

Gazbeton Üretiminde Perlit Kullanılabilir mi ?

İ Ozgenç & B. Sarısözen

DEÜ. Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Müh. Bölümü, Bornova, İzmir

ÖZET : Bu çalışmada, gazbeton üretiminde kullanılan ana hammaddelerden biri olan kuvars yerine, bu madde miktarı sabit tutulmak ve diğer bileşenlerin miktarları değiştirilmemek üzere, öğütülmüş kuvars ve ham perlit belirli oranlarda karıştırılarak hazırlanan deneme dökümleri üzerinde basınç dayanımı ve rötre deneyleri yapılmış ve fiziksel özellikler belirlenmiştir. Sonuçlar normal gazbeton özellikleriyle karşılaştırılmıştır. Deneylerde G2/04 sınıfı gazbeton reçetesi ve Menderes bölgesi perlitleri kullanılmıştır. Deneysel sonuçları G2/04 sınıfı gazbeton reçetesinde kullanılacak optimal ham perlit oranının % 30 olduğunu ortaya koymuştur. Farklı karışım oranları kullanılarak yapılan deney sonuçları olumsuzdur. Ancak farklı perlit örnekleri ve G1, G2, G3 , G4 ve G6 gibi farklı gazbeton reçeteleri kullanılarak çalışmanın geliştirilmesi önerilebilir.

ABSTRACT : In this study, designated proportion of grinded raw perlite was mixed with the dominant quartz compounds of ACC of which original amount has been devoted while the amounts of other compounds were fixed, and test castings were prepared. The samples have been tested for compressive strength, shrinkage limits and physical properties and compared with the properties of original G2/04 class of ACC (Autoclaved Aerated Concrete). For experimental studies, prescription of G2/04 ACC and perlite samples from Cumaovası area were used. The test results reveal that optimal proportion of raw perlite which has to be mixed with quartz is 30 percent and properties are similar to G2/04 of ACC. The results of other proportions tested are not constructive. It is recommended that experimental studies might be developed by using different perlite samples and different prescription of ACC such as G1, G2, G3, G4 and G6.

1. GİRİŞ

Bu çalışmada, günümüzde önemli bir yapı malzemesi olarak kullanımı yaygınlaşan gazbetonun temel hammaddesini oluşturan kuvars yerine, ülkemizde geniş rezervleri bulunan perlitin kullanılabilirliğinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaca ulaşmak üzere öncelikle İzmir'e yakınlığı nedeniyle Menderes bölgesi perlitleri kullanılmış ve deneyler için Çimento-Gazbeton fabrikası laboratuvarlarından yararlanılmıştır. Ancak perlit ve kuvarsın maliyet analizleri bu çalışma kapsamı içine alınmamıştır.

2. GAZBETON**2.1 Tanım**

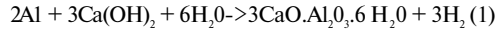
Gazbeton; kuvars, alçıtaşı, kireç, çimento ve sudan oluşan karışımın (Tober-Morit) otoklavlarda buharla sertleştirilmesiyle elde edilen gözenekli, hafif beton grubuna giren bir yapı malzemesidir. Dünya literatüründe gazbeton, Autoclaved Aerated Concrete (AAC) olarak tanımlanmaktadır (Short & Kinniburgh, 1963, 1978). Gazbetonun temel

bileşimini kuvars, kuvarsit veya kuvars kumu oluşturur. Gazbetonun dayanımlılığını arttıran bu hammaddelerin SiO₂ miktarı > % 80, alkali miktarı ise < % 2 olmalıdır. Diğer taraftan basınç dayanımını olumsuz etkilemesi nedeniyle organik bileşikler ile otoklavlarda aşınmaya neden olan klorun varlığı da istenmez (Çimento-Gazbeton, 1995). Alçıtaşı (Jips), gazbetonun basınç dayanımını yükseltir, karışım içindeki kirecin sönme hızını düzenler, rötre özelliğini iyileştirir ve dona karşı dayanıklılığı artırır. Kireç ise sönmemiş halde kullanılır. Gazbeton üretiminde kullanılan kirecin CaO miktarı > % 80 olmalıdır. Kireç, kür işlemi sırasında karışım suyu ile reaksiyona girerek Ca(OH)₂ oluşturur. Kirecin sönmesi sırasında açığa çıkan ısı da sertleşmeyi hızlandırır. Ca(OH)₂ de SiO₂ ile reaksiyona girerek , Gazbetonun temel iskeletini oluşturan hidrate silikat bileşiklerini oluşturur. Gazbeton üretiminde Portland Çimentosu kullanılmaktadır. Otoklavda 190° C sıcaklıkta kür işlemi sırasında bağlayıcı ve sertleştirici rol üstlenir. Çimentonun esas bileşenlerini

