

Diyatomitin Hafif Blok Üretiminde Kullanılması

Tayfun UYGUNOĞLU, Osman ÜNAL
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü, AFYON

ÖZET

Bu deneysel çalışmada, Afyon ve çevresinde bulunan ve herhangi bir sektörde değerlendirilmeyen diyatomit kayacının agrega olarak kullanılması ile hafif blok üretiminde kullanılması araştırılmıştır. Blokların çimento miktarları belirli oranlarda değiştirilmiştir. Karışımlarda, su/çimento oranı sabit tutulmuştur. Üretilen numuneler üzerinde, basınç dayanımı, ısı iletkenlik, su emme, birim hacim ağırlık, ultrases hızı ve görünen porozite deneyleri yapılmıştır. Numunelerin mikro yapısı incelenmiştir. Sonuç olarak, diyatomitin agrega olarak hafif blok eleman üretiminde kullanılması ile ülke ekonomisine büyük yarar sağlanacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Diyatomit, hafif agrega, blok eleman, basınç dayanımı

Use of Diatomite in the Production of Lightweight Block

ABSTRACT

In this experimental study, usability of diatomite rock in Afyon and region and doesn't evaluation any where sector as aggregate in the production of lightweight block was investigated. Cement content of the blocks were changed in some ratios. In the mixes, water/cement ratio was kept. On the produced specimens, compressive strength, thermal conductivity, water absorption, bulk density, ultrasonic velocity and specific porosity were tested. Microstructure of specimens was studied. As a result, use of diatomite rock as an aggregate in the production of lightweight block element, can be think that benefit to the country economy.

Keywords: Diatomite, lightweight aggregate, block element, compressive strength

1. GİRİŞ

Hammadde kaynakları açısından büyük bir potansiyele sahip olan ülkemizde, bazı kaynaklara yeterince önem verilmemektedir. Bu hammadde kaynaklarından biri de Dünya rezervinin % 2'sini oluşturan diyatomittir (1).

Diyatomit, su yosunları sınıfından olan tek hücreli, mikroskopla görülebilecek kadar küçük olan diyatomların silisli kavkılarının birikerek fosilleşmiş kavkılarında meydana gelen organik tortul bir kayadır (Şekil 1). Diyatomit, diyatomalı toprak, diyatomalı silis ve kizelgur deyimleri eş anlamlı olup Fosil unu, Silis unu, Dağ unu, Beyaz turba gibi isimler ile de anılmıştır. Volkanik orijinli olmayan tek doğal puzolandır (2,3).



Şekil 1. Afyon-Seydiler Yöresi Diyatomit Kayacı

Diyatomit, yüksek gözenekliliği, hafifliği, ısı, ses ve elektriği az geçirmesi, erime noktasının 1400-1600 °C olması, kimyasal maddelere karşı dayanıklılığı ve yoğunluğunun az olması gibi fiziksel özellikleri nedeni ile filtre yardımcı malzemesi, dolgu maddesi, izolasyon maddesi, absorbent, cila maddesi, katalizör ve katalizör taşıyıcısı, hafif yapı malzemesi, refrakterler ve sentetik silikat imali gibi birçok sanayi dalında kullanılmaktadır. Dünya çapında çok geniş kullanım alanına ve eşsiz özelliklere sahip olmasına rağmen diyatomit henüz ülkemizde ana hammadde olarak yerli endüstriye girme miştir (4-7).

Ülkemizdeki diyatomit yataklarının bulunduğu iller; Afyon, Ankara, Aydın, Balıkesir, Bingöl, Çanakkale, Çankırı, Denizli, Eskişehir, Kayseri, Konya, Kütahta, Niğde, Sivas ve Van'dır (8).

Hafif agregalı beton üretiminde kullanılan en yaygın yöntem, normal agreganın yerine hafif agrega kullanmak suretiyle üretilen hafif agregalı betonlardır. Hafif agregalı betonlar, gerek ekonomik olmaları gerekse servise önceden sunulabilmeleri, çevre dostu olmaları ve teknik açıdan geliştirilebilme teknolojisine sahip olmaları bakımından yapılar için son yüzyılın çok yönlü malzemeleri haline gelmişlerdir (9,10). Hafif betonların çeşitli özelliklerine göre sınıflandırılması Çizelge-1'de verilmiştir (1).

