

Diyatomitin Hafif Beton Üretiminde Kullanılması

Osman ÜNAL*
Tayfun UYGUNOĞLU**

ÖZET

Afyonkarahisar ve çevresinde bulunan diyatomit şimdiye kadar agrega olarak hafif beton üretiminde değerlendirilmemiştir. Çalışmada, diyatomit agregalarıyla üretilen hafif betonun mekanik ve fiziksel özellikleri araştırılmıştır. Betonların çimento miktarı 250 ve 400 kg/m³ arasında değiştirilerek su/çimento oranı 0.15 olarak sabit tutulmuştur. Üretilen numuneler üzerinde, basınç dayanımı, ısı iletkenlik, su emme, birim hacim ağırlık, ultrases hızı ve görünen porozite deneyleri yapılmıştır. Ayrıca bazı numunelerin mikro yapısı SEM yoluyla incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda sahip olduğu bazı özellikler açısından diyatomitin agrega olarak hafif beton üretiminde değerlendirilebileceği söylenebilir.

Anahtar Kelimeler: Diyatomit, hafif beton, agrega

ABSTRACT

Use of Diatomite in the Production of Lightweight Concrete

The use of diatomite found in Turkey and in Afyonkarahisar Region has not been evaluated in the production of lightweight concrete as aggregate up to now. In the study, physical and mechanical properties of lightweight concrete manufactured with diatomite aggregates have been investigated. Cement Content of the concretes have been changed between 250 and 400 kg/m³; but the water/cement ratios were kept constant as 0,15. Compressive strength, thermal conductivity, water absorption, bulk density, ultrasonic pulse velocity and apparent porosity of the concrete have been determined. Microstructures of the specimens were also studied by SEM. According to the experimental test results obtained, diatomite aggregates in the production of lightweight concretes can be satisfactorily used.

Keywords: Diatomite, lightweight concrete, aggregate

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 03.01.2005 günü ulaşmıştır.
- 31 Mart 2007 gününe kadar tartışmaya açıktır.

* Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü, Afyonkarahisar – unal@aku.edu.tr

** Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü, Afyonkarahisar – uygunoglu@aku.edu.tr

1. GİRİŞ

Ülkemiz hammadde kaynakları açısından büyük bir potansiyele sahiptir. Kaynakların ne şekilde ve hangi alanlarda değerlendirilebileceği konusunda önemli çalışmalar devam etmektedir. Ancak bazı hammadde kaynaklarına yeterince önem verilememiştir. Bu hammadde kaynaklarından birisi de dünya rezervinin %2'sini oluşturan diyatomittir.

Diyatomit, su yosunları sınıfından tek hücreli, mikroskopla görülebilecek kadar küçük, silisli kavkuların birikerek fosilleşmesinden meydana gelen organik tortul bir kayadır (Şekil 1). Diyatomalı toprak, Diyatomalı silis, Fosil unu, Silis unu, Dağ unu, Beyaz turba gibi isimlerle anılmaktadır [1].



Şekil 1. Diyatomit genel görünümü

Diyatomitin yüksek gözenekliliği, 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, absorbant, 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 girmemiştir [2-4].

Ülkemizdeki diyatomit yataklarının bulunduğu iller; Afyon, Ankara, Aydın, Balıkesir, Bingöl, Çanakkale, Çankırı, Denizli, Eskişehir, Kayseri, Konya, Kütahya, Niğde, Sivas ve Van'dır [5].

Rilem [6] hafif betonları ağırlıkları ve dayanımlarına göre yapısal, yapısal-yalıtım ve yalıtım betonu olmak üzere üç grupta sınıflandırmıştır. Bir başka çalışmada ise hafif betonlar Çizelge 1'de verilen beton tiplerine göre sınıflandırması yapılmıştır [7].

Hafif beton üretiminin bir çok yöntemi vardır. Bu yöntemler içerisinde birim ağırlıkları ve ısı iletkenlikleri düşük olan yapı malzemelerinden çoğunlukla pomza, diyatomit ve volkanik kökenli tüf gibi doğal hafif agregalar veya yüksek fırın cürufu, genişletilmiş perlit vb., gibi suni hafif agregalar kullanılarak üretilen yalıtım amaçlı hafif betonlar olup, yük taşıma kapasiteleri yoktur [8-9].

