

Buhar Kürlü Gazbetonun Mekanik ve Fiziksel Özelliklerine Pozolan Katkısının Etkisi

Kadir Güçlüer¹, Osman Ünal², İsmail Demir³

¹Adıyaman Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü, Adıyaman

^{2,3}Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar.

kgucluer@adiyaman.edu.tr

Geliş Tarihi:10.02.2014; Kabul Tarihi:29.04.2014

Özet

Bu çalışmada, silis kumu yerine uçucu kül ve bağlayıcı olarak kullanılan çimentoya da %3, %6, %9 ve %12 oranlarında silis dumanı ikame edilerek gazbeton karışımları hazırlanmıştır. Karışımlar 10 cm kenarlı küp kalıplara döküldükten sonra 75°C sıcaklığındaki etüv içerisinde 24 saat bekletilmişlerdir. Kalıptan çıkarılan numunelere 80°C'de 8 saat süreyle buhar kürü uygulanmıştır. Kür işlemi tamamlanan gazbeton numuneleri üzerinde basınç dayanımı, birim hacim ağırlık ve ultrases geçiş süresi deneyleri yapılarak pozolan katkısının etkinliği araştırılmıştır. Ayrıca numuneler üzerinde SEM ve XRD analizleriyle mikroyapıları incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, pozolan katkılı gazbetonun fiziksel ve mekanik özelliklerinde ticari gazbetonunkine benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler

Gazbeton; Uçucu Kül;
Silis Dumanı; Buhar
Kürü

Pozolan Additives Effect on Mechanical and Physical Properties of Steam Cure Aerated Concrete

Abstract

In this study, aerated concrete mixture were prepared, fly ash was used instead of silica sand and %3, %6, %9, %12 ratios of silica fume is substituted in cement that used as a binder. Mixture were allowed 24 hours in an oven at 75 °C temperature after pouring the into molds 10 cm sides. Steam curing was applied on demolded samples at 80 °C for 8 hours. The effectiveness of pozzolan additives were investigated on aerated concrete that performed of compressive strength, unit weight and ultrasonic transit time experiments. Also the microstructures of samples were investigated by SEM and XRD analysis. According to the results, similar results were obtained of pozzolan additives aerated concrete on mechanical and physical properties between commercial aerated concrete.

Keywords

AeratedConcrete;
FlyAsh;SilicaFume;
SteamCuring

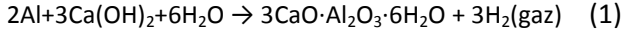
© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

İnşaat sektöründe enerji kayıplarının en aza indirilmesi yönünde çalışmalar hızla devam etmektedir. Bu konuda yapılarda yalıtım amaçlı bölme duvarlarda kullanılabilecek yapı elamanlarından birisi de gazbeton elamanlardır. Gazbeton, silis kumunun çimento esaslı bağlayıcı veya kireçle sulu ortamda karıştırılması ve karışıma gözenek oluşturucu alüminyum tozu ilavesi ile oluşturulan ve hafif beton sınıfında yer alan bir yapı malzemesidir (Güçlüer, 2011). Yapılan literatür çalışmalarından gazbetonun üretiminde farklı

yöntemlerin uygulandığı görülmektedir. Bu yöntemlere göre gazbetonu oluşturan bileşenler normal atmosfer basıncı altında gövdede H₂ gazı oluşumu sağlamak için yüksek miktarda su ile karıştırılır ve kalıplanır, daha sonra 200 °C'de doymuş buhar basıncı altında birkaç saat bekletilir(Hauser et al. 1999). Alüminyum tozu ilavesiyle gerçekleşen kimyasal tepkime sonucu karışım hacmi iki kat kadar genişler ve oldukça gözenekli bir yapı oluşur (Karakurt et al. 2010). Karışım sürecinde alüminyum tozu ile kireç arasında gerçekleşen reaksiyon sonucu (1) H₂ gazı açığa çıkar (Mostafa, 2005). Malzemede oluşan

kalsiyum hidrosilikat ve alüminyum hidrosilikat sonucunda sertleşme süreci başlar (Çiçek, 2002).