Çizelge 1. Hafif betonların BHA ve dayanımlarına göre sınıflandırılması [1]

Hafif Beton Tipi	Kuru Birim Hacim Ağırlık (kg / m ³)	Basınç Dayanımı (MPa)	Isı İletkenlik Katsayısı (W / m ² C)
Çok hafif yalıtım betonu	<800	<2	<0.16
Çok hafif beton	<800	>2	<0.16
Hafif taşıyıcı yalıtım betonu	800 – 1400	>10	<0.80
Hafif taşıyıcı beton	>1200	>20	-
Yüksek dayanımlı hafif beton	>1200	>30	-

Hafif agregalı beton blok elemanlar, basınç dayanımları minimum 3,5 MPa olan ve kuru birim ağırlıkları 1680 kg/m³'ü aşmayan blok elemanlar olarak tanımlanmaktadır. Genellikle, yalıtım amaçlı bölme elemanı olarak veya döşemelerde kullanılmaktadır. Hafif blok elemanlar, birim ağırlıkları ve ısı iletkenlikleri düşük olan yapı malzemeleri olup, çoğunlukla pomza, diyatomit ve volkanik kökenli gibi doğal hafif agregaların kullanımı ile üretilmektedirler (11-13).

Çizelge 2. Diyatomit ve Çimentonun Kimyasal Bileşimleri

Bileşim (%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	SO ₃	K ₂ O	A.K.
Afyon-Seydiler Diyatomiti	67,20	10,09	2,74	0,63	1,36	0,36	-	0,67	8
PKÇ 42,5	19,3	5,57	3,46	0,86	63,56	0,13	2,91	0,80	2,78

Yang ve Huang (14), agreganın hacim fraksiyonunun betonun basınç dayanımı üzerindeki en büyük etki olduğunu belirtmiştir.

Genel olarak yapılarda, dış duvar uygulamalarında veya iç mekânlarda bölme elemanı olarak hafif agregalı beton blok elemanların kullanımı ile, bir yandan ağırlığın azaltılması ve dolayısı ile yapıların ölü yüklerinin azaltılmasının amaçlanmasının yanında ısı yalıtımı, ses yalıtımı, yangına karşı dayanım ve estetik gibi özelliklere de sahip olması amaçlanmaktadır (9,11).

Bu çalışmada, yüksek gözenekliliğe sahip olan diyatomit kayacının hafif agregası olarak hafif blok üretiminde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Böylece, hammadde kaynaklarımızın değerlendirilmesi hem de ısı yalıtımı yüksek olan blok elemanların üretilmesi amaçlanmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

2.1. Kullanılan Malzemeler

Çalışmada, Afyon-Ankara karayolunun 24. km.'sinde bulunan Afyon-Seydiler yöresi diyatomit kayacı çeşitli boyutlarda hafif agregası olarak kullanılmıştır (15) (Şekil-2). Kayacın kimyasal analizi, Kanada'da bulunan Acme Analytical Laboratories Ltd. Şirketine yaptırılmış olup Çizelge-2'de verilmiştir.



Şekil 2. Afyon-Seydiler Yöresi Diyatomit Yatağı

Diyatomit agregası üzerinde TS 3526'ya (16) göre özgül ağırlık ve su emme deneyleri yapılmıştır. Kayacın gerçek yoğunluğu 2.65 gr/cm³ ve su emme değeri de kendi ağırlığı kadar olduğu belirlenmiştir.

Hafif blok elemanların üretiminde, Afyon Set Çimento fabrikası ürünü olan PKÇ/B- 42.5 R tipi

Portland kompozite çimentosu kullanılmıştır. Çimento kimyasal bileşenleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Hafif blok elemanların üretiminde 20±2 °C sıcaklığındaki Afyon ili şebeke suyu kullanılmıştır.

