



Diatomit ve hidrofob kil ile üretilen prefabrik yapı malzemesinin bazı özellikleri

Some properties of prefabricated building materials produced from ground diatomite and hydrophobic clay

Selçuk MEMİŞ^{1*}, Sırrı ŞAHİN², Ünal ŞİRİN²

¹İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Kastamonu Üniversitesi, Kastamonu, Türkiye.
smemis@kastamonu.edu.tr

²Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Ziraat Fakültesi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, Türkiye.
ssahin@atauni.edu.tr, unalsirin@atauni.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 03.03.2016, Kabul Tarihi/Accepted: 12.07.2016
* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2016.34467
Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Bu çalışmada, prefabrike yapı elemanı üretiminde diatomit (D) ve su itici özelliğe sahip hidrofob kilin (HK) çimento ile farklı oranlardaki karışımlarının fiziksel ve mekanik özelliklerine etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla diatomit tozu yerine diatomit ağırlığının %5, %10 ve %15'i oranında hidrofob kil ve %10, %20 ve %30'u oranlarında da çimento kullanılarak örnekler hazırlanmıştır. Pres ve buhar kürü uygulanmış örnekler üzerinde basınç dayanımı, birim hacim ağırlık ve su emme özellikleri incelenmiştir. Diatomitin düşük oranlı çimento ve hidrofob kil ile karıştırılmasıyla üretilen örneklerin 1000-1300 kg/m³ birim hacim ağırlık ve 4-18 MPa arasında değişen basınç dayanımlarına sahip olduğu görülmüştür. Geleneksel yapı malzemeleriyle karşılaştırıldıklarında ise, benzer fiziksel ve mekanik özelliklere sahip olduğu belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Çimento, Diatomit, Hidrofob kil, Buhar kürü

Abstract

In this study, the effects of the mixture in different proportions on the physical and mechanical properties of hardened materials produced with diatomite (D) hydrophobic clay (HK) and cement (PC) were investigated at the prefabricated structural element production. For this purpose samples were prepared using cement rate of 10%, 20% and 30% and hydrophobic clay rate of 5%, 10% and 15% replacement of diatomite weight. The physical and mechanical properties of samples were tested after pressure is applied and 24 hours of steam curing. The combination of diatomite and hydrophobic clay produced samples with unit weight and compressive strength values of 1000-1300 kg/m³ and 4-18 MPa, respectively. Compared with conventional building materials of the products produced it was determined to have similar physical and mechanical properties.

Keywords: Cement, Diatomite, Hydrophobic clay, Steam-curing

1 Giriş

Günümüz gelişme düzeyine paralel olarak yeni beton çeşitlerinin üretilmesinde, normal betonların sakıncalı yönlerini gidermek, daha ekonomik ve kullanışlı betonlar elde etmek amacı ön plana çıkmaktadır. Bunun için özellikle değişik agregalar ve katkı maddeleri eklenen, karışım oranları değiştirilen, yalnızca normal agrega ve çimento kullanılmasıyla değil yapım tekniğinde değişiklik yapılan ya da bu yöntemlerden bir kaç birliktede kullanılarak özel betonlar üretilmektedir [1],[2].

Yapı malzemesi olarak beton kullanımının yaygınlaşması ile birlikte betonun özelliklerinin geliştirilerek, daha hafif, daha ucuz ve daha iyi yalıtım özelliği olan betonlar üretmek için günümüzde çalışmalar hız kazanmıştır. Malzeme teknolojisinde meydana gelen gelişmeler ve buna bağlı yaşanan ilerlemeler, yapı elemanlarının kesitlerinde küçülme sağlayarak hafif yapı üretebilme amaçlanmıştır. Bu çalışmalarda öne çıkan unsur, hafif agrega kullanılarak veya değişik yöntemler uygulanarak betonun birim ağırlığının azaltılması yoluyla hafif beton üretimidir [3]. Bu yüzden betonun sakıncalı yönlerini giderebilmek, daha ekonomik ve kullanışlı betonlar elde edebilmek için yeni özelliklere sahip betonlar üretme yoluna gidilmiştir [4]. Bu sonuç yeni malzeme arayışlarını arttırmış, tek malzeme yerine malzemeleri birleştirip onların zayıf yönlerini tamamlayarak amaca uygun malzeme üretme gerekliliğini ortaya koymuştur [5].

