

## YÜKSEK FIRIN CÜRUFU VE BAZALTİK POMZA KATKILI BETONLARIN BAZI DURABİLİTE ÖZELLİKLERİ

**Hanifi BİNİCİ\***, **Hasan KAPLAN\*\***, **Hüseyin TEMİZ\***, **Ela Bahşude GÖRÜR\***

\*Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Müh.-Mim. Fak., İnşaat Müh. Bölümü, 46100, Kahramanmaraş

\*\*Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 20020/Denizli

Geliş Tarihi : 27.11.2007

Kabul Tarihi : 16.10.2008

### ÖZET

Bu çalışmada, birlikte ve ayrı ayrı granüle yüksek fırın cürufu (YFC) ve granüle bazaltik pomza (GBP) katkı betonunun durabilite özellikleri araştırılmıştır. İnce agrega yerine değişik oranlarda YFC ve GBP kullanılarak beton örnekler üretilmiştir. Deniz suyunda bekletilen beton örneklerin kimyasal aşınmaları, basınç ve mikroyapıları araştırılmıştır. Musluk suyunda bekletilen betonların mekanik aşınma değerleri belirlenmiştir. Test sonuçları, YFC ve GBP'nin basınç dayanımına ve kimyasal aşınmaya olumlu katkı yapmıştır. Test sonuçları beton durabilitesinin, katkı tipi ve katkı miktarına bağlı olduğunu göstermiştir. YFC katkı örneklerin aşınma değerleri GBP katkı örneklerin aşınma değerlerinden daha az olmuştur. Eşit oranda GBP + YFC katkı örneklerde aşınma değerinin en düşük olduğu gözlenmiştir. Araştırma, deniz yapılarında kullanılacak betonlarda, ince agrega olarak GBP ve YFC katkılarının kullanılmasının beton durabilitesini geliştirebileceğini göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler :** *Beton, Granule yüksek fırın cürufu, Granule bazaltik pomza, Deniz suyu.*

## SOME DURABILITY PROPERTIES OF GROUND BLAST FURNACE SLAG AND GROUND BASALTIC PUMICE CONCRETES

### ABSTRACT

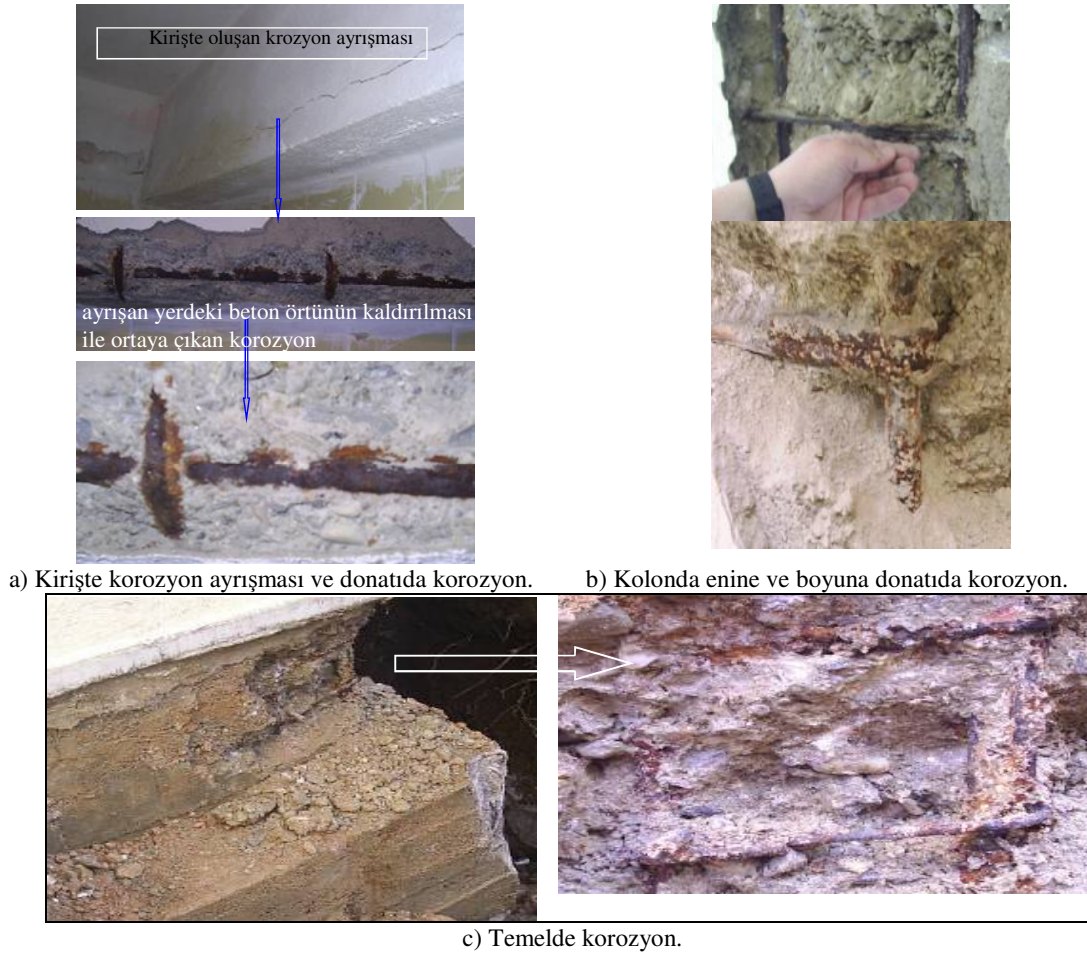
In this research, the durability properties of the concrete incorporating ground blast furnace slag (GBS) and ground basaltic pumice (GBP) each separately or both together were investigated. The fine aggregate of concrete were replaced by GBS and GBP. The abrasion of concrete, compressive strength and microstructure of concrete, which were immersed in sea, was determined. The mechanical abrasion of concretes, which were immersed in tap water, was also determined. The test results showed that the presence of GBS and GBP had a beneficial effect on the compressive strength and chemical abrasion value. The results indicate that the durability of concrete depending on the types and amount of additives. Furthermore, specimen which was made equal percentage of GBS and GBP was found to have higher seawater attack resistance than that of the control concrete. Results showed that concrete used in marinastructure, the use of GBS and GBP as fine aggregate could be enhanced concrete durability.

