

Pomza Agregasının Farklı Zamanlardaki Su Emmelerinin Hafif Betonun Mekanik ve Fiziksel Özelliklerine Etkisi

H. Süleyman GÖKÇE ve Ömer CAN

ÖZET

Hafif agregalarla hafif beton (HB) üretilmesindeki en büyük sorunlardan biri, agregaların farklı elek gruplarında farklı ve büyük su emme oranlarına sahip olmalarıdır. Bu çalışmada, pomza agregasının farklı zamanlardaki (5 dak., 10 dak., 60 dak., 1 gün ve 1 hafta) su emme miktarları tespit edilmiştir. 5 farklı zamandaki su emme miktarı ilavesi 5 farklı karışım oluşturacak şekilde, PÇ 42,5 R tipi çimento ile 700 dozlu ve 0,41 su/çimento (s/ç) oranına sahip her bir karışım için 18 adet, toplamda 90 adet 10x10x10 cm boyutlu taşıyıcı hafif beton (THB) numune üretilmiştir. 7 ve 28 günlük numunelerde su emme, yoğunluk, basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, beton test çekici, ultrases geçiş hızı ve yüzeysel aşınma deneyleri yapılmıştır. Sonuç olarak, doğal neme sahip agregalarla yapılan karışımlarda, pomza agregasının ilk 10 dakikalık su emme miktarının karışım sırasında ilave su olarak eklenildiği numunelerin, referans betonu olarak düşünülen 1 günlük su emme miktarının ilave su olarak eklenildiği numunelerin basınç dayanımlarından % 21, ultrases geçiş hızlarından % 4, beton test çekici değerlerinin % 16, yarmada çekme dayanımlarından % 21 fazla olduğu ve yüzeysel aşınma kaybı da % 3 daha az olduğu gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Pomza, Hafif Beton, Su Emme, Beton Mekanik ve Fiziksel Özellikleri

Lightweight Concrete The Mecanical and Physical Properties Effect of Pumice Aggragate's At Different Times Water Absorption

ABSTRACT

One of the biggest difficulties of lightweight concrete that are produced with lightweight aggregate is the different and big water absorption of aggregates at different sieve groups. In this study, water absorption rates of pumice aggregates were determined at different periods as 5 minutes, 10 minutes, 60 minutes, a day and a week. 90 pieces of 10x10x10 cm cube samples were produced as 18 pieces from each mixer with different water absorption rates of five periods using PC 42,5 R type cement. The water/cement (w/c) rates of these samples are 0.41 and 700 kg/m³ cement. Water absorption, density, compressive strength, tensile splitting strength, concrete test hammer, ultrasound, and abrasion resistant tests were applied for 7 and 28 days hardened samples. As a result, for mixtures of concrete that are prepared with naturally moistured aggregate, the samples in which the 10 minutes water absorption amount is added in pumice aggregate as addition water, have been observed that they have more than high %21 compressive strength, more than %4 ultrasound velocity, more than %16 concrete test hammer values, more than %21 tensile splitting strength and less than %3 abrasion less than the reference concrete in which a day water absorption is added as addition water.

Key Words : Pumice, Lightweight Concrete, Water Absorption, Concrete Mechanic and Physical Properties

1. GİRİŞ

Pomzataşı, volkanik patlamalar sonucunda ani soğumalar ile bünyesinde bulunan buhar ve gazların uzaklaşması sonucu boşluklu bir yapı kazanan volkanik bir taştır (1).

Bu özelliğinden dolayı başta inşaat sektörü olmak üzere, tekstil sektörü, tarım sektörü, kimya sektörü ile diğer endüstriyel ve teknolojik alanlarda kullanımı gittikçe artmaktadır (2).

Pomza agregasının birim ağırlığı 2,4 g/cm³'den küçük olduğu için hafif agrega sınıfına girmektedir (3). Bu hafif agregalarla üretilen betonların birim ağırlıkla-

Makale 18.08.2009 tarihinde gelmiş,07.01.2010 tarihinde yayınlanmak üzere kabul edilmiştir.