Çizelge 1 Gazbeton sınıflarına göre basınç dayanımları ve yoğunlukları (TSE 453)

Sınıfı	Ort. Min o (N/mm ²)	Min a (N/mm ²)	8 (kg/dm ³)	Ort 8 (kg/dm ³)
G1.G2	2.50	2.00	0.400	0.310-0.400
			0.500	0.410-0.500
G3	3.50	3.00	0.500	0.410-0.500
			0.600	0.510-0.600
G4	5.00	4.00	0.600	0.510-0.600
			0.700	0.610-0.700
G6	7.50	6.00	0.700	0.610-0.700
			0.800	0.710-0.800

oluşturan C₂S ve C₃S , Gazbetona yüksek basınç dayanımı verdiğinden bu bileşenlerin toplam miktarı > % 70 olmalıdır C₃A ise sertleşme süresini kısaltmakla birlikte basınç dayanımı üstünde olumsuz etki yaptığından, çimento içindeki oranı < % 10 olmalıdır Çimento içindeki alkaliler toplamı (K₂O + Na⁺O) < % 1 ve MgO < % 3 olmalıdır (Aroni ve diğr 1994 , Short & Kinniburgh, 1963). Alüminyum ise en önemli hammaddelerden biri olup, Gazbeton üretiminde saf halde kullanılır Sulu emülsiyon halinde kullanılan alüminyum, su ve Ca(OH)₂ ile reaksiyona girerek hidrojen (H₂) gazı çıkışına neden olarak gazbetonun gözenekli ve kabarmış kek yapısı kazanmasını sağlar (Short & Kinniburgh, 1963, 1978 ,Wittmann, 1992). Gaz oluşumu basitleştirilmiş olarak aşağıdaki reaksiyon sonucu gerçekleşir:



G1, G2, G4 ve G6 sınıfı gazbetonlar için farklı kabartma özelliğine sahip alüminyum kullanılır (Çimentaş-Gazbeton, 1995). Böylece karışıma giren hammaddelerin kullanım miktarları yanısıra, karışımın kabarma yoluyla (hacimca genleşme) kazanacağı hacim oranı da ayarlanarak her sınıfa özgü yoğunluklar elde edilebilir. Gazbeton hammaddelerinin homojen olarak karıştırılabilmesi ve reaksiyonların düzenli oluşması için yoğurma suyu miktarı % 68-72 arasında olmalıdır.

2.2 Fiziksel Özellikler

Ülkemizde gazbeton TSE 453 ile tanımlanan basınç dayanımlarına (a) göre G1, G2, G3, G4 ve G6 olmak üzere beş sınıfta üretilmektedir (Çizelge 1). Üretim sınıflarına göre (a_{ort}) değeri 1.5 - 7.5 N/mm² , ve ortalama yoğunluk (5_{ort}) ise 0.3 - 0.8 kg / dm³ arasında değişmektedir TSE 825' de öngörülen ısı

iletkenlik değeri (A*) ise 0.12 - 0.20 kcal / mh °C arasındadır. Değerlendirilmiş Ses Sönümleme Ölçüleri (R'w), 37 - 47 dB arasındadır.

3. PERLİT

3.1 Tanımı

Incitaşı anlamına gelen perlit terimi 1700 yıllarında sedef parlaklığı gösteren camsı volkanik kayalar için kullanılmıştır (Fitchel, 1771., Esmark, 1789) Volkanik camların sıcaklık altında genleşme gösterdikleri ilk kez Judd (1886) tarafından saptanmıştır. Yapılan çalışmalar sonucu iki tip perlit tanımı ortaya çıkmıştır (Perlite Mineral Facts and Problems, 1975). Bunlardan biri petrografik, diğeri ticari tanımdır. Petrografik anlamda perlit; riyolitten dasite kadar değişebilen kimyasal bileşimde olan, % 2-5 oranında su içeren ve tipik soğan kabuğu dokusu (perlitik doku) gösteren camsı volkanik kayalara denir. Ticari tanıma göre perlit, yüksek sıcaklıklara (850-1200 C°) kadar ani ısıtıldığında ilk hacminin en az 10 katı kadar genleşebilen herhangi bir volkanik camdır. Hernekadar perlitin ticari anlamı oldukça geniş ise de, perlit özelliği gösteren volkanik camların kesinlikle riyolit-dasit bileşiminde olduğu saptanmıştır (Freidman ve diğr. 1966 , Perhte-Technical Data Sheet, 1974).