**Key Words :** *Concrete, Granule blast furnace slag, Ground basaltic pumice, Seawater.*

## 1. GİRİŞ

Kompozit bir malzeme olan betonarmenin olumlu özelliklerini sürdürebilmesi kalıcı olmasına bağlıdır. Beton veya betonarme elemanların zamanla bozulmaları mümkündür. Betonarme elemanların bazılarının uzun yıllar sonra işlevlerini yerine getiremez duruma geldikleri, bazılarının ise çok kısa sürelerde bozulmaya başladıkları görülmektedir. Yapıların kalıcı olması yalnızca doğru taşıyıcı sistemin seçimi, projelendirilmesi ve yapımı ile sağlanamaz. Aynı zamanda, yapının kabul edilebilir bir zaman süreci içinde “kalıcı” denecek kadar uzun

ömürlü olmasını sağlayacak önlemler alınmalı ve en az bakımı gerektirecek şekilde yaşlanması da sağlanmalıdır. Bu da ancak betonun, bozulmasına neden olan etkenlerin bilinmesi ve bunlara karşı gereken önlemlerin alınmasıyla mümkündür. Betonun kalıcılığında etkileyen en büyük sebep geçirimli olmasıdır. Geçirimli betonlar zamanla bozulmakta, beton içerisindeki donatı da korozyona uğrayabilmektedir. Depremsellik inceleme çalışmaları için donatı kontrolü yapılan bir okul binasında, geçirimli ve düşük dayanımlı beton nedeniyle oluşan korozyon Resim 1’de verilmiştir (Kaplan v.d., 2005).



Resim 1. Kullanılmakta olan bir okul binasında tespit edilen korozyon.

Kerkük-Ceyhan boru hattıyla taşınan petrol ile Türkiye’de üretilen petrol, Dörtyol ve Ceyhan’da bulunan BOTAŞ işletmesi tarafından dünyaya dağıtılmaktadır. Buradaki betonarme platformda çok önemli yapısal ve korozyon problemleri bulunmaktadır. Platformu taşıyan dörtlü kolonların bazılarının taşıma kapasitelerini kaybettikleri tespit

edilmiştir. Yapılan incelemelerde, özellikle kirişlerde ve kolonlardaki dağılımların sülfat - tuz ve aşınma etkisinden olduğu ancak yapının bu etkilere karşı yeterince dayanıklı olmadığı görülmüştür (Resim 2). Beton yüzeylerin yıpranması aşınma, erozyon ve oyulma olarak adlandırılan mekanizmalar sonucu yüzeyin bozularak, geometrisinin değişmesi,

parçalanıp ufalanması ve ağırlık kaybına uğraması şeklinde gelişir. Beton döşeme ve yol kaplamalarında yaya ve çeşitli araç trafiğinin sürtünme, kayma, kazıma, çarpma gibi etkileri de fiziksel etkileşimi içeren yıpranma etkenleri arasındadır. Puzolan katkılı çimentolar deniz yapılarında kullanılması uygundur (Akman, 1994).

Çimento puzolan katılması durumunda içyapı geçirimsiz bir yapıya dönüştüğü için klor girişi zorlaşmış olduğundan içeriye girmesi engellenebilmektedir. Bununla birlikte uygub granulometri ve kür koşulları da bu olumsuzluğu azaltabilmektedir. Aşlında klor miktarı azda olsa çok daha hızlı bir şekilde demire ulaşmaktadır. Granüle bazaltik pomza ve granüle edilmiş seramik atıkları beton aşınmasını büyük ölçüde azaltmaktadır. Granüle bazaltik pomza ile üretilen betonların klor geçişlerinin de katkısız betonlara göre çok düşük olduğu görülmüştür (Binici, 2007). Betondaki bozulmanın nedenleri, kimyasal ve termal bozulma, donma-çözülme ve su/klor geçişleridir. Bazı puzolanik katkı malzemelerinin beton üretiminde kullanılması durumunda hem taze betonun hem de sertleşmiş betonun durabilite özellikleri iyileştirilebilir (Malhotra v.d., 1994; Neville, 1995, Naik v.d., 1995; Naik ve Singh, 1997; Mehta ve Monterio, 1997; Dongxue v.d., 1997; Shannag ve Shaia, 2003; Lorenzo v.d., 2003).