2.2. Numunelerin Hazırlanışı ve Uygulanan Yöntemler

Diyatomitin hafif blok eleman üretiminde kullanılabilirliği üzerine yapılan bu deneysel çalışmada, üretilen bütün numuneler, 100x100x100 mm boyutlarında olup, su/çimento (s/ç) oranları 0.15 olarak sabit tutulmuştur. Karışımlarda çimento miktarları 250, 300, 350 ve 400 kg/m³ olacak şekilde 4 farklı grup tasarlanmıştır. Yapılan deneme karışımları sonucunda en iyi agregası granülometrisi olarak her grupta agregası oranları % 30 iri malzeme, % 40 orta malzeme ve % 30 ince malzeme olarak sabit tutulmuştur. Karışım, agregaların suya doygun sıkışık birim hacim ağırlık (SBHA) değerleri dikkate alınarak TS 3234'e (17) göre hesap edilmiş olup, diyatomit agregalarının SBHA değerleri Çizelge 3'de verilmiştir. Çizelge 4'de her seri için 1m³ karışım içerisindeki bileşen ağırlıkları verilmiştir.

Çizelge 3. Seydiler Diyatomit agregalarının SBHA değerleri

Malzeme	Diyatomit		
	İri (-16/+8)	Orta(-8/+4)	İnce(-4/0)
SBHA (kg/m ³)	860	910	1400

 Çizelge 4. Diyatomitli hafif blokların 1m³ 'teki malzeme bileşenleri

Çimento Miktarı (kg)	Diyatomit (kg)			Su (lt)	s/ç
	İri (-16/+8)	Orta (-8/+4)	İnce (-4/0)		
250	251,82	355,3	409,9	37,5	0,15
300	245,7	346,6	400	45	0,15
350	239,6	338	390	52,5	0,15
400	233,4	329,3	380	60	0,15

Diyatomit hafif agregaları, yüksek poroziteleri nedeni ile karışım esnasında su emmesini önlemek amacıyla, karışıma konmadan önce 30 dak. Su içerisinde tutulduktan sonra yüzeyi kuru suya doymun duruma getirilerek karışıma katılmıştır. Beton bileşenleri, betoniye konarak 3 dak. Boyunca karıştırılmıştır. Nemli durumdaki karışım (çökme 0 cm.) 150W gücünde, 50 Hz. Ve 600 x 400 x 380 mm boyutlarına sahip olan titreşim tablası üzerinde, alt ve üstü açık olan ve her biri 100x100x100 mm boyutlara sahip 3'lü kalıplara 3 tabaka halinde konulduktan sonra titreşim uygulanarak kendi hallerinde titreşimle sıkıştırılmışlardır. Numuneler, üst yüzeyleri düzeltildikten sonra kalıbın yukarı doğru çekilmesiyle kalıptan hemen alınmış ve 20±2 °C ortam sıcaklığındaki laboratuvar koşulunda 7, 28, ve 56 gün havada kür edilmişlerdir (Şekil 3).



Şekil 3. Numunelerin kalıptan alınması

Numuneler, fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi için basınç dayanımı, birim hacim ağırlık (BHA), ultrases hızı, görünen porozite (GP), difüzyon katsayısı ve ısı iletkenliği gibi testlere tabi tutulmuşlardır. Basınç dayanımı deneyleri 7, 28 ve 56 günlük numunelerde, TS 3289 EN 1354'e (18) göre 200 ton kapasiteli pres ile belirlenmiştir. Ultrases hızı, direkt ölçüm yöntemiyle numunelerin karşılıklı kenarlarından Matest marka ultrases cihazıyla belirlenmiştir. BHA ve GP değerleri, 7 ve 28 günlük numunelerin havada ve sudaki

ağırlıkları alınarak Arşimed prensibine göre (1) ve (2) nolu denklemlerden yararlanılarak belirlenmiştir:

$$BHA \text{ (kg/m}^3\text{)} = \frac{W_o}{(W_1 - W_2)} \quad (1)$$

$$GP \text{ (\%)} = \frac{(W_1 - W_o)}{(W_1 - W_2)} \times 100 \quad (2)$$

Denklemlerde; W_o: Etüv kuru su ağırlık; W₁: Suya doymun havada ağırlık; W₂: Su içerisinde ağırlık değerlerini ifade etmektedir.

