



ISSN:1306-3111
e-Journal of New World Sciences Academy
2009, Volume: 4, Number: 2, Article Number: 1A0019

ENGINEERING SCIENCES

Received: November 2008

Accepted: March 2009

Series : 1A

ISSN : 1308-7231

© 2009 www.newwsa.com

Tahir Gönen

University of Firat

tahirgonen@gmail.com

Elazig-Turkiye

KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN POMZA VE PERLİT AGREGALI HAFİF HARÇLARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİ

ÖZET

Kendiliğinden yerleşen harçlar; kendiliğinden yerleşen beton bileşenlerinin oranlarını tespit etmede ve/veya tamir harcı için kullanılabilirler. Bu çalışmada pomza ve genleştirilmiş perlit agregalar kullanılarak kendiliğinden yerleşen hafif harçlar üretilmiştir. Pomza agregası ile referans karışım hazırlanmış ve bağlayıcı faz sabit tutularak, pomza agregası %10, 20, 30, 40 ve 50 oranlarında genleştirilmiş perlit ile yer değiştirmiştir. Kendiliğinden yerleşen hafif harçlar dere agregalı kendiliğinden yerleşen harçlar ile kıyaslanmıştır. Tüm harçlarda kendiliğinden yerleşebilme özellikleri için slump yayılma çapı ve V hunisi akış hızı tespit edilmiştir. Kendiliğinden yerleşen harçların basınç ve eğilmede çekmeleri tespit edilmiş, ayrıca taze ve kuru birim ağırlıklar ile porozite deneyleri uygulanmıştır. Sonuç olarak üretilen harçların hem kendiliğinden yerleşebilme kabiliyetine sahip olduğu hem de yüksek dayanımlı olduğu görülmüştür. Birim ağırlıklar azaldıkça basınç dayanımları da azalmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kendiliğinden Yerleşen Hafif Harç, Pomza, Genleştirilmiş Perlit, Basınç Dayanım, Görünür Porozite

THE MECHANICAL PROPERTIES OF SELF COMPACTING LIGHTWEIGHT MORTAR WITH PUMICE AND EXPANDED PERLITE AGGREGATE

ABSTRACT

Self compacting mortars have been used as repair mortar or to determine component rates of the self compacting concrete. In this study; self compacting lightweight mortars were produced with basaltic pumice and expanded perlite aggregate. Expanded perlite aggregate was used at rates 10, 20, 30, 40 and 50% by volume instead of pumice aggregate and compared with reference specimens made fully pumice aggregate. Self compacting lightweight mortars were compared with self compacting mortar with river aggregate. Slump flow and V funnel were carried out for self compactibility all mixtures. Unit weight, apparent porosity, compressive and flexure strength of mortars were determined. As a result, all mortars in this study have ability self compactibility. The more the unit weight of mortars decreases, the more the compressive strength of mortars decrease.

Keywords: Self Compacting Lightweight Mortar, Pumice, Expanded Perlite, Strength, Apparent Porosity



1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kendi ağırlığı ile sık donatılı dar ve derin kesitlere yerleşebilen, iç veya dış vibrasyon gerektirmeksizin kendiliğinden sıkışabilen, bu özelliklerini sağlarken, ayrışma ve terleme gibi problemler yaratmayacak kohezyonunu (stabilitesini) koruyabilen, çok akıcı kıvamlı betonlara KYB denilmektedir. 1990'lı yıllarda su altında vibrasyonsuz beton dökmenin verdiği tecrübelerle ilk olarak Japonya'da geliştirilmiştir. Gelişmiş ülkelerde birçok uygulanma örnekleri görülmektedir. Literatürde de KYB ile ilgili birçok araştırma mevcuttur. Kendiliğinden yerleşen harçlar ise (KYH) daha yeni bir teknolojidir. KYH, dizaynı düşünülen KYB'lerin işlenebilme özellikleri hakkında ön fikir vermesi için kullanılmaktadır [1]. KYH'ler ayrıca betonarme yapıların tamiri ve güçlendirmesi içinde kullanılmaktadır. Kendiliğinden yerleşen tamir harçları onarım ve güçlendirmede tercih edilmeye başlanan yeni bir üründür [2 ve 3]. Deprem güvenliği bulunmayan yapılarda, depreme karşı alınan en yaygın izlenen yöntemlerin başında onarım ve güçlendirme gelmektedir. Onarım harçlarının yerleştirilmesi çoğunlukla bir problem teşkil etmektedir. Bunda; manto kalınlığının az olması ve donatı sıklığının fazla olması önemli bir etkidir. Kesite iyi yerleşemeyen onarım harcının mukavemeti düşük aynı zamanda da geçirimsizliği fazla olacaktır.