H.S. GÖKÇE,Ö. CAN, Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümü

e-posta :suleymangokce@gazi.edu.tr omercan@gazi.edu.tr

Digital Object Identifier 10.2339/2009.12.4, 293-298

rının 2,0 g/cm³'den küçük olması durumunda hafif yapı malzemesi olarak tanımlanabilir.

Son yıllarda hafif yapı malzemelerine verilen önemin giderek artmasına paralel olarak, hammadde tüketiminde pomza taşı, düşük birim hacim ağırlığı, yüksek ısı ve ses izolasyonu, iklimlendirme özelliği, kolay sıva tutması, çok iyi akustik özelliği, deprem yük ve davranışları karşısındaki elastikiyet ve alternatiflerine göre çok daha ekonomik oluşu gibi üstün özelliklerinden dolayı, inşaat ve yapı endüstrisinde büyük bir kullanım alanı bulunmaktadır (4). Pomzadan üretilen yapı elemanları ısı ve ses yalıtımı sağlaması nedeni ile yapı endüstrisinde önemli bir kullanım alanına sahip bulunmaktadır (5).

Betona kolay işlenebilmesi için katılan su miktarı betonda kılcal boşluklara ve bundan dolayı betonun mukavemet değerinin azalmasına neden olmaktadır.

Ancak betondaki bu olumsuz etkileri azaltmak için bir takım önlemler alınması gerekmektedir. Örneğin, beton içerisindeki fazla suyu sonradan almak veya çimento tanelerini homojen bir şekilde dağıtan bir takım akışkanlaştırıcılarla su/çimento (s/ç) oranını düşürmek, beton niteliğini artırıcı yöntemlerdir (6).

Beton üretiminde kullanılan karışım suyu miktarı, mukavemet üzerine çok büyük etki yapmaktadır. Betona konulan su, öncelikle çimentonun hidrasyonunu sağlar, sonra agrega tanelerini ıslatır ve taze betonun kalıba yerleştirilmesini kolaylaştırır (7). Belli bir değerden sonra su miktarı artıkça beton mukavemetinde önemli azalmalar görülür.

Çimentodaki hidrate bileşimindeki su, buharlaşabilen ve buharlaşamayan su olmak üzere iki grupta incelenir. Buharlaşamayan su, çimentonun karmaşık bileşenlerince tutulan sudur. Buharlaşabilen su ise çimento hamurunun çeşitli boşluklarında bulunan sudur. Bu boşluklarda ki buharlaşabilen su ise, serbest su, kapiler su ve jel suyu olmak üzere üç kısımdır (8,9,10).

Hafif beton içerisinde kullanılan yüksek su emme oranına sahip hafif agregalar ile beton karışımı hazırlanırken, hafif agrega ile hem ön su emdirme hem de ilave su emme miktarı kullanılarak beton dökümü yapılabilir. Bilindiği üzere ön su emdirme işlemi yapılan agregalarla çimento teması sırasında topaklaşma olma riski vardır. Bunu önlemede karıştırma hızı ve süresi etkili faktör olabilir. Bu sebeple hazırlanan agrega-çimento kuru karışımında, su miktarına, agrega su emme miktarı kadar su ilavesi yapılarak beton dökümü uygun olabilir. Yapılacak agrega su emme ilavesinin belirlenmesinde karışımın su ile temasından beton harcının kalıba yerleştirilicisi kadar geçen sürede agrega-

nın emeceği su olarak belirlenmesi ile istenilen su emme miktarı kadar su karışıma ilave edilir. Bu şekilde her bir karışımın karıştırma ve kalıba yerleştirme süresi dikkate alınarak istenilen optimum su miktarı belirlenebilir. Bu belirleme işlemi yapılırken agreganın direk olarak su içerisinde beklerken emeceği su ile aynı süre zarfında beton karışım harcı içerisinde etrafı çimento hamuru ile örtülü halde emeceği su miktarı eşit olmayacağı muhakkaktır. Bilindiği üzere beton karışımına fazladan ilave edilen su beton içerisinde boşluklar meydana getirerek betonun dayanımının düşmesine sebep olmaktadır. Bu betonda s/ç oranı daha fazlaymış gibi etki gösterecektir. S/Ç oranının değişiminin beton dayanımı üzerinde etkili olduğu bilinmektedir (11). S/Ç oranının düşmesi beton basınç ve çekme dayanımını oldukça yükseltecektir (12).