Difüzyon katsayısı, Uyan'ın (19) geliştirdiği yöntemle; tabandan su emdirilen 7 ve 28 günlük numunelerin belirli zamanlarda tartılarak, yatay ekseninde zamanın karekökü, düşey ekseninde ise birim zamanda emilen su miktarını gösteren doğrunun eğimi kullanılarak (3) nolu denklem yardımı ile hesaplanmıştır:

$$D = (\pi / 4).S^2 \quad (3)$$

Denklemden, D difüzyon katsayısı; S, eğimdir.

Isı iletkenlik katsayısı ise 28 günlük hafif blok numunelerde, ASTM C 1113-99 (20)'da belirtilen "Hot wire" yöntemine göre belirlenmiştir. Numunelerin SEM görüntüleri de 400 dozlu 56 günlük numuneler üzerinde, AKÜ, Teknolojik Uygulama ve Araştırma Merkezinde, LEO VP-1431 tipi taramalı elektron mikroskopunda incelenmiştir. Her test için 3 ayrı numune kullanılarak aritmetik ortalama değerleri sonuçlar bölümünde verilmiştir.

3. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

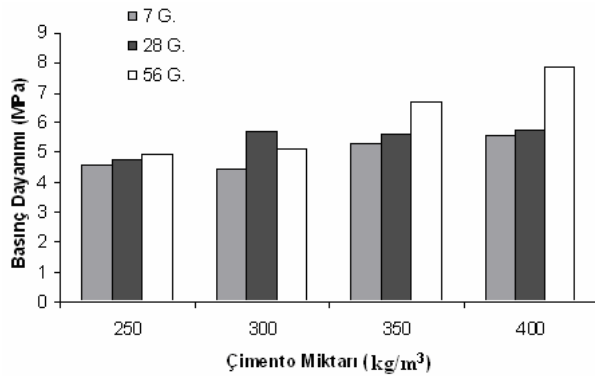
Diyatomit kayacının hafif agrega olarak kullanılması ile üretilmiş olan hafif blok elemanların fiziksel ve mekanik özelliklerinin araştırılması üzerine yapılmış olan bu deneysel çalışmada elde edilen sonuçlar Çizelge 5'te verilmiştir.

Çizelge 5. Diyatomitli hafif blokların bazı fiziksel özellik deney sonuçları

7 GÜNLÜK					
Çimento Dozajı (kg/m ³)	B.H.A (kg/m ³)	Ultrases Hızı (km/sn)	Görünen Porozite (%)	Difüzyon Kat.x10 ⁻⁵ (cm ² /dak)	Isı İletkenlik Katsayısı (W/mK)
250	960	1,66	52,42	5494,67	-
300	950	1,51	52,81	3051,15	-
350	1010	1,78	50,83	2117,56	-
400	1070	1,88	48,44	1960,67	-
28 GÜNLÜK					
250	980	0,93	51,98	8578,92	0,230
300	910	1,04	58,81	2269,80	0,230
350	970	1,32	55,82	1504,40	0,232
400	1070	1,60	49,29	780,69	0,233

Çizelge 5 incelendiğinde, 7 günlük hafif blok numunelerin birim hacmindeki çimento miktarının artmasına paralel olarak bağlayıcı miktarının artarak daha yoğun bir yapı oluşturması sebebi ile BHA ve ultrases hızlarında da artış görülmektedir. Buna bağlı olarak GP ve difüzyon katsayısı değerlerinde azalma olduğu yine aynı çizelgeden görülmektedir. Aynı durum 28 günlük numuneler için de söz konusudur. Ancak 28 günlük 300 ve 350 dozlu numunelerin birim hacim ağırlıkları 7 günlük numunelere göre daha düşük değerler alırken GP değerleri de daha yüksek değerler almıştır. Bunun sebebinin, numunelerin bünyesinde tutulan serbest suyun numune yaşının ilerlemesi ve havada kür edilmeleri sebebi ile ayrılması sonucu oluştuğu söylenebilir.