Sülfat etkisini azaltan önlemlerin hepsi, deniz suyunun etkisini azaltmak için de geçerlidir. Deniz sularının beton yapılara esas zararı, bu tür sularda bulunan klorlardan kaynaklanmaktadır. Deniz

suyundaki klor, betonun içerisindeki demir donatıların korozyonunu hızlandırmakta ve betonun parçalanmasına yol açabilmektedir (Erdoğan, 2003; Yazıcı v.d., 2003; Özkul v.d., 2004; Topçu ve Demir, 2004).

Deniz suyu hidrate çimento bileşenleri ile reaksiyon yapabilen magnezyum ve sülfat iyonları içerir. Ayrıca, deniz suyunda çözülmüş CO<sub>2</sub> karbonik asit etkisi yaratabilir. Kimyasal etkinin genellikle gel-git ve sualtı bölgesinde kendini gösterdiği söylenebilir. İçerdiği yüksek sülfat iyonu konsantrasyonuyla deniz suyu beton üzerinde sülfat etkisi yapabilir (Yıldırım, 1994).

Bu çalışma ile denizde yapılan betonarme yapılarda meydana gelen aşınma ve kimyasal etki problemleri için uygun özel beton karışımları araştırılmıştır. KSU Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği laboratuvarında Osmaniye granüle bazaltik pomzası (GBP) ve yüksek fırın cürufunun (YFC) betona katkı maddesi olarak katılmasının betonun aşınmasına, kimyasal etki dayanıklılığına ve basınç dayanımına etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Çalışma kapsamında, üretilen betonlar, BOTAŞ Dörtüyl Petrol Aktarma İskelesinin altında doğal ortamda 30 ay boyunca bırakılmış ve test periyotlarında gerekli ölçümler yapılmıştır. Doğal deniz ortamında numuneler deniz suyu ve dalga etkilerine maruz bırakılmıştır. Çalışmada tüm materyallerin mühendislik özellikleri belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.



Resim 2. Kerkük-Ceyhan petrol boru hattı ceyhan platformunda hasar.

## 2. MATERYAL VE METOT

Araştırmada, Osmaniye granüle bazaltik pomzası, İskenderun Demir Çelik Fabrikası cürufu ile Adana Çimento Fabrikasından sağlanan CEM II (32.5) ve maksimum tane boyutu 4.75 mm olan ince agrega kullanılmıştır. GBP ve YFC, betonda ince agrega hacminin % 40, 60 ve 80 oranında ayrı ayrı veya eşit oranlarda alınarak kullanılmıştır. Yapılan betonlar metal kalıplara dökülerek numuneler üretilmiştir. Bu numunelerin mukavemet özellikleri incelenmiştir. Bu

çalışmada dörtlü grup numune hazırlanmıştır. Birinci grup C adı verilen kontrol örneği, S1-S9 örnekleri ise, katkı örneklerdir (Tablo 1). Kullanılan çimentonun fiziksel özellikleri Tablo 2’de, pomza, yüksek fırın cürufu ve çimentonun kimyasal element içerikleri ise Tablo 3’de verilmiştir. Çalışmada kullanılan agregaların fiziksel özellikleri Tablo 4’te ve agregaların elek analiz sonuçları ise Tablo 5’te verilmiştir. Aşınma ve kaviteasyon için 30 x 30 x 10 cm ve basınç dayanımı için 15 x 15 x 15 cm boyutlu örnekler kullanılmıştır.

Tablo 1. Örneklerin isimleri ve karışım oranları.

Numune	C	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
Çimento (kg/m <sup>3</sup> )	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
GBP(kg/m <sup>3</sup> )	0	130	200	260	260	400	520	-	-	-
GBP (%)	0	20	30	40	40	60	80	-	-	-
YFC(kg/m <sup>3</sup> )	0	130	200	260	-	-	-	260	400	520
YFC (%)	0	20	30	40	-	-	-	40	60	80
Su (kg/m <sup>3</sup> )	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135
Dere kumu (kg/m <sup>3</sup> )	665	400	270	150	390	280	145	405	280	160
Çakıl (kg/m <sup>3</sup> )	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200
Su/Çimento	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
Akışkanlaştırıcı (kg/m <sup>3</sup> )	2.5	3.0	3.2	3.4	3	3	3.	3.2	3.4	3.5
Çökme (mm)	32	30	30	32	30	28	26	28	25	25
Sıcaklık (°C)	28	31	29	29	30	30	30	30	30	29
T.Betonun Yoğ.(kg/m <sup>3</sup> )	2315	2300	2310	2320	2300	2310	2315	2305	2315	2320

Tablo 2. Çimentonun fiziksel özellikleri.

