0-MT30		131,85	307,65	5,86	293	586	1757,81
5	CE10-MT10	10	43,95	395,55	5,86	293	586	1757,81
6	CE10-MT20		87,9	351,6	5,86	293	586	1757,81
7	CE10-MT30		131,85	307,65	5,86	293	586	1757,81
8	CE20-MT10	20	43,95	395,55	5,86	293	586	1757,81
9	CE20-MT20		87,9	351,6	5,86	293	586	1757,81
10	CE20-MT30		131,85	307,65	5,86	293	586	1757,81

Kalıplardan çıkarılan harç numuneleri 28 gün boyunca 22 ± 3 °C kirece doymun suda kür edilmiştir. Kür süresini tamamlayan numuneler üzerinde donma-çözülme sonrası değişimleri görmek için deney öncesinde ve sonrasında olmak üzere porozite tayini, ultrases geçiş hızı, kapiler su emme tayini, eğilmede çekme dayanımı deneyi ve basınç dayanımı deneyi gerçekleştirilmiştir. Donma – çözülme deneyi ASTM C 666'ya uygun olarak -20 ± 2 °C donma, oda sıcaklığında 20 ± 2 °C suda çözülme şeklinde yapılmıştır. Donma ve suda çözülme 1 çevrim olarak kabul edilmiş ve numunelere 30 çevrim uygulanmıştır.

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).

Kür süresini tamamlayan numuneler, kür havuzundan çıkarılarak TS EN 772–4' e uygun olarak porozite tayini deneyine tabi tutulmuştur. Bu amaçla, numunelerin doymun yüzey kuru ağırlığı (W_{dyk}), su altındaki ağırlığı (W_{su}) ve etüv kurusu ağırlığı (W_{kuru}) belirlenmiştir. (2) numaralı denklem kullanılarak numunelerin porozite değerleri elde edilmiştir.

$$P = \frac{(W_{dyk} - W_{kuru})}{(W_{dyk} - W_{su})} 100 \quad (2)$$

Burada;

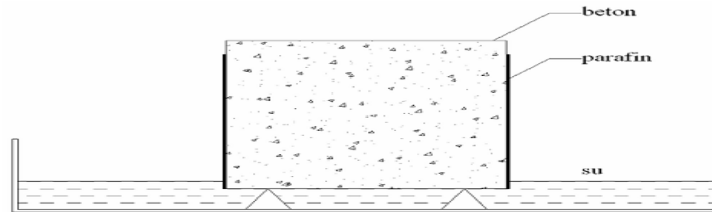
P = Porozite (%),

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

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

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

Numuneler üzerinde kapiler su emme tayini deneyi TS 4045'e uygun olarak yapılmıştır. İlk olarak etüvde kurutulan numunelerin yan yüzeyleri parafin ile kaplanarak sadece alt yüzeyinden su emmesi sağlanmıştır. Suyu yerleştirilen numuneler şematik olarak Şekil 2' de gösterilmiştir. 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 (3) numaralı denklem kullanılarak hesaplanmıştır.



Şekil 2. Kapiler su emme deney düzeneği

$$\frac{Q}{A} = k\sqrt{t} \quad (3)$$

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).

40mm x 40mm x 160mm boyutunda hazırlanan prizmatik numuneler üzerinde, TS EN 196-1' e uygun olarak eğilmede çekme dayanımı tayini deneyi yapılmıştır. ELE Autotest test cihazında yapılan deney esnasında uygulanan yükleme hızı 0,05 kN/sn olacak şekilde sabit tutulmuştur.

50 x 50 x 50 mm³'lük küp numuneler üzerinde, TS EN 196-1' e uygun olarak basınç dayanımı tayini deneyi yapılmıştır. ELE Autotest test cihazında yapılan deney esnasında uygulanan yükleme hızı 2,4 kN/sn olacak şekilde sabit tutulmuştur.