Üretilen blok elemanların basınç dayanımları ile çimento miktarı arasındaki ilişki incelendiğinde (Şekil 4), 7 ve 28 günlük numunelerin basınç dayanımında önemli miktarda değişme görülmemekte olup, 56 günlük numunelerde artan çimento miktarına paralel olarak dayanımlarda belirgin bir artış görülmüştür. Bunun sebebi olarak, ileriki yaşlarda çimentonun dayanım üzerine etkisinin erken yaşlara göre daha fazla olduğu söylenebilir.

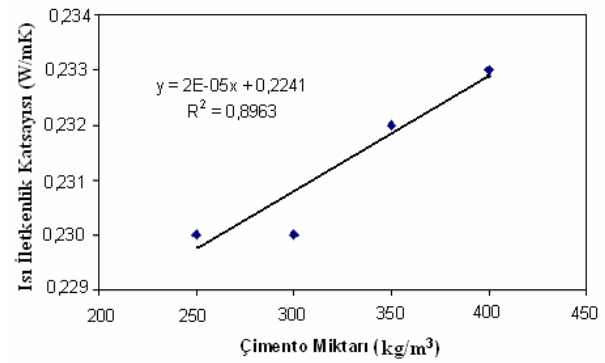


Şekil 4. Hafif blok numunelerin çimento miktarı ile basınç dayanımı arasındaki ilişki

Yine numune yaşına göre de 300 dozlu 56 günlük hafif blok numuneler haricinde genel olarak dayanımlarda artış görülmektedir. 300 dozlu numunelerin ileriki yaşlarda düşük basınç dayanımına sahip olmalarının sebebi, olumsuz laboratuvar koşullarının etkisine bağlanabilir. 350 ve 400 dozlu numunelerin basınç dayanımları özellikle 56 günlük numunelerde belirgin bir artışa sahiptir ve bu hafif blok numunelerin basınç dayanımları 5-8 Mpa arasındadır. Sari ve Paşamehmetoğlu (21), agrega granülometrisi ve katkı kullanımının pomzalı hafif betona etkisi üzerine yapmış oldukları çalışmada, 28-56 gün havada kür edilen hafif beton numunelere ait basınç dayanımı değerlerinin 3.5-6.8 Mpa arasında değiştiğini belirtmişlerdir. TS EN 771-3 (22)'de, dolu blok halindeki ve 800-1100 kg/m³ birim hacim ağırlıklarındaki pomzadan imal edilmiş bims betonların basınç dayanımlarının 2-6 N/mm² arasında değiştiği görülmektedir. Nitekim diyatomit ile üretilmiş olan blok elemanların da dayanımları bu değerler ara-

sında kalmaktadır. Buna göre diyatomit ile üretilen hafif blok elemanların, pomzadan imal blok elemanlar ile eşdeğer dayanıma sahip oldukları söylenebilir. Ancak blok eleman üretiminde çimento miktarının yüksek olması ekonomik olmayabilir.

Diyatomit ile üretilen hafif blok elemanların çimento miktarı ile ısı iletkenlik katsayısı arasındaki ilişki Şekil 5'de görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi, çimento miktarının artması ile birim hacimdeki bağlayıcı miktarının artmasından dolayı yoğunluk artarak porozite azalmış ve buna bağlı olarak ısı iletkenlik katsayısı da artmıştır.