KYB'lerin kendiliğinden yerleşebilme özellikleri harç fazından önemli ölçüde etkilenir. Bu yüzden KYB üretimine geçilmeden önce KYH ile ön denemeler yapılmaktadır. KYH'ler ayrıca son zamanlarda tamir harcı olarak kullanımına rastlanmaktadır [4]. Sakai [5] 0,9 kg/m³ süper akışkanlaştırıcı ve 1,1 kg/m³ viskozite arttırıcı kimyasal katkı kullanarak 10-35 MPa basınç dayanımına sahip kendiliğinden yerleşen hafif harçların üretilebileceğini belirtmişlerdir. Felekoğlu ve diğ., [4], çelik lif ilaveli kendiliğinden yerleşen tamir harcı geliştirmiştir. Çalışmalarında, lif ilavesinin basınç ve çekme dayanımı ile aşınma direncini arttırdığı ancak işlenebilirliği düşürdüğü belirtilmektedir.

Normal Ağırlıklı beton en yaygın kullanılan taşıyıcı yapı malzemesidir. Ancak birim ağırlığının yüksekliği ve ısı geçirimsizliği onun en belirgin dezavantajlarından biridir. Yapı elemanlarında betonun birim ağırlığı düşürülerek ekonomi ve emniyet avantajları sağlanabilir [6 ve 7]. Ayrıca yapının hafif malzemeler ile üretilmesi depremden dolayı da önemli avantaj sağlayabilir. Hafif malzemelerle yapılan binalarda deprem sırasında oluşan eylemsizlik kuvvetleri de azalacağından sarsıntılı bina üzerindeki yıkıcı etkileri zayıflar [8 ve 9]. Hafif beton ya da harç yapabilmeyen genel kuralı boşluk oluşturmaktır. Boşluk ya harç fazında ya da agrega içerisinde yapılır [10]. Hafif agrega kullanarak hafif beton yapımı en yaygın olanıdır. Hafif agrega doğal veya yapay olabilir. Doğal hafif agregaya çok sık bir şekilde rastlanmaktadır. Özellikle orta ve doğu Anadolu bölgeleri bu konuda oldukça zengindir.

Kendiliğinden yerleşen betonun hafif ve yüksek mukavemetli olması aranılabilir özellikler arasında olabilir. Bu tarz bir betonu üretmek için öncelikli olarak kendiliğinden yerleşen hafif harç üretimi gerekmektedir. Üretilen bu harcın tamir harcı olarak kullanımı da olasıdır. Yapı elemanı güçlendirilirken tamir harcı olarak hafif harç kullanılması, yapıya gelecek ekstra yükü de en aza indirecektir. Kendiliğinden yerleşen harçlar ile ilgili literatürde çok az çalışma yer almaktadır. Kendiliğinden yerleşen hafif harca ise rastlanmamıştır.