Birçok çalışmada, çimento gibi bağlayıcı malzemeler yerine, belirli miktarlarda puzolanik malzemelerin de karışma ilave edilerek kullanılması temel unsurudur. Bu puzolanik malzemelerin başında doğal olarak bulunan kalsine killer, metakaolin, diatomit, zeolit ile yapay olarak üretilen uçucu kül, silis dumanı, cüruf sayılabilir [6]. Hayatımızın birçok alanındaki önemini her geçen gün arttıran, kimya endüstrisinden sağlık ve gıda ürünlerine kadar birçok alanda kullanılan ve puzolanik özelliğe sahip olduğu bilinen diatomit [7],[8], kullanım oranlarına göre genelde filtre (%60), dolgu (%21), veya yalıtım malzemesi (%2), aşındırıcı ve yüzey temizleyicisi, katalizör, hafif inşaat malzemeleri ve refraktör imalatında, kimya sanayinde, silis ile gübrelerde dolgu maddesi, absorbant, sentetik silikat üretimi ve tarımda topraklaşmayı hızlandırıcı olarak geniş kullanım alanlarına sahiptir [9].

Yapılan çalışmalar incelendiğinde, taşıyıcı hafif betonların imalatında kullanılan ve normal betona göre daha hafif olduğu görülen diatomit; fotosentez olayının yoğun olarak gerçekleştiği tatlı ve tuzlu suların sığ derinliklerinde (0-35 m) yaşayan tek hücreli alg türü olan Diatome kabuğunun kil, kum, volkanik kül ve organik kalıntılarıyla karışımından oluşmuş, fosil kaynaklı bir sedimantasyon kayasıdır [8],[10],[11]. Diatome kabuğu amorf silis (SiO₂ x nH₂O) yapısında olup, elde edilen kayaç oluşma ortamının yapısı ve şartlarına bağlı olarak, kil, volkanik kül, kum ve organik kalıntılar da ihtiva etmektedir [10]. Diatomit, dolgu maddesi olarak kullanıldığı zaman elde edilen ürünün özelliklerini geliştirmekte ve performansını yükseltmektedir. Ancak SiO₂ oranı yüksek ve safsızlık olarak kil

bileşenleri içeren diatomitlerin yapı malzemeleri endüstrisinde kullanımının araştırılması oldukça yenidir [9].

Doğada bol miktarda rezerve sahip ve geniş bir kullanım alanı bulunan killer ise, sulu alüminyum silikatler olup $m.Al_2O_3$, $n.SiO_2$, $p.H_2O$ genel kimyasal bileşim formülü ile ifade edilebilen yapıdaki malzemelerdir ve talebi sürekli olarak artan hammaddelerin başında yer almaktadırlar. Ancak, yüksek talebe karşın dezavantajlara da sahip bir malzeme oluşları, örneğin su ile karıştırıldıklarında şişme (kabarma) gibi hacim değişikliği meydana getirebilmeleri, mühendislik açısından olumsuz etkiler yaratabilir [12]. Diğer taraftan killerin mühendislik alanlarında kullanılmasında mineral ve kimyasal yapıları ön plana çıkmaktadır. Bu yüzden kullanım alanlarına göre bu yapıların kimyasallar ile iyileştirilmesi mühendislik açısından faydalar sağlayabilir. Bu iyileştirmede kullanılan kimyasalların başında gelen yüzey aktif maddeler ise suyu seven (hidrofilik) ve suyu sevmeyen (hidrofobik) olmak üzere iki gruba ayrılır ve iyileştirmede kullanılan killere sahip oldukları özellikleri aktararak mühendislik uygulamalarında kullanım olanağı sağlarlar [13].