Şekil 5. Hafif blok numunelerin çimento miktarı ile ısı iletkenlik katsayıları arasındaki ilişki

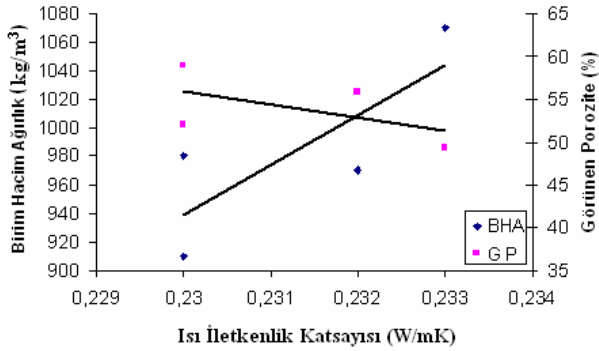
Çimento miktarı ile ısı iletkenlik katsayısı arasında 0,94 korelasyon katsayısı (R) ile lineer bir ilişki vardır ve bu ilişki aşağıdaki denklem ile ifade edilebilir.

$$\lambda = 2.10^{-5} C + 0,2241 \quad (2)$$

Denklemden; λ , ısı iletkenlik katsayısı (W/mK), C çimento miktarı (kg/m³) dir. 250-400 dozlu numunelerin ısı iletkenlik katsayıları sırası ile 0,23 ile 0,233 W/mK arasında değerler aldığı Şekil 4 ve Çizelge 5'den görülmektedir.

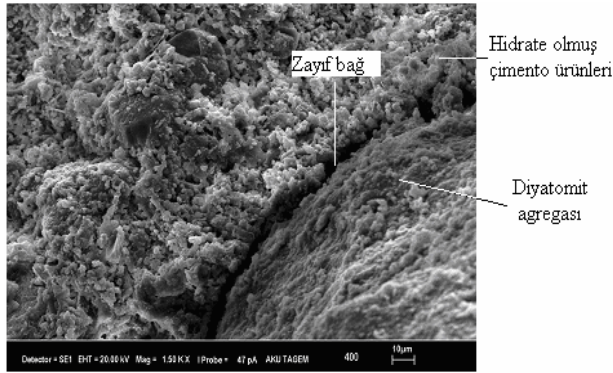
28 günlük numunelerin GP ve BHA değerleri ile ısı iletkenlik katsayıları arasındaki ilişki, Şekil 6'da görülmektedir. Şekil incelendiğinde BHA değerinin artması ile literatürden de bilindiği gibi ısı iletkenliği de artış göstermiştir (9). BHA değerinin ve çimento miktarının artması ile GP azalmış ve buna bağlı olarak da ısı iletkenliği artmıştır. Al-Jabri v.d. (23), sıcak bölgelerde ısı yalıtımı için beton blok üretimi üzerine yapmış oldukları çalışmada, sıradan beton bloklar ve vermikülit hafif agregası kullanarak blok elemanlar üretmişlerdir. Sıradan beton blokların basınç dayanımlarının 5-15 Mpa, BHA değerinin 1193 kg/m³ ve ısı iletkenlik katsayılarının 1,60 W/m °C olduğunu, vermikülit agregasıyla üretilen blokların da, basınç dayanımlarının 2,2 Mpa, BHA değerinin 1168 kg/m³ ve ısı iletkenlik katsayılarının da 0,76 W/m °C olduğunu göstermişlerdir. Diyatomit ile üretilmiş olan hafif blok numunelerin ısı iletkenlik katsayıları, aynı BHA değerindeki pomzadan

imal edilen bloklardan, sıradan bloklardan ve 800 kg/m³ BHA değerindeki gaz betondan daha düşüktür (24).



Şekil 6. Hafif blok numunelerin BHA, GP değerleri

Diyatomitle üretilen hafif blok serileri arasında en iyi dayanıma sahip, çimento miktarı 400 dozlu hafif blok numunelerin SEM görüntüsü Şekil 7’de gösterilmiştir.