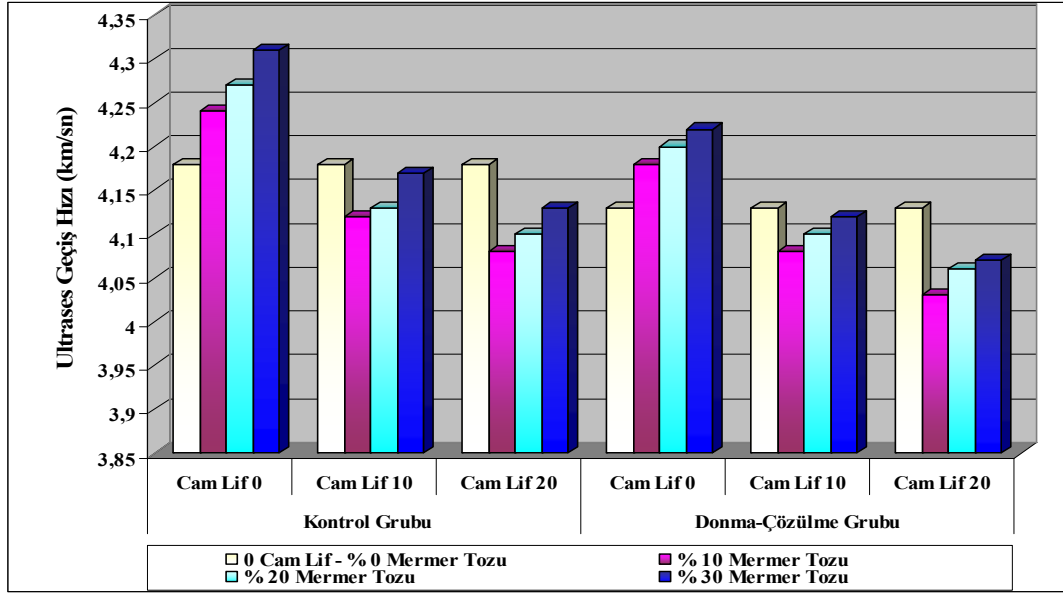
ASTM C666' ya uygun olarak numuneler üzerinde donma-çözülme deneyi yapılmıştır. Harç numuneleri suya doymun hale getirilmiş ve donma-çözünme deneyi için deney aletine yerleştirilmiştir. ASTM C666' ya uygun olarak, - 20±2 °C' de dondurularak, oda sıcaklığındaki 20±2 °C' de suda çözdürülmüştür. Donma ve suda çözülme 1 çevrim olarak kabul edilmiş ve numunelere 30 çevrim uygulanmıştır.(ASTM C666)

3.Bulgular ve Tartışma

3.1 Ultrases Geçiş Hızı Tayini

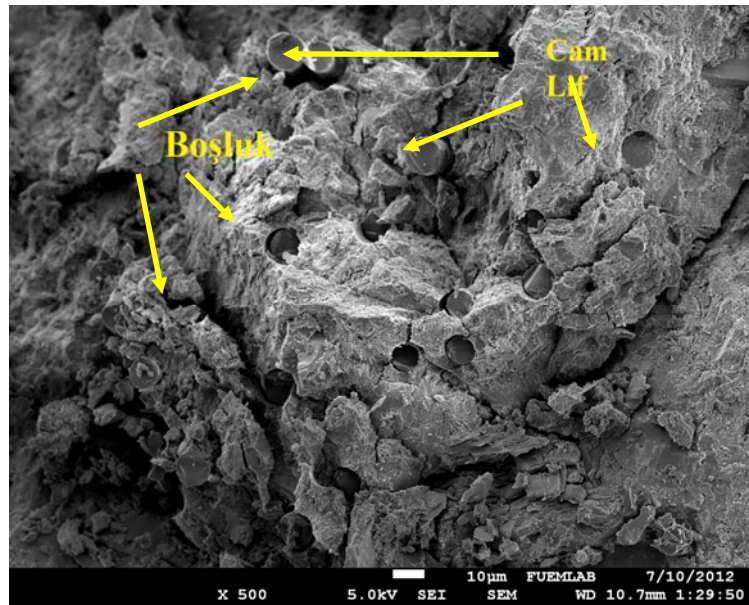
Elde edilen harç numunelerine ait ultrases geçiş hızı tayini deney sonuçları Şekil 1' de grafik olarak gösterilmiştir.

Şekil.1'den görüleceği üzere, donma-çözülme etkisinde kalan harç numunelerinin ultrases değerleri, cam lif oranındaki artışa bağlı olarak azalmıştır. Atık mermer tozu oranındaki artışa bağlı olarak ise ultrases geçiş hızı değerleri yükselmiştir. Şekil 2'de ki SEM fotoğrafından görüldüğü gibi cam lifin harç ile yeterli aderansı sağlayamamasından dolayı harcın içinde boşluklar oluşmaktadır. Harcın içinde boşluk veya çatlak gibi kusurların olması durumunda ultrases dalgası bunların çevresinden dolaşmakta ve alıcı noktaya varış süresi uzamakta, böylece ultrases geçiş hızı azalmaktadır.