Değişik kullanım alanlarına sahip ve puzolanik bir malzeme olan diatomit; yüksek su emme kapasitesi, yüksek yüzey alanı, yüksek geçirgenlik, küçük parçacık boyutu, kimyasal stabilite, iyi öğütülebilirlik, düşük ısı iletkenliği, düşük kütle yoğunluğu gibi bazı olumlu/olumsuz olabilecek bir yapıya sahip olmalarından dolayı çimento ile yer değiştirilerek kullanılabilir [14]. Bu çalışmada; gözenekli, hafif, yüksek silis oranına sahip diatomit ile su itici özelliğe sahip hidrofob kil karışımlarından elde edilebilecek yapı malzemesinin özellikleri incelenerek mevcut malzemeler ile kıyaslaması yapılmıştır.

2 Materyal ve yöntem

2.1 Materyal

Bu çalışmada, prefabrike yapı elemanı üretiminde fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 1'de verilen; su itici özelliğe sahip Anka Nanoteknoloji Ltd.'den temin edilen hidrofob kil (HK) (Şekil 1), TS EN 197-1 standardına uygun Erzurum Aşkale Çimento Fabrikası üretimi CEM II (42.5) Portland çimentosu (PÇ) ve piyasadan temin edilen diatomit (D) kullanılmıştır.



Şekil 1: Çalışmada kullanılan diatomit (D) ve hidrofob kil (HK).

Tablo 1: Çimento (PÇ), diatomit (D) ve hidrofob kilin (HK) fiziksel, kimyasal ve mekaniksel özellikleri.

	PÇ	D	HK
<i>Kimyasal Kompozisyon (%)</i>			
CaO	59.00	2.45	1.71
SiO ₂	18.63	79.56	53.28
Al ₂ O ₃	4.48	6.54	20.67
Fe ₂ O ₃	3.41	2.76	6.13
MgO	2.72	0.79	2.82
Na ₂ O	0.18	2.63	0.02
K ₂ O	0.52	0.69	0.82
SO ₃	2.37	0.48	-
CI	0.009	-	-
LOI	8.11	-	14.0
Serbest CaO	0.41	-	-
<i>Çimentonun Mekanik, Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri</i>			
Basınç Dayanımı 2 günlük (MPa)	17.9	-	-
Basınç Dayanımı 7 günlük (MPa)	31.7	-	-
Basınç Dayanımı 28 günlük (MPa)	45.9	-	-
Özgül ağırlık (g/cm ³)	2.94	0.41	1.25
Priz başlangıcı (dk)	177	-	-
Priz sonu (dk)	233	-	-
Hacim genleşmesi (mm)	1	-	-
Blane değeri (m ² /kg)	4191	-	-
90 µm elekten geçen (%)	98.8	-	-
32 µm elekten geçen (%)	88.5	-	-

2.1.1 Karışım oranları

Örneklerin hazırlanmasında kullanılacak diatomit (D) ve hidrofob kil (HK) fırında kurutulmuş, 212 µm'lik elek altında kalan kısmı karışımlarda kuru ağırlık esasına göre kullanılmıştır. Karışımlar hazırlanırken toplam malzeme ağırlığına göre presleme ile suyun malzeme bünyesini terkedererek kalıptan akmayacağı maksimum miktar, ön denemeler sonucu %10 olarak belirlenmiştir. Çimentonun hidratasyonu için gerekli olan bu su karışımlara püskürtülerek ilave edilmiş ve her bir örnek grubu laboratuvar tipi mikserde 5 dk karıştırılarak Tablo 2'de verilen örnek karışımlar hazırlanmıştır. Karışımlarda toplam malzeme ağırlığı değiştirilmeden diatomit (D) ağırlığı yerine, ağırlığın %10, %20 ve %30'u oranlarında çimento (PÇ) ve %5, %10 ve %15'i oranında da hidrofob kil (HK) kullanılarak gruplar belirlenmiştir.

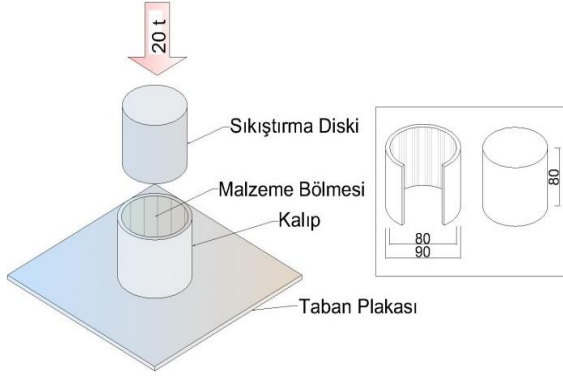
Tablo 2: Karışım oranları (ağırlık %'si olarak).