Isparta-Gölcük yöresinden temin edilen bims (pomza) agregası ile hafif beton üretimi için bims agregasının ilk 30 dakikalık su emme miktarı göz önüne alınarak karışım yapılmış ve istenilen kıvam sağlanabilmiştir. Karışımlarda toplam suyun (karışım suyu ve su emme ilavesi toplamı) bağlayıcıya oranı yaklaşık 1 olmuştur (13).

Bu çalışmada pomza agregasının farklı zamanlardaki su emme miktarlarının ilave su olarak kullanıldığı karışımların taze ve sertleşmiş beton özellikleri incelenmiştir.

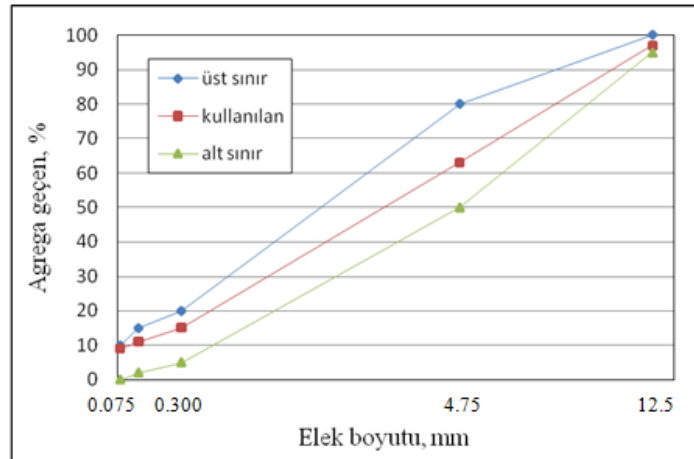
2. MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

Hafif betonların (HB) üretiminde Isparta – Gölcük yöresinden temin edilen 0-4,75 ve 4,75-12,5 sınıflandırılmış bazaltik pomza agregası kullanılmıştır.

Tablo 1. Agreganın bazı fiziksel özellikleri

Malzeme	0 dakika (%)	5 dakika (%)	10 dakika (%)	60 dakika (%)	1 gün (%)	1 hafta (%)	doğal nem (%)	bir. hac. ağır. (g/cm ³)	gev.bir. hac. ağır. (g/cm ³)
0 – 4,75	0	3,9	4,7	8,3	14,9	16,3	1,8	1,871	0,896
4,75–12,5	0	20,7	21,9	26,5	32,3	38,7	2,2	1,159	0,700



Şekil 1. ASTM C 330 sınır değerler ve kullanılan pomza agregasının elek analizi

Pomza agregasının su içerisinde bekletildiği farklı sürelerdeki (0 dak., 5 dak., 10 dak., 60 dak., 1 gün, 1 hafta) su emme %'leri, doğal nem, özgül ağırlık, gevşek birim hacim ağırlıkları Tablo 1' de verilmiştir. Karışımlarda pomza agregası tane dağılımı ASTM C 330' a göre sınır değerler içerisinde kalacak şekilde kullanılmış ve Şekil 1' de granülometrisi verilmiştir (14).

Çalışmada PÇ 42,5 R tipi Set Çimento A.Ş.' ye ait çimento kullanılmıştır. Kullanılan çimento ve pomza agregasının kimyasal özellikleri Tablo 2' de, çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 3' de verilmiştir.

olduğu düşünülerek karışımlara sadece pomzanın farklı zamanlardaki su emmesi eklenilmiştir. Pomza agregalarının, kuru halinde kullanılan karışımlar K1, 5 dakikalık su emme oranı kadar su eklenen karışımlar K2, 10 dakikalık su emme oranı kadar su eklenen karışımlar K3, 60 dakikalık su emme oranı kadar su eklenen karışımlar K4, 1 günlük su emme oranı kadar su eklenen karışımlar K5 ve 1 haftalık su emme oranı eklenen karışımlarda K6 olarak adlandırılmışlardır. Pomza agregasının doğal nemi karışımların hazırlanmasında hesaba katılmıştır. Yapılan taze beton karışımlardan 10x10x10 cm küp numuneler TS EN 12350-1'e göre (15), kıvamının belirlenmesi TS EN