Şekil 1 . Donma-Çözülme Sonrası Ultrases Geçiş Hızı Değerleri

Şekil.1'deki grafikten görüleceği üzere cam lifli serilerin ultrases geçiş hızı değerleri, lifsiz serilerden daha düşüktür. En düşük ultrases hızı cam lifin en yoğun olduğu, cam lif 20, mermer tozu %10 olan CE20-MT10 serisinde olduğu görülmüştür. Cam lif harcın ultrases değerini azaltmasına rağmen, grafikte mermer tozunun artmasıyla ultrases geçiş hızı değerlerinin arttığı görülmektedir. Bu durum mermer tozu tane boyutunun 250µm'den daha küçük tane boyutuna sahip olması nedeniyle harcın içindeki boşlukları daha fazla doldurmasından kaynaklanmaktadır. En yüksek ultrases geçiş hızının %30 mermer tozunun bulunduğu serilerde olduğu görülmüştür. En yüksek ultrases geçiş hızı değeri ise cam lif 0, mermer tozu %30 olan CE0-MT30 serisinde görülmüştür.



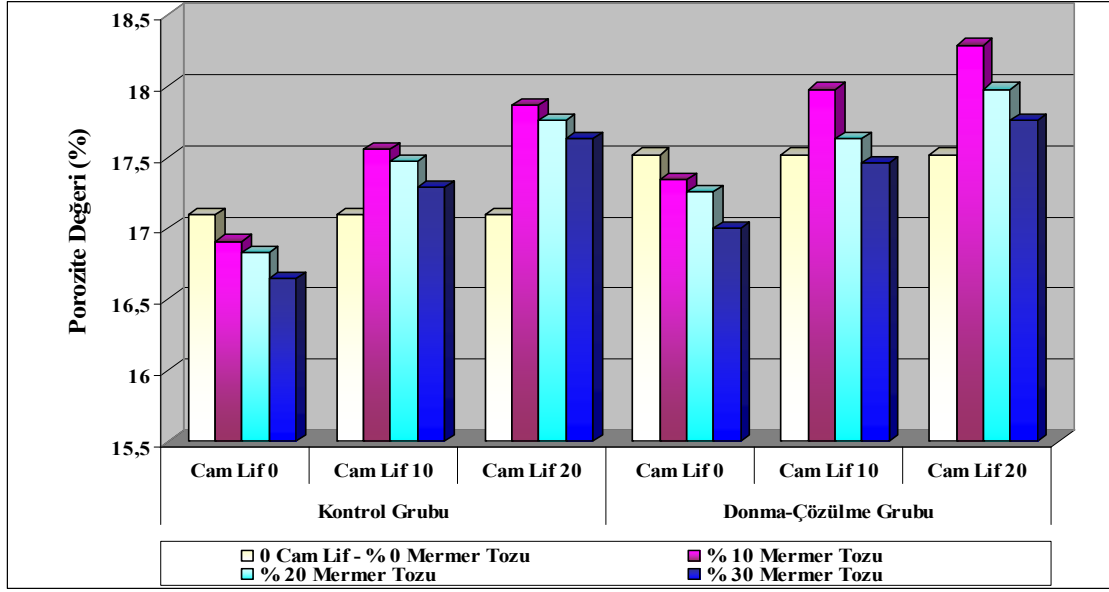
Şekil 2. Cam lif ve mermer tozu katkılı harç numunelerinin SEM görüntüsü

Şekil.1'deki grafik incelendiğinde mermer tozu ve cam lif katkılı harç numunelerinin ultrases geçiş hızı değerlerinin donma-çözülme çevrimlerinden olumsuz etkilendikleri, bu nedenle de

ultrases geçiş hızı değerlerinde kontrol numunelerine göre %0,48 - %2,09 arasında azalma olduğu gözlenmiştir. Yıldırım S. T. ve Ekinci C. E. donma-çözölmeye tabi tuttıkları lifli betonlarda lifin, betonlarda ultrases geçiş hızını yavaşlattığını belirtmişlerdir. (Yıldırım S. T., Ekinci C. E, 2006). Yaptığımız bu çalışmada da cam lif katkısının harç numunelerinde ultrases geçiş hızını azalttığı görölmüştür.