Grup	Diatomit (%)	Hidrofob kil (%)	Çimento (%)
1	a	100	0
	a	90	10
	b	85	15
2	c	80	20
	d	75	25
	a	80	0
	b	75	5
3	c	70	30
	d	65	35
	a	70	0
4	b	65	5
	c	60	10
	d	55	15

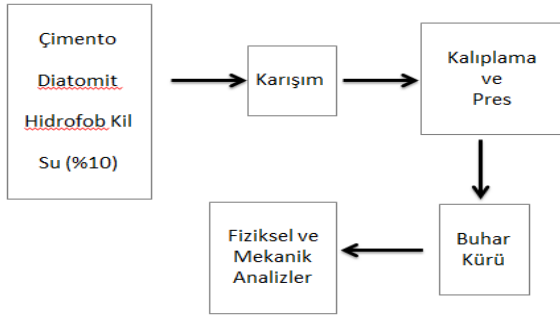
2.2 Yöntem

Hazırlanan karışımlar, bir kalıp içerisine yerleştirilmiş (Şekil 2) ve ön deneme ile kalıp özelliği dikkate alınarak belirlenen 20

t'luk bir yük ile sıkıştırılmıştır. Kalıp boyutları Coppola ve diğ. (1996) ifade etmiş olduğu gibi; malzeme performansı üzerine farklı parametrelerin etkilerinin (bileşim, sıkıştırma şekli, buhar kürü vb.) araştırıldığı çalışmalarda basınç dayanımının belirlenebilmesi için yükseklik/çap oranı 0.5 olan kalıpların (yükseklik 40 mm, çap 80 mm) tercih edilebileceği dikkate alınarak belirlenmiştir [15]. Bu amaçla %10'u oranında su eklenerek hazırlanmış örnekler basınca dayanıklı özel üretilmiş kalıplara dökülerek 10-15 sn, 20 ton yük etkisinde bırakılmıştır. Bu deneysel süreç Şekil 3'te gösterilmiştir.

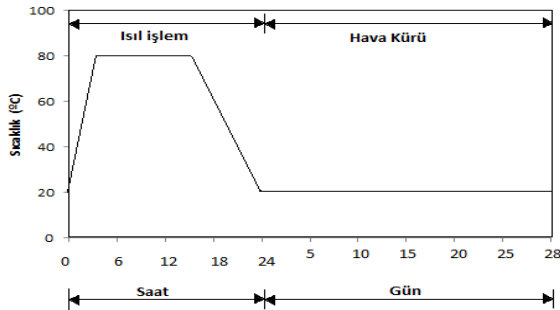


Şekil 2: Deneysel süreçte kullanılan kalıp planı.



Şekil 3: Deneysel süreç.

Sıkıştırma işlemi tamamlanan örnekler kalıplardan çıkarılmış, 80 °C ve %90 nem ortamına sahip kür odasında 24 saat bekletilmiştir [16],[17]. Buhar kürünü tamamlayan örnekler ise 20 °C ve %65 nem ortamına sahip laboratuvar koşullarında 28 günlük kürlerini tamamlamışlardır (Şekil 4).



Şekil 4: Deneysel süreçte kullanılan kür süreci.

Kür süresini tamamlayan örnekler üzerinde TS EN 771-3.Nolu standart [18]esas alınarak basınç dayanımı testleri, TS EN 12390-7 [19], Somayaji, (1995) ve Sahin ve diğ. (2008)'e göre su emme ve hacim ağırlık değerleri belirlenerek, mevcut prefabrik yapı elemanları ile karşılaştırılmıştır [20],[21].