Bileşen	Özgül ağırlık	Özgül yüzey cm <sup>2</sup> /g	200 µ Elek Üzerinde kalan %	90 µ Elek üzerinde kalan %
Çimento	3.19	2800	0.09	0.3

Tablo 3. Pomza, yüksek fırın cürufu ve çimentonun kimyasal kompozisyonu.

Bileşenler (%)	Çimento	YFC	BP
SiO <sub>2</sub>	20.1	39.7	43.9
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.2	12.8	14.1
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.9	1.7	12.1
CaO	64.1	32.9	9.3
MgO	2.2	7.4	8.9
Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	1.4	0.8	0.3
SO <sub>3</sub>	1.2	1.4	-
LOI	0.5	-	0.5
EN 197-1 (%)			
CaO / SiO <sub>2</sub>	MgO	CaO+SiO <sub>2</sub> +MgO	(CaO+MgO) / SiO <sub>2</sub>
≥ 2	< 5	≥ 66.7	≥ 1

Tablo 4. Agregaların fiziksel özellikleri.

Özellik	İnce Agregası	Kaba Agregası
Özgül Ağırlık	2.73	2.75
İncelik modülü	2.70	-
Su Emme Kapasitesi (%)	0.80	1.22
Boşluk Oranı (%)	35.20	40.32

Tablo 5. Agregaların elek analiz sonuçları.

İnce Agregası		Kaba agregası	
Elek no.	Yüzde Geçen	lek no.	Yüzde Geçen
150 µm	7.3	4.75 mm	5
300 µm	36.7	10 mm	33.4
600 µm	64.3	20 mm	96.3
1.18 mm	74.8	40 mm	100
2.36 mm	89.5		
4.75 mm	97.6		

### 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

#### 3. 1. Denizde Bekletilen Beton Örneklerin Kütle kaybı

Osmaniye granüle bazaltik pomzası (GBP) ve Yüksek fırın cürufunun (YFC) betona katkı maddesi olarak katılıp 30 x 30 x 10 cm boyutlarındaki betonlar üretilmiştir. Örnekler üretildikten sonra 28 gün laboratuvar ortamında musluk suyunda bekletilmiştir. Bundan sonra yukarıda hasar resimleri gösterilen BOTAŞ petrol yükleme platformunda uygun yerlerde deney günlerine kadar korunmuştur. Denizde bekletilen örneklerin ilk kütleleri laboratuvarda belirlendikten sonra 12, 24 ve 30 aylık kütle kayıpları tespit edilmiştir.

#### 3. 2. Denizde Bekletilen Beton Örneklerin Basınç Dayanımları

Deneysel çalışmada 15 x 15 x 15 cm boyutlu küp numuneler kullanılmıştır. Örnekler laboratuvarda 28 gün musluk suyunda kür edildikten sonra doğal deniz ortamında test gününe kadar bekletilmiştir. Örneklerin basınç dayanımları TS 3114'e göre belirlenmiştir. Her grup numune için 3, 7, 28, 90, 180 ve 365 günlük basınç dayanımlarını belirlemek üzere her yaş grubundan üçer adet örnek üretilmiştir.

#### 3. 3. Yüzeysel Aşınma Tayini (Böhme Deneyi)

Yüzey aşınması için 15 x 15 x 15 cm boyutlarında numuneler üretilmiş ve numuneler 90 gün kür

tankında bekletildikten sonra Standarta uygun olarak kesilerek 71 x 71 x 71 mm boyutlarında yeni numuneler elde edilmiştir. Yeniden boyutlandırılan numunelerin eğrilik ve paralellik kontrolleri yapılmıştır. Daha sonra numuneler etüvde kurularak, aşındırılacak yüzey 1 den 4 e kadar numaralandırılmış ve her noktadan hassasiyeti 0,01 mm olan mikrometre ile ölçümleri yapıp, numuneler tartılmıştır. Aşındırılacak yüzey aşağı gelecek şekilde yüzeysel aşındırma cihazına yerleştirilmiştir. Numunenin merkezi ile döner diskin merkezi 22 cm olacak şekilde ayar yapılmış daha sonra baskı pistonu yüksekliği yükleme kolu yatay olacak şekilde ayarlanmıştır. Yükleme kolu 6 kg yük ile yüklenerek (5 kg ağırlık + 1 kg askı düzeneği ağırlığı) cihaz sayacı sıfırlanıp sürtünme yüzeyine 20 g standart zımpara tozu homojen şekilde yayılarak cihaz çalıştırılmıştır. Döner diskin 22 devri 1 periyot olarak kabul edilip 4 periyotluk aşındırma uygulanmıştır. Bu işlem uygulandıktan sonra yüzey temizlenerek 20 g standart zımpara tozu yüzeye homojen olarak tekrar yayılmış ve bu işlem işaretlenen yüzeye 4 kez uygulanmıştır. Her bir numuneye toplam 352 devir aşındırma uygulanmıştır. İşlem tamamlandıktan sonra her iki noktadan ayrı ayrı 0,01 duyarlılıktaki mikrometre ile ölçümleri yapılarak aşındırılan numuneler tekrar tartılmıştır. Hacimsel azalmanın ölçülmesiyle aşınma kaybı aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmıştır (Anon., 2002).