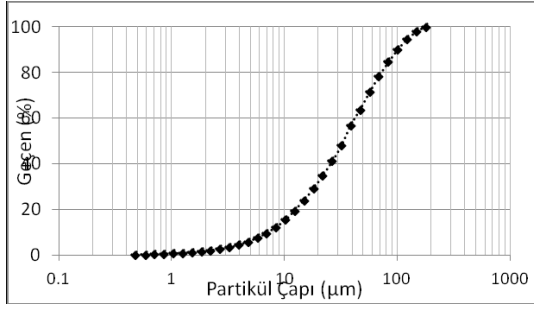


Son yıllarda, silis dumanı, uçucu kül ve cüruf gibi silisli malzemelerin birleşiminden oluşan hafif betonların hazırlanması; doğal hammaddelerin korunumu, atık malzemelerin geri dönüşümü ve enerji korunumu açısından daha fazla dikkat çekmektedir (Narayananand Ramamurthy, 2000). Bu gün Dünya’da ortaya çıkan uçucu kül miktarı yılda 600 milyon ton civarındadır. Türkiye’de halen Afşin-Elbistan, Çatalağzı, Çayırhan, Kangal, Kemerköy, Orhaneli, Seyitömer, Soma, Tunçbilek, Yatağan ve Yeniköy santralleri olmak üzere 11 termik santral faaliyet göstermektedir. Bu santrallerden yıllık uçucu kül üretimi ortalama 13 milyon kadar olmakta, ancak doğalgaz santrallerinin devreye girmesi ile yıldan yıla değişmektedir (Türker et al. 2009). Hafif yapı malzemeleri üretiminde agrega olarak bir yan ürün olan uçucu kül kullanımı bir çok neden arasında mantıklı bir çözüm olarak gözükmektedir. Başlıca avantajı üreticiler için ekonomiklik sağlamasıdır (Ahmaruzzaman, 2010). Birçok ülkede uçucu kül gazbeton üretiminde hammadde olarak kullanılır(Wesche, 2005).Uçucu küllü gaz beton, hafif ve ısı iletkenliği düşük olacağından yapılarda kullanılması duvar kalınlıklarını azaltacak, böylece binaların yükü azalacaktır. Uçucu kül kullanılarak elde edilen gaz beton kuvars kullanılarak elde edilen gaz betondan daha dayanıklıdır. Bunun nedeni uçucu kül ile kireç arasındaki reaksiyondur(Karahan, 2006).Uçucu kül ile üretilen gazbetonun kuvars kumu ile üretilen gazbetona göre daha iyi ısı yalıtım ve mukavemet özelliklerine sahip olduğu savunulmaktadır. Burada muhtemelen uçucu kül puzolanik özelliğe sahip olmasınedeniyle kireç ile reaksiyona girerek mikro yapıyı güçlendirici yeni bağlar üretir. Koyu gri veya siyaha yakın atığın gazbeton üretimine katılması nihai ürün rengini koyulaştırır ya da gri renge çevirir (Demir et al. 2008). Silis dumanı, amorf yapıda ve çok ince taneli malzeme olmasından dolayı ve yüksek miktarda SiO₂ içermesi sebebiyle,

mükemmel bir puzolanik malzemedir (Erdoğan, 2003). Hauser et al.(1999) geleneksel gazbeton karışımında bulunan kireci uçucu kül ile yer değiştirmişlerdir. Ürettikleri numunelerde en yüksek basınç dayanımını 0.7-0.8 Ca/Si oranına sahip serilerde elde etmişlerdir. Kurama et al. (2009) çalışmalarında Tunçbilek Termal Güç Santralinden elde edilen atık taban külünün gaz beton üretiminde agrega olarak kullanılabilirliğini incelemişlerdir. Atık taban külünü değişik oranlarda yer değiştirerek agrega olarak kullanılmışlardır. Sonuç olarak tüm gazbeton örneklerinde birim ağırlıkların düştüğünü ifade etmektedirler. Aker (2011) yaptığı çalışmada uçucu kül ve perlitin gazbeton üretiminde kullanılabilirliğini araştırmıştır. Gazbeton üretiminde kullanılan silis kumunun yerine tamamen uçucu kül ve mineral katkı olarak da perlit kullandığı numunelerinde, ticari gazbeton ile benzer dayanım sonuçlarına ulaşıldığını ifade etmektedir. Özel (2013) yaptığı çalışmada Çatalağzı Termik Santralinden alınan uçucu külü, hammadde olarak kullanılan silis kumu (kuvars kumu) yerine %5, %10, %15, %20 ve %25 oranlarında ikame ederek gazbeton örnekleri üretmiştir. Sonuç olarak, gazbetona kuvars yerine uçucu kül ikamesinde ısı iletkenlik bakımından optimum oranın %10 olduğunu ifade etmektedir. Bu çalışmada gazbeton üretiminde ana hammadde olan silis kumu yerine uçucu kül, çimentoda %3, %6, %9, %12 oranlarında silis dumanı ile ikame edilerek gazbeton numunelerinin üretimi amaçlanmıştır. Üretilen numuneler üzerinde otoklav kürü yerine buhar kürünün etkisi fiziksel ve mekanik özellikler ile mikroyapılarındaki değişimler ise SEM ve XRD analiz yöntemleriyle araştırılmıştır.