Çizelge 1. Hafif betonların sınıflandırılması

Hafif Beton Tipi	Kuru Birim Hacim Ağırlık (kg / m ³)	Basınç Dayanımı (MPa)	Isı İletkenlik (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	-

Özellikle pomza gibi doğal hafif agregalarla hafif beton veya blok üretimi üzerine bir çok çalışma yapılmıştır. Bunlardan bazıları; Sari ve Paşamehmetoğlu [10], agrega granülometrisi ve katkı kullanımının pomzalı hafif betona etkisi üzerine yaptıkları çalışmada, 28-56 gün havada kür edilen hafif beton numunelere ait basınç dayanımı değerlerinin 3.5-6.8 MPa arasında değiştiğini belirtmişlerdir.

Al-Jabri v.d. [11], 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, Birim hacim ağırlık değerinin 1193 kg/m³ ve ısı iletkenlik katsayılarının 1,60 W/m²°C olduğunu, vermikülit agregasıyla üretilen blokların da, basınç dayanımlarının 2,2 MPa, Birim hacim ağırlık değerinin 1168 kg/m³ ve ısı iletkenlik katsayılarının da 0,76 W/m²°C olduğunu göstermişlerdir.

Genel olarak hafif agregalı betonlar, yapılarda blok olarak kullanılmakta ve bu blokların kullanımı ile yapıların zati yüklerinin azaltılmasının yanında ısı yalıtımı, deprem sorunu, yangına karşı dayanım ve estetik gibi özelliklere de sahip olması amaçlanmaktadır [12].

Bu çalışmada yüksek gözenekliliğe sahip olan diyatomitin agrega olarak hafif beton üretiminde kullanılması ile hem ısı yalıtımı yüksek blokların üretilmesi hem de hammadde kaynaklarımızın değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

2.1. Kullanılan Malzemeler

Çalışmada, Afyonkarahisar-Ankara karayolunun 24. km.'sinde bulunan Afyonkarahisar-Seydiler yöresinden temin edilen ve çeşitli boyutlarda kırıcılarda kırılan diyatomit hafif agregası kullanılmıştır (Şekil 2). Diyatomitin kimyasal analizi, Kanada'da bulunan Acme Analytical Laboratories Ltd. Şirketine yaptırılmıştır.

Diyatomitin Hafif Beton Üretiminde Kullanılması



Şekil 2. Afyonkarahisar-Seydiler yöresi diyatomit yatağı

Hafif blok elemanların üretiminde bağlayıcı olarak Afyon Set Çimento fabrikası ürünü olan PKÇ/B 42.5R tipi Portland Kompoze Çimentosu kullanılmıştır. Çimentonun ve diyatomitin kimyasal özelliklerine ait sonuçlar Çizelge 2’de çimentonun mekanik ve fiziksel özellikleri Çizelge 3’de verilmiştir.

Çizelge 2. Seydiler diyatomiti ve PKÇ/B 42.5R çimentosunun kimyasal özellikleri

Bileşen (%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	SO ₃	K ₂ O	Ateşte Kayıp
Diyatomit	67,20	10,09	2,74	0,63	1,36	0,36	-	0,67	8
Çimento	19,3	5,57	3,46	0,86	63,56	0,13	2,91	0,80	2,78

Çizelge 3. PKÇ/B 42.5R çimentosunun mekanik ve fiziksel özellikleri

Dayanım Sınıfı	Basınç Dayanımı N/mm ² (TS19)			Priz başlama Süresi (TS19)	Priz sonu (TS19)	Hacim Genleş. mm (TS19)	Özgül Yüzey	Özgül Ağırlık (kg/m ³)
	2 gün	7 gün	28 gün					
42,5	26,5 (21)	38,7 (34)	46 (42,5)	2.52 (1sa)	4,36 (10sa)	3 (10)	3685 (3500)	3,07

Not. Parantez içi değerler standart değerlerdir.

Diyatomit agregası üzerinde TS 3526’ya [13] göre özgül ağırlık ve su emme deneyleri yapılmıştır. Diyatomitin gerçek yoğunluğu 2.65 g/cm³ ve su emme değerinin de kendi ağırlığı kadar olduğu belirlenmiştir.