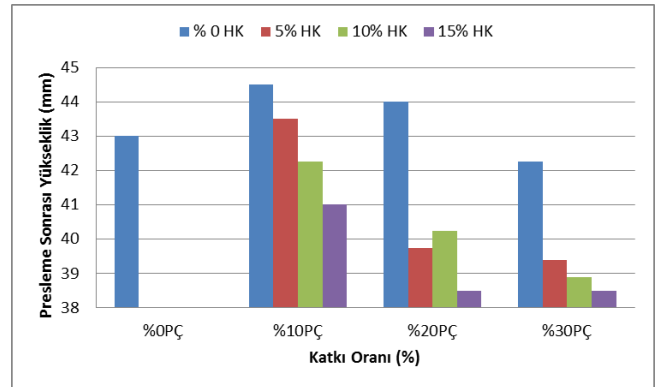
3 Bulgular ve tartışma

Fırında kurularak öğütülmüş diatomit (D), hidrofob kil (HK) ve çimento (PÇ) ile gerekli karışım oranları hazırlanarak oluşturulan karışımların 20 t pres altında kaldıktan sonra ölçülen ortalama numune yükseklik değerleri Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3: Numunelere ait ağırlık miktarları (g) ve presleme sonrası ortalama yükseklik değerleri.

Grup		Diatomit (g)	Hidrofob kil (g)	Çimento (g)	Numune Çapı (mm)	Sıkıştırma Sonrası Yükseklik (mm)
1	a	250.00	0.00	0.00	80.00	43.00
	a	225.00	0.00	25.00	80.00	44.50
2	b	213.75	11.25	25.00	80.00	43.50
	c	202.50	22.50	25.00	80.00	42.25
3	d	191.25	33.75	25.00	80.00	41.00
	a	200.00	0.00	50.00	80.00	44.00
4	b	190.00	10.00	50.00	80.00	39.75
	c	180.00	20.00	50.00	80.00	40.25
4	d	170.00	30.00	50.00	80.00	38.50
	a	175.00	0.00	75.00	80.00	42.25
4	b	166.25	8.75	75.00	80.00	39.40
	c	157.50	17.50	75.00	80.00	38.90
4	d	148.75	26.25	75.00	80.00	38.50

Bir numune için gerekli karışım miktarı preslemeden sonra, kalıplardan çıkartılan örneklerin ölçülen ortalama yükseklik değerlerindeki değişim Şekil 5'te verilmiştir. Artan çimento oranına bağlı olarak ana gruplarda (1a, 2a, 3a, 4a) malzeme inceliğinden kaynaklı yükseklikte %1.2'lik önemsenmeyecek bir azalmaya neden olmuştur. Buna karşın alt gruplarda (b, c, d) karışıma ilave edilen hidrofob kil (HK) miktarına göre ölçülen yükseklik değerleri değişmekle birlikte maksimum (%15'lik) hidrofob kil (HK) katkısında, ana gruplarda ortalama %10'luk yükseklikte bir azalmaya neden olduğu belirlenmiştir. Bu değişim diatomit (D) yerine ilave edilen hidrofob kilin (HF) inceliğinin ve özgül ağırlığının daha az olmasından kaynaklanmıştır.