Tablo 2. CEM I 42,5 R tipi çimento ve pomzanın kimyasal özellikleri

Bileşik, %	CEM I 42,5 R	Pomza
SiO ₂	20,64	59,00
Al ₂ O ₃	5,35	16,60
Fe ₂ O ₃	3,30	4,80
CaO	62,50	4,60
MgO	1,65	1,80
SO ₃	2,93	0,40
Na ₂ O	0,15	5,20
K ₂ O	0,71	5,40
Cl	0,011	-

Tablo 3. CEM I 42,5 R tipi çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri

Fiziksel		Mekanik		
Özellikler		MPa		
Özgül yüzey, cm ² /g	3350			
Genleşme, mm	3			
Su ihtiyacı, %	27,2	Gün	Basınç dayanımı	Eğilme dayanımı
Priz baş. Dk	106			
Priz sonu, dk.	189	7. gün	31,8	5,3
Özgül ağırlık, g/cm ³	3,1	28. gün	48,9	6,1

Tablo 4. Beton karışım oranları

Karışım Kodu	K1	K2	K3	K4	K5	K6
Çimento	700	700	700	700	700	700
Su	287 (+0)	287 (+ 58,7)	287 (+ 65,4)	287 (+ 93,7)	287 (138,4)	287 (+ 161,7)
Su / çimento	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41
0 - 4,75	451,16	451,16	451,16	451,16	451,16	451,16
4,75 - 12,5	272,82	272,82	272,82	272,82	272,82	272,82
Toplam	1769,67	1769,67	1776,42	1804,65	1849,38	1872,67

Karışım suyu olarak şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

2.2. Metot

HB karışımlarının üretimi 50 dm³ kapasiteli düşey eksenli laboratuvar tipi beton mikserinde yapılmıştır. Karışımlarda 700 kg/m³ çimento miktarı sabit tutulmuştur. Su/çimento oranı 0,41 olarak sabit

12350-2'ye göre (16) yapılmıştır. Hafif beton üretiminde kullanılan malzeme karışım oranları Tablo 4'da verilmiştir.

Kirece doymun havuzda bekleyen 7 ve 28 günlük numuneler bir gün önceden havuzdan çıkarılıp etüvde 105 °C'de 24 saat etüv kuru haline getirilebilmek için bekletilmiştir.

Sertleşmiş beton numuneler üzerinde TS EN 12390-7'e göre (17) yoğunluk, TS EN 12390-3'e göre (18) basınç dayanımı, TS EN 12390-6'ya göre (19)

Yapılan karışımlarda agregaların farklı zamanlardaki su emme miktarlarının beton karışımına ilave su olarak eklenmesi ile taze beton çökme miktarları

Tablo 5. Taze beton özellikleri

	K1	K2	K3	K4	K5	K6
Çökme, (cm)	-	3	8	18	23	26
Bir. Hac. Ağ., (g/cm ³)	-	1,46	1,69	1,71	1,76	1,76

yarmada çekme dayanımı, ASTM C 944'e göre (20) aşınma direnci, ASTM C 597'e göre (21) ultrases geçiş hızı ve ASTM C 805'e göre (22) beton test çekici ile yüzey sertlikleri belirlenmiştir.

Ultrasonik test cihazı olarak adlandırılan bir cihaz vasıtasıyla sertleşmiş betonun içerisinde geçirilen ses dalgalarının hızının ölçüldüğü ve betonun basınç dayanımı hakkında bir bilgi elde edildiği metottur (23). Üretilen kompozit malzemelerin boşluk oranı fazla ise ses, ultrasonik test cihazının bir probundan diğerine daha yavaş geçecektir. Bu sebeple km/s cinsinden hesap edilen $V = l/t$ (hız=yol/zaman) değeri düşük çıkacaktır. Bu şekilde malzemenin basınç dayanımının düşük olduğu yorumlanabilir. Başka bir deyişle ultrases geçiş hızı değerleri ile malzemeler kendi arasında daha iyi veya kötü olarak kıyaslanabilir.