$$\Delta V = \frac{\Delta m}{\delta R}, \text{ Bu ifadede; } \Delta V, \text{ Hacimsel kayıp,}$$

$\Delta m$ , 16 periyot sonundaki ağırlık kaybı (g),  $\delta R$ , numune birim hacim ağırlığı



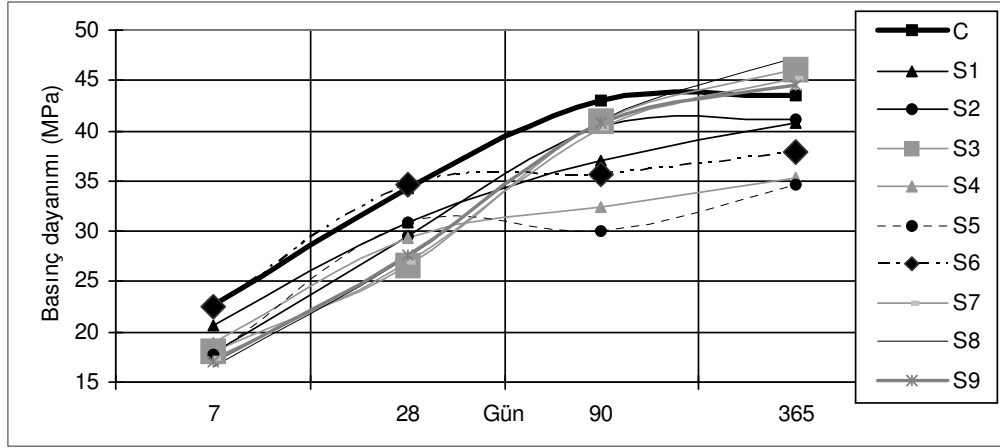
### 3. 4. Mikroyapı

Üretilen betonlardan sadece kontrol örneği ile S4 örneğinin 7 gün sonra ve 30 ay sonraki SEM taramaları yapılmıştır.

## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 4. 1. Denizde Bekletilen Beton Örneklerin Basınç Dayanımları

Numunelerin basınç dayanım değerleri Şekil 1'de verilmiştir. Numunelerin basınç dayanım değerleri karşılaştırıldığında, GBP ve YFC katkılı numunelerin 7 gündeki dayanımları bütün serilerde kontrol örneğinden daha düşük bulunurken özellikle 365 günlük dayanımlarda bu değer çok yakındır. Hatta S3, S7, S8 ve S9 numunelerinin basınç dayanımları kontrol örneğinden daha büyük bulunmuştur.



Şekil 1. Basınç dayanım değerleri.

### 4. 2. Denizde Bekletilen Beton Örneklerin Kütle kaybı

Deniz suyuna maruz kalmış örneklerin resimleri Resim 3 ve 4'te verilmiştir. Resimlerden özellikle kontrol örneğindeki aşınma dikkat çekmektedir. Kontrol örneği mineral katkı içermediğinden deniz suyu etkisine karşı koayamamış ve daha fazla kütle kaybı göstermiştir. Betonların kütle kaybı değerlerinin zamana bağlı olarak değişimi Tablo 6'da verilmiştir.



Resim 3. Kontrol örneğinin aşınması



Resim 4. S4 ve S6 örneklerinin aşınması.

S1, S2, S3 için ortalama kütle kaybı değeri % 3.17, S4, S5, S6 için % 3.71 ve S7, S8, S9 için ise bu ortalama değer % 4.03 olarak bulunmuştur. Kontrol numunesi için bulunan değer ise % 9.53'dür. Kontrol örneğinin; GBP ve YFC eşit miktarda katılarak üretilen numunelerin (S1, S2, S3) yaklaşık 3 katı daha fazla kütle kaybı göstermiştir. Diğer numunelerin de kütle kaybı değerleri aynı şekilde kontrol örneğinden azdır. Bu sonuçlar deniz suyu etkisine maruz olan elamanların betonunda pomza ve yüksek fırın cürufu kullanılması kütle kaybını azaltabileceğini göstermiştir. Bu olumlu etkilerin nedeni YFC ve pomzanın camısı ve kimyasal yapısı ile açıklanabilir. Tablo 5 incelendiğinde kumun yaklaşık %30 'u filler boyutundaki malzemeden oluştuğu görülmektedir. Aynı oranlarda katkı

kullanıldığı için bu boyuttaki filler pomza ve YFC, filler boyutundaki kum ile yer değiştirmiştir. Ayrıca filler boyutundaki katkıları sayesinde boşluklar azalmış ve katkıları ile agrega arasında ara yüzeylerin gelişmiştir. Bu sayede YFC ve pomza, Ca(OH)<sub>2</sub>'i

bağlayarak pozitif etki sağlamıştır. Kum boyutundaki YFC ve pomza camısı yapıları sayesinde dayanıma önemli katkı yapmış ve daha yüksek dayanımlı beton iskeletinin oluşturulması deniz suyu etkisini azaltmıştır.