3.2. Porozite Tayini

Porozite deneyi sonucu elde edilen veriler Şekil 3’de grafik olarak gösterilmiştir.



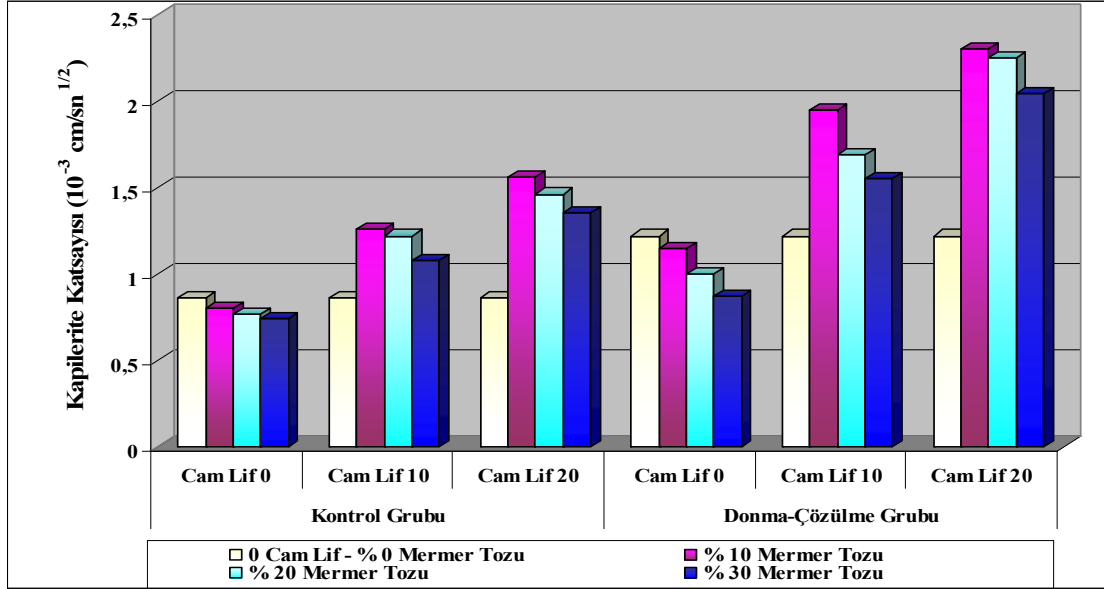
Şekil 3 . Donma-Çözölme Sonrası Numunelerin Porozite Değeri

Donma-çözölme deneyinde, donan suyun hacmi yaklaşık %9 artar. Kılcal boşluklarda bulunan suyun boşluk hacminin sadece bir bölümünü doldurması durumunda, donan suyun genişleyebileceği boş bir hacim olur. Harcın suya doymun halde olması durumunda ise tüm boşluk suyla dolu olduğu için, oluşan hacim artışı sonucu buz, boşluk çeperlerine basınç uygular. Sıcaklığın artıp buzun çözölmesiyle de çeperlere etkiyen bu basınç ortadan kalkar ve numunenin yapısında boşluklar ve çatlaklar oluşur (Pigeon M. and Pleau, R., 1995). Suya doymun hale getirerek donma-çözölme çevrimine maruz bıraktığımız mermer tozu ve cam lif katkılı harç numunelerinin, donma-çözölme sonrasında yapısında oluşan çatlaklar ve boşluklar nedeniyle porozite değerlerinde artış meydana gelmiştir. Şekil.3’deki donma-çözölme sonrası porozite grafiği incelendiğinde, cam lif katkısının artışı ile harç numunelerinin porozite değerlerinde de artış görölmüştür. Bu durum cam lifin boşluklu yapı oluşturmasından kaynaklanmaktadır. Porozite grafiğinde en yüksek değeri, cam lifin en yoğun olduğu ve %10 mermer tozunun bulunduğu CE20-MT10 serisi almıştır. Mermer tozunun artışı harç numuneleri üzerinde, cam lif artışının tam tersi bir etkide bulunarak, harç numunelerinin porozite değerlerini düşürmüştür. Mermer tozu, tane boyutunun küçük olması nedeniyle boşlukların dolmasını, harcın daha yoğun bir hal almasıyla da porozite değerlerinin düşmesini sağlamıştır. En düşük porozite değerini cam lifin 0, mermer tozunun %30 olduğu CE0-MT30 serisi almıştır. Donma-çözölmenin olumsuz etkisi ile, deney numunelerinin porozite değerlerinde, kontrol numunelerine göre %0,12- %2,30 değerleri arasında artış meydana gelmiştir. Topçu İ.B., Canbaz M.,yaptıkları çalışmalarında, donma-çözölmenin etkisiyle betondaki zayıf olan yapıların parçalanarak gözenekli bir yapı oluşturduğunu,

gözeneklerin artmasıyla da porozite değerinin arttığını belirtmişlerdir.(Topçu İ.B., Canbaz M., 2004).