Beton test çekici betona zarar vermeden yüzey sertliğini tespit etmede kullanılır. Bu betonun elde edilen yüzey sertliğine göre basınç dayanımı ile de ilişkilendirilebilir. Buna dayanarak beton kalitesi belirlemek yanlış ve uzak sonuçlar doğurabilir. Betonun iç ve dış mekanik özellikleri betonun bulunduğu farklı ortamlar dolayısıyla farklı dayanımlar sahip olabilir. Bu sebeple daha çok uygulamada beton kalitesini diğerleriyle kıyaslamada ve ultrases geçiş hızı değerleri ile birlikte basınç dayanımı yaklaşık olarak belirlemede kullanılabilir.

Yarmada çekme dayanımı, beton ve betonarmede karşılaşılan yukarıdan gelen noktasal ve doğrudan olarak düşünülebilecek yükler altında betonun ayırmaya karşı direncini göstermektedir. Yarmada çekme dayanımı, normal ağırlıklı betonlara göre hafif betonlarda kullanılan agrega fiziksel ve mekanik özelliklerinin daha zayıf olmasından dolayı daha az olmaktadır.

3. BULGULAR

TS EN 1097' ye göre (24) agregalar $24 \pm 0,5$ saat su içerisinde bekletilerek su emme miktarı bulunur. Dolayısıyla çalışmada 1 günlük su emme miktarı %100' lük su emme miktarı olarak düşünülmüş ve bu şekilde yapılan karışım (K5) referans karışımı olarak alınmıştır. Pomza agregasının günlük su emme miktarının iri agregada yaklaşık % 64 ve ince agregada %26'sını ilk 5 dakika içinde emmiştir. Aynı şekilde yine günlük su emme miktarına göre, 10 dakikada iri agregada % 68 ve incede % 32'sini, 60 dakikada iride % 82 ve incede % 56'sını, 1 haftada ise iri agregada % 109 ve incede ise % 120'sini emmiştir.

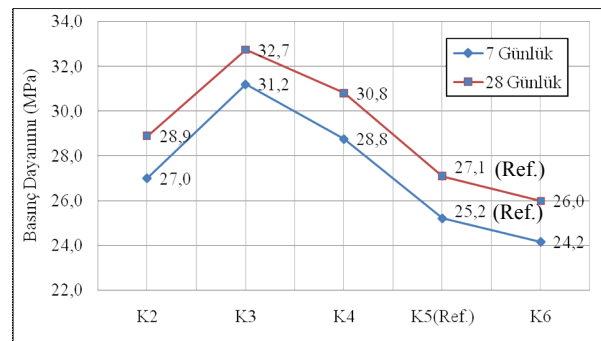
artmıştır. Taze betonun çökme miktarı ve birim hacim ağırlıkları Tablo 5'de verilmiştir.

Agreganın su emme süresine bağlı ilave su miktarı arttıkça kıvam için gerekli su miktarı artmakta ve buda doğal olarak çökme miktarını artırmaktadır. K1 kodlu karışım suyunun büyük bir kısmını su emme ilavesi yapılmayan karışımındaki agrega emdiği için K1 karışım betonu dökülememiştir. K2 kodlu karışım su emme miktarı eklenerek üretilen betonun çökmesi 3 cm olurken, referans olarak alınan 1 günlük su emme miktarı eklenerek üretilen betonun çökmesi 23 cm olduğu Tablo 5'de görülmektedir. Emilen su miktarı ile karışımlardaki (K2, K3, K4, K5, K6) çökme arasında doğrusal bir ilişki söz konusudur. Sertleşmiş betonların doygun ve kuru birim hacim ağırlıkları ile su emme %' leri Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. Sertleşmiş betonun bazı fiziksel özellikleri