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFIANCE)

Kendiliğinden yerleşen taşıyıcı hafif beton, beton teknolojisinde yeni ve iyi alternatif beton türlerinden biridir. Bu beton türünü üretebilmek için öncelikli olarak harç denemelerinin yapılması ile gereksiz malzeme ve zaman kaybının önüne geçilir. Kendiliğinden yerleşen harçlar ayrıca dar kesitlere iyi yerleşebildiğinden onarım ve güçlendirme malzemesi olarak da kullanım potansiyeline sahiptirler. Bu çalışmada ilk aşamada dere kumu ile kendiliğinden yerleşen referans harç numunesi üretilmiştir. İkinci aşamada benzer işlenebilme özelliklerine sahip pomza ve genleştirilmiş perlit agregalı kendiliğinden yerleşen hafif harçlar üretilmiştir. Bu harçların 7, 28 ve 90 günlük basınç ve eğilme dayanımları kıyaslanmıştır.

3. DENEYSEL YÖNTEM (EXPERIMENTAL METHOD)

3.1. Malzemeler (Materials)

DeneySEL çalışmalarında Elazığ çimento fabrikasında üretilen CEM I 42.5 tipi çimento kullanılmıştır. Kullanılan çimentoya ait fiziksel ve kimyasal özellikler Tablo 1'de verilmiştir. Toz malzeme olarak Sivas Kangal Termik Santralinden alınan uçucu kül kullanılmıştır. Agregalar olarak maksimum tane çapı 4 mm olan dere kumu, bazaltik pomza ve genleştirilmiş perlit agregası kullanılmıştır. Dere kumu ve bazaltik pomza sırasıyla Elazığ Palu ve Elazığ Yeniköy yöresine aittir. Kullanılan agregaların fiziksel özellikleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1. Çimento ile silis dumanının kimyasal ve fiziksel özellikleri
(Table 1. Physical and chemical roperties of cement and silica fume)

Kimyasal Bileşim (%)	PÇ	Uçucu Kül (Kangal)
S (SiO ₂)	21.12	38,34
A (Al ₂ O ₃)	5.62	16,69
F (Fe ₂ O ₃)	3.24	5,11
CaO	62.94	27,62
MgO	2.73	1,60
SO ₃	2.30	4,44
Na ₂ O	-	-
K ₂ O	-	-
Cl	-	-
Kızdırma Kaybı	1.78	0,79
Fiziksel Özellikler		
Yoğunluk, (g/cm ³)	3.10	2,3
Özgül Yüzey cm ² /g)	3370	2343

Tablo 2. Agregaların fiziksel özellikleri
(Table 2. Physical roperties of aggregates)

	Dere Kumu	Pomza	Perlit
Kuru özgül ağırlık (kg/dm ³)	2,73	2,07	0,19
Su emme (%)	2,0	8,3	140
Gevşek birim ağırlık kg/m ³	1630	836	0,022
500 devir aşınma	13	42	

3.2. Karışım Oranları ve Deneysel Metotları (Mix Proportions and Experimental Method)

Kendiliğinden yerleşen harç karışımların karışım oranları Tablo 3'de verilmiştir. Kuru malzemeler 1 dakika karıştırıldıktan sonra suyun 5/4'ü ilave edildi ve 3 dakika daha karıştırılmıştır. Son olarak karışıma kalan su ile birlikte süper akışkanlaştırıcı ilave edilerek 1 dakika daha karıştırılmıştır. Karışımların mini slump yayılma ve mini V hunisi akış süreleri EFNARC'a [11] göre belirlenmiştir.

Karışımları hazırlanan numuneler 4x4x16 cm ölçülerindeki kiriş kalıplara dökülmüş ve laboratuvar ortamında (20°C ±3) 1 gün süreyle bekletilmiştir. 1 gün sonra kalıptan çıkarılan numuneler standart kür havuzunda deney zamanına kadar bekletilmişlerdir. Numunelerin 7, 28 ve 90 günde eğilme ve basınç dayanımları ölçülmüştür.