3.3. Kapiler Su Emme Tayini

Kapiler su emme deneyi sonucu elde edilen veriler Şekil 4' de grafik olarak gösterilmiştir.

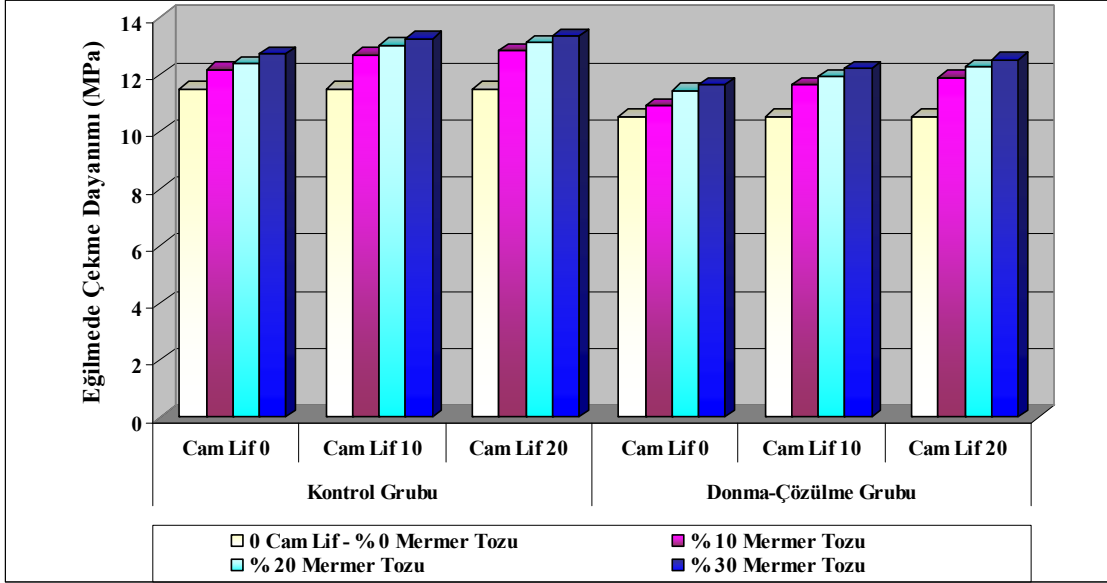


Şekil 4: Donma-Çözülme Sonrası Kapiler Su Emme Miktarları

Donma – çözülme deneyinde çimento harcının içindeki kapiler boşluklardaki su donar ve yaklaşık %9 oranında genişir. Çözülme takip eden yeniden donma sonrasında bu boşluklar kümülatif olarak artar. (Baradan, B., Yazıcı, H.,2002). Şekil 4'deki grafik incelendiğinde donma-çözülmenin etkisiyle ve cam lifin artmasıyla harç numunelerinin kapilerite değerleri de artmaktadır. Bu durum cam lifin harç ile yeterli aderansı gösterememesi ve donma-çözülme sonucu kapiler boşlukların artmasından kaynaklanmaktadır. Kapiler su emme grafiğinde, mermer tozunun artması, kapilerite katsayısının azalmasına neden olmuştur. En düşük kapilerite değerini cam lifin bulunmadığı ve mermer tozu %30 olan CE0-MT30 serisi almıştır. En yüksek kapilerite değerini ise cam lifin en yoğun ve mermer tozunun %10 olduğu CE20-MT10 serisi almıştır. Donma-çözülme maruz kalmış harç numunelerinin kapilerite değerleri, kontrol numunelerine göre %14,94 - %35,38, arasında artış göstermiştir. Gönen, T., Yazıcıoğlu, S., Demirel, B.'de yaptıkları çalışmada, betonda donma- çözülme sonrası kapiler su emmenin arttığını belirtmişlerdir (Gönen, T., Yazıcıoğlu, S., Demirel, B., 2007).