	Doygun Bir. Hac. Ağır.	Kuru Bir. Hac. Ağır.	Su Emme %
K1	-	-	-
K2	1,814	1,607	12,91
K3	1,817	1,602	13,47
K4	1,810	1,580	14,65
K5	1,835	1,645	11,50
K6	1,842	1,626	13,28

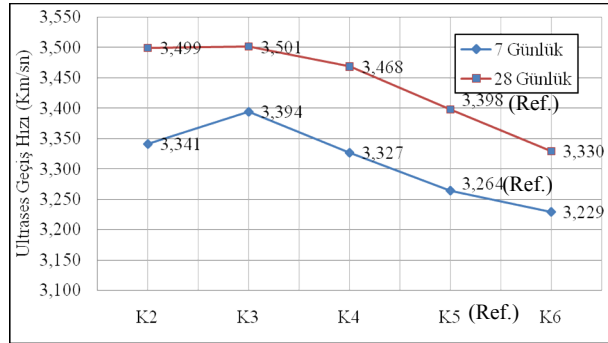
Basınç dayanımı, ultrases, beton test çekici, yüzeysel aşınma kaybı verileri kendi aralarında benzer artan ve azalan ilişkiler göstermiştir. Şekil 2'de su emme durumlarına göre basınç dayanımları gösterilmiştir.



Şekil 2. 7 ve 28 günlük basınç dayanımları

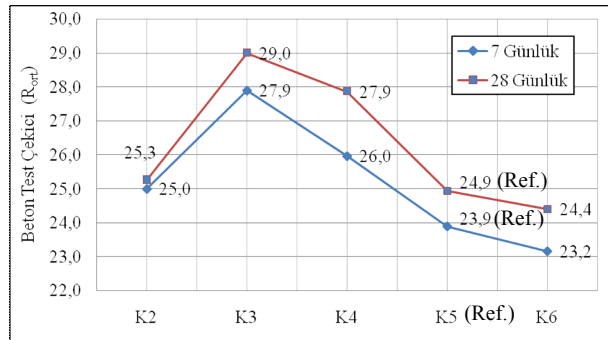
Referans beton olarak 1 günlük su emme değerleri içeren K1 karışımı seçilip diğer karışımlar ile karşılaştırılmıştır. Referans karışımının 7 günlük basınç dayanımlarına göre K2 karışımı % 7, K3 karışımı % 24, K4 karışımı % 14 daha fazla ve K6 karışımı % 4 daha az bulunmuştur. 28 günlük basınç dayanımlarına göre K2 karışımı % 7, K3 karışımı % 21, K4 karışımı % 14 daha fazla, K6 karışımı % 4 daha az bulunmuştur. 10 dakikalık su emme oranına sahip K3 kodlu numunelerin basınç dayanımı diğer su emme oranına sahip serilere göre daha yüksek çıkmıştır.

Su emme gruplarına göre 7 ve 28 günlük ultrases geçiş hızı değerleri aşağıda Şekil 3’de gösterilmiştir.



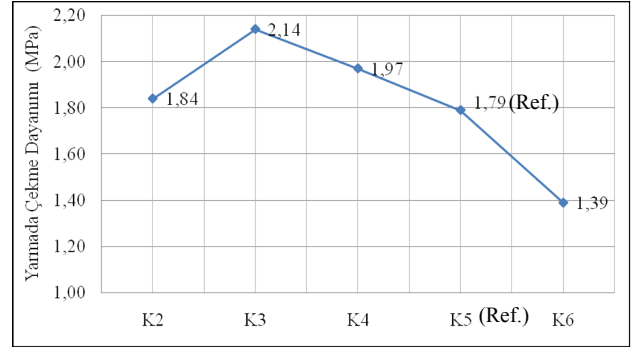
Şekil 3. 7 ve 28 günlük ultrases geçiş hızları

Yukarıda Şekil 3’de görüldüğü gibi 7 ve 28 günlük ultrases geçiş hızlarında referans karışımlarına göre K2, K3 ve K4 karışımları daha fazla, K6 karışımları daha az ultrases geçiş hızı değerleri vermiştir. 7 ve 28 günlük ultrases sonuçlarına göre karışımlar arasında en iyi yüksek geçiş hızını K3 karışımı vermiştir.



