



**Makale
(Article)**

Yüksek Fırın Cürufu ve Bazaltik Pomza Katkılı Betonların Mekanik Aşınması ve Su Geçirimsizliği

Hanifi Binici*, **Ela Bahşude GÖRÜR****, **Muhammed Yasin DURGUN***

*Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Müh. Mim. Fak. İnş. Müh. Böl., Kahramanmaraş/TÜRKİYE

** Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Meslek Yüksek Okulu İnş. Prg., Kahramanmaraş/TÜRKİYE
hbinici@ksu.edu.tr

Özet

Öğütülmüş yüksek fırın cürufu ve bazaltik pomzayı ayrı ayrı veya birlikte içeren betonların mekanik aşınma ve geçirgenlik özelliklerinin araştırılması bu çalışmanın temel amacıdır. İnce agreganın yüksek fırın cürufu veya bazaltik pomza ile yer değiştirme yüzdeleri bu çalışmada değişik şekillerde araştırılmıştır. Üretilen betonların aşınma dayanımları araştırılmıştır. Beton aşınmaları TS 2824 EN 1338'e göre belirlenmiştir. Test sonuçları betonda yüksek fırın cürufu ve bazaltik pomza varlığının aşınmazlık ve su geçirimsizliğine olumlu etkiler yaptığını göstermiştir. Sonuçlar beton aşınması ve geçirgenliğinin katkı tipi ve miktarına bağlı olduğunu ortaya koymuştur. Katkılı örneklerin aşınma dayanımı kontrol betonundan daha düşük bulunmuştur. Diğer yandan özellikle bazaltik pomza katkı örneklerin permeabilite değerleri kontrol örneğinden daha düşük bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Granüle Yüksek Fırın Cürufu, Granüle Bazaltik Pomza, Aşınma, Geçirgenlik.

Mechanical Abrasion and Permeability of Ground Blast Furnace Slag and Ground Basaltic Pumice Concretes

The aim of this research work is to investigate the mechanical abrasion resistance and permeability of the concrete incorporating ground blast furnace slag (GBS) and ground basaltic pumice (GBP) each separately or both together. The variable investigated in this study is the level of fine aggregate replacement by GBS and GBP. Abrasion resistances of plain concrete specimens were investigated. The abrasion of concretes was determined according to TS 2824 EN 1338. The test results showed that the presence of GBS and GBP had a beneficial effect on the permeability of concrete and mechanical abrasion value. The results create perspectives of forecasting the abrasion and permeability of concrete depending on the types and amount of additives. Concretes made with GBS and GBP had lower abrasion value than control specimen. On the other hand, especially concrete made with basaltic pumice had lower permeability value than the control specimens.

Keywords: Granule Blast Furnace Slag, Ground Basaltic Pumice, Abrasion, Permeability.

1. GİRİŞ

Betonun yıllar boyunca dış etkenlerden ve betonun bileşenlerinden ileri gelen faktörlerden olumsuz etkilenmeyerek dayanımını ve niteliklerini kaybetmemesine durabilite adı verilir [1]. Beton durabilitesini etkileyen etkenlerden biri de aşınmaya karşı dirençtir. Beton yüzeyine sürtünme ve çarpma şeklinde gelen kuvvetler, beton yüzeyini adeta törpülercesine etki yaratmakta, yüzeyin aşınmasına yol açmaktadır.

Bu makaleye atıf yapmak için

Binici H., Bahşude E. G., Durgun M. Y., "Yüksek Fırın Cürufu ve Bazaltik Pomza Katkılı Betonların Mekanik Aşınma ve Su Geçirimsizliği" Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi 2010, 6(1) 1-10

How to cite this article

Binici H., Bahşude E. G., Durgun M. Y., "Mechanical Abrasion and Permeability of Ground Basalt Furnace Slag and Ground Basaltic Pumice Concretes" Electronic Journal of Construction Technologies, 2010, 6(1) 1-10

Aşınma yavaş tempoda gerçekleşen fiziksel ve mekanik bir olaydır. Aşınmanın etkili olduğu bazı alanlar; üzerinde insan trafiğinin (yayalar), hafif trafiğin veya kayarak sürtünmenin olabileceği kaldırım ve döşeme betonları, üzerinde ağır trafik (özellikle zincirli tekerlekleri bulunan) veya çivili lastikleri olan otoların hareket ettiği beton yollar, akarsular tarafından taşınmakta olan kum, çakıl veya sert parçacıkların sürtünme yaratarak veya çarparak aşındırdığı baraj, tünel, boru, köprü ayağı gibi yapılardır [2]. Geleneksel beton tipik olarak, kavitasyon ve aşınma dayanımı açısından zayıf performans gösterir. Betonun bu özelliğinin belirgin olarak gerektiği yerlerde beton içerisinde değişik malzemelerin kullanılması sonucu betonun bu zayıf özelliği iyileştirilerek beton gibi malzemelere olan ilginin artmasına neden olmuştur [3-4].