3.4. Eğilmede Çekme Dayanımı

Hazırlanan harç numuneleri üzerinde yapılan eğilmede-çekme dayanımı deneyi neticesinde elde edilen veriler grafik olarak Şekil 5'de gösterilmiştir.

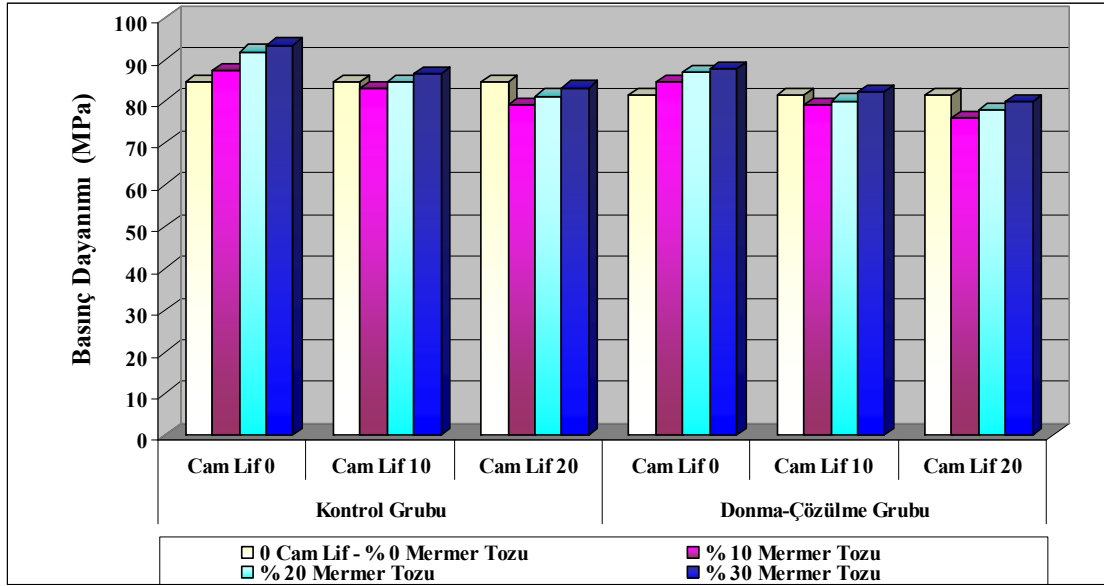


Şekil 5. Donma –Çözülme Sonrası Eğilmede Çekme Dayanımı Değerleri

Şekil 5'deki grafik incelendiğinde, cam lif ve mermer tozu oranının artmasıyla, harç numunelerinin eğilmede çekme dayanımları artmıştır. Donma-çözölmeye maruz kalmış harç numuneleri, en yüksek eğilmede çekme dayanımı değerini cam lifin ve mermer tozunun en yoğun olduğu CE20-MT30 serisinde almıştır. En düşük eğilmede çekme dayanımı değerini ise cam lifin ve mermer tozunun bulunmadığı CE0-MT0 serisi göstermiştir. Ekinciöglü, Ö., kısa ve uzun liflerin birlikte kullanıldığı uygulamalarda kısa liflerin önce mikro çatlakları engelleyerek çekme dayanımını arttıracaklarını, çatlaklar makro düzeye geldiğinde de uzun liflerin kompozite süneklik sağlayacağını, bunun sonucu olarak da, betonun çekme dayanımının arttığını ifade etmiştir.(Ekinciöglü, Ö.,2002). Yaptığımız çalışmada da lif katkısının, mermer tozu ve cam lif katkılı harç numunelerinde eğilmede çekme dayanımını artırıcı etki yaptığı görölmüştür. Benzer şekilde Yıldız S.,'de cam lif katkılı beton borular üzerinde yaptığı çalışmada lif katkısının boruların eğilmede çekme dayanımını arttırdığını belirtmiştir. (Yıldız, S.,1998). Şekil.5'deki grafikte, deney numunelerinin, kontrol numunelerine göre eğilmede çekme dayanımlarında % 6,28 - %10,41 yüzdeleri arasında azalma olmuştur. Bu durum donma-çözölmünün harç üzerindeki olumsuz etkisinden kaynaklanmaktadır.

3.5. Basınç Dayanımı

Cam lif ve atık mermer tozu katkılı harç numunelerine ait basınç dayanımı deney sonuçları grafik olarak Şekil 6' da gösterilmiştir.