Şekil 7. 400 dozlu 56 günlük hafif blok numunelerin SEM görüntüsü (x1500)

Şekilden de görüldüğü gibi agregalar arasında kalsiyum silikat hidrat (C-S-H) jeli oluşmuş fakat agrega ile matriks arasında bir bağ oluşmamıştır. Agregamatriks ara yüzeyinde zayıf bir bağ olduğu görülmektedir. Hafif agregalı betonlarda, özellikle yüksek gözenekli agregalar, arayüzeydeki karışım suyunu da absorbe ederek, agrega-matriks arasında zayıf bağ oluşmasına neden olmaktadır (25). Agregamatriks hamuru arayüzeyinin betonun mukavemeti üzerinde büyük bir etkisi vardır (26-28). Nitekim, diyatomitle üretilmiş olan hafif blok numunelerin basınç dayanımlarının da düşük olduğu yapılan dayanım testleri sonucunda görülmüş olup, bu durum üzerinde agrega-çimento ara yüzeyinde bulunan zayıf bağın büyük etkisinin olduğu söylenebilir.

4. SONUÇLAR

Hafif blok üretiminde diyatomit kayacının hafif agrega olarak kullanılması üzerine yapılan bu deneysel çalışma sonucunda aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır :

- Diyatomitle üretilmiş olan 250-400 dozlu 28 günlük blokların BHA değerleri, 910-1070 kg/m³ arasında değişmektedir. BHA değerleri açısından gaz betondan yüksek olup, pomzadan imal edilen bloklar ile eşdeğer oldukları belirtilebilir.
- 28 günlük numunelerin en yüksek basınç dayanımları, 400 dozlu 56 günlük numunelerde 8 Mpa olarak elde edilmiş olup, 250-400 dozlu numunelerin basınç dayanımları 4-8 Mpa arasında değişmektedir.
- Diyatomit agregasının yüksek porozitesinden ve kılcallık katsayısının yüksek olmasından dolayı, üretilen blokların su emme değerleri, pomzadan imal edilmiş bloklara göre yüksektir. Ancak gerekli yalıtım önlemleri alındığında bu sakıncalı durum ortadan kaldırılabılır.
- 250-400 dozlu blokların ısı iletkenlik katsayıları, 0,23-0,233 W/mK arasında değişmektedir.

Sonuç olarak, diyatomit kayacının, hafif agrega olarak blok üretiminde kullanılması ile taşıyıcı olmayan ancak ısı yalıtımı yüksek olan yalıtım amaçlı hafif bloklar üretilebilir. Bu durumda hem hammadde kaynaklarımızın değerlendirilerek ülke ve birey ekonomisine katkı sağlanması hem de ısı yalıtımı açısından enerji tasarrufunun arttırılacağı düşünülmektedir.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın yapılmasında, birinci yazarı yüksek lisans bursu ile destekleyen Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği’ne teşekkür ederiz.

6. KAYNAKLAR

1. Uygunoğlu, T., “Afyon ve Çevresindeki Hafif Agregalarla Üretilen Blok Elemanların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması”, AKÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Afyon, 2005.
2. Borat, M. “Türkiye Diyatomitlerinin Özellikleri ve Filtrasyon Karakteristikleri”, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi, İstanbul, 1992.
3. Aruntaş, H.Y., Albayrak, M., Saka, H.A., Tokyay, M., “Ankara-Kızılcahamam ve Çankırı-Çerkeş Yöresi Diyatomitlerinin Özelliklerinin Araştırılması”, Turkish Journal of Engineering and Environmental Science, 22, 4, 337-343, 1998.
4. Aruntaş, H.Y., “Diyatomit, Özellikleri, Kullanım Alanları ve İnşaat Sektöründeki Yeri”, Çimento ve Beton Dünyası, 1, 4, 27-32, Ankara, 1996.
5. Açıkalın, N., “Türkiye’de ve Dünya’da Diyatomit”, MTA Genel Müd. F.E.D., Ankara, 1991.
6. Bircan, A., “Türkiye Diyatomit Envanteri”, MTA Yay. No = 138, Ankara, 1968.
7. Mete, Z. “Kimi Batı Anadolu Diyatomit Yataklarının Özelliklerinin İncelenmesi ve Kullanım Alanlarının Araştırılması”, Doçentlik Tezi, E. Ü. Kimya Fak. Kimya Müh. Böl., İzmir, 1982.