Tablo 6. Deniz suyuna maruz kalmış örneklerin zamana bağlı kütle kaybı.

Zaman (ay)	Örneklerin Kütle Kaybı Oranları									
	C	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>6</sub>	S <sub>7</sub>	S <sub>8</sub>	S <sub>9</sub>
Örneklerin ilk kütleleri (g)	22290	22872	21630	21580	21940	21760	21960	22230	21640	22520
12 ay sonraki kütle	21150	22410	21310	21304	21415	21323	21503	21917	21297	21885
12 ay sonraki kütle kaybı oranları (%)	5.11	2.02	1.48	1.28	2.39	2.01	2.08	1.41	1.59	2.82
24 ay sonraki kütle	20940	22260	21112	21160	21160	21012	21184	21667	21128	21704
24 ay sonraki kütle kaybı oranları (%)	6.06	2.68	2.40	1.95	3.56	3.44	3.53	2.53	2.37	3.62
30 ay sonraki kütle	20165	21885	21000	21018	21095	20975	21152	21205	20876	21680
30 ay sonraki kütle kaybı oranları (%)	9.53	4.31	2.91	2.60	3.85	3.61	3.68	4.83	3.53	3.73
30 ay sonraki kütle kaybı ortalaması	9.53	3.17			3.71			4.03		

#### 4. 3. Böhme Metodu ile Yüzeysel Aşınma Sonuçları

Böhme yöntemi ile elde edilen aşınma değerleri Tablo 7'de verilmiştir. Tabloya göre kontrol örneğinin aşınma değeri katkıları örneklerden daha az bulunmuştur. Oysa deniz suyu etkisi açısından tam tersi bir durum söz konusudur. Bu sonuçlardan mekanik aşınmanın önemli olduğu yerlerde pomza veya yüksek fırın cürufu katkıları yerine kalker esaslı

çakıl taşının kullanılmasının daha uygun olduğu söylenebilir. Ayrıca pomza katkıları örneklerin aşınma oranları diğer örneklerle göre daha az bulunmuştur. Özellikle yüzeysel aşınmada tanık örneğin daha az aşınma göstermesi daha güçlü olan agrega ve gözeneksiz yapıya, diğer yandan deniz suyu ortamındaki kaybın tanık örnekte daha fazla olması ise katkıların kimyasal etkiye karşı gösterdiği direnç olarak açıklanabilir.

Tablo 7. Böhme yöntemi ile aşınma oranları.

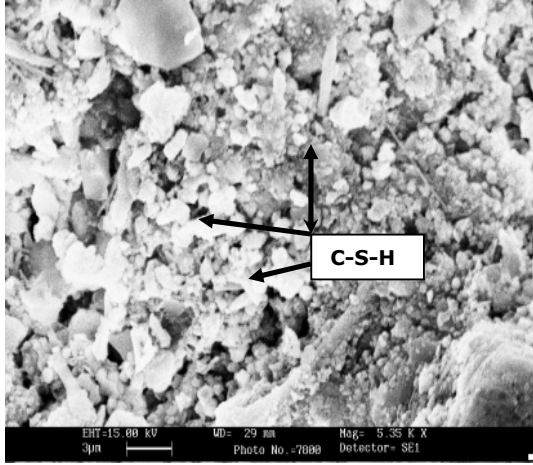
Numune	Boyutlar (mm)			Alan(cm)	Birim ağırlık (Kg/m)	Aşınma kaybı(g)	Devir sayısı	Hacimsel kayıp Cm <sup>3</sup> /50 cm <sup>2</sup>
	Uzunluk	Genişlik	Yükseklik					
C1	70.3	76.5	75.6	53.8	2394	3.7	352	1.5
C2	74.1	70.3	70.7	52.1	2405	4.6	352	1.9
C3	71.0	71.9	71.7	51.1	2393	3.7	352	1.5
S2-1	75.5	73.0	75.2	55.1	2304	9.9	352	4.3
S2-2	74.7	73.2	72.2	54.7	2296	11.5	352	5
S2-3	71.3	72.0	72.1	51.4	2310	12.7	352	5.5
S5-1	69.4	77.0	71.8	53.5	2310	14.3	352	6.2
S5-2	72.0	71.4	71.3	51.4	2264	13.3	352	5.9
S5-3	74.8	72.1	71.1	53.9	2258	13.6	352	6
S8-1	73.6	74.1	71.9	54.5	2361	11.6	352	4.9
S8-2	73.9	74.4	72.7	55.0	2290	12.7	352	5.5
S8-3	72.2	72.2	73.2	52.1	2331	13.2	352	5.6