Şekil 6. Donma-Çözülme Sonrası Numunelerin Basınç Dayanımı Değerleri

Şekil.6'da mermer tozunun artması ile harç numunelerinin basınç dayanımı değerlerinin de arttığı görülmektedir. Mermer tozunun boşlukları doldurmasıyla, harç daha yoğun ve geçirimsiz hal almaktadır. Bu durumda dayanımı arttırmaktadır. Harç numunelerinin en yüksek basınç dayanımı değerini aldığı seri, cam lifin bulunmadığı ve %30 mermer tozunun bulunduğu CE0-MT30'dur. Mermer tozunun basıncı arttırıcı etkisine karşı, lif miktarının artışı harç numunelerinde, basınç dayanımı değerinde azalma olmasına sebep olmaktadır. Cam lifin harç numunesiyle yeteri kadar aderans sağlayamaması ve donma-çözülmenin harca olumsuz etkide bulunması basınç dayanımı değerlerinin düşmesine sebep olmaktadır. En düşük basınç dayanım değerini cam lifin en yoğun olduğu CE20-MT10 serisi göstermektedir. Yıldız S., Demirli İ. H . ve Keleştemur, O., kırmataşla ürettikleri betonda, donma-çözülme etkisiyle basınç dayanımının düştüğünü belirtmişlerdir. (Yıldız S., Demirli İ. H . ve Keleştemur, O., 2006).

Şekil 6'daki grafik incelendiğinde, donma-çözülme mermer tozu ve cam lif katkılı harç numunelerinin basınç dayanımı değerlerini olumsuz yönde etkilemiştir. Numunelerin basınç dayanımlarında, kontrol numunelerine göre %3,84 - %6,34 değerleri arasında azalma meydana gelmiştir. Topçu , İ. B.,Canbaz M.' de yaptıkları çalışmada donma-çözülmenin basınç dayanımını azaltıcı bir etkisi olduğunu belirtmişlerdir.(Topçu , İ. B.,Canbaz M., 2008).Yine benzer şekilde Ünal O., ve Uygunoğlu T.'da yaptıkları çalışmada donma-çözülmenin etkisiyle basınç dayanımının azaldığını belirtmişlerdir. Yapmış olduğumuz bu çalışma neticesinde elde edilen veriler literatür ile paralellik göstermektedir.

4. Sonuçlar

- Cam lif ve mermer tozu katkılı harç numunelerinde, cam lif oranının artışına bağlı olarak porozite, kapilerite ve eğilmede çekme dayanımı değerlerinde artma, ultrases geçiş hızı ve basınç dayanımı değerlerinde ise azalma olduğu belirlenmiştir.
- Harç numunelerindeki mermer tozu miktarının artışına bağlı olarak porozite değeri, ultrases geçiş hızı, basınç dayanımı ve çekme dayanımı değeri artmıştır. Bu durum, çok küçük tane boyutuna sahip olan mermer tozunun harç numunelerindeki boşluk miktarını azaltmasından kaynaklanmaktadır.

- Yapılan bu çalışma neticesinde, donma-çözölmeye maruz kalan cam lif ve mermer tozu katkılı harç numunelerinin, porozite ve kılcal su emme değerlerinin arttığı, ultrases geçiş hızı, eğilmede çekme dayanımı ve basınç dayanımı değerlerinin ise azaldığı görölmüştür.
- Cam lif katkılı harç numunelerinde atık mermer tozu kullanımının donma-çözölmeye sonrası numunelerde meydana gelen dayanım kaybının daha az olmasına neden olmuştur.