2.2. Numunelerin Hazırlanışı

Diyatomitin hafif agregalı beton üretiminde kullanılabilirliği üzerine yapılan deneysel çalışmada, üretilen bütün numuneler 100x100x100 mm boyutlarında olup, çimento miktarı 250, 300, 350 ve 400 kg/m³ olacak şekilde seçilmiştir. Bütün serilerde agrega bileşenleri %30 iri taneli, %30 orta taneli ve %40 ince taneli malzeme olarak seçilmiştir. Diyatomitin su emme özelliği dikkate alınarak önceden su emme yaptırıldığı için karışımlarda su/çimento oranı 0.15 olarak sabit tutulmuştur. Karışımdaki miktarlar, TS 3234'e [14] göre agregaların suya doymuş sıkışık birim hacim ağırlıkları (SBHA) dikkate alınarak hesap edilmiş olup, agregaların sıkışık birim hacim ağırlıkları Çizelge 4'de, her seri için 1m³ karışım içerisindeki bileşen ağırlıkları Çizelge 5'te verilmiştir.

Çizelge 4. Agregaların SBHA

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

Çizelge 5. 1m³ 'teki teorik malzeme miktarları

Çimento Miktarı (kg/m ³)	Diyatomit (kg/m ³)			Su (Kg)	Beton BHA (kg/m ³)
	İri (-16/+8)	Orta (-8/+4)	İnce (-4/0)		
250	252	267	546	38	1353
300	246	260	533	45	1384
350	240	254	520	53	1417
400	233	247	507	60	1447

Diyatomit agregası karışıma konmadan önce 30 dak. su içerisinde tutulduktan sonra yüzeyi kuru suya doymuş duruma getirilerek karışıma katılmıştır. Betoniyerde 3dak. boyunca nemli halde hazırlanan karışımlar titreşim tablası üzerinde alt ve üstü açık olan 100x100x100 mm boyutlarına sahip 3'lü kalıplara 3 tabaka halinde doldurulmuştur. Vibrasyon uygulanarak sıkıştırılıp, üst yüzeyleri düzeltildikten sonra kalıp yukarı doğru çekilerek üretilen numuneler 20±2 °C ortam sıcaklığındaki laboratuarda kür edilmişlerdir. Numuneler üzerinde basınç dayanımı, birim hacim ağırlık (BHA), ultrases geçiş süresi, görünen porozite ve ısı iletkenliği deneyleri üçer numune üzerinde yapılarak ortalama değerler alınmıştır. Basınç dayanımı deneyleri 7 , 28 ve 56 günlük numunelerde, TS 3289 EN 1354'e [15] 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

Diyatomitin Hafif Beton Üretiminde Kullanılması

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

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

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

Eşitliklerde; W_o : Etüv kuru ağırlık; W_1 : Suya doymuş havada ağırlık; W_2 : Su içerisinde ağırlık değerlerini ifade etmektedir.

Isı iletkenlik katsayıları da ASTM C 1113-99[16]'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.

3. DENEY SONUÇARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Diyatomit kayacının hafif agrega olarak kullanılması ile üretilmiş olan hafif betonların fiziksel ve mekanik özelliklerinin araştırılması üzerine yapılmış olan bu çalışmada elde edilen sonuçlar Çizelge 6'de verilmiştir.