Dayanıklı bir beton üretiminde göz önüne alınan en önemli özellik betonun boşluk yapısı ve oranıdır [5]. Sertleşmiş betonun su emme kabiliyeti yani geçirimsizliği betonun hizmet süresi boyunca karşılaşılabileceği yıpratıcı fiziksel ve kimyasal olaylara dayanıklılığını ve dayanımını etkilemektedir [2]. Suyun ve diğer akışkanların beton içerisinde ilerlemesi sahip olduğu boşluklar yoluyla olur ve zararlı maddeler bu şekilde betonun içerisine taşınır. [6-7] Bu sebepten bazı depo, baraj vb. yapıların yapımında kullanılan betonlar başta olmak üzere, içerisinde su veya başka bir sıvı bulunduran bütün betonların mümkün olabildiği kadar geçirimsiz olmaları gerekmektedir [2].

Önceki bir çok çalışmada YFC ve pomzalarının betonda aşınmayı etkisi ve beton durabilitesine olumlu katkısı araştırılmıştır [8-11].

Denelerle aşınma direnci ölçülerek yol beton kaplamalarının aşındırıcı mekanik etkilere karşı dayanıklılığı etkin olarak belirlenebilmektedir. Beton yollarda yüzeydeki birkaç mm lik kısımda, iri agrega danelerinden daha çok ince agrega daneleri ve çimentonun oluşturduğu hamur fazı bulunduğundan [12,13] bu deneysel çalışmada, aşındırıcı mekanik etkilere karşı beton yol yüzeyinin göstereceği direnci belirlemek amacıyla, kalker türü iri agregası ve diğer kriterleri sabit tutulan betonlarda, farklı sertlikteki kayaç türlerinden elde edilmiş kırma tas ince agreganın betonun aşınma direnci araştırılmıştır. Benzer bir çalışmada, ince agreganın aşınma direncinin yükseltilmesi betonun aşınma direncini önemli derecede arttırabilmektedir [14].

Aşınma önemli bir durabilite problemidir [15-19]. Son yıllarda beton çok geniş bir kullanım alanı bulabilen bir yapı malzeme olmuştur. Özellikle beton yollar, barajlar ve geniş yüzeyli kütle betonlarında aşınma önemli bir durabilite problemidir. Bu problemin çözümüne katkı sağlamak amacıyla öğütölmüş yüksek fırın cürufu ve bazaltik pomzayı ayrı ayrı veya birlikte içeren betonların mekanik aşınma ve geçirgenlik özellikleri araştırılmıştır. İnce agreganın yüksek fırın cürufu veya bazaltik pomza ile yer değiştirme yüzdeleri bu çalışmada değişik şekillerde araştırılmıştır. Beton aşınmaları örneklerin kütle kayıplarına göre belirlenmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMADA KULLANILAN MALZEMELER

2.1 Yüksek Fırın Cürufu, Bazaltik Pomza ve Çimento

Çalışmada İskenderun Demir Çelik Fabrikası Cürufu (YFC), Osmaniye bazaltik pomzası (GBP) (Şekil 1) ve CEM I 42,5 tipi çimento kullanılmıştır. Kullanılan YFC, bazaltik pomza ve çimentonun kimyasal içerikleri Tablo 1’de, çimentonun fiziksel analizleri Tablo 2’de verildiği gibidir. Kimyasal içerikler için deneyler; Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, İskenderun Demir Çelik Fabrikası ve İskenderun OYSA Çimento Fabrikasında ayrı ayrı yapılmıştır. Bulunan sonuçlar birbirlerine çok yakın değerler vermiştir.