8. DPT, “Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Genel Endüstri Mineralleri IV Çalışma Grubu Raporu”, Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Refrakter Raporu, DPT: 2621 – ÖİK: 632, Ankara, 2001.
9. Demirboğa, R., Özüng, İ., Gül, R., “Effects of Expanded Perlite Aggregate and Mineral Admixtures on the Compressive Strength of Low-Density Concretes”, *Cement and Concrete Research*, 31, 1627–1632, 2001.
10. Haque, M.N., Al-Khaiat, H., Kayali, O., “Strength and Durability of Lightweight Concrete”, *Cement & Concrete Composites*, 26, 307–314, 2004.
11. Topçu, İ.B., “Semi-Lightweight Concretes Produced by Volcanic Slags”, *Cement and Concrete Research*, 27, 15-21, 1997.
12. İhtiyaroğlu, E., “Tabii Hafif Agregalarla İmal Edilen Hafif Beton Blokların Duvar Elemanı Olarak Özelliklerinin Tayini Üzerinde Araştırmalar”, *İmar ve İskan Bakanlığı yayınları*, No: 5-76, s.61, Ankara, 1984.
13. Altun, F., Haktanır, F., “Kayseri Yöresi Erciyes Dağı Hafif Agregaları ile Üretilen Taşıyıcı Hafif Beton Özelliklerinin İncelenmesi”, *Yıldız Teknik Üniversitesi Dergisi (YTÜD)*, Cilt-2, ss.10-18, 2001.
14. Yang, C.C., Huang, R., “A Two-Phase Model for Predicting the Compressive Strength of Concrete”, *Cement and Concrete Research*, 26 (10), 1567–77, 1996.
15. TS 1114 EN 13055-1, “Hafif Agregalar – Bölüm 1: Beton, harç ve şerbette kullanım için”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2004.
16. TS 3526, “Beton Agregalarında Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranı Tayini”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1980.
17. TS 3234, “Bimsbeton Yapım Kuralları, Karışım Hesabı ve Deney Metotları”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1978.
18. TS 3289 EN 1354, “Gözenekli Beton-Hafif Agregalı-Basınç Mukavemeti Tayini”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1996.
19. Uyan, M., “Beton ve Harçlarda Kılcallık Olayı”, *Dr. Tezi*, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İstanbul, 1975.
20. ASTM C1113-99, “Standard Test Method for Thermal Conductivity of Refractories by Hot Wire (Platinum Resistance Thermometer Technique)”, *American Society For Testing And Materials*, 2004.
21. Sari, D., Paşamehmetoğlu, A.G., “The Effects of Gradation and Admixture on the Pumice Lightweight Aggregate Concrete”, *Cement and Concrete Research*, 35, 936–942, 2005.
22. TS EN 771-3, “Kâgir birimler – Özellikler – Bölüm 3: Beton kâgir birimler (Yoğun ve hafif agregalı)”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2005.
23. Al-Jabri, K.S., Hago, A.W., Al-Nuaimi, A.S., Al-Saidy, A.H., “Concrete Blocks for Thermal Insulation in Hot Climate”, *Cement and Concrete Research*, accepted 24 August 2004.
24. TS 825 / T3, “Binalarda Isı Yalıtım Kuralları”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2002.
25. Chandra, S., Berntsson, L., “Lightweight Aggregate Concrete: Science, Technology and Applications”, *William Andrew Publishing*, Norwich, New York, USA, ISBN: 0-8155-1486-7, 2002.
26. John, D.A. St, Poole, A.B. and Sims, I., “Concrete Petrography”, *Copublished North, Central and South America by John Wiley & Sons, Inc.*, New York, 1998.
27. Wasserman R, Bentur A., “Effect of Lightweight Fly Ash Aggregate Microstructure on the Strength of Concrete”, *Cement and Concrete Research*, 27 (4), 525 –37, 1997.
28. Lo, T.Y., Cui, H.Z., “Effect of Porous Lightweight Aggregate on Strength of Concrete”, *Materials Letters*, 58, 916– 919, 2004.