3.2 Ham Perlitin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Ham perlitin ortalama yoğunluğu (8_{ort}) 2,2 kg/dm³ ve öğütülmüş ham perlitin Birim Hacim Ağırlığı (A) 1.3 Kg/dm³ tür. Ortalama % 75 oranında SiO₂ içerir ve bu oran % 80 'e kadar çıkabilir. Toplam alkali (K₂O + Na₂O) % 3.5 - 7.5 arasında dağışmaktadır(Perlite Mineral Fact and Problems, 1975). Toplam klorür % 0.2 ve MgO ise % 0.3 oranındadır.

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Gazbeton üretiminde önemli hammaddelerden biri olan kuvars, kuvarsit veya kuvars kumunun SiO₂ içeriği % 80'den fazla olmalıdır. Alkaliler toplamının ise < % 2 olması istenir. Bu çalışmada kullanılan Menderes yöres perlitleri ortalama % 75 oranında SiO₂ ve % 4 oranında toplam alkali içermektedir (Özgenç, 1978). Deneyler İzmir-Gazbeton Fabrikası laboratuvarlarında yapılmış ve G2/04 sınıfı gazbeton reçetesi kullanılmıştır. Bu reçetede kullanılan öğütülmüş kuvarsit miktarı esas alınmış , kuvarsit ve perlit toplamı bu miktara eşit olacak şekilde farklı oranlarda karıştırılarak perlitli gazbeton Tober Morit' i hazırlanmış ve bu örnekler üzerinde basınç dayanımı ve rötre ~ deneyleri yapılmıştır.

4.1 Perlitli Gazbeton Deneme Dökümü Aşamaları

Perlitli Gazbeton için perlit dışındaki hammaddeler Çimento-Gazbeton İşletmelerinden hazır olarak alınmıştır Perlit ise Etibank Perlit İşletmesinden, 0.6 - 1.2 mm tane boyutlu ham perlit olarak alınmış ve gerekli tane boyuna (90 (t altı) öğütülmüştür. Deneme dökümleri için 0.008 m³ hacminde kalıplar kullanılmıştır. G2/04 sınıfı reçetesinde belirtilen miktarlarda kireç, alçıtaşı ve çimento karıştırılmış ve bu karışıma kuvars-perlit karışımı ilave edilmiştir. En son olarak emülsiyon halde " Al " ilave edilerek homojenlik sağlandıktan sonra kalıplara dökülmüştür. Deneme dökümleri kesme işlemine kadar, gazbeton üretimindeki aynı işlemlerden geçirilmiş ve gerekli boyutlarda kesilerek deneye alınmıştır.

4.2 Uygulanan Deneyler

Uygulanan deneyler için ASTM (1984) ve (Aroni ve diğer 1994) tarafından önerilen yöntemler kullanılmıştır.

4.2.1 Basınç Dayanımı

Basınç dayanımı deneyi için perlitli gazbeton deneme dökümlerinden 10 x 10 x 10 cm boyutlarında parçalar " mm " duyarlılığında kesilerek çıkarılır ve tartılır. Deney nemine (% 5-15) ulaşmaya kadar etüve (60° C) bekletilir. Deney nemine gelen örnekler tekrar tartılarak tele eksenli basınç deneyine alınır. Deney yapılırken örneklere uygulanan gerilim, yenilme noktasına ulaştığı anda boşaltılır ve örneklerin dağılması önlenir. Etüve alınarak 105° C de 72 saat bekletilen örnekler tekrar tartılır. Alınan

boyutlar ve ağırlıklardan, örneklerin yoğunlukları hesaplanır (ASTM, 1984).