Şekil 1. Çalışmada kullanılan bazaltik pomza ocağı

Tablo 1. Çimento, YFC ve GBP'nin Kimyasal İçerikleri

Bileşenler (%)	Çimento	YFC	GBP
SiO ₂	20.1	39.7	43.9
Al ₂ O ₃	5.2	12.8	14.1
Fe ₂ O ₃	3.9	1.7	12.1
CaO	64.1	32.9	9.3
MgO	2.2	7.4	8.9
Na ₂ O+K ₂ O	1.4	0.8	0.3
SO ₃	1.2	1.4	-
LOI	0.5	-	0.5
EN 197-1 (%)			
8CaO / SiO ₂	MgO	CaO+SiO ₂ +MgO	(CaO+MgO)/ SiO ₂
≥ 2	< 5	≥ 66.7	≥ 1

Tablo 2. Çimentonun Fiziksel Özellikleri

Bileşen	Özgül Ağırlık (g/cm ³)	Özgül Yüzey (cm ² /g)	200 µ Üzerinde Alan (%)	90 µ Üzerinde Kalan (%)
Çimento	3.19	2800	0.09	0.3

2.2 Agrega

Çalışmada kullanılan agreganın elek analizi sonuçları ve fiziksel özellikleri Tablo 3 ve 4'de verildiği gibidir.

Tablo 3. Agregaların Elek Analizi Sonuçları

İnce Agregası		Kaba Agregası	
Elek no.	Yüzde Geçen	Elek 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	-	-

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

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1 Beton Karışımların Hazırlanması

TS 802'ye uygun olarak yapılan beton karışımında ince agreganın % 40, 60 ve 80'i oranlarında YFC ve GBP'nin her birini, birlikte veya ayrı ayrı katarak ve sadece kırma taş agregası kullanılarak üretilen kontrol örneği dâhil 10 çeşit örneğin karışım hesabı yapılmıştır. Örneklerin isimleri, karışım oranları ve kullanılan malzemeler Tablo 5'te verilmiştir. Bulunan karışım ağırlıklarına göre agregalar ve çimento hassas bir şekilde tartılarak betonyerde karılmıştır.

Taze betonun işlenebilirliğini, akıcılığını belirlemek etmek amacıyla çökme deneyi yapıldı. Bunun için birçok yöntem geliştirilmiş olmakla beraber en çok kullanılan yöntem, Abrahms hunisi ile yapılan çökme deneyidir. Numunelerin çökme değerleri Tablo 5'te verilmiştir. Hazırlanan deney örnekleri aynı şartlarda, normal sıcaklıkta deniz suyu dolu kür havuzunda saklanmıştır.

3.2 Beton Yüzey Aşınmalarının Tayini

Yüzey aşınmasını bulabilmek için 15x15x15 cm boyutlarında küp örnekler üretilmiş ve 90 günlük yaşa ulaştıktan sonra kesilerek 71x71x71 mm boyutlarında yeni örnekler elde edilmiştir. Boyutlandırığımız bu örneklerin eğrilik ve paralellik kontrolleri yapıldıktan sonra etüvde kurularak aşındırılacak yüzeyler 1'den 4'e kadar numaralandırılmış ve mikrometre ile ölçümleri yapılmıştır. Aşındırılacak yüzey aşağı gelecek şekilde yüzeysel aşındırma cihazına yerleştirilmiş (Şekil 2). İşlem tamamlandıktan sonra her bir noktadan ayrı ayrı 0.01 duyarlıdaki mikrometre ile ölçümleri yapılmış ve kalınlıktaki azalmanın yardımıyla aşınma kaybı aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmıştır [20].

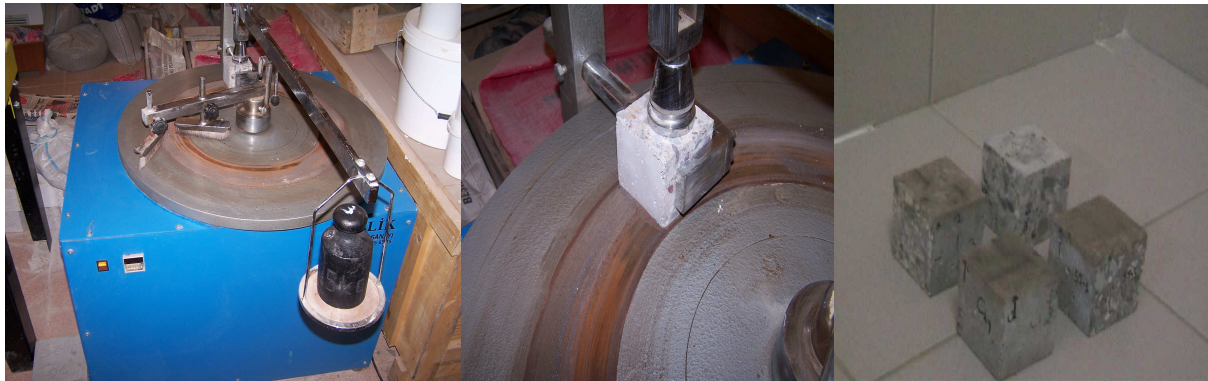
Hacimsel kayıp aşağıdaki ifade ile bulunmuştur.