Çizelge 6. Numunelerin bazı fiziksel ve mekanik özellikleri

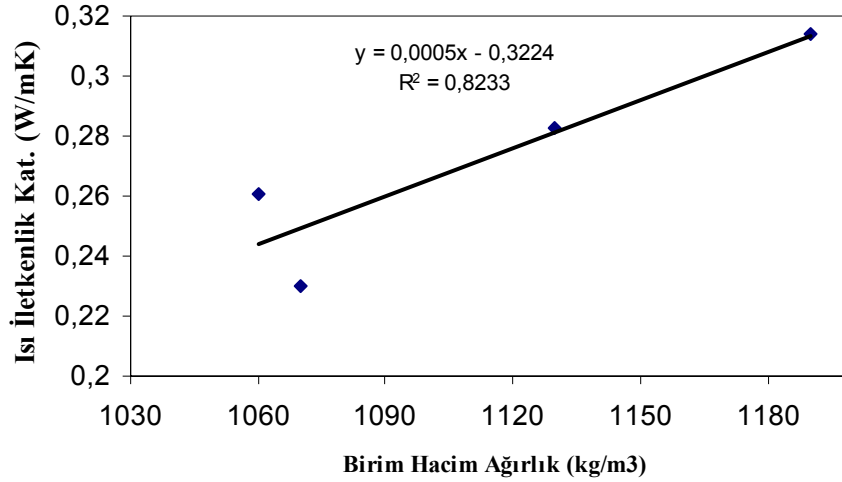
7 GÜNLÜK						
Çimento Dozajı	BHA (kg/m³)	Ultrases Hızı (km/sn)	Basınç Dayanımı (MPa)	Görünen Porozite (%)	Su Emme (24sa) (%)	Isı İletkenliği (W/mK)
250	1080	1,8	3,9	40,1	37,8	-
300	1110	1,9	4,5	39,4	31,9	-
350	1150	2,0	4,7	38,4	31,0	-
400	1190	2,1	5,0	36,8	30,9	-
28 GÜNLÜK						
250	1070	1,4	4,7	43,6	41,0	0,23
300	1030	1,6	4,4	47,5	46,7	0,26
350	1130	2,0	5,9	43,0	37,9	0,28
400	1190	2,2	5,2	38,7	32,6	0,31

Çizelge 6 incelendiğinde, 7 günlük numunelerin birim hacimdeki çimento miktarının artmasına paralel olarak birim hacim ağırlıkları ve ultrases hızlarında artış görülmektedir. Bu durum bağlayıcının artarak daha yoğun bir yapı oluşturmasına bağlıdır. Buna bağlı

olarak diğer yandan görünen porozite değerlerinde ve 24 saatlik su emme değerlerinde azalma olduğu yine çizelgeden görülmektedir. Aynı durum 28 günlük numuneler için de söz konusudur. Ancak 28 günlük numunelerin birim hacim ağırlıkları 7 günlük numunelere göre daha düşük değerler alırken görünen porozite ve su emme değerleri de daha yüksek değerler almıştır. Bunun sebebinin, numunelerin bünyesinde tutulan serbest suyun numune yaşının ilerlemesi ve laboratuvarında kür edilmeleri sebebi ile ayrılması sonucudur.

Üretilen numunelerin basınç dayanımları ise 7 günlük ve 28 günlük numunelerde artan çimento dozajına paralel olarak artma eğilimindedir. 250 Dozajlı karışımlarda dayanımlar zamana bağlı olarak %23 oranında artarken 400 dozlu karışımlarda %1 mertebesinde artış kaydedilmiştir. Bu durum karışımdaki malzemelerin inceliğinin artmasına bağlı olarak artan su miktarının zamanla buharlaşması sonucu içyapıyı değiştirerek yapısal kusurların büyümesine bağlıdır. TS EN 771-3 [17]'de, dolu blok halindeki ve 800-1100 kg/m³ birim hacim ağırlıklarındaki pomzadan imal edilmiş bims betonların basınç dayanımlarının 2-6 MPa arasında değiştiği belirtilmiştir. Yapılan çalışmada da diyatomit ile üretilen hafif betonların dayanımlarının bu değerler arasında kalması ile pomzadan imal bims betonlarla eşdeğer dayanıma sahip olduklarını göstermiştir.

28 günlük numunelerin basınç dayanımları ile görünen porozite ve BHA arasındaki ilişki incelendiğinde BHA artması ile basınç dayanımı da literatürden de bilindiği gibi artış göstermiştir. BHA artması ile görünen porozite azalmış ve buna bağlı olarak da basınç dayanımları artmıştır.

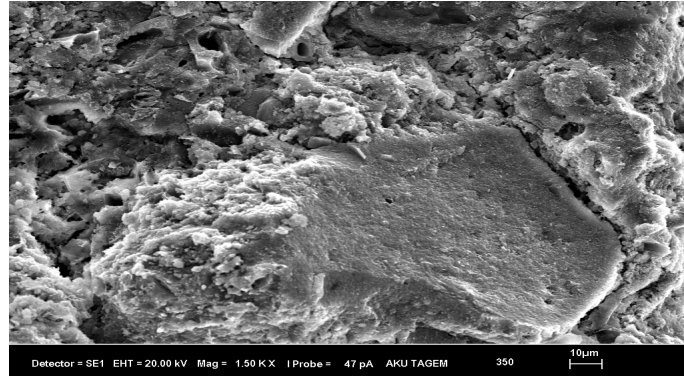


Şekil 3. 28 Günlük Numunelerin BHA ile ısı iletkenlik katsayıları arasındaki ilişki