4.2.2 Rötre Deneyi

Rötre deneyi için 4 x 4 x 16 cm boyutunda prizma şeklinde örnekler deneme dökümü bloğundan çıkarılır ve deney nemine gelmesi için etüve (60° C) bekletilir. Rötre deneyi için Çimento - Gazbeton Laboratuvarında bulunan otomatik Rötre Cihazı kullanılmıştır. Cihaz 0.001 mm duyarlılığında ölçüm yapabilmektedir. Rötre cihazındaki komperatorün " 0 " ayarı yapılarak deney nemine gelen örneklerin ilk komperator ölçümleri alınır. Örnekler deney süresince 20 + 2° C sıcaklıkta ve % 40 + 3 nemin sağlandığı koşullandırma kabında bekletilir ve örnekler kuru ağırlığın % 6'sı kadar nem kazanmaya kadar ölçümlere devam edilir. Her komperator ölçümü sonucu örneklerin ağırlığı alınarak, kuru ağırlıkla karşılaştırılır ve **Prizma Nemi** hesaplanır.

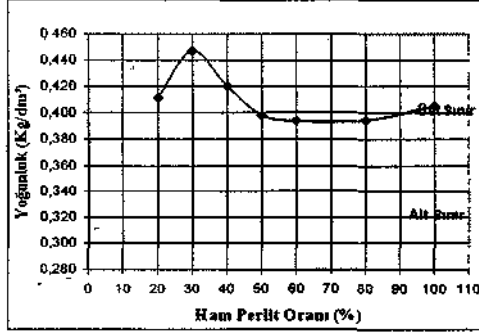
5. DENEYSEL SONUÇLAR

Perlitli gazbeton deneme dökümleri G2/04 sınıfı gazbeton reçetesine göre yapılmış ve bu sınıfın standartları kullanılmıştır. Reçetede kuvarsit miktarı esas alınarak, bu miktarın % 20, % 30, % 40, % 50, % 60 ve % 80 'i kadar perlit kuvarsit ile karıştırılmış, ayrıca kuvarsit yerine tamamen perlit kullanılarak 20 adet deneme dökümü hazırlanmıştır. Elde edilen perlitli gazbeton örnekleri renk, gözeneklilik, su içeriği, yoğunluk, basınç dayanımı ve rötre özellikleri bakımından değerlendirilmiştir.

5.1 Fiziksel Özellikler

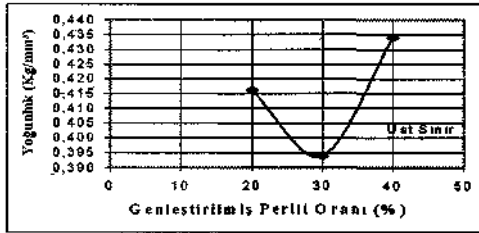
Gazbetonun rengi beyazdır, ancak içindeki perlit oranı arttıkça renk beyazdan griye doğru değişmektedir. Kuvarsit yerine tamamen perlit kullanıldığında renk belirgin olarak gri olmaktadır. Bu değişim ham perlitin sahip olduğu gri renkten ileri gelmektedir. Ancak genleştirilmiş perlitte yapılan dökümlerde herhangi bir renk değişimi gözlenmemiştir. Perlitli gazbetonda elde edilen gözeneklilik normal gazbeton özelliklerini taşımaktadır. Ham perlitte yapılan deneme dökümlerinde reçetede verilen su miktarı kullanıldığında, karışımın vizkozitesi düşmektedir. Özellikle perlit oranı % 50 ve daha fazla olan dökümlerde gerekli su miktarından % 20 daha az su kullanılarak vizkozite değeri istenilen düzeyde tutulmuştur. Perlit oranı % 80 ve % 100 olan dökümlerde reçetede verilen su oranı kullanıldığında

basınç dayanımları düşmektedir. Ham perlitli dökümlerin gerekli su miktarını kabul etmemesi, perlitin belirgin bir kristal yapısına sahip olmaması ile açıklanabilir. En iyi basınç dayanımına sahip % 50, % 60 ve % 80 perlitli gazbetonların yoğunlukları G2/04 sınıfı gazbeton standardı olan 0.310 - 0.400