$$\Delta V = \frac{\Delta m}{\delta R}$$

ΔV = Hacimsel kayıp (cm^3), Δm = 16 periyot sonundaki ağırlık kaybı (g), δR = Örnek birim hacim ağırlığıdır.

Tablo 5. Örneklerin İsimleri ve Karışım Oranları

Numune kodu	Beton Bileşenleri (kg/m^3)							Yaş Beton Özellikleri		
	Su	Çimento	Çakıl	Kum	GBP	YFC	Katkı (l/m^3)	Çökme (cm)	Yoğunluk (kg/m^3)	Beton Isısı ($^{\circ}\text{C}$)
C (Referans)	135	300	1200	550	-	-	2,5	22	2410	20
% 20 YFC % 20 GBP (S1)	159	300	1200	440	110	110	3,5	25	2390	19
% 30 YFC % 30 GBP (S2)	165	300	1200	385	165	165	3,6	25	2380	18
% 40 YFC % 40 GBP (S3)	159	300	1200	330	220	220	3,7	30	2360	18
% 40 GBP (S4)	159	300	1200	440	220	-	3,5	35	2360	19
% 60 GBP (S5)	159	300	1200	385	330	-	3,6	25	2390	20
% 80 GBP (S6)	159	300	1200	330	440	-	3,7	20	2350	24
% 40 YFC (S7)	15	300	1200	440	-	220	3,5	28	2390	20
% 60 YFC (S8)	150	300	1200	385	-	330	3,6	30	2410	19
% 80 YFC (S9)	159	300	1200	330	-	440	3,7	80	2420	20



Şekil 2. Böhme deney aleti, deneyin yapılışı ve örnekler

3.3 Permeabilite Değerinin Bulunması

Genellikle betonun dayanıklılığının özellikle farklı koşullar altında bulunan yapılarda, betonun geğirgenliğiyle alakalı olduğu kabul edilir. Beton permeabilite deneyi geçirgenlik katsayısına karar vermek amacıyla yapılır. Bu alışmada Darcy Kanunu kullanılarak silindirik örnek üzerinde su geğiş miktarı ölçülerek belirli olan geçirgenlik katsayısının bulunması amaçlandı ve bu amaçla bu test 7, 28, 90 ve 180 günlük örnekler üzerinde tekrarlanmıştır. Permeabilite cihazı ve deney örnekleri Şekil 3’de verilmiştir. Permeabilite deneyi TS 3455 [21]’e göre yapılmış ve betonlardan geçen su miktarlarına veya betona işleyen su derinliğine göre yorumlanmıştır.



Şekil 3. Permeabilite cihazı ve deney numuneleri

4. TARTIşMA

Böhme metoduyla yüzey aşınması için üretilen kontrol ve % 60 katkı içeren üçer adet, 71x71x71 mm ebatlarındaki örnekler kür tankında 90 günü tamamladıktan sonra, yüzey aşınma deneyine tabi tutulmuşlardır.

4.1. İnce Agrega Türünün Fiziksel Aşınmaya Etkisi

Yüzey aşınma deney sonuçları Tablo 6, 7, 8 ve 9’da verilmiştir. Deney sonuçlarına bakıldığı zaman kontrol örneğinin aşınma değeri katkılı örneklerden daha az bulunmuştur. Bu sonuçlardan mekanik aşınmanın önemli olduğu yerlerde pomza veya yüksek fırın cürufu katkıları yerine kalker taşının kullanılmasının daha uygun olduğu söylenebilir. Ayrıca pomza katkılı örneklerin aşınma oranları diğer örneklere göre daha az bulunmuştur.