Çalışmada kullanılan hafif agregaların harç numunelerinde oluşturdukları boşluk oranları görünür porozite deneyleri ile belirlenmiştir. Görünür porozite deneylerinde 28. günden sonra kür tankından çıkarıldıktan sonra ölçülmüştür. Görünür porozite tespiti için (1) nolu denklem kullanılmıştır. Porozite deney sonuçları Tablo 4'de verilmiştir. Porozite deneyi için her bir seriden 3'er numune kullanılmıştır.

$$P = \frac{(W_{dyk} - W_{kuru})}{(W_{dyk} - W_{su})} 100 \quad (1)$$

Denklemden;

P = Porozite (%),

W_{dyk} = Numunenin doymuş yüzey kuru ağırlığı, (kg),

W_{kuru} = Numunenin etüvde kurutulduktan sonraki ağırlığı, (kg),

W_{su} = Numunenin su altındaki ağırlığı, (kg) dir.

Tablo 3. Kendiliğinden yerleşen harçların karışım oranları
(Table 3. Mix proportions of self compacting mortar)

	PÇ	UK	0-4 mm kum kg/m ³			Su/Bağ
	%	%	Dere	Pomza	Perlit	
K	70	30	1320	-	-	0,30
P0	70	30	-	880	-	0,30
P10	70	30	-	780	40	0,30
P20	70	30	-	690	80	0,30
P30	70	30	-	600	120	0,30
P40	70	30	-	520	160	0,30
P50	70	30	-	440	200	0,30

4. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Kendiliğinden yerleşen hafif harçlar ile kendiliğinden yerleşen harcın taze haldeki özellikleri Tablo 4'de sunulmuştur. EFNARC tarafından slump yayılma miktarı (24-26 cm) ve V hunisi akış süresi (7-11 sn) için verilen sınır değerleri hemen hemen tüm karışımlar sağlamıştır. Bu iki parametreyi sağlayan harçlar kendiliğinden yerleşen harç olarak kabul edilmektedir. Slump yayılma ve V hunisi sonuçları, bazaltik pomza ve genişletilmiş perlit agregası kullanımı ile kendiliğinden yerleşen hafif harç üretilebileceğini göstermiştir.

Kendiliğinden yerleşen hafif harçların birim ağırlıkları taze halde iken ağır olmalarına karşın, agregaların yüksek miktarda absorbe ettikleri suyu bıraktıktan sonra dere agregasına göre oldukça hafiflediği dikkat çekmektedir. Taze haldeyken K ve P0 serileri arasındaki birim ağırlık farkı yaklaşık 200 g/dm³ iken kuru halde bu fark yaklaşık 450 g/dm³'e çıkmaktadır. Agregalar karışıma doymuş yüzey kurusu halde girdiğinden dolayı pomza agregası başlangıçta ağır gelmekte, ilerleyen zamanlarda bünyesindeki su kaybolunca agrega



içersindeki boşluklardan dolayı sertleşmiş harcın birim ağırlığı fazlasıyla azalmaktadır. Bu durum yetersiz kür ortamlarında avantaja dönüşebilir. Hafif agregalar kuru ortamda kalan betonlarda kullanılması ile rezervuar görevi yaparak hidrasyon için gerekli suyu sağlayabilir. Yüksek miktarda çimento ile üretilen betonlar normal betona göre daha yoğundur. Bu betonlarda süper akışkanlaştırıcı kullanılması ile düşük su çimento oranı seçilmesinden dolayı hidrasyon sürecini tamamlayacak miktarda su bulunmadığı gibi betonun geçirimsiz karakteri nedeniyle dışarıdan su girişi de gerçekleşmemektedir [12-14]. Kendiliğinden yerleşen harç üretiminde fazla miktarda toz malzeme kullanılması, yüksek oranda su eksiltilmesi ve iyi geçirimsizlik özellikleri ile hidrasyon sürecinde pomza ve perlit gibi iç kütleme yapabilecek agregalara ihtiyacı arttırmaktadır.