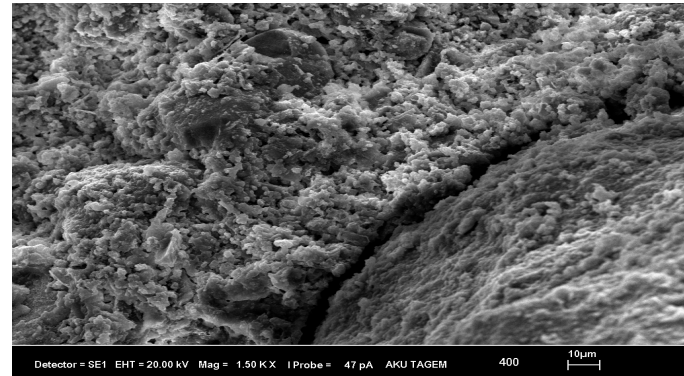
Şekil 3'de diyatomit ile üretilen hafif betonların BHA ile ısı iletkenlik katsayısı arasındaki ilişki görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi BHA artması ile ısı iletim katsayısı da artmıştır. BHA ile ısı iletkenlik katsayısı arasında doğrusal bir ilişki vardır ve 250 ve 400 dozlu numunelerin ısı iletkenlik katsayıları sırası ile 0,23 ile 0,31 W/mK arasında değerler aldığı şekilden ve denklemden görülmektedir. 250 dozlu olarak üretilmiş olan numunelerin ısı yalıtımı aynı BHA'daki pomzadan imal edilen bims betonlardan daha yüksektir [18].

Diyatomitin Hafif Beton Üretiminde Kullanılması

Diyatomitle üretilen hafif betonların dayanım ve ısı iletkenlik değerleri göz önüne alındığında, Çizelge 1'e göre hafif yalıtım betonu sınıfına girdiği anlaşılır.



(a)



(b)

Şekil 4. (a) 350 ve (b) 400 dozlu numunelerin SEM görüntüsü (x1500)

Şekil 4'te diğer dozajdaki serilere göre daha yüksek dayanıma sahip olan 350 ve 400 dozlu numunelerin SEM görüntüsü görülmektedir. Her iki şekilden de görüldüğü gibi agregalar arasında kalsiyum silika hidrat (C-S-H) jeli oluşmuş fakat agregamatriks arayüzeyinde zayıf bir bağ oluşmuştur. Agregamatriks hamuru arayüzeyinde zayıf bağ oluşmasını sebebi, özellikle yüksek gözenekli agregaların karışımdan önce yeterince su emmediklerinden arayüzeydeki karışım suyunu da absorbe ederek zayıf bağ oluşmasına neden olmasıdır [6]. Yani karışıma katılan diyatomitin tam olarak suya doymun hale getirilemediği ve su/çimento oranının düşük olmasına bağlı olarak çimento hamurunun tam hidrasyon yapamadığı da söylenebilir. Agregamatriks arayüzeyinin betonun mukavemeti üzerine büyük bir etkisi vardır [20-22]. Nitekim, diyatomitle üretilmiş olan numunelerin basınç dayanımlarının da düşük olduğu yapılan dayanım testleri sonucunda görülmüştür.

4. SONUÇLAR

Hafif beton üretiminde diyatomitin hafif agrega olarak kullanılması üzerine yapılan bu deneysel çalışma sonucunda aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır.