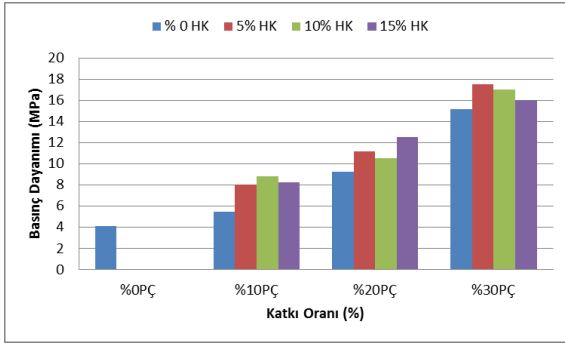


Şekil 5: Presleme sonrası yükseklik değerleri

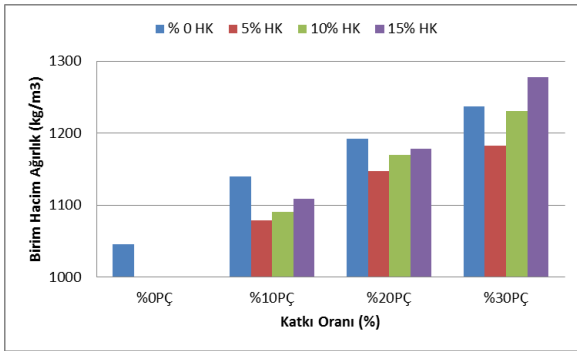
Kalıplardan çıkarılan ve Şekil 4'teki kür sürecini (24 saat buhar kürü, 28 gün hava kürü) tamamlayan örneklerin bazı fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 4'te verilmiştir. Tablo 4'e göre; 1. grupta çimento katkısı olmaması nedeniyle su emme değeri belirlenememiş olup, genel anlamda gruplar arasında azalan su emme oranına paralel olarak birim hacim ağırlık ve basınç dayanımı değerlerinde artış olduğu (Şekil 6, Şekil 7, Şekil 8) görülmüştür.

Tablo 4: Örneklerin fiziksel ve mekanik özellikleri.

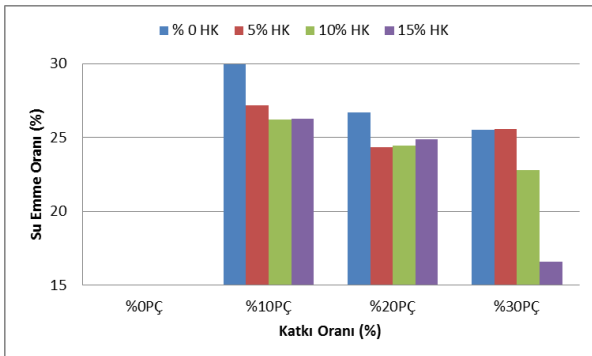
Grup	Basınç dayanımı (MPa)	Su emme (%)	Birim hacim ağırlık (Kg/m ³)	
1	a	4.13	-	1045.74
2	a	5.48	29.96	1140.07
	b	8.04	27.17	1078.87
	c	8.81	26.23	1090.81
	d	8.24	26.25	1109.08
3	a	9.24	26.72	1192.75
	b	11.18	24.36	1147.47
	c	10.52	24.47	1169.41
	d	12.55	24.89	1178.04
4	a	15.16	25.52	1237.49
	b	17.53	25.56	1183.12
	c	17.05	22.77	1231.03
	d	16.01	16.59	1278.37



Şekil 6: Artan PÇ'ye bağlı olarak HK katkısının basınç dayanımına etkisi.



Şekil 7: Artan PÇ'ye bağlı olarak HK katkısının birim hacim ağırlığına etkisi.



Şekil 8: Artan PÇ'ye bağlı olarak HK katkısının su emme oranına etkisi.

Diatomit (D) ve hidrofob kil (HK) katkı örneklerin basınç dayanımlarındaki değişim çimento miktarındaki artışa paralel olarak (Şekil 6); 1.Nolu gruba %10 çimento katkısının sağladığı artış %32.68 olarak gerçekleşmiş ve her bir %10'luk çimento ilavesindeki artış birbirini takip eden ana gruplar arasında sırasıyla %68.61 ve %64.06 artışlar meydana getirmiştir. Gruplar içerisindeki hidrofob kil (HK) katkısının etkisi değerlendirildiğinde, her bir ana gruba hidrofob kil (HK) katkısındaki artışa paralel gruplar içerisinde basınç dayanımlarında düzensiz bir artış tespit edilmiştir. Grup içi bu artışlar ana gruplara göre sırasıyla maksimum %60.76, %35.82 ve %15.63 olarak belirlenmiştir. Bu artıştaki düşüş, toplam malzeme inceliğinin azalmasına karşın sabit tutulan %10'luk su miktarının hidrasyon için yetersiz kalışı ile açıklanabilir.

Birim hacim ağırlıklardaki değişimler (Şekil 7) incelendiğinde ise; ana gruplarda artan çimento miktarından kaynaklı yaklaşık %18'lik bir artış gerçekleşmiştir. Alt gruplarda artan hidrofob kil (HK) katkısının birim hacim ağırlıkta etkileri açısından basınç dayanımındaki gibi bir düzensizlik söz konusudur ve bu değişimler ana gruplara göre sırasıyla %5.67, %2.67 ve %8.05 ortalama azalış olarak gerçekleşmiştir.