Tablo 6. C Örneğinin Böhme Aşınma Deneyi Sonuçları

Örnek No	Boyutlar (mm)			Alan (cm ²)	Birim Ağırlık (kg/m ³)	Ağırlık (g)		Aşınma Kaybı	
	Uzunluk	Genişlik	Yükseklik			Deney Başlangıcı	Devir Sayısı	g	cm\50cm
C-1	75.9	71.2	72.7	54.1	2425	953.4	948.6	4.8	2.0
C-2	71.6	70.3	72.4	50.4	2439	889.9	885.9	4.0	1.6
C-3	70.5	69.7	75.1	49.1	2443	901.1	897.2	3.9	1.6
Ortalama								4.2	1.7

Tablo 7. S2 Örneğinin Böhme Aşınma Deneyi Sonuçları

Örnek No	Boyutlar (mm)			Alan (cm ²)	Birim Ağırlık (kg\m ³)	Ağırlık (g)		Aşınma Kaybı	
	Uzunluk	Genişlik	Yükseklik			Deneysel Başlangıcı	Devir Sayısı	g	cm\50cm
S2-1	75.5	73.0	75.2	55.1	2304	954.2	944.2	9.9	4.3
S2-2	74.7	73.2	72.2	54.7	2296	906.0	894.5	11.5	5.0
S2-3	71.3	72.0	72.1	51.4	2310	855.8	843.0	12.7	5.5
Ortalama								11.4	4.9

Tablo 8. S5 Örneğinin Böhme Aşınma Deneyi Sonuçları

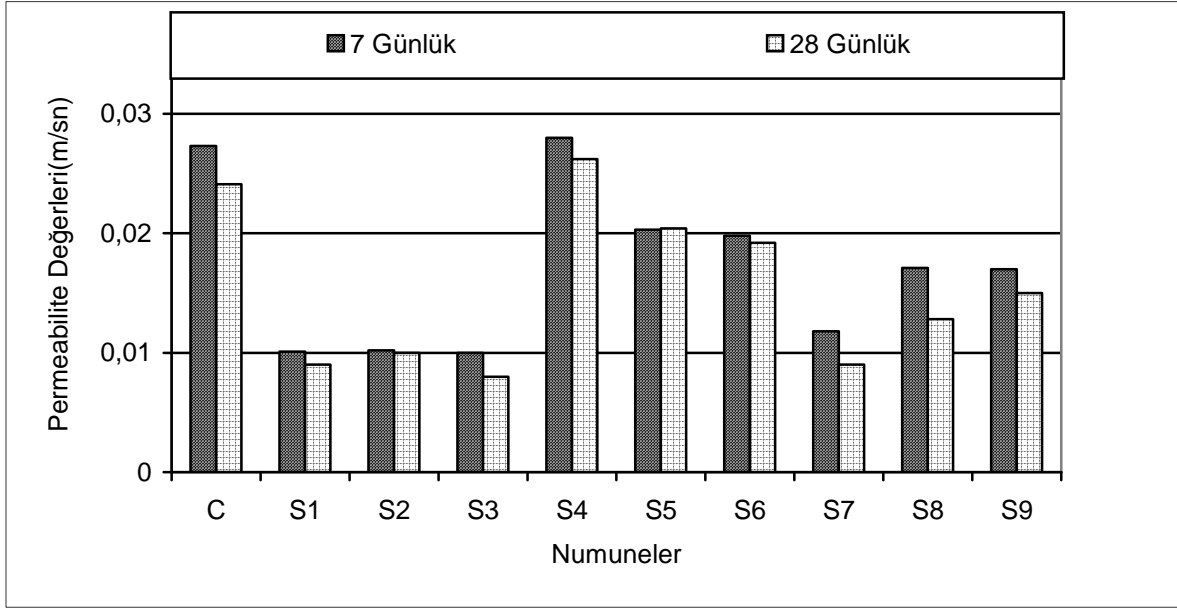
Örnek No	Boyutlar (mm)			Alan (cm ²)	Birim Ağırlık (kg\m ³)	Ağırlık (g)		Aşınma Kaybı	
	Uzunluk	Genişlik	Yükseklik			Deneysel Başlangıcı	Devir Sayısı	g	cm\50cm
S5-1	69.4	77.0	71.8	53.5	2310	886.0	871.8	14.3	6.2
S5-2	72.0	71.4	71.3	51.4	2264	829.8	816.5	13.3	5.9
S5-3	74.8	72.1	71.1	53.9	2258	865.9	852.4	13.6	6.0
Ortalama								13.7	6.0