- Diyatomit porozitesi yüksek bir malzeme olmasından dolayı su emmesi de yüksektir. Bu özelliğinden hafif beton üretiminde kullanılması halinde karışıma katılmadan önce r ön su emdirme işlemine tabi tutulmalıdır.
- Diyatomit ile üretilmiş olan 250-400 dozlu hafif betonların BHA sırası ile 1060-1190 kg/m³ arasında değişmektedir. BHA açısından pomzadan mamul bims betonlar ile eşdeğerdirler.
- 28 günlük numunelerin en yüksek basınç dayanımları 350 dozlu numunelerde 5,8 MPa olarak elde edilmiş olup, 250-400 dozlu numunelerin basınç dayanımları 4-5,8 MPa arasında değişmektedir. Birim hacimdeki çimento dozajının artması ekonomik açıdan dezavantajdır.
- 250-400 dozlu hafif betonların ısı iletim katsayıları sırası ile 0,23-0,314 W/mK arasında değişmektedir.
- Diyatomitin yüksek porozitesinden ve agregaların karışımdan önce yeterince su emmediklerinden dolayı agrega-matriks arayüzeyindeki karışım suyunu da absorbe ederek zayıf bağ oluşmasına neden olmuştur.

Yapılan çalışmalar sonucunda diyatomit ile üretilen hafif agregalı betonların dayanımlarının düşük olması ancak ısı yalıtım değerlerinin yüksek olması nedeniyle hafif agrega olarak hafif beton üretiminde kullanılması ile taşıyıcı olmayan ancak ısı yalıtımı yüksek olan yalıtım amaçlı hafif betonlar veya bloklar üretilebilir. Bu durumda hem hammadde kaynaklarımızın değerlendirilerek ülke ve birey ekonomisine katkı sağlanması hem de ısı yalıtımı açısından enerji tasarrufunun arttırılacağı düşünülmektedir.

Kaynaklar

1. Borat, M. “Türkiye Diyatomitlerinin Özellikleri Ve Filtrasyon Karakteristikleri”, İTÜ, Fen bilimleri Enst.Doktora tezi, 1992.
2. Açıkalın, N., “Türkiye’de ve Dünya’da Diyatomit”, MTA Genel Müd. F.E.D., Ankara,1991.
3. Bircan, A.,“Türkiye Diyatomit Envanteri”, MTA Yay. No = 138, Ankara, 1968.
4. Mete, Z. “Kimi Batı Anadolu Diyatomit Yataklarının Özelliklerinin İncelenmesi ve Kullanımı Alanlarının Araştırılması”, Doçentlik Tezi, E. Ü. Kimya Fak. Kimya Müh. Böl., İzmir, 1982.
5. 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.
6. Rilem, “Functional Classification of Lightweight Concretes”, Recommendation LC 1, Second Ed., 1978.
7. Sezgin, M., “Diyatomitin Hafif Yapı Eldesinde Değerlendirilebilirliği”, S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Müh. A.B.D.,Yüksek Lisans Tezi, Isparta, 1999.

Diyatomitin Hafif Beton Üretiminde Kullanılması

8. Demirboğa, R., Örüng, 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.
9. 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.
10. 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.
11. 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.
12. Sancak, E., “Hafif Agregalı Beton Blokların Mekanik Özellikleri Üzerine Çelik Lif Kullanımının Etkisi”, S.D.Ü., Fen Bil. Ens., Yüksek Lisans Tezi, Isparta, 1999.
13. TS 3526, “Beton Agregalarında Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranı Tayini”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1980.
14. TS 3234, “Bimsbeton Yapım Kuralları, Karışım Hesabı ve Deney Metotları”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1978.
15. TS 3289 EN 1354, “Gözenekli Beton-Hafif Agregalı-Basınç Mukavemeti Tayini”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1996.
16. 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.
17. TS EN 771-3, “Kâgir birimler – Özellikler – Bölüm 3: Beton kâgir birimler (Yoğun ve hafif agregalı)”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2005.
18. TS 825 / T3, “Binalarda Isı Yalıtım Kuralları”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2002.
19. Chandra, S., Berntsson, L., “Lightweight Aggregate Concrete: Science, Technology and Applications”, William Andrew Publishing, Norwich, New York, USA, ISBN: 0-8155-1486-7, 2002.
20. Hewlett, P.C. (Editor), “Lea’s Chemistry of Cement and Concrete”, Copublished North, Central and South America by John Wiley&Sons, Inc., Newyork, Toronto, 1998.
21. John, D.A. St, Poole, A.B. and Sims, I., “Concrete Petrography”, Copublished North, Central and South America by John Wiley&Sons, Inc., Newyork, Toronto, 1998.
22. Lo, T.Y., Cui, H.Z., “Effect of Porous Lightweight Aggregate on Strength of Concrete”, *Materials Letters*, 58, 916– 919, 2004.