Teşekkür

Bu çalışmaya TEF.11.11 nolu proje kapsamında maddi destek sağlayan FÜBAP (Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri) birimine teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Alacakaya Mermer ve Maden İşletmesi San. ve Tic. A.Ş.
 Alyamaç, K.E. ve İnce R., (2009). "A preliminary concrete mix design for SCC with marble powders" *Construction and Building Materials*. 23: 1201-1210.
 ASTM C 666-92. (1999). Standard Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing, Volume 04.02. Concrete and Aggregates. American Society
 ASTM, (2002). ASTM C597-83:Standard Test MethodforPulseVelocity Through Concrete. Philadelphia.
 Baradan, B., Yazıcı, H., Ün, H., Betonarme Yapılarda Kalıcılık (Durabilite), DEÜ Mühendislik Fak. Yayınları, İzmir, 2002.
 Dursun Ö. F., Türk K.,ve Yıldırım M. Ş., " Beton Harcının Dayanım ve Dona Dayanıklılığının İyileştirilmesi için Farklı Tür Puzolan Kullanımı" Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Der. 17 (3), 481-486, 2005.
 Ekincioğlu, Ö.,"Karma Lif İçeren Çimento Esaslı Kompozitlerin Mekanik Davranışının İncelenmesi."Sika Teknik Bülten,10-11, 2002/3.
 Erdoğan, T.Y., (2003). Beton, METU Press, I. Baskı, Ankara, 66- 67, 191-198, 652-677.
 Gönen, T., Yazıcıoğlu, S., Demirel, B., " Mineral Katkıların Donma- Çözölme Sonrası Betonun Bazı Özelliklerine Etkisi", TÇMB 3rd International Symposium "Sustainability in Cement and Concrete", 21-23 Mayıs 2007, s.757-767, 2007.
 Pigeon M. and Pleau, R., "Durability of Concrete In Cold Climates", E&FN Spon, 244 pp, 1995, ISBN 0-419-19260-3.
 Subaşı, S." Portland Kompoze Çimentolu Betonlarda Uçucu Kül İkamesinin Donma-Çözölme Dayanıklılığına Olan Etkisi" ISSN:1306-3111 e-Journal of New World Sciences Academy 2009, Volume: 4, Number: 1, Article Number: 2A0007.
 Sun, W. etc, (1999). Damage and Damage Resistance Of High Strength Concrete Under The Action Of Load And Freeze-Thaw Cycles, Cement and Concrete Research, Vol.29.
 Topçu , İ. B.,Canbaz M., " Silis Dumanlı Betonlarda Donma-Çözölme Etkisinin İncelenmesi" Beton 2004 Kongresi, Haziran 2004.
 Topçu , İ. B.,Canbaz M.," Alkali Aktive Edilmiş Yüksek Cürüflü Harçlarda Donma Çözölme" Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Müh.Mim.Fak.Dergisi C.XXI, S.2, 2008.
 Topçu I. B. , Bilir T. , Uygunoğlu T.,"Effect of waste marble dust content as filler on properties of self-compacting concrete" *Construction and Building Materials* 23 (2009) 1947–1953.
 TS 4045, 1985. Yapı Malzemelerinde Kapiler Su Emme Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
 Türk Standartları Enstitüsü: TSE, (2000). TS EN 772-4: Kagir Birimler- Deney Metotları - Bölüm 4: Tabii Tas Kargir Birimlerin Toplam ve Görünen Porozitesi İle Boşluksuz ve Boşluklu Birim Hacim Kütlesinin Tayini. Ankara.

Türk Standartları Enstitüsü: TSE, (2002). TS EN 196-1: Çimento Deney Metotları-Bölüm 1: Dayanım. Ankara.

Ünal O., ve Uygunoğlu T., ‘Afyon Mermer Tozu ve Soma Uçucu Kül Katkılı Betonların Donma-Çözülme Özellikleri ve Ekonomik Değerlendirilmesi’’Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 13-14 Mayıs 2004, İzmir, Türkiye.

Ünal, O., Demir, İ. Ve Ergün, A., ‘Mermer Tozu Katkılı Betonların Donma-Çözülme Özelliklerinin Araştırılması,’’ 5. Ulusal Beton Kongresi, s 383-392, İstanbul, 2003.

Ünal, O., Uygunoğlu T., ‘Uçucu Küllü Betonların Donma-Çözölmeye Karşı Dayanıklılığının Araştırılması’’, Beton 2004 Hazır Beton Kongresi, 10-12 Haziran, 376. (2004)

Yıldırım S. T. ve Ekinci C. E. ‘Çelik, Cam ve Polipropilen Lifli Betonlarda Donma-Çözölme Etkilerinin Araştırılması’’ Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi 18 (3), 359-366, 2006.

Yıldız S., Demirli İ. H. ve Keleştemur, O., ‘Kırmataşla Üretilen Hazır Betonların Donma-Çözölmeye Karşı Dayanıklılığının Araştırılması’’ Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi, 18 (3), 375-383, 2006

Yıldız, S. (1998). Lifli Beton Boruların Dayanıklılık, Kırılma Performansı ve Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Doktora Tezi. F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü. Elazığ. s.134. Türkiye.