Tablo 9. S8 Örneğinin Böhme Aşınma Deneyi Sonuçları

Örnek No	Boyutlar (mm)			Alan (cm ²)	Birim Ağırlık (kg\m ³)	Ağırlık (g)		Aşınma Kaybı	
	Uzunluk	Genişlik	Yükseklik			Deneysel Başlangıcı	Devir Sayısı	g	cm\50cm
S8-1	73.6	74.1	71.9	54.5	2361	925.0	913.4	11.6	4.9
S8-2	73.9	74.4	72.7	55.0	2290	915.2	902.5	12.7	5.5
S8-3	72.2	72.2	73.2	52.1	2331	888.3	875.1	13.2	5.6
Ortalama								12.5	5.4

4.2 İnce Agrega Türünün Permeabiliteye Etkisi

Örneklerinin permeabilite değerleri Şekil 4'te verilmiştir. Bu sonuçlara göre, maksimum geçirgenliğin yalnızca pomza içeren örneklerde özellikle S4'te, minimum geçirgenliğin ise pomza ve YFC'nin birlikte katılarak üretildiği örneklerden özellikle S3'te görülmüştür.



Şekil 4. 7 ve 28 Günlük Örneklerin Permeabilite Değerleri

4.3. GBP ve YFC Katkısının Aşınma ve Permeabiliteye Etkisi

Kontrol örneğinin ortalama aşınma miktarı (g) diğer örneklerin üçte biri kadardır. Bu ise kalker taşının yüzey sertliğinin bir sonucu olarak yorumlanmıştır. S2 örneği (%30 bazalt+%30 cüruf) katkıli örneğin aşınma miktarı diğer katkıli örneklerden daha az bulunmuştur. Pomza oranı arttıkça aşınma oranı azalmaktadır. Bu ise pomzanın gözenekli yapısından kaynaklanmaktadır. Yapılan önceki çalışmalarda bunu desteklemektedir [22, 23].

Örneklerin permeabilite değerleri karşılaştırıldığında; yedi ve yirmi sekiz günlük ölçümlere göre S4 (%40 bazaltik Pomza) katkıli örneğin permeabilite değeri en büyük bulunmuştur. Burada da bazaltik Pomza oranı arttıkça örneklerin geçirimsizliği de artmaktadır. Yedi ve yirmi sekiz günlük ölçümlere göre S3 (%40 bazaltik pomza ve %40 yüksek fırın cürufu) içeren örneğin permeabilite katsayısı en düşük bulunmuştur. Permeabilite açısından bu örneklerin katkı oranı arttıkça genellikle permeabilite değerleri düşmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

1. Betonların aşınması ve geçirimsizliği ile Yüksek Fırın Cürufu ve Granüle Bazaltik Pomza katkıları ve miktarları arasında direkt ilişki vardır.
2. Yüksek Fırın Cürufu ve Granüle Bazaltik Pomza katkıli örneklerin en düşük permeabilite değerlerine sahipken sadece Granüle Bazaltik Pomza katkıli örnekler en düşük aşınma dayanıma ve en yüksek permeabiliteye sahiptirler.
3. Elde edilen sonuçlar, aşınma ve geçirimsizliğin önemli olduğu yapıların beton üretiminde Granüle Bazaltik Pomza ve Yüksek Fırın Cürufu ince agrega olarak kullanılabilirliğini göstermektedir. Belirli oranlarda söz konusu katkıları ince agrega olarak kullanıldığında daha geçirimsiz beton üretileceğinden zararlı kimyasal ve fiziksel yıkımların önüne geçilebilir veya etki düzeyi azaltılabilir.

4. Bu çalışma, yüksek Fırın Cürufunun çimento üretimi dışındaki başka bir alanda kullanılabileceğini göstermiştir. Ülkemizde bol miktarda bulunan bazaltik pomza ile dayanıklılığı daha yüksek beton üretilbilecektir.
5. Çalışmada pomza katkılı örneklerin daha fazla aşınma göstermesi onun yüksek oranda geçirimli yapısı ile açıklanabilir. Ayrıca hem yüksek fırın cürufu hem de pomza katkılı örneklerin daha az geçirimliliği ise cürufun boşluksuz yapısı ile izah edilebilir.