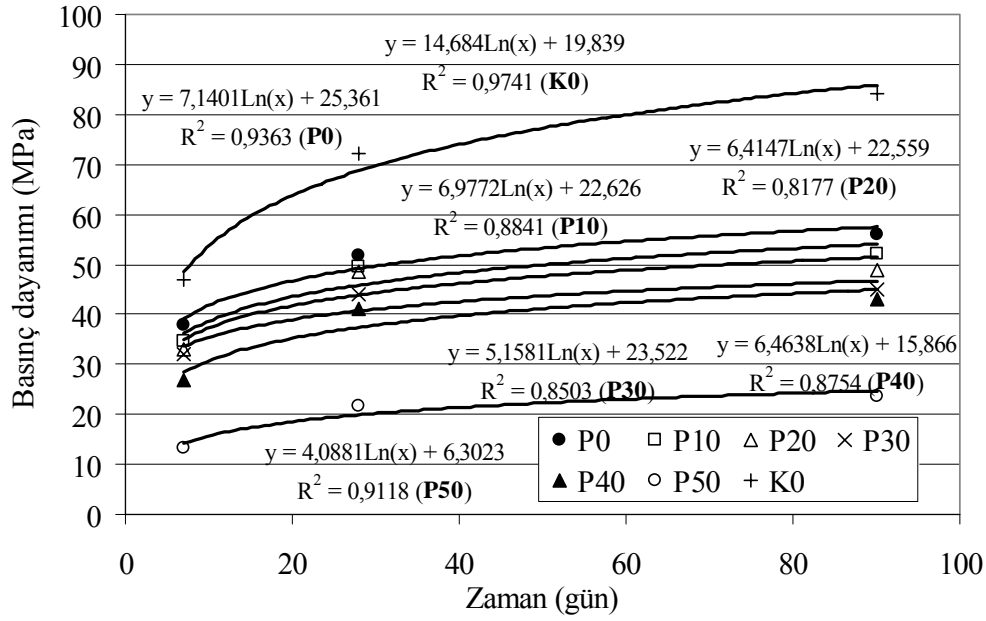
Tablo 4. Kendiliğinden yerleşen harçların taze haldeki özellikleri
(Table 4. The fresh properties of self compacting mortar)

	Slump	V Hunisi	Taze Birim Ağırlık	Kuru Birim Ağırlık	Porozite
	cm	s	g/dm ³	g/dm ³	%
K	25,5	10	2197	2100	21
P0	28	7	1990	1663	29,5
P10	24,5	8	1930	1630	30,9
P20	25	11	1870	1594	32,3
P30	26	11	1800	1548	32,6
P40	24,5	19	1730	1470	33,4
P50	22,5	16	1540	1256	35,3