Su itici özelliği ile bilinen hidrofob kil (HK) kullanımının etkisi değerlendirildiğinde (Şekil 8); %10 ve %20 çimento katkılı ana gruplarda düzensiz, %30'luk ana grupta alt gruplardaki artan hidrofob kil (HK) katkısına göre su emmede %35'e varan oranda düzenli bir azalış olduğu belirlenmiştir. Bu durum kil oranının malzeme içerisinde artmasına bağlı olarak malzemenin su emmesinin azalması ile açıklanabilir.

Duvar yapımında kullanılan bazı yapı malzemelerinin özellikleri Tablo 5'te verilmiştir. Öğütülmüş diatomit (D) ve hidrofob kil (HK) kullanılarak yapılan bu çalışma verileri incelendiğinde değerlerin piyasada fabrikasyon olarak üretilen yapı malzemelerine benzer özellikler gösterdiği ve daha düşük su emme oranına sahip olduğu söylenebilir. Üretilen malzeme sonuçları değerlendirildiğinde, Ikeada ve Tomisaka'nında (1989) belirttiği gibi normal dökülen betonlara göre pres uygulamanın daha sağlıklı ve daha sağlam malzeme üretilebileceği vurgusu ile benzerlik göstermektedir [22].

Tablo 5: Duvar yapımında kullanılan yapı malzemelerinin özellikleri [20],[23].

Malzeme Cinsi	Basınç Dayanımı (MPa)	Su emme oranı (%)	Birim hacim ağırlık (Kg/m ³)
Gaz beton	2.0-3.5	25-35	800-1400
Biriket	16.0	18	800-1800
Düşey delikli tuğla	2.0-12.5	25-35	500-2200
Hafif beton	17.0	24-50	400-2000
Diatomit ile üretilen örnek	4.0-18.0	17-30	1000-1300

4 Sonuçlar

Öğütülmüş diatomit (D), su itici özelliğe sahip olduğu bilinen hidrofob kil (HK) ve bağlayıcısı çimento (PÇ) olan örneklerin piyasada üretimi yapılan prefabrik yapı elemanları ile fiziksel ve mekanik özellikleri açısından uygunluğunun araştırıldığı bu çalışmada;

- Kırılgan ve zayıf bir yapıya sahip agregaya sahip bilinen diatomitin, presleme yöntemiyle belirli bir incelikte prefabrike yapı malzemesi üretiminde kullanılabileceği,

- Üretilen örneklerin basınç dayanımlarının 4 MPa ile 18 MPa, birim hacim ağılıklarının ise 1000 kg/m³ ile 1300 kg/m³ değerler arasında değiştiği ve diatomit agregası ile piyasada bulunan prefabrike yapı elemanlarına benzer dayanımlarda ve birim hacim ağırlıkta malzeme elde edilebileceği,
- Hidrofob kil katkısının su etkisinde bulunan prefabrike yapı elemanlarında kullanımının önemli yararlar sağlayabileceği görülmüştür.

Düşük su içeriğine sahip olmasına karşın prefabrik yapı malzemesi üretiminde; presleme yöntemiyle diatomit katkılı yapı malzemesinin üretilebileceği, malzeme su emme değerinin önemli olduğu yerlerde %10 oranında hidrofob kil katkısının yararlar sağlayabileceği ve prefabrik elemanların tasarımında kullanılabilceği sonucuna varılmıştır.

5 Teşekkür

Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisine katkı sağlayan tüm yazar ve hakemlere teşekkür ederiz.