Şekil 4. 7 ve 28 günlük beton test çekici değerleri

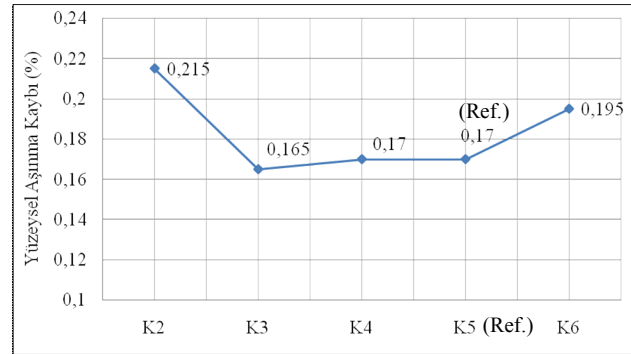
Yukarıda Şekil 4’de görüldüğü gibi 7 ve 28 günlük beton test çekici değerlerinde, referans karışımlarına göre K2, K3 ve K4 karışımları daha fazla, K6 karışımları daha az beton test çekici değerleri vermiştir. 7 ve 28 günlük beton test çekici değerlerine göre karışımlar arasında en yüksek değeri K3 karışımı vermiştir. 7 ve 28 günlük beton test çekici değerleri, basınç dayanımı ve ultrases geçiş hızı ile benzer ilişki göstermektedir.



Şekil 5. 28 günlük yarmada çekme dayanımları

Yarmada çekme dayanımlarının verildiği Şekil 5’de referans karışımına göre K2 karışımı % 3, K3 karışımı % 20, K4 karışımı % 10 daha fazla ve K6 karışımı % 22 daha az yarmada çekme dayanımına sahip olduğu bulunmuştur. Bütün karışımlarda K3 karışımının 28 günlük yarmada çekme dayanımı en fazla bulunmuştur.

Üzerine herhangi bir kaplama malzemesi gelmeyecek betonlarda yüzeysel aşınma kaybı da önem kazanmaktadır. Aşağıda Şekil 6’de hazırlanan hafif beton karışımlarının yüzeysel aşınma kayıpları %’de olarak verilmiştir.



Şekil 6. 28 günlük yüzeysel aşınma kayıpları

K3 numunesinin basınç dayanımı, yüzey sertliği değerlerinin yüksek olmasıyla ilişkili olarak aşınma kaybı en az çıkmıştır. Aşınma kaybı arttıkça basınç değerleri de düşmüştür. Ama bu durum basınç dayanımının yüzeysel aşınma kaybı ile orantılı bir azalma veya artma göstereceğini kanıtlamaz. Şekil 6’da K4 ve K5’in basınç değerleri farklı iken aşınma kayıpları aynı ve K6’nın basınç dayanımı düşük olmasına rağmen aşınma kaybı K2’ye göre daha azdır. Bu malzeme yapısından, kalıp yüzeylerinin taze betonun içerisine yerleştirilirken oluşturduğu farklılıklar ve oluşan boşluklar yüzünden basınç dayanımı ile tam bir ilişki kurulamadığı düşünülmektedir.

4. SONUÇ

Çalışmada farklı zamanlardaki agrega su emme miktarının karışım sırasında ilave edilmesi ile üretilen numunelerin basınç dayanımı, ultrases geçiş hızı, beton test çekici ile yüzey sertliği, yarmada çekme dayanımı ve yüzeysel aşınma testlerinin sonuçlarının karşılaştırılması yapılmıştır. Buna göre 28 günlük referans karışımına göre K3 karışımının; basınç

dayanımı % 21, ultrases geçiş hızı %4, beton test çekici değeri %16, yarmada çekme dayanımı %20 daha fazla çıkarken, yüzeysel aşınma kaybı %3 daha az çıkmıştır.