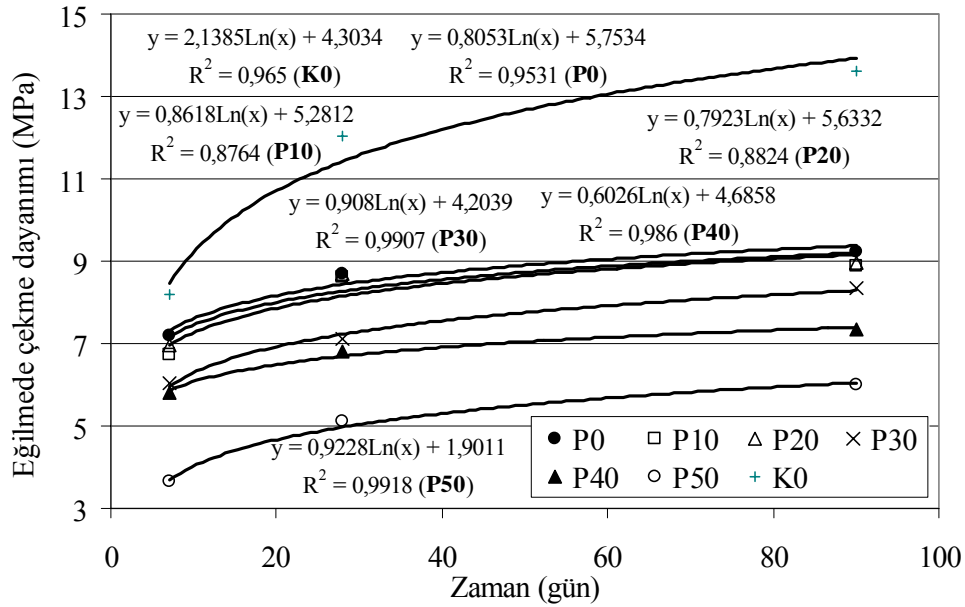
Kendiliğinden yerleşen hafif harçta, pomzaya göre daha hafif olan geliştirilmiş perlit agregası kullanımı ile üretilen harçlar daha da hafiflemektedir. Pomzanın yerine %50 perlit kullanımıyla harcın birim ağırlığı tamamının pomza kullanımına göre %20 daha da hafiftir. Sonuç olarak pomzanın %100 kullanıldığı P0 serisi de dahil olmak üzere tüm P serileri kendiliğinden yerleşen hafif harç özelliğindedir.

Üretilen harçların basınç dayanımı ve eğilmede çekme dayanımı zaman ilişkisi Şekil 1 ve Şekil 2'de verilmiştir. Zamanla bütün harç numunelerinde basınç ve eğilme dayanımları artmıştır. Tüm yaşlarda, dere agregalı kendiliğinden yerleşen harç, kendiliğinden yerleşen hafif harçlardan daha yüksek basınç ve eğilmede çekme dayanıma sahiptir.

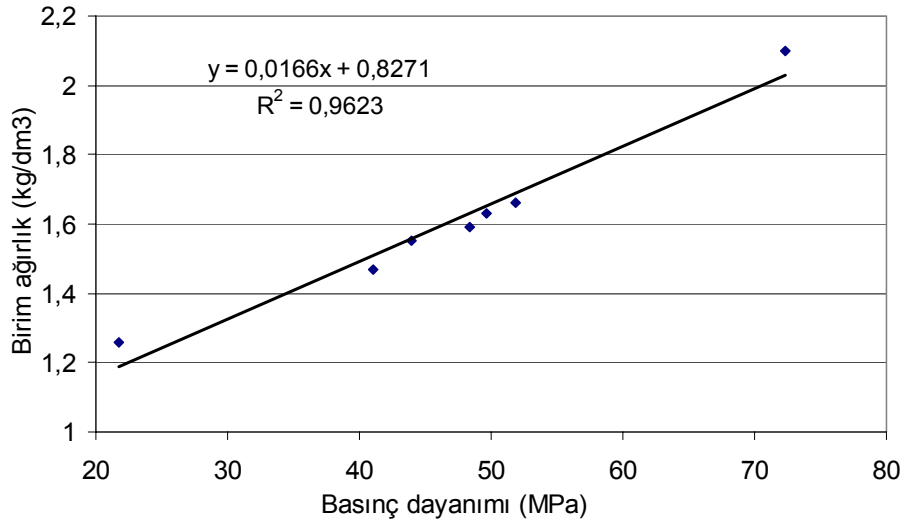
En düşük basınç ve eğilmede çekme dayanımı geliştirilmiş perlitin %50 oranında kullanıldığı P50 serisindedir. Harçta pomza ve pomzayla birlikte %40'a kadar perlit kullanılması ile yüksek mukavemetli betonlar elde edilmiştir. Harcın birim ağırlığı azaldıkça Şekil 3'de de görüldüğü gibi bununla orantılı olarak basınç dayanımı da azalmaktadır. Bu sonuç literatürle tam olarak uyum sağlamaktadır. P serili harçlarda tüm bileşenler aynı olup sadece agrega kısmında pomza ile geliştirilmiş perlit agregası çeşitli oranlarda yer değiştirmiştir. Bundan dolayı, basınç ve eğilme dayanımı ile birim ağırlığın azalması sadece agrega ile ilgilidir.