6. KAYNAKLAR

1. Yıldırım, H., Gülseren, H., Uyan, M. ve Kemerli, M. K., 2003, “Geçirimsizlik Sağlayan Katkı Türlerinin Beton Geçirimsizlik Özelliklerine Etkisi”, TMMOB, İMO, Ulusal Beton Kongresi, 123-131, İstanbul.
2. Erdoğan T. Y., 2003, “Beton”, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A. Ş., Ankara.
3. Do, M. T., Chaal O. and Aitcin P. C, Fatigue Behavior of High-Performance Concrete, ASCE JM, 1(1993) 96-111.
4. Can, O., Durmuş, G., Subaşı, S., Yıldız, K. ve Arslan, M., 2009, “Lif Katkılı Betonların Aşınma Direnci Üzerindeki Etkileri”, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Karabük.
5. Uyan, M., Pekmezci, B. Y. ve Yıldırım H., 2003, “Akışkanlaştırıcı Katkı, Kür ve Koşullarının Betonun Geçirimsizlik Özellikleri Üzerine Etkileri”, SİKA Teknik Bülten, 1 (2003) 10-14.
6. Akman, M. S., 1989, “Betonun Dayanıklılık Özelliği ve Önemi”, I. Ulusal Beton Kongresi, İstanbul.
7. Young, J. F., 1998, “A Review of the Pore Structure of Cement Paste and Concrete and Its Influence on Permeability”, ACI 108.
8. Binici H, Effect of crushed ceramic and basaltic pumice as fine aggregates on concrete mortars properties, Construction and Building Materials, 21 (2007) 1191-1197.
9. Binici H, Aksogan O Kaplan H, Görür E.B, Bodur M.N, Hydro-abrasive erosion of concrete incorporating ground blast-furnace slag and ground basaltic pumice, Construction and Building Materials, 23 (2009) 804–811.
10. Binici H, Aksogan O, Kaplan H, Görür E.B, Bodur M.N, Performance of ground blast furnace slag (GBS) and ground basaltic pumice (GBP) concrete against seawater attack Construction and Building Materials, 22 (2008) 1515–1526.
11. Yüksel İ, Bilir T and Özkan Ö, Durability of concrete incorporating non-ground blast furnace slag and bottom ash as fine aggregate, Building and Environment, 42(2007) 2651-2659 .
12. Henry, J. J., Evaluation of Pavement Friction Characteristics. NCHRP Synthesis 291, Transportation Research Board, Washington DC, 2000.
13. Hall, J. W., Guide For Pavement Friction, NCHRP Project 1-43, Transportation Sector of Applied Research Associates (ARA).

14. Karpuz O, Akpınar M.V., İnce Agrega Türünün Kaplama Betonunun Asınma Direncine Etkisi, Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi Cilt: 5, No: 2, 2009 (1-8).
15. Mehta P.K, Advancements in concrete technology, Concrete International, 21 (1999) 27–33.
16. Topçu I.B and Canbaz M, Properties of concrete containing waste glass, Cement and Concrete Research, 34 (2004) 267–274.
17. Erdoğan T.Y, Materials of construction, Metu Press, Ankara, (2002).
18. E. Horszczaruk, Abrasion resistance of high-strength concrete in hydraulic structures, Wear, 259 1 (2005) 62–69.
19. Yüksel I, Özkan Ö and Bilir T, Use of granulated blast-furnace slag in concrete as fine aggregate, ACI Materials Journal 103 (2006) 203–208.
20. TS 2824 EN 1338, DIN 52108, 2002, “Testing of Inorganic Non-Metallic Materials – Wear Test Using The Grinding Wheel According to Boehme-Grinding Wheel Method, Germany.
21. TS 3455, Betonda Geçirgenlik Katsayısı Tayin Metodu, TSE, Ankara, 1981.
22. Kelling G, Kapur S, Sakarya N, Akca E, Karaman C, Sakarya B, Basaltic tephra: potential new resource for ceramic industry. Brit Ceram Trans, 3(1999) 129–36.
23. Binici H, Aksogan O, Kaplan H, A study on cement mortars incorporating plain Portland cement ground granulated blast furnace slag and basaltic pumice. Ind Mater J, 12(2005) 214–220.