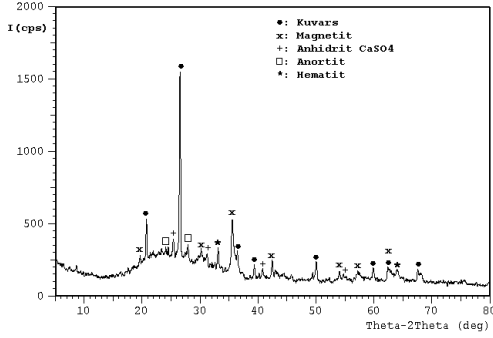
2. Materyal ve Metot

Çalışmada Seyitömer Termik Santralinden temin edilen uçucu külü kullanılmıştır. Kullanılan uçucu külün tane boyutu lazer tane boyutu analiz cihazı (particle size analyser) ile belirlenmiştir (Şekil 1). Buna göre uçucu külün d₅₀ değeri: 33 µm, dir. Uçucu külün %90’ı 100 µm’’nin altındadır.



Şekil 1. Uçucu kül tane boyut dağılımı

Kullanılan uçucu külün X-ışınları difraktogramı Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Uçucu kül numunesinin X-ışınları difraktogramı

Kül numunelerinin temel olarak kuvars, anhidrit (CaSO_4), hematit, magnetit ve anortit mineral fazlarından oluştuğu gözlenmiştir. Kül numunesin X-ışınları difraktogramında özellikle $2\theta = 20^\circ$ ve 30° arasındaki tepe, küllerin kristallik derecesinin düşük olduğunu, kristal olmayan amorf yapıların varlığını işaret etmektedir.

XRF cihazı ile gerçekleştirilen uçucu külün kimyasal analizi Tablo 1'de verilmiştir. Buna göre uçucu külden bulunan toplam $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ oranı toplam 76,50 olarak elde edilmiştir.

Tablo 1. Kullanılan uçucu külün kimyasal yapısı

Bileşik Adı	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3
Uçucu Kül %	46.30	19.20	11.00	6.34	4.76	1.54

Diğer taraftan kullanılan sönmemiş toz kirecin (CaO) kimyasal yapısında CaO miktarı %96,22 olarak belirlenmiştir. Kirecin bünyesinde zararlı olabilecek miktarda bileşik bulunmamaktadır. Öğütülmüş toz kirecin (CaO) tane yapısı oldukça

ince olup %95,4' ü $90 \mu\text{m}$ 'den geçmiştir. Toz kirecin reaktivite değeri (t_{60}) 37 sn olarak ölçülmüştür. Deneyleerde kullanılan TS EN 197-1 CEM I 42,5 R çimentosunun Blaine incelik ve özgül ağırlık değerleri sırasıyla $3054 \text{ cm}^2/\text{g}$ ve $3.07 \text{ gr}/\text{cm}^3$ olarak belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan silis dumanı Antalya Etibank Elektrometalurji Fabrikası'ndan, alüminyum tozu Antalya YTONG gazbeton fabrikasından temin edilmiş olup kimyasal bileşimleri Tablo 2.'de gösterilmektedir.

Tablo 2. Çimento ve silis dumanına ait kimyasal bileşimler

Bileşik Adı	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3
Çimento%	20.20	5.80	3.23	64.10	0.44	2.66
Silis Dumanı %	94.50	0.88	0.70	0.80	1.25	-

Deney numuneleri üretiminde kontrol serisi başta olmak üzere çimentoya %3, %6, %9, %12 oranlarında silis dumanı ikamesiyle 5 farklı karışım oranında seri oluşturulmuştur (Tablo 3). Numuneler 10 cm kenarlı küp kalıplarda üretilmiştir. Üretim sürecinde önce uçucu kül, çimento ve alçı mikserine konularak hesaplanan miktardaki suyun 2/3'ü ilave edilerek homojen karışım haline getirilmiştir. Daha sonra sönmemiş kireç ve alüminyum tozu ve suyun geri kalanı karışıma katılarak bekletilmeden mikserde homojen hale getirilmeye kadar karıştırılmıştır. Homojen hale gelen akıcı kıvamdaki gazbeton harcı bekletilmeden ve homojenliği bozulmadan kalıplara dökülmüştür. Kalıplar bekletilmeden etüve yerleştirilerek 75°C 'de yaklaşık 24 saat süre ile bekletilmiştir. Etüvede bu sıcaklıkta kalıplardaki gazbeton harcının reaksiyona girerek kabarması (genleşme) ve reaksiyonunu tamamlaması yaklaşık ilk 30 dk'da tamamlanmaktadır. Etüvede 24 saat kaldıktan sonra kalıplar laboratuvar ortamına alınarak numuneler kalıptan çıkarılıp ve 80°C 'de serbest buhar basıncında 8 saat süre ile kür edilmiştir (Şekil 3). Kür işlemi tamamlanan gazbeton numuneleri üzerinde fiziksel ve mekanik testler ile SEM ve XRD tekniği ile

mikroyapı analiz çalışmaları yapılmıştır.



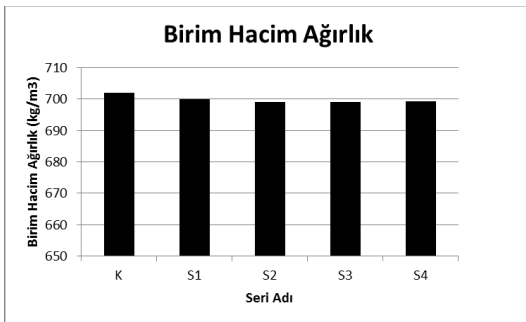
Şekil 3. Numunelerin serbest buhar kürüne tabi tutulması

Tablo 3. Karışım oranları

Karışım Oranları (gr)							
Seri Adı	Uçucu Kül	Çimento	Silis Dumanı	Kireç	Alçı	Al. Tozu	Su
K	1500	800	-	300	300	1	2000
S1	1500	775	25	300	300	1	2000
S2	1500	750	50	300	300	1	2000
S3	1500	725	75	300	300	1	2050
S4	1500	700	100	300	300	1	2150

3. Bulgular

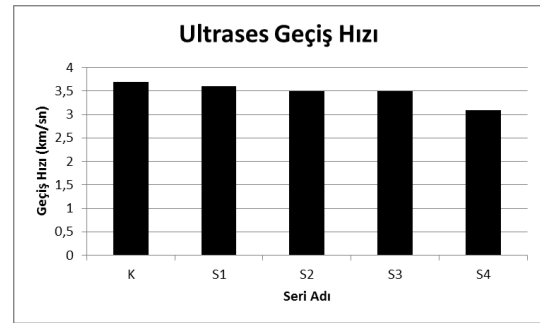
Buhar kürü uygulanan numuneler üzerinde gerçekleştirilen birim hacim ağırlık deneyi sonuçları Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4. Birim hacim ağırlık değerleri

Silis dumanının özgül ağırlığının çimentodan daha az olması sebebiyle kontrol serisinde ki çimentoya ikame sonucu oluşturulan diğer serilerin birim hacim ağırlıklarında düşüş gözlenmektedir.

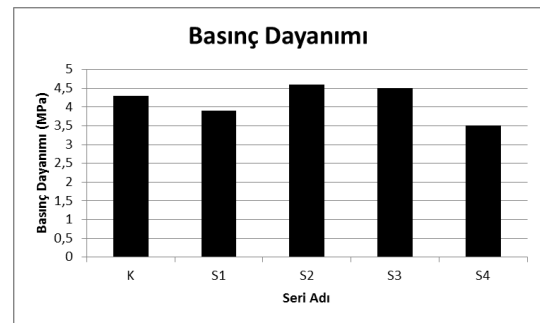
Betonun içerisinden geçen ses üstü dalganın hızı ile beton dayanımı arasında doğrudan bir ilişki yoktur. Ancak ses üstü dalganın hızı ile betonun yoğunluğu arasında doğrudan bir ilişki bulunmaktadır. Yoğunluğu az olan bir betonda, yani, içerisinde daha çok boşluk bulunan betonda, ses üstü dalganın betonun bir yüzeyinden diğerine ulaşabilme süresi daha uzundur. Bir başka deyişle, betonun içerisindeki boşluk miktarı arttıkça, ses üstü dalganın hızı daha az olmaktadır (Erdoğan, 2003). Numunelerin ultrases geçiş hızlarında silis dumanı ikamesiyle azalma gözlenmektedir (Şekil 5).



Şekil 5. Ultrases geçiş hızı değerleri

Çimento ürünlerinin buhar kürü sonrasında hidrate olarak serbest suyu harcamakta ve yeni C-S-H fazları oluşarak numune içerisindeki serbest boşlukların dolması sağlanmaktadır. Yeni hidrate ürünlerin oluşmasıyla ultrases geçiş hızında artış beklense de, alüminyum tozunun etkisiyle oluşan boşluklar, bu hidrate ürünlerin içerisinde homojen bir şekilde dağılarak kapalı poroz bir yapı oluştururlar (Güçlüer, 2011).

8 saat süreyle 80°C sıcaklıkta serbest buhar basıncı altında kür edilen numunelere ait basınç dayanım değerleri Şekil 6.'da gösterilmektedir.

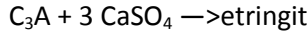


Şekil 6. Basınç dayanımı değerleri

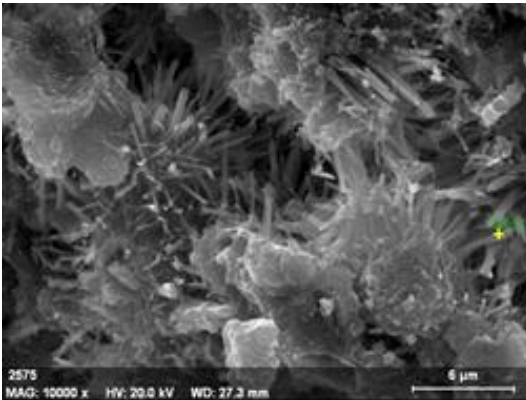
Buhar kürü uygulanan karışım serilerinde K serisine göre S2 ve S3 serilerinde daha yüksek dayanımlar

elde edilmiş S1 ve S4 serilerinde ise dayanımda düşüş gözlenmiştir. Bunun sebebi gazbetonun iç yapısına bağlı olarak şöyle açıklanabilir.

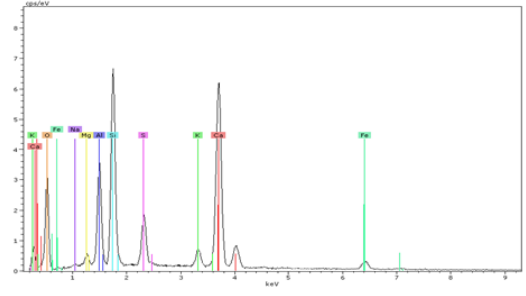
Bilindiği gibi çimento içerisinde başlıca trikalsiyum silikat; $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ (C_3S), dikalsiyum silikat; $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ (C_2S), trikalsiyum alüminat; $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ (C_3A) ve tetrakalsiyum alüminoferrit; $4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ (C_4AF) mineral fazları bulunmaktadır. Sülfat içerikli bileşikler ve çimentodaki C_3A fazının aşağıdaki reaksiyonu sonucu etringit fazı oluşur.



Şekil 7.'de buhar kürü sonrasındaki içyapıdaki değişimi. incelendiğinde uçucu kül tanelerinin hidrasyon reaksiyonlarına katılmaya başladıkları ancak yapı içerisinde önemli ölçüde etringit fazının oluştuğu gözlenmiştir. İğnesel kristaller üzerinden yapılan EDX analizleri sonucunda (Şekil 8.)Ca, Si, Al elementlerinin varlığı ile birlikte S elementinin varlığı gözlenen yapının etringit olduğu sonucunu getirmiştir. Çimento fazının hidrasyonuna bağlı C-S-H jel yapısı gözlenmiş ancak kristal tobermorit varlığına rastlanmamıştır. Buhar kürü sonrasında mukavemet değerlerinin 4,5MPa'dan büyük olduğu gözlenmiştir. Etringit fazı oluşumunun erken hidrasyon döneminde mukavemet sağladığı göz önüne alındığında bu beklenen bir sonuçtur.



Şekil 7. Buhar kürü sonrası etringit oluşumu



Şekil 8. Buhar kürü sonrası iç yapı EDX analizi

Uçucu kül ile silis dumanı kullanılarak üretilen gaz beton numunelerin üzerinde yapılan basınç dayanımları ve birim hacim ağırlık değerlerine bakıldığında özellikle S2 ve S3 serilerinde elde edilen ortalama 4.5 Mpa basınç dayanımı Tablo 4'de verilen ticari gaz beton elamanın sonucuna yakın olduğu söylenebilir.

Tablo 4. TS 453'e göre gazbetonların sınıflandırılması

Sınıfı	Ortalama En Küçük Basınç Mukavemet Değeri (MPa)	En Küçük Basınç Mukavemet Değeri (MPa)	Birim Hacim Ağırlıklar (kg/dm ³)	Ortalama Birim Hacim Ağırlığı (kg/dm ³)	Sınıf İşareti
G4	5.0	4.0	0.6	0.51 ile 0.60	G4/0.6
			0.7	0.61 ile 0.70	G4/0.7

4. Tartışma ve Sonuç

Ticari gaz beton üretiminde kullanılan silis kumu-çimento-kireç sistemi yerine uçucu kül-çimento-kireç sisteminde numuneler üretilmiş ve birim hacim ağırlık ve basınç dayanım değerlerinde ticari gazbetonlarla benzer değerler elde edilmiştir

Bu sonuçlara göre Seyitömer Termik Santral uçucu külünün ve silis dumanının gazbeton üretiminde kullanılabileceği söylenebilir. Ülkemizde endüstriyel atık olarak adlandırılan ve depolama masraflarının yanında büyük çevre kirliliğine yol açan bu malzemelerin, gazbeton üretiminde kullanılması ile doğal hammadde korunumu sağlanmış olacak ayrıca çevreye ve kamuya verilen zarar da azaltılmış olacaktır.

Gazbeton üretiminde kullanılan pahalı malzemelerin yerine daha ucuz, ülke ekonomisine katma değeri olabilecek malzemelerin kullanımının,

daha farklı kür şartlarının araştırıldığı çalışmaların yapılması hem ülkemiz hem de inşaat endüstrimiz ve bilim dünyamız açısından faydalı olacaktır.

Kaynaklar

- Ahmaruzzaman M., 2010. A Review on The Utilization Of FlyAsh. *Progress in Energy and Combustion Science*, 36, 327-363.
- Aker A., 2011. Uçucu kütle üretilen geliştirilmiş perlit katkılı gazbeton numuneler üzerinde kür etkisinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar, 74.
- Çiçek Y., E., 2002. Pişmiş toprak tuğla, bimsbeton, gazbeton, ve perlitli yapı malzemelerinin fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerinin karşılaştırmalı olarak incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 112.
- Demir, İ., Görhan G., Başpınar, M., S., Kahraman, E., 2008. Uçucu Kül Bölüm I: Oluşumu, Sınıflandırılması ve Kullanım Alanları. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2, 85-94.
- Erdoğan T., Y., 2003. Beton. ODTÜ Geliştirme Vakfı ve Yayıncılık A.Ş., Ankara.
- Güçlüer K., 2011. Uçucu külden üretilen silis dumanı katkılı gazbeton örnekler üzerine kür etkisinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar, 83.
- Hauser A., Eggenberger U., Mumenthaler T., 1999. FlyAsh From Cellulose Industry as Secondary Raw Material in Autoclaved Aerated Concrete. *Cement and Concrete Research*, 29, 297-302.
- Karahan O., 2006. Liflerle güçlendirilmiş uçucu küllü betonların özellikleri. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Üniversitesi, Adana, 274.
- Karakurt C., Kurama H., Topçu İ. B., 2010. Utilization of Natural Zeolite in Aerated Concrete Production. *Cement and Concrete Composites*, 32, 1-8
- Kurama H., Topçu İ., B., Karakurt C., 2009. Properties of The Autoclaved Aerated Concrete Produced From Coal Bottom Ash. *Journal of Material Processing Technology*, 209, 767-773.
- Mostafa N., Y., 2005. Influence of Air-Cooled Slag on Physicochemical Properties of Autoclaved Aerated Concrete. *Cement and Concrete Research*, 35, 1349-1357
- Narayanan N., Ramamurthy K., 2000. Structure and Properties of Aerated Concrete: A Review. *Cement and Concrete Composites*, 22, 321-329.
- Özel G., 2013. Uçucu külün gazbeton özelliklerine etkisinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale, 90.
- Türker P., Erdoğan B., Katnaş F., Yeğinobalı A., 2009. Türkiye' deki Uçucu Küllerin Sınıflandırılması ve Özellikleri. TÇMB Yayınları, 4. Baskı, Ankara.
- TS 453, 1988. Gaz ve Köpük Beton Yapı Malzeme ve Elemanları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Wesche K., 2005. FlyAsh in Concrete. Rilem Report, British Library Cataloguing in Publication Data, 173.