Şekil 1. Kendiliğinden yerleşen harçların basınç dayanımları
(Figure 1. The compressive strength of self compacting mortar)



Şekil 2. Kendiliğinden yerleşen harçların eğilmede çekme dayanımları
(Figure 2. The flexural strength of self compacting mortars)



Şekil 3. Kendiliğinden yerleşen harçlarda basınç dayanımı birim ağırlık ilişkisi
(Figure 3. The relationship of compressive strength-unit weight in the self compacting mortars)

Pomza ve perlit agregalarının birim ağırlıkları arasında oldukça farklılık olmasına karşın hazırlanan kendiliğinden yerleşen harçların yüksek viskozite özelliği sayesinde ayrıışmamışlardır. Kırılan eğılmede çekme deneyi numune kesitlerinden, pomza ve genleştirilmiş perlit agregasının çok iyi bir dağılma gösterdiği Şekil 4'den açıkça görülmektedir. Resimde beyaz kısımlar genleştirilmiş perlit agregasını, gri kısımlar bağlayıcı fazını ve siyah kısımlarda pomza agregasını göstermektedir. Kendiliğinden yerleşen harçlar, görünürde çok akışkan bir malzeme olmasına karşın kendiliğinden yerleşebilmenin verdiği bir özellik olan yüksek ayrışma direncine sahip olması ile muhtemel ayrışmaların önüne geçilmiştir.



Şekil 4. Kendiliğinden yerleşen hafif harç kesiti
(Figure 4. Section of self compacting lightweight mortar)



5. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND SUGGESTIONS)

Bu çalışmada pomza ve genleştirilmiş perlit agregası ile kendiliğinden yerleşen harçlar üretilmiştir. Üretilen harçların taze haldeki özellikleri ile basınç ve eğilmede çekme dayanımları incelenmiştir. Deneysel çalışmanın sonuçları şöyle özetlenebilir.

Pomza agregası kullanarak kendiliğinden yerleşen hafif harç üretililebilir. Üretilen harcın daha da hafif olması istendiğinde %50'ye kadar genleştirilmiş perlit katılabilir.

Üretilen kendiliğinden hafif harçların hepsinin basınç dayanımları 21 MPa ile 72 MPa arasında değişiklik göstermiştir. Bağlayıcı kısımda değişiklik yapılmadığından basınç dayanımlarındaki değişiklik tamamen agrega fazı ile ilgilidir. Agregaların birim ağırlıkları azaldıkça hazırlanan numunelerin taşıma kapasiteleri de o oranda azalmıştır. %40 genleştirilmiş perlit kullanımında 1470 g/dm³ birim ağırlığı elde edilmesiyle birlikte yüksek sayılabilecek olan 41 MPa'lık bir dayanım elde edilmiştir. Bu sonuçtan da görüleceği üzere hem hafif hem de yüksek dayanımlı kendiliğinden yerleşen harç elde edilebilir.

Pomza ve perlit agregaları yüksek miktarda su tutabilme kabiliyetine sahiptirler. Kendiliğinden yerleşen harçlar fazla toz malzeme içerdiklerinden dolayı genelde yüksek mukavemetli ve geçirimsiz olmaktadır. Bu betonların yüksek dozaj ve düşük su çimento oranına sahip olmaları kür sürecini daha da önemli kılmaktadır. Aynı zamanda kendiliğinden yerleşen betonlar geleneksel betonlara göre daha geçirimsiz olmaları nedeniyle hariçten gelebilecek kür suyunu bünyesinde gerekli bölgelere ulaşımını zorlamaktadır. Pomza ve perlit agregaları kısmen ya da tamamen kullanılması ile beton içerisinde rezervuar görevi yaparak iç kürlenmeyi gerçekleştirecektir. Bu çalışmanın sonuçlarından; pomza ve perlit gibi agregalar ile basınç dayanımlar azalsa da yüksek mukavemetli harç ya da beton yapımında kullanılabilirliği çıkarılabilir.