Şekil 1. En iyi basınç dayanımına sahip ham perlitli gazbeton yoğunluk grafiği

Kg / dm³ aralığındadır. Diğer taraftan % 20, % 40 ve % 100 ham perlitli gazbetonların yoğunlukları aynı sınıfın üst değeri olan 0.400 Kg/dm³ üzerindedir. Butun oranlardaki ham perlitli gazbetonların yoğunluklarında düzenli bir artma veya azalma izlenmemiştir (Şekil. 1). Bunun nedeni, dökümlerin kür işlemi sırasında sirkülyasyola kazandıkları kabarma (hacimce genişleme) miktarıdır. Kabarma miktarı ise Tober-Morit karışımının homojenitesinin bir fonksiyonudur. Genleşmiş perlit kullanılarak hazırlanan değişik oranlardaki dökümlerde, yalnızca % 30 perlitli gazbetonun yoğunluğu standart değerler arasında kalmıştır (Şekil. 2)

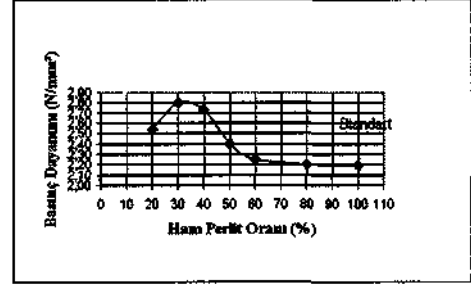


Şekil 2. Genleştirilmiş perlitli gazbeton yoğunluk grafiği

5.2 Basınç Dayanımı Deney Sonuçları

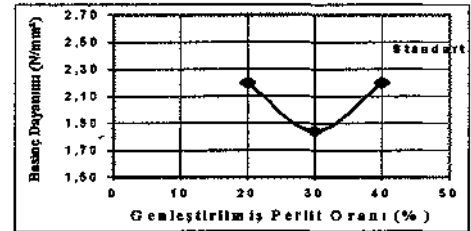
Perlitli gazbeton deneme dökümlerine uygulanan tek eksenli basınç deneyi sonuçları Çizelge. 2'de

verilmiştir. % 20, % 30 ve % 40 perlitli gazbeton örneklerine ait basınç dayanımı değerleri G2/04 sınıfı standart değeri olan 2.50 N/mm² değerini sağlamıştır. Bütün basınç değerleri göz önüne alınırsa, en iyi basınç dayanımı % 30 perlitli gazbeton dökümlerinden elde edilmiştir. Perlit oranı arttıkça basınç dayanımı değerleri düzenli olarak azalmaktadır (Şekil 3).



Şekil 3. Ham perlitli gazbeton basınç dayanımı

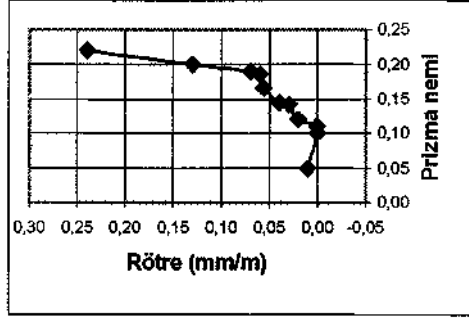
Basınç dayanımını etkileyen en önemli faktör, gazbeton bileşiminin sahip olduğu SiO₂ ve alkali oranıdır. Normal gazbeton üretiminde kullanılan kuvarsitte SiO₂ oranı > % 80 dir. Toplam alkali oranı ise < % 2 dir. Oysa deneme dökümlerinde kullanılan ham perlitin SiO₂ oranı = % 72.64 ve toplam alkali oranı ise % 3.78 dir. Diğer taraftan aynı oranda perlit içeren birden fazla döküm yapıldığında, farklı basınç dayanımı değerleri elde edilmiştir. Perlit oranı arttıkça örneklerdeki gaz çatlakları artmakta ve basınç dayanımı 2.00 N/mm²'nin altına düşmektedir. Gaz çatlaklarının oluşumu kür sırasında Tober- Morit bileşimindeki gaz çıkışının yeterli düzeyde gerçekleşmemesi şeklinde açıklanabilir. Genleştirilmiş perlitli yapılan deneme dökümleri % 20, % 30 ve % 40 perlit kullanılarak yapılmıştır (Çizelge. 3). Ancak basınç dayanımı değerleri standartların altındadır (Şekil. 4). Basınç dayanımının düşük olmasının nedeni genleştirilmiş perlitin boşluklu yapısından kaynaklanmaktadır.



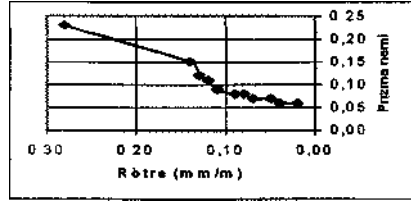
Şekil 4. Genleştirilmiş perlitli gazbeton basınç dayanımı

5.3 Rotre Deneyi Sonuçları

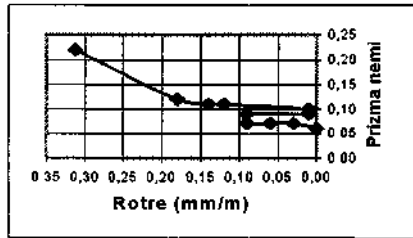
Deneme dökümlerinden rötre deneyi için çıkarılan örneklerin, istenilen sonuca ulaşmaya kadar komperator ölçümleri alınmış ve prizma nemlerinin fonksiyonu olarak grafikleri çizilmiştir (Şekil 5-10). Butun örneklerin, maksimum uzama-kısalma miktarları, rötre deneyi için standart kabul edilen + 0.5 mm/m değer aralığı içindedir. Diğer bir deyişle ham perlitli gazbeton aynı koşullarda, uzama - kısalma yönünden normal gazbeton gibi davranış göstermektedir.



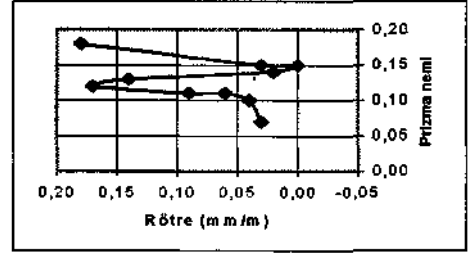
Şekil 5 % 20 ham perlitli gazbeton rötre limitleri



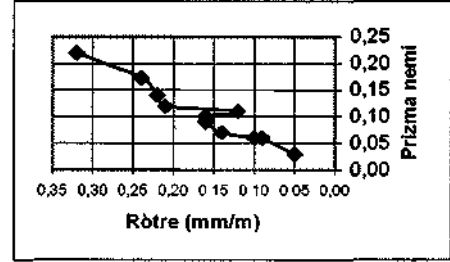
Şekil 6. % 30 ham perlitli gazbeton rötre limitleri



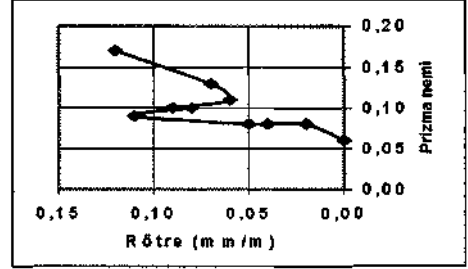
Şekil 7. % 40 ham perlitli gazbeton rötre limitleri



Şekil 8. % 50 ham perlitli gazbeton rötre limitleri



Şekil 9. % 60 ham perlitli gazbeton rötre limitleri



Şekil 10. % 80 ham perlitli gazbeton rötre limitleri

6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Çimento-Gazbeton işletmelerinde belirli reçetelere göre üretilen gazbetonların G2/04 sınıfı için kul anılan kuvarsit içeğinindeki SiO₂ oranı % 80 üzerinde ve toplam alkali oranı % 2'nin altındadır. Kuvarsit yerine kullanılan Menderes perlitleri % 72.64 SiO₂ ve % 2'den fazla toplam alkali içermektedir. Deneylere başlanırken özellikle bu kimyasal bileşimde perlit kullanılmasının nedeni öncelikle meydana gelebilecek olumsuzlukların saptanmasıdır. Yapılan bütün deneme dökümlerinden elde edilen sonuçlar, G2/04 sınıfının içerdiği

kuvarsitin optimal % 30 oranında perlitte karıştırılarak kullanılabilceğini göstermiştir. Buna rağmen SiO_2 ve alkali bakımından istenilen standartlarda olmayan Menderes perlitleri petrografik olarak da fazla fenokristal (feldspat) içerdiklerinden, karışım oranları arttırıldıkça basınç dayanımı üzerinde olumsuz etkiler gelişmektedir. Diğer taraftan perlitli Tober - Morit karışımının homojenitesinin sağlanabilmesi için % 20 daha az yoğurma suyuna gerek olmaktadır. Genleştirilmiş perlitte yapılan karışımlarda ise daha fazla su kullanılmaktadır. Ham perlit oranı arttıkça gazbetonun beyaz olan rengi, perlitin gri olan rengine dönmektedir. Rötire deneyleri perlitli gazbetonun, normal gazbeton gibi davranış gösterdiğim ortaya koymuştur. Genleştirilmiş perlitte yapılan deneylerde elde edilen sonuçlar özellikle basınç dayanımı yönünden olumsuz sonuçlar vermiştir. Elde edilen bu sonuçlar gazbeton üretiminde kullanılacak perlitin SiO_2 oranını kesinlikle % 80 ve üzerinde, alkali oranının da % 2'den küçük olması gerektiğini göstermiştir. Diğer taraftan kullanılacak perlitin içerdiği kristal, volkanik cam ve ayrışma miktarı gibi petrografik özelliklerin de iyi belirlenmesi gerekmektedir. Bu nedenle Ege Bölgesi'nde bulunan diğer perlit veya onun türevi olan obsidyen ve pekştayn yataklarından seçilecek örneklerle mevcut üretim reçeteleri veya farklı reçeteler uygulanarak araştırma-geliştirme çalışmalarının genişletilmesi gerekir. Hernekadar kullanılan Cumaovası perlitlerinin SiO_2 oranı istenilen standart değerinin altındaysa da % 10 - 40 oranında ham perlit içeren örneklerin basınç dayanım değerleri standart değerinin üzerinde sonuçlar vermiştir. Bunun anlamı, kimyasal bileşimi kuvarsitin kimyasal bileşimine uygun perlit seçilmesi halinde deney sonuçlarının daha tutarlı olacağıdır. Diğer taraftan deneme dökümleri laboratuvar düzeyinde yapılmış ve en fazla $0.008 m^3$ kalıplar kullanılmıştır. Perlitli gazbeton gerçek üretim boyutlarında imal edilerek deney sonuçları irdelenmeli ve normal gazbeton özellikleriyle karşılaştırılmalıdır.

TEŞEKKÜR

Yazarlar bu çalışmanın gerçekleşmesinde laboratuvar olanaklarını sağlayan Çimentaş-Gazbeton yöneticilerine ve laboratuvar elemanlarına teşekkür borçludur.

7. KAYNAKLAR

- Aroni, S., De Groot, G.J., Robinson, M.J., Svanholm, G. 1994. *Autoclaved Aerated Concrete, Properties, Testing and Design*. Routledge, 424. pp.
- ASTM, 1984. *Book of ASTM Standarts*. U.S. A
- Çimentaş-Gazbeton, 1995. *Tasarım ve Uygulama El Kitabı*. 85 s. İzmir.
- Esmark, J. 1798. *Kurze Berchreibung Einer Mineralogischen Reise Durch Ungarn, Sieben Burgen und Das Banar*. Neues Bergman, v.2, pp. 67-70.
- Fitchel, J.E. 1771, *Mineralogische Bemerkungen Von Der Karpathen*. Wien, v. 1, p. 365.
- Freidman, L.I., Smith, R.L., Long, W. 1966. *Hydration of Natural Glass and Formation of Perlite*. Geol. Soc. Amer. Bull. v. 77, pp. 323-328.
- Judd, J.W. 1886. *On Marekanite and Its Allies*. Geol. Mag. New Series. V. 3(6). Pp. 241-248.
- Özgenç, I. 1978. *İzmir Bölgesi Perlit Yataklarının Jeolojisi ve Petrolojisi; Perlitlerin Fiaiksel, Kimyasal ve Genleşme Özellikleri*. Doktora Tezi (Yayınlanmamış). E.Ü. Mühendislik Bilimleri Fakültesi, 190 s. izmir.
- Perlite, Technical Data Sheet. 1974. *Perlite in Industry*. Perlite Institute Inc. No. 2/1. New York.
- Perlite, Mineral Facts and Problems. 1975. *Perlite*. Bureau of Mines, Bull. 667. Washington.D.C
- Short, A., Kinniburgh, W. 1963. *Lightweight Concrete*. John Wiley & Sons Inc. 365 pp. New York.
- Short, A., Kinniburgh, W. 1978. *Lightweight Concrete*. Elsevier Science, 464 pp. 3d. Ed.
- TSE, 453. 1988. *Gaz ve Köpük Beton Yapı Malzeme ve Elemanları*. UDK 691.327, Bakanlıklar, Ankara.
- TSE, 825, 1985. *Türk Standartları*. Ankara.