#### 4. 4. Mikroyapı

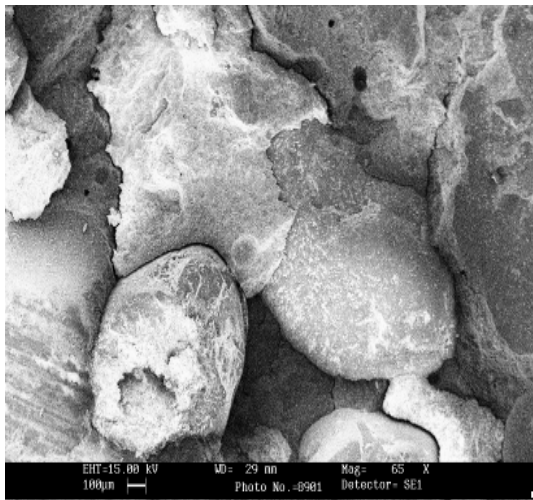
Kontrol örneğine ait 7 günlük ve deniz ortamında 30 ay bekletildikten sonra yapılan SEM taramalarının

fotoğrafları sırayla Resim 5 ve Resim 6'da, S4 örneğine ait olanlar sırayla Resim 7 ve 8'de verilmiştir. Resim 5'de bol miktarda C-S-H

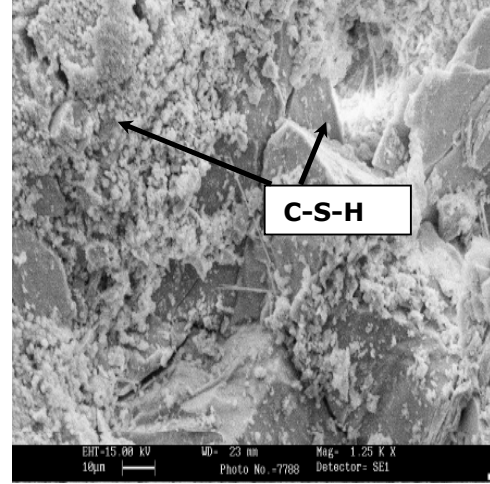
görüldükçe Resim 6’da bu ürünlerin sülfat, tuz ve aşınma etkisiyle tüketildiği anlaşılmaktadır. Resim 7’de sadece agregalar ve çok az miktarda ince malzeme ve CH görülmektedir. Ancak S4 örneğinin Resim 8’de verilen görüntüsündeki hidrasyon ürünlerinin hala var olduğunu göstermektedir. Bu sonuçlar deniz suyu gibi tuz ve sülfat etkilerine karşı granüle pomza ve granüle yüksek fırın cürufunun betonda kum yerine kullanılmasının uygun olacağını göstermektedir.  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ile filler boyutundaki katkıların reaksiyonu sonucunda ilave C-S-H gibi hidrasyon ürünleri oluşmuştur. Resim 5 ile 6 arasındaki temel fark, bu süreçte deniz suyu tarafından hidrasyon ürünlerinin neredeyse tamamının tüketildiğini göstermektedir. Oysa resim 7 ve 8 arasında bu etki daha düşük düzeydedir. Yani hala hidrasyon ürünlerine rastlanabilmektedir.



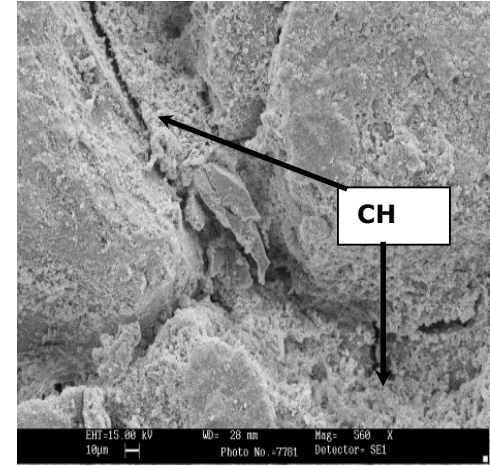
Resim 5. Kontrol örneğinin 7 günlük SEM görüntüsü.



Resim 6. Kontrol örneğinin 30 ay sonraki SEM görüntüsü.



Resim 7. S4 örneğinin 7 günlük SEM görüntüsü.



Resim 8. S4 örneğinin 30 ay sonraki SEM görüntüsü.