6 Kaynaklar

- [1] Baradan B. "Yapı Malzemesi II". Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Yayınları, İzmir, Türkiye, 1991.
- [2] Şahin S, Karaman S, Özüng İ, "Atık PVC katkılı hafif betonların özellikleri ve tarımsal yapılarda kullanım olanakları". *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 4(2), 137-144, 2007.
- [3] Türkmen İ. Van-Erciş Pomzasından Üretilen Hafif Betonun Donma Çözülme Dayanıklılığının Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, Türkiye, 1997.
- [4] Düzgün OA. Çelik Liflerin Hafif Betonların Dayanımları Üzerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, Türkiye, 2001.
- [5] Çelik Ç, Gürdal E. "Yerfıstığı kabuğunun agregası olarak kullanım olanakları". *İTÜ Dergisi/A Mimarlık, Planlama, Tasarım*, 4(1), 37-46, 2005.
- [6] Xu S, Wang J, Mac O, Zhao X, Zhang T. "Study on the lightweight hydraulic mortars designed by the use of diatomite as partial replacement of natural hydraulic lime and masonry waste as aggregate". *Construction and Building Materials*, 73, 33-40, 2014.
- [7] Ergün A. "Effects of the usage of diatomite and waste marble powder as partial replacement of cement on the mechanical properties of concrete". *Construction and Building Materials*, 25(2), 806-812, 2011.
- [8] Posi P, Lertnimoolchai S, Sata V, Chindapasirt P. "Pressed lightweight concrete containing calcined diatomite aggregate". *Construction and Building Materials*, 47, 896-901, 2013.
- [9] Gökkonca EK. Diatomit Katkılı Harçların Bazı Mekanik ve Fiziksel Özelliklerinin Değişiminin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye, 2010.
- [10] Cong P, Chen S, Chen H. "Effects of diatomite on the properties of asphalt binder". *Construction and Building Materials*, 30, 495-499, 2012.
- [11] Mathers S. "Costa rican diatomite: A review of existing knowledge and future potential". *Revista Geologica de America Central*, 10, 3-17, 1989.
- [12] Ortaç K, Erdem M, Erdem B, Akdoğan E. "Farklı Tip Fonksiyonellik İçeren Organik/İnorganik Yapılar İle Kil Modifikasyonu ve Karakterizasyonu". http://bildiri.anadolu.edu.tr/papers/bildirimakale/9936_b155q48.pdf (27.02.2016).
- [13] Lin JJ, Chan Y, Lan Y. "Hydrophobic modification of layered clays and compatibility for epoxy nanocomposites". *Materials*, 3(4), 2588-2605.
- [14] Gerengi H, Kocak Y, Jazdzewska A, Kurtay M, Durgun H. "Electrochemical investigations on the corrosion behaviour of reinforcing steel in diatomite- and zeolite-containing concrete exposed to sulphuric acid". *Construction and Building Materials*, (49) 471-477, 2013.
- [15] Coppola L, Belz G, Dinelli G, Collepardi M. "Prefabricated building elements based on FGD gypsum and ashes from coal-fired electric generating plants". *Materials Structure*, 29(5), 305-311, 1996.
- [16] Al-Khaiat H, Haque MN. "Effect of initial curing on early strength and physical properties of a lightweight concrete". *Cement Concrete Research*, 28(6), 859-66, 1998.
- [17] Venkatarama BV, Lokrs SS, "Steam-Cured stabilized soil blocks for masonry construction". *Energy Build*, 29(1), 29-33, 1998.
- [18] Türk Standartları Enstitüsü. "Kâgir Birimler-Özellikler-Bölüm 3: Beton Kâgir Birimler (Yoğun ve Hafif Agregalı)". Ankara, Türkiye, TS EN 771-3, 2011.
- [19] Türk Standartları Enstitüsü. "Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 7: Sertleşmiş Betonun Yoğunluğunun Tayini". Ankara, Türkiye, TS EN 12390-7, 2002.
- [20] Şahin S, Orung İ, Okuroğlu M, Karadutlu Y. "Properties of prefabricated building materials produced from ground pumice aggregate and binders". *Construction and Building Materials*, 22(5), 989-992, 2008.
- [21] Somayaji S. *Civil Engineering Materials*. 1th ed. Englewood Cliffs (NJ) USA, Prentice Hall, 1995.
- [22] Ikeda K, Tomisaka T. "Fundamental studies on the preparation and strength of steam-cured porous materials made from mixture of fly ash, gypsum and lime". *Journal of the Ceramic Society of Japan*, 97(1124), 468-474, 1989.
- [23] Şahin S, Karaman S. "The properties of expanded polystyrene-pumice-gypsum blocks as a building material". *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty*, 9(1), 51-56, 2012.