İki farklı türde agrega kullanarak üretilen kendiliğinden yerleşen harçlarda ayrışma gözlenmemiştir. Sonuç olarak genleştirilmiş perlit ve pomza kullanarak elde edilen kendiliğinden yerleşen hafif harçlarda hem hafif hem de yüksek mukavemet özellikleri elde edilmiştir. Bu sonuçlardan, kendiliğinden yerleşen hafif harçların binaya ek ölü yük getirmeden onarım ve güçlendirme amaçlı kullanılabilirliği kanaatine varılmıştır. Kendiliğinden yerleşebilme özelliği sayesinde iyi boşluk dolduracak, hafifliği sayesinde yapıya ek yük getirmeyecek ve yüksek mukavemet özelliği ile güçlendirmeyi tam olarak gerçekleştirebileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Domone, P.J. and Jin, J., (1999). Properties of mortar for self-compacting concrete, International RILEM Symposium on Self Compacting Concrete, 109-120.
2. Courard, L., Darimont, A., Willem, X., Geers, C., and Degeimbre, R., (2002). Repairing concretes with self-compacting concrete: testing methodology assessment, Proceedings of the First North American Conference on the design and use of self-consolidating concrete. pp:267-274.
3. Felekoğlu, B. ve diğ., (2006). The effect of fly ash and limestone fillers on the viscosity and compressive strength of self-compacting repair mortars, Cement and Concrete Research 36 1719-1726.
4. Felekoğlu, B., Türkel, S., and Altuntaş, Y., (2007). Effects of steel fiber reinforcement on surface wear resistance of self-compacting repair mortars, Cement & Concrete Composites, 29, 391-396.



5. Sakai, E., Ishida, A., and Ohta, A., (2006). New Trends in the Development of Chemical Admixtures in Japan, *Journal of Advanced Concrete Technology*, Vol. 4, No. 2, pp:211-223.
6. Neville, A.M., (1977). *Properties of Concrete*, Pitman Publishing, London.
7. Akman, M.S. ve Taşdemir, M.A., (1977). Taşıyıcı Malzeme Olarak Perlit Betonunu, I. Ulusal Perlit Kongresi, ss: 40-48, Ankara.
8. Topçu, İ.B., (2006). *Beton Teknolojisi*, Uğur Ofset, Eskişehir.
9. Gündüz, L. ve diğ., (2006). Genleşmiş kilin hafif agrega olarak kullanılabilirliği, *Kil Bilimi ve Teknolojisi Dergisi*, 1(2) 43 - 49.
10. Taşdemir, M.A., (1981). Taşıyıcı Hafif Agregalı Betonların Elastik ve Elastik Olmayan Davranışı, Doktora Tezi, İstanbul.
11. EFNARC 2002, *Specifications and Guidelines for Self-Compacting Concrete*, The European Federation of Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems.
12. Lura, P., Bentz, D.P., Lange, D.A., Kovler, K., and Bentur, A., (2004). Pumice aggregates for internal water curing. *International RILEM Conference on the Advances in Concrete Through Science and Engineering*, Evanston, IL, pp:137-151.
13. Akçay, B. ve Taşdemir, M.A., (2006b). Influence of lightweight aggregates on internal curing and fracture of concrete, *International RILEM Conference, Volume Changes of Hardening Concrete: Testing and Mitigation*, In: Jensen, Lura, and Kovler (Eds), Lyngby, Denmark, PRO 52, pp:31-40.
14. Philleo, R., (1991). Concrete science and reality. *Materials Science of Concrete II*, American Ceramic Society, Westerville, pp:1-8.