



Kahramanmaraş Sutcu Imam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 12.04.2017
Kabul Tarihi : 01.06.2017

Received Date : 12.04.2017
Accepted Date : 01.06.2017

Mineral Katkılı Betonlarda Basınçlı Buhar Kürü Etkisinin Araştırılması

An Investigation of Steam Pressure Cure Effect on Mineral Additives Concrete

Osman GÜNAYDIN¹, Kadir GÜÇLÜER^{2*}, Abuzer Arın³

¹ Adıyaman Üniversitesi, Mühendislik Fak., İnşaat Mühendisliği, Adıyaman, Türkiye

² Adıyaman Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, İnşaat Teknolojisi, Adıyaman, Türkiye

³ Adıyaman Üniversitesi, Fen Bilimleri Ens., İnşaat Mühendisliği, Adıyaman, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Kadir GÜÇLÜER , kgucluer@adiyaman.edu.tr

ÖZET

Beton, çimento esaslı kompozit bir yapı malzemesidir. Çimentonun hidratasyon süreci ve ürünleri doğrudan beton özelliklerini etkilemektedir. Bu amaçla, istenilen beton kalitesini gerçekleştirmek maksadıyla kür işlemleri uygulanmaktadır. Genellikle beton malzemeye, laboratuvar şartlarında su tankı içerisinde bekletilerek dayanım kazandırılmaktadır. Bu çalışmada mineral katkı ikameli betonlara, farklı sıcaklık (110-145-165 0C) ve basınç (2-4-6 bar) değerlerinde basınçlı buhar kürü uygulanmıştır. Kür işlemlerinin ardından fiziksel ve mekanik deneyler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, basınçlı buhar kürü mineral katkılı betonların dayanımında düşüşe sebep olurken en iyi mekanik değerler 145 0C sıcaklık ve 4 bar buhar basıncı altında kür edilen numunelerde tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Beton, Kür Koşulları, Mineral Katkı.

ABSTRACT

Concrete is a cement based composite building material. Cement's hydration process and products directly affect the concrete properties. For this purpose, curing operations are carried out in order to realize the desired concrete quality. Generally, concrete material is retained in water tank under laboratory conditions and it is given strength. In this study, pressurized steam curing was applied to concrete with mineral admixtures at different temperatures (110-145-165 0C) and pressure (2-4-6 bar) values. After curing, physical and mechanical tests were carried out. According to the results obtained, the best mechanical values were determined at the samples cured under 145 0C temperature and 4 bar vapor pressure, while the pressure steam cure caused a decrease in the strength of the mineral added concretes.

Keywords: Concrete, Cure Conditions, Mineral Additive.

1. GİRİŞ

Bütün beton malzemeler, çimento hidratasyonunun mukavemet, dayanıklılık ve diğer mekanik özelliklerin gelişmesine izin verecek şekilde ilerleyebilmesi için kür işlemine ihtiyaç duymaktadır (Rahem ve ark., 2013). Kür işlemi, çimentonun hidratasyonunu geliştirmek için kullanılan işlemlere verilen bir isim olup, beton içerisine nüfuz eden nemin hareketinin ve beton içerisindeki sıcaklığının kontrolünden oluşur (Neville, 2000). Ve bu işlem, betonun kendisinden beklenen özellikleri karşılayabilmesi amacıyla hidratasyon derecesinin artırılması ve gözenekliliğin azaltılması için optimum değerde tutulmalıdır (Makul ve Agrawal, 2012). Başka bir ifadeyle kür işlemi beton karışımından istediğimiz özellikleri elde etmek amacıyla hidratasyonu teşvik edecek işlemler bütünüdür (Taylor, 2014).

Çimentonun hidratasyonu sonucu, beton bünye içerisinde hidratasyon ürünleri oluşmaktadır. Bunlar, kalsiyum silika hidrat (C-S-H), portlandit (CH) ve etrengit (Aft) gibi bileşiklerdir (Hewlet, 2003). Portlandit (CH) erken hidratasyon döneminde reaksiyonu hızlandıran önemli bir bileşik olup, sonraki süreçte puzolanik reaksiyona katkıda bulunmaktadır. Portlanditin çimento matrisi içerisindeki hareketi ve çözünmesi oldukça önemlidir. Bu durum