## 5. SONUÇ

Çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

- 1 GBP ve YFC eşit miktarda katılarak üretilen numunelerin deniz suyu etkisinden oluşan kütle kaybı değerleri kontrol örneğinden çok daha azdır. Bu yüzden deniz suyu gibi kimyasal etkilerin olduğu yerlerde kullanılacak beton üretiminde, kum yerine katkı olarak pomza ve yüksek fırın cürufu kullanılması kütle kaybını azaltabileceğini göstermiştir.
- 2 Elektron mikroskop taramalarından, katkıli betonların deniz suyu kimyasal bozulma sürecinin kontrol betonuna göre daha uzun olacağı görülmüştür. Bu sonuçlar geçirimsiz



- beton üretimi için, pomza ve yüksek fırın cürufunun birlikte kullanılmasının iyi sonuçlar vereceğini göstermiştir.
- 3 Yüzeysel aşınma sonuçlarına göre kontrol örneği en az aşınma gösterdiğinden özellikle yüzeysel aşınmanın ön plana çıktığı yerlerde (beton yollar gibi) kullanılacak betonlarda kalkertaş esaslı kırmataş kullanılması uygun olacaktır.
  - 4 GBP ve YFC katkıli numunelerin 7 günde basınç dayanımları bütün serilerde kontrol örneğinden daha düşük bulunmuştur. Ancak 365 günlük dayanımlarda S3, S7, S8 ve S9 numunelerinin basınç dayanımları kontrol örneğinden daha büyüktür. Bu sonuç, katkıli betonların sonraki dayanımlarının daha yüksek oranda artacağını göstermektedir. Bunun nedeni katkıların  $Ca(OH)_2$  ile reaksiyona girerek bunu bağlaması ile açıklanabilir. Ayrıca bu ince malzemeler betondaki boşlukları azaltmış ve katkıları ile agrega arasında ara yüzeyleri geliştirmiştir. Yine filler boyutundaki katkıları hem kuvvetli bir bağlayıcı hamuru, hem de daha yüksek dayanımlı beton iskeleti oluşturmuştur.
  - 5 Elde edilen sonuçlara göre, deniz içerisinde inşa edilecek, sülfat ve tuz etkisinin bulunduğu yapıların beton üretiminde GBP ve YFC ince agrega yerine kullanılabilir. Bu sayede sözü edilen kimyasal ve fiziksel bozulmaların önüne geçilebilir veya etki düzeyi azaltılabilir.

## 6. KAYNAKLAR

Akman, S. 1994. Traslı Çimento Nedir? Ne Değildir?, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Panel, Ankara.

Anonymous, 2002. DIN 52108. Testing of Inorganic non-metallic materials- Wear test using the grinding Wheel according to Boehme- Grinding Wheel method, Germany.

Binici, H. 2007. Effect of crushed ceramic and basaltic pumice as fine aggregates on concrete mortars properties, Construction and Building Materials, 21 (4), 1191-1197.

Dongxue, L., Xinhua, F., Xuequan, W. and Mingshu, T. 1997. Durability study of steel slag cement. Cement and Concrete Research, 27 (2), 983-987.

Erdoğan, T. Y. 2003. Beton, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Yayını, Ankara.

Kaplan, H., Tama, Y. S., Şenel, Ş.M., İnel, M., Akyol, E., Ün, H., Yılmaz, S., Kayhan, A.H., Özsoy,

İ. ve Bodrum, H. 2005. Turgut Karabağlı İlköğretim Okulu, Depremsellik İnceleme Raporu, Muğla Valiliği.

Lorenzo, M.P., Goni, S. and Guerrero, A. 2003. Role of aluminous component of fly ash on the durability of Portland cement-fly ash pastes in marine environment, Waste Management, 23 (3), 785-792.

Malhotra, V., Carette, G. and Bilodeau, A. 1994. Mechanical properties and durability of polypropylene fiber reinforced high-volume fly ash concrete for shotcrete application, ACI Matter J, 91 (5), 478-486.

Mehta, P.K. and Monterio, P.J.M. 1997. Concrete, microstructure, properties and materials. Chennai: Indian Concrete Institute.

Naik, T.S. and Singh, S. 1997. Influence of fly ash on setting and hardening characteristics of concrete systems, ACI Matter J, 94 (5), 578-584.

Naik, T. Singh, S and Ramme, B. 1995. Mechanical properties and durability of concrete made with blended fly ash, ACI Matter J, 95 (4), 454-462.

Neville, A.M. 1995. Properties of Concrete, Longman Group UK, London.

Özkul, H., Taşdemir, M.A., Tokyay, M. ve Uyan, M. 2004. Meslek Liseleri İçin Her Yönü ile Beton, Türkiye Hazır Beton Birliği Yayını, İstanbul, Ankara.

Shannag, M.J and Shaia, H.A. 2003. Sulfate resistance of high-performance concrete, Cement and Concrete Composites, 25 (2), 363-369.

Topçu, İ.B. ve Demir, A. 2004. Lastik Agregalı Harçlarda Deniz Suyu Etkisinin İncelenmesi, BETON 2004 Kongresi, İstanbul.

Yazıcı, H. Türkel, S., Yiğiter, H. ve Aydın, S. 2003. Beton İçindeki Bağlayıcı Miktarının Betonun Deniz Suyuna Dayanıklılığına Etkisi, TMMOB, İMO İstanbul Şubesi, 5. Ulusal Beton Kongresi, İstanbul.

Yıldırım, F. 1994. İnce Lastik Agregalı Harçların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri ile Bunların Kompozit Malzeme Kuralları ile İncelenmesi, Bitirme Ödevi, Osmangazi Üniversitesi, Müh.-Mim. Fak., İnş. Müh. Bölümü., Eskişehir.