Bu çalışmanın sonuçlarına istinaden, yüksek su emme oranına sahip agregalarla yapılacak olan beton karışımlarında, ilave su oranları belirlenirken beton kalıba yerleştirilinceye kadar geçen süredeki agreganın emeceği su miktarının karışım hesabında göze önüne alınması uygun olacaktır.

5. KAYNAKLAR

1. James, A., Barr, Jr., "Pumice and Pumrite Industrial Minerals and Rocks, New York", 1949.
2. Tolgay, A., Yaşar, E., Erdoğan, Y., "Nevşehir Pomzasının Agregata Olarak Betonda Kullanılabilirliğinin Araştırılması", 5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, s: 345-354, İzmir, 2004.
3. Şimşek, O., "Yapı Malzemeleri II", Seçkin Yayıncılık, 3. Baskı, Ankara, 2007.
4. Sarıışık, A., Tozaçan, B., Davraz, M., Uğur, İ., Çankıran, O., "Pomza Teknolojisi" Cilt I-II, Isparta, 1998
5. Topçu, İ. B., Uygunoğlu, T., Ünal, O., "Otoklavlarda Kür Edilmiş Pomzalı Hafif Betonun Özellikleri, Türkiye Pomza Sempozyumu ve Sergisi, ss. 219-224, Isparta, 2005.
6. Akyüz, S., "Boşluk Oranı ve Geometrisinin Betonun Basınç Dayanımına Etkisi ve Yüksek Dayanımlı Betonda Boşluk Yapısı", 2. Ulusal Beton Kongresi, 53-66, İstanbul, 1991.
7. Şimşek, O., "Beton ve Beton Teknolojisi", Seçkin Yayıncılık, 3. Baskı, Ankara, 2009.
8. Süvari, Y., Hızlandırılmış Rötire ile Hidrolik Rötire Arasındaki İlişkinin İncelenmesi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 1995.
9. Öner, A., "Betonun Hidrolik Rötiresinin İç Yapıyla İlişkisi", İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 1997.
10. Postacıoğlu, B., "Beton Bağlayıcı Maddeler, Agregalar, Beton" Cilt 2, İTÜ, İnşaat Fakültesi, Teknik Kitaplar Yayınevi, İstanbul, 1987.
11. Popovics, S., "Concrete Materials, Properties, Specifications and Testing", Noyes Publications, New Jersey, US, 1992.
12. Atış, C. D., vd., "Su-Çimento Oranının Beton Dayanımına Etkisi", Ç.Ü. Müh. Mim. Fak. Dergisi, s:91-98, 2000.
13. Sancak, E., Şimşek, O., "Yüksek Sıcaklığın Silis Dumanı Ve Süperakışkanlaştırıcı Katkılı Hafif Betona Etkileri", Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., Cilt 21, No 3, 443-450, 2006.
14. ASTM C 330-05 "Standard Specification for Lightweight Aggregates for Structural Concrete", Annual Book of ASTM Standard, ASTM, West Conshohocken, PA., 2006.
15. TS EN 12350-1, "Beton-Taze Beton Deneyleri-Bölüm 1 : Numune Alma", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2002.
16. TS EN 12350-2, "Beton-Taze Beton Deneyleri-Bölüm 2 : Çökme (slamp) Deneyi", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2002.
17. TS EN 12390-7, "Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 7 : Sertleşmiş Betonun Yoğunluğunun Tayini", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2002.
18. TS EN 12390-3, "Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 3 : Deney Numunelerinde Basınç Dayanımı Tayini", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2003.
19. TS EN 12390-6, "Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 6 : Deney Numunelerinin Yarmada Çekme Dayanımının Tayini", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2002.
20. ASTM C 944/ C 944M-99 "Standard Test Method for Abrasion Resistance of Concrete or Mortar Surfaces by Rotating-Cutter Method, Annual Book of ASTM Standard, June 2005.
21. ASTM C 597-02 "Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete", Annual Book of ASTM Standard, February 2003.
22. ASTM C 805/C 805M-08 "Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete", Annual Book of ASTM Standard, September 2008.
23. Erdoğan, T. Y., Beton, METU Press Publishing Company, Ankara, 2003.
24. TS EN 1097-6, "Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler-Bölüm 6: Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2002.