

AKÜ FEMÜBİD 16 (2016) 025602(338-343)  
DOI: 10.5578/fmbd.27613

AKU J. Sci. Eng. 16 (2016) 025602(338-343)

Araştırma Makalesi / Research Article

## Zeolit ve Metakaolinin Gazbeton Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması

**Kadir Güçlüer**

Adıyaman Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, İnşaat Bölümü, Adıyaman.  
e-posta: kguccluer@adiyaman.edu.tr

Geliş Tarihi: 25.02.2016; Kabul Tarihi: 03.06.2016

### Özet

Gazbeton silis kökenli kum ve bağlayıcı ile birlikte gaz oluşturuca ajan kullanımı sonucu üretilen hafif yapı malzemesidir. Zeolit ve metakaolinler kimyasal bileşiminde silis oranı yüksek olan ve puzolanik özellik gösterebilen hammaddelerdir. Bu çalışmada ana hammaddesi zeolit ve metakaolin olan gazbeton örnekler üretilmiştir. Örnekler 7 cm kenarlı küp boyutlu numunelerde şekillendirilmiş, 172°C sıcaklıkta ve 8 bar buhar basıncı altında 8 saat kür edilmiştir. Kür işlemi biten numuneler üzerinde fiziksel ve mekanik deneyler uygulanmıştır. Sonuç olarak zeolit ile üretilen serilerin birim hacim ağırlıklarının 0,80-0,72 gr/cm<sup>3</sup> ve basınç dayanımlarının 5,52-5,04 MPa aralığında, metakaolin ile üretilen serilerin ise birim hacim ağırlıklarının 0,69-0,63gr/cm<sup>3</sup> ve basınç dayanımlarının 3,83-3,11 MPa aralığında değiştiği gözlenmiştir.

### Anahtar kelimeler

Zeolit; Metakaolin;  
Gazbeton; Fiziksel ve  
Mekanik Özellik.

## An Investigation of Usability of Zeolite and Metakaolin in Autoclaved Aerated Production

### Abstract

Autoclaved aerated concrete is lightweight construction materials that produced from silica based sand and use of gas formed agent material. Zeolite and metakaolin has a high silica ratio at chemical component and they are raw materials which shows puzzolanik properties. In this study, it is produced a autoclaved aerated concrete which has a main raw materials zeolite and metakaolin. Samples are shaped 7 cm sided cubic mold and cured for 8 hours in 172°C temperature in 8 bar steam pressure. It is made a physical and mechanical experiments on samples. As a result, it was observed that bulk density values 0,80-0,72gr/cm<sup>3</sup> and compressive strength values 5,52-5,04 MPa of autoclaved aerated concrete which produced from zeolit and it was observed that bulk density values 0,69-0,63gr/cm<sup>3</sup> and compressive strength values 3,83-3,11 MPa of autoclaved aerated concrete which produced from metakaolin.

### Keywords

Zeolite; Metakaolin;  
Autoclaved Aerated  
Concrete; Physical and  
Mechanical Properties

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

### 1. Giriş

1756 yılında Cronstedt tarafından, ısıtıldığında yapılarında bulunan suyu çıkartırken köpürmesinden dolayı "kaynayan taş" olarak isimlendirilen zeolitler, alkali ve toprak alkali metallerin bünyesinde su içeren alüminosilikatları olarak tanımlanmaktadır. Zeolitler, düşük ağırlıklı, yüksek gözenekli, homojen sıkı ve sağlam yapıdadırlar. Sahip olduğu, puzolanik reaktivite, iyon değişikliği yapabilme, adsorbsiyon özellikleri nedeniyle inşaat sektörü de dahil olmak üzere pek

çok endüstriyel alanda tercih edilmektedir (Kibaroglu, 2006).

Zeolitik tüfler tarih öncesi çağlardan bu yana çoğunlukla yapı taşı olarak inşaat alanında kullanıla gelmiştir. Ancak son yıllarda hafif agrega ve çimento katkı malzemesi olarak kullanımı ön plana çıkmaya başlamıştır (Turanlı vd.,2007). Bunun sebebi zeolitik tüflerin puzolanik malzeme olarak kullanımlarının, camsı yapılı doğal puzolanlar, uçucu kül, silis dumanı vb. diğer mineral katkı malzemelerine kıyasla daha yeni oluşları ve sadece

diğer puzolanların kullanılabilirliğinin kısıtlı olduğu yerlerde yaygın olarak kullanılmalarıdır (Colella vd., 2001). Zeolitlerin endüstriyel uygulamadaki potansiyelleri 1940'lı yıllarda ortaya konulmasına rağmen, doğal zeolitlerin o dönemlerde yalnızca volkanik kayalar içindeki oluşumlarının bilinmesi ve gerek birkaç mineralin bir arada bulunması nedeniyle tek mineral olarak ayrılmalarındaki zorluk, gerekse de teknolojik özellikleri hakkındaki bilgi eksikliği araştırmaların sentetik zeolitler üzerinde yoğunlaşmasına neden olmuştur. 1950'li yıllara kadar yapı sanayindeki kullanımları ile sınırlı kalan doğal zeolitlerin endüstriyel uygulamaları, sedimanter yataklar içerisindeki büyük miktarlardaki zeolit kaynaklarının bulunmasından sonra, araştırmacıların artan ilgileri ile spesifik özelliklerinin belirlenmesinin ardından artan bir gelişim göstermiştir (Yıldırım, 2007).

Kaolin ismi, Çince "kao-ling" kelimesinden türemiş olup, anlamı Çin'de Kingto-Çen yakınında beyaz kaolinin bulunduğu yüksek tepedir. Çinliler porselen yapmak için bu tepeden kil üretmişlerdir (Çelikten, 2014). Meta öneki değişimi belirtmek için kullanılır. Bu önek bilimsel olarak büyük ölçüde dehidrolize olmuş anlamında kullanılır. Metakaolin durumunda, değişiklik kilin üzerine ısı uygulaması tarafından belirlenen bir süre için ısı uygulanması sebebiyle kilin dehidroksilize olmasıdır. Metakaolin üretiminde ana unsur daha yüksek sıcaklığa maruz bırakmadan kaolinin dehidrolizasyonunu sağlamaktır. Bu sıcaklığın üzerinde sinterlenmeye ve mulit yapının oluşmasına sebep olur ve reaktif özelliğini kaybeder (Tevrizci, 2010). Metakaolin tanelerinin oldukça küçük, çubuksu, şekilli ve köşeli formda olduğu belirtilmektedir (Tevrizci, 2010). Metakaolin diğer puzolanlar da olduğu gibi kalsiyum hidroksitle reaksiyona girerek çimentoya ilave bağlayıcı özellik kazandırır. Literatürde metakaolinin çimento yerine uygun oranlarda kullanıldığında, mekanik özellikleri olumlu etkilediği, kılcal su emmeyi ve permeabiliteyi azalttığı, durabiliteyi arttırdığı, çiçeklenmeyi kontrol etmede etkili olduğu ve özellikle alkali silika reaksiyonu oluşumunu azalttığı rapor edilmiştir (Almaz, 2010). Karakurt vd. (2010) doğal zeoliti

gazbetonda agrega olarak kullanmışlar, gazbeton örneklerinde basınç dayanımını 3.25 MPa, birim ağırlığı 0.553 kg/dm<sup>3</sup> olarak bulmuşlardır.

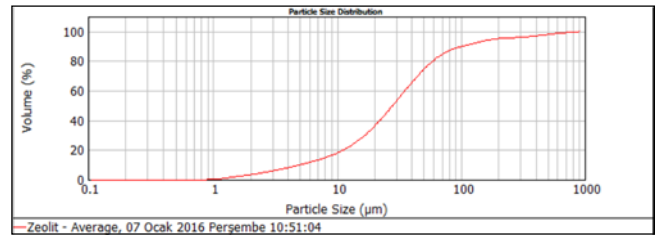
Bu çalışmada ana hammaddesi zeolit ve metakaolin kullanılarak üretilmiş olan gazbetonların mekanik ve fiziksel özellikleri araştırılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

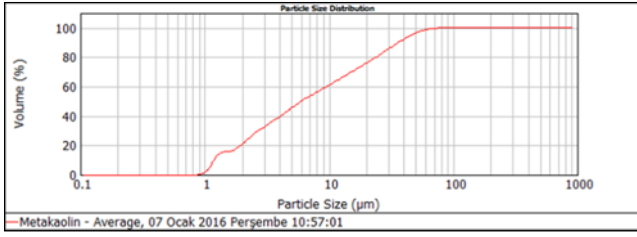
Çalışmada Manisa-Gördes bölgesinden temin edilen zeolit ve AVS mineral tarafından Hindistan'dan tedarik edilen metakaolin kullanılmıştır. Zeolit ve metakaoline ait kimyasal özellikler Tablo 1'de verilmiştir. Zeolitın özgül ağırlığı 1,72 gr/cm<sup>3</sup> olup özgül yüzey alanı 0,501 m<sup>2</sup>/gr'dır. Yapılan lazer tane boyut analizine göre malzemenin dane çapı dağılımı d<sub>10</sub>=5,054 µm, d<sub>50</sub>=28,240 µm ve d<sub>90</sub>=103,200 µm olarak belirlenmiş olup dağılım grafiği Şekil 1'de verilmiştir. Metakaolinin (MK) özgül ağırlığı 2,03 gr/cm<sup>3</sup> olup özgül yüzey alanı 1,74 m<sup>2</sup>/gr'dır. Yapılan lazer tane boyut analizine göre malzemenin dane çapı dağılımı d<sub>10</sub>=1,188 µm, d<sub>50</sub>=5,957 µm ve d<sub>90</sub>=36,175 µm olarak belirlenmiş olup dağılım grafiği Şekil 2'de verilmiştir.

Tablo 1. Zeolit ve MK'ya ait kimyasal özellikler

Bileşen (%)	SiO <sub>2</sub>	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O
<b>Zeolit</b>	71,9	2,0	13,2	1,4	1,1	3,5	0,3
<b>MK</b>	54	0,01	42	0,35	0,06	0,2	0,13



Şekil 1. Zeolite ait lazer tane boyut dağılımı



Şekil 2. MK'ya ait lazer tane boyut dağılımı

Çalışma kapsamında üretilen numunelere ait karışım oranları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Karışım oranları

	Zeolit			MK		
	Z1	Z2	Z3	M1	M2	M3
<b>Zeolit (gr)</b>	1500	1500	1500			
<b>MK (gr)</b>				1500	1500	1500
<b>Çimento (gr)</b>	800	700	600	800	700	600
<b>Alçı (gr)</b>	300	300	300	300	300	300
<b>Kireç (gr)</b>	300	300	300	300	300	300
<b>Al. Tozu (gr)</b>	1	1	1	1	1	1
<b>Su (lt)</b>	2000	2000	2000	3000	3000	3000

Karışımlar üretilirken öncelikle kullanılan agrega, çimento ve alçı homojen biçimde kuru karışıma tabi tutulmuşlardır. Karışım homojen hale geldikten sonra su eklenerek mikser yardımıyla malzemeler tekrar karıştırılmıştır. Karışımın kıvamı hazır duruma geldikten sonra, kireç ve alüminyum tozu ilave edilerek 1-2 dakika arası mikser yardımıyla karıştırılmıştır. Daha sonra karışım, önceden hazır hale getirilmiş olan 7cm kenarlı küp numuneler içerisine kalıp yüksekliğinin 2/3'ünü dolduracak seviyede yerleştirilmiştir. Kalıplara yerleştirilen numuneler, 75°C'ye ayarlanmış etüv içerisinde kabarmalarının ve sertleşmelerinin devam etmesi için 9 saat bekletildikten sonra kalıplardan

çıkarılarak 172 °C sıcaklıktaki otoklav içerisinde 8 bar buhar basıncı altında 8 saat süreyle kür işlemine tabi tutularak fiziksel ve mekanik deneyler için hazır hale getirilmiştir.

### 3. Bulgular

#### 3.1. Birim Hacim Ağırlık (B.H.A) Bulguları

Numunelerin birim hacim ağırlıkları aşağıdaki formül (1) yardımı ile hesaplanmıştır.

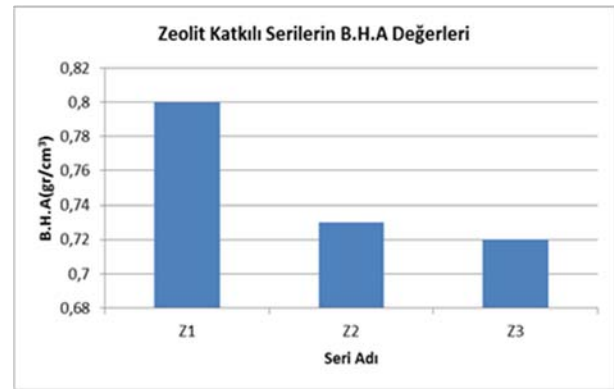
$$\Delta = \frac{W}{V} (\text{gr/cm}^3) \quad (1)$$

$\Delta$ : Birim Hacim Ağırlık (gr/cm<sup>3</sup>)

$W$ : Etüv Kuru ağırlığı (gr)

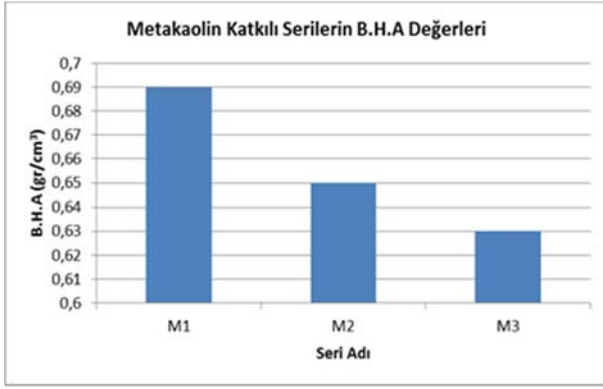
$V$ : Numunenin Hacmi (cm<sup>3</sup>)

Zeolit katkılı serilere ait B.H.A. değerleri Şekil 3'de verilmiştir. Serilerin B.H.A. değerleri 0.80 ile 0.72 gr/cm<sup>3</sup> aralığında olup karışımdaki çimento miktarının azalmasıyla birlikte B.H.A. değerlerinde %1 oranında azalma görülmüştür.



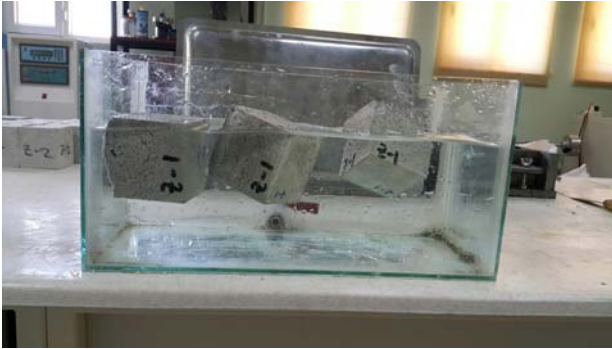
Şekil 3. Zeolit katkılı serilere ait B.H.A grafiği

Metakaolin katkılı serilere ait B.H.A. değerleri Şekil 4'de verilmiştir. Serilerin B.H.A. değerleri 0.69 ile 0.63 gr/cm<sup>3</sup> aralığında olup karışımdaki çimento miktarının azalmasıyla birlikte B.H.A. değerlerinde zeolitli numunelere benzer şekilde %0.8'lik bir azalma gözlenmiştir.

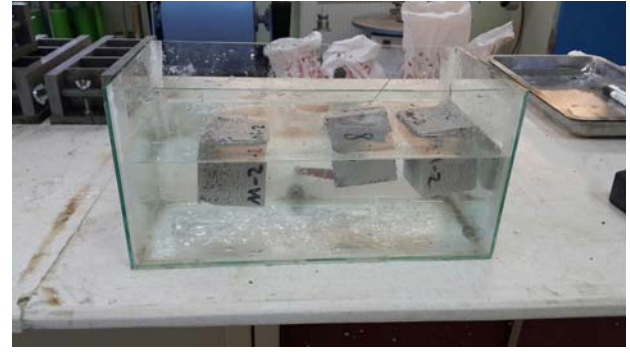


Şekil 4. MK katkıli serilere ait B.H.A grafiği

Zeolit ve metakaolinden üretilen serilerin birim hacim ağırlıkları değerlendirildiğinde metakaolinden üretilen serilerin daha düşük birim hacim ağırlığa sahip oldukları görülmektedir. Metakaolinin özgül yüzey alanının daha fazla oluşu sebebiyle metakaolin ile üretilen serilerde zeolit ile üretilen serilere benzer harç kıvamını elde edebilmek için daha fazla su miktarı harcanmıştır. Metakaolin katkıli serilerin daha düşük B.H.A değerine sahip olmaları bu sebepten gerçekleşmiştir. Nihai anlamda her iki seride de numuneler düşük birim hacim ağırlıklara sahip olup suda yüzer vaziyettedirler (Şekil 5-6).



Şekil 5. Zeolit ile üretilen serilerin suda yüzer hali



Şekil 6. MK ile üretilen serilerin suda yüzer hali

### 3.2. Basınç Dayanımı Bulguları

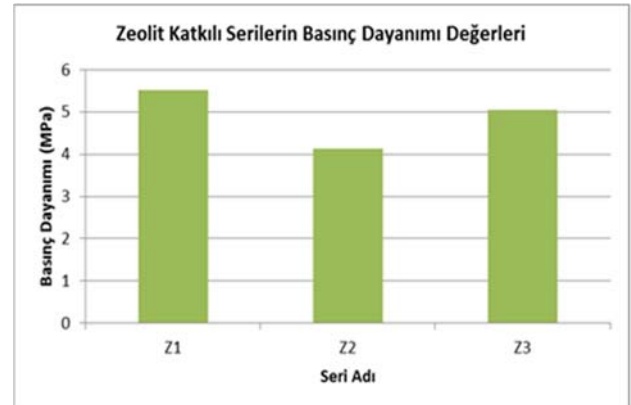
Numunelerin basınç dayanımları formül (2) yardımıyla belirlenmiştir.

$$f_b = \frac{P_k}{A_0} \quad (2)$$

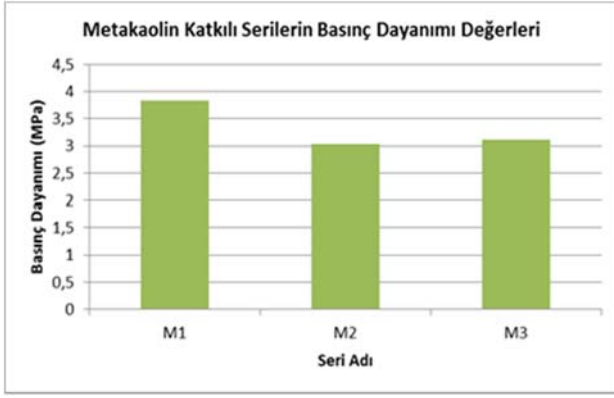
$f_b$  = Basınç dayanımı (MPa)  $A_0$  = Yüzey alanı (mm<sup>2</sup>)

$P_k$  = Kırılma anındaki yük (N)

Zeolit ile üretilen serilerin basınç dayanım değerleri 5,52 ile 4,14 MPa aralığında değişirken (Şekil 7.) Metakaolin ile üretilen serilerin ise basınç dayanım değerleri 3,83 ile 3,11 MPa aralığında değişmektedir (Şekil 8.) Birim ağırlık değerlerindeki davranışa benzer olarak MK serilerin dayanımları da düşük çıkmıştır. Z3 ve M3 serilerinde çimento miktarındaki azalışa rağmen Z2 ve M2 serilerine göre dayanımın yüksek çıkması Ca/Si oranı ve otoklav içerisindeki süreç ile ilgili olabilir. Çimento ve kireç bağlayıcı sisteminin en iyi çalıştığı seriler Z1-Z3 ve M1-M3 olarak Şekil 7 ve Şekil 8'de görülmektedir.



Şekil 7. Zeolit ile üretilen serilerin basınç dayanım değerleri



Şekil 8. Metakaolin ile üretilen serilerin basınç dayanım değerleri

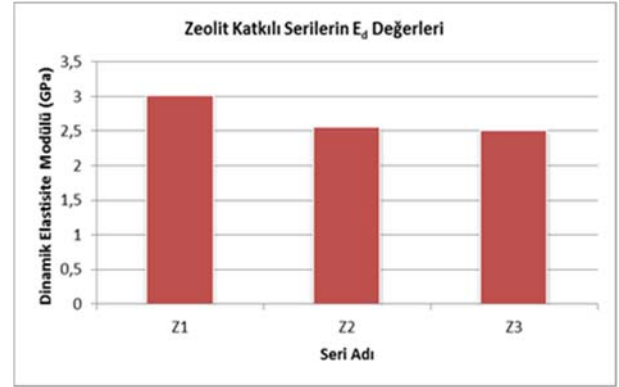
### 3.3. Dinamik Elastisite Modülü Bulguları

Dinamik elastisite modülü, genellikle laboratuvar araştırmalarında betonların kimyasal vs. olaylar karşısında ne ölçüde bir yıpranmaya maruz kaldıklarını belirlemek için kullanılır. Bilindiği gibi betonun elastisite modülü ile dayanımı arasında genel de olsa bir ilişki bulunmaktadır. Değişik etkenler karşısında betonun kalitesinde ve buna bağlı olarak elastisite modülünde değişiklikler meydana gelebilmektedir. Böyle bir değişikliği statik elastisite modülüyle izleyebilmek için aynı kalitedeki betondan çok fazla sayıda numune üretmek ve değişik etkenlere maruz bırakılan bu numunelerin gerilme-birim deformasyon eğrilerini elde etmek gerekmektedir (Erdoğan,2003). Bu durumda dahi, aynı olmak üzere üretilen numuneler arasında bazı kalite farklılıklarının bulunması kaçınılmaz olmaktadır. Oysa dinamik elastisite modülünün tayininde kullanılan ultrasonik yöntemler hasarsız yöntemlerdir. Bu yöntemlerin kullanılmasıyla betona yük uygulanmamakta, betonda çatlama, kırılma yer almamaktadır. O bakımdan aynı beton üzerinde beton henüz kimyasal etkilere maruz kalmadan ve bu etkenlere maruz kaldıktan sonraki dinamik elastisite modülü tayin edebilmek ve böylece beton kalitesindeki değişikliği izleyebilmek mümkün olabilmektedir (Erdoğan 2003). Dinamik elastisite modülü ( $E_d$ ) hesaplanırken de formül(3)'den faydalanılmıştır (Yazıcı, 2015).

$$E_d = 10^5 \times V^2 \times \Delta / g \quad (3)$$

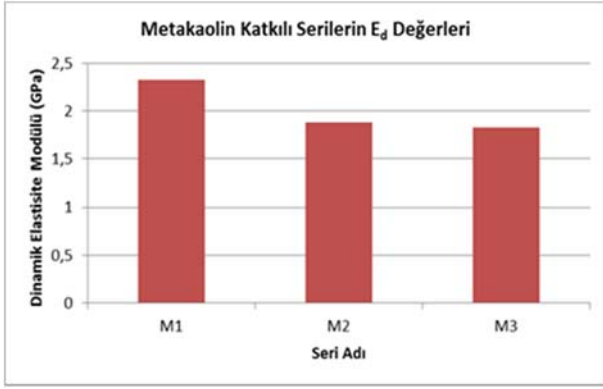
$E_d$ : Dinamik elastisite modülü ( $\text{kgf/cm}^2$ ),  $V$ : ultrases hızı ( $\text{km/sn}$ ),  $\Delta$ : betonun birim ağırlığını ( $\text{kg/dm}^3$ ),  $g$ : yerçekimi ivmesini ifade etmektedir.

Serilere ait dinamik elastisite modülü değerleri incelendiğinde zeolit ile üretilenlerin dinamik elastisite modülü 2,96 ile 2.46 GPa arasında değişirken metakaolinli serilerde 2.28 ile 1.79 GPa aralığında değiştiği görülmüştür (Şekil 8 ve 9).



Şekil 8. Zeolit ile üretilen serilerin  $E_d$  değerleri

Basınç dayanımları sonuçları incelendiğinde zeolit ile üretilen serilerin daha yüksek basınç dayanımına sahip olması zeolit'in metakaoline kıyasla daha iyi puzolanik özellik gösterdiği anlamına gelebilir. Dinamik elastisite modülleri incelendiğinde basınç dayanımları ile arasında bir ilişki bulunduğu söylenebilir. Basınç dayanımı ve elastisite modülü değerleri karışıma giren çimento miktarının azalmasıyla birlikte daha düşük değerlere gerilemektedir. Bu durum çimentonun puzolanik malzemelerin dayanım faktörünü doğrudan etkilediği anlamına gelebilir.

Şekil 9. Metakaolin ile üretilen serilerin E<sub>d</sub> değerleri

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Zeolit ve metakaolin ile üretilen gazbeton numunelerin birim hacim ağırlıkları ve basınç dayanımları incelendiğinde zeolit ile üretilen seriler TS 453' e göre G6 sınıfı, metakaolin ile üretilen seriler ise G4 sınıfı gazbeton özelliklerine yakın değerlere ulaşmıştır (Tablo 3).

Tablo 3. TS 453'e göre gazbeton sınıfları

Sınıfı	En Küçük Basınç Mukavemet Değeri (kgf/cm <sup>2</sup> ( N/mm <sup>2</sup> )	Birim Hacim Ağırlıklar (kg/dm <sup>3</sup> )	Ortalama Birim Hacim Ağırlığı (kg/dm <sup>3</sup> )
G4	40 ( 4.0 )	0.6	0.51 ile 0.60
		0.7	0.61 ile 0.70
		0.7	0.61 ile 0.70
G6	60 ( 6.0 )	0.8	0.71 ile 0.80

Zeolit katkıli serilerin mekanik özellikleri metakaolin katkıli serilere göre daha yüksek çıkmıştır.

Hammadde korunumu ve enerji tasarrufu anlamında alternatif üretim tekniklerinin geliştirilmesinin tesisinde daha farklı malzemelerle yapılacak üretimler ulusal ve uluslararası düzeyde hem bilimsel hem de ticari anlamda katkı sağlayabilecektir.

#### Teşekkür

Yazarlar bu çalışmayı 15.FEN BİL.21 nolu projeye destekleyen Afyon Kocatepe Üniversitesi BAPK birimine teşekkür eder.

#### Kaynaklar

- Almaz, Z., 2010. Metakaolin ve silis dumanı içeren harç karışımlarının özellikleri. Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Niğde,82.
- Colella, C., Gennaro, M. de', Aiello, R., 2001. Use of Zeolitic Tuff in Building Industry , Reviews in Mineralogy and Geochemistry; Natural Zeolites, ed: D.L. Bish, D.W. Ming, Mineralogical Society of America, Vol. 45, Chapter 16, (2001), pp:551-587.
- Çelikten, S., 2014. ÇELİK fiber içeren yüksek dayanımlı beton özellikleri üzerine metakaolin ve öğütülmüş pomzanin etkisi. Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Niğde,122.
- Erdoğan T. Y., 2003. Beton. Metu Press, 1. Baskı.
- Karakurt C., Kurama H., Topçu İ., B. (2010). Utilization of Natural Zeolite in Aerated Concrete Production. Cement and Concrete Composites, 32: 1-8.
- Kibaroglu,U.,2015.<http://www.oocities.org/ukibaroglu/calismalar/zeolit.htm>
- Tevrizci, M., M., 2010. Metakaolin katkıli harçların bazı durabilite özelliklerinin incelenmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir,202.
- Turanlı, L., Yücel, H., Göncüoğlu, C., Çulfaz, A., Uzal, B. 2007. Doğal zeolitlerin inşaat endüstrisinde kullanımı. TÜBİTAK Araştırma Projesi, Proje No: 104M393.
- TS 453, 2006. Gaz ve Köpük Beton Yapı Malzeme ve Elemanları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Yazıcı H.,2015. Yapı Malzemesi II Ders Notları, Dokuz Eylül Üni. İnşaat Müh. Ders Notları.
- Yıldırım, Fen, S., 2007. Puzolanik zeolitin çimentoda katkı uygunluğunun araştırılması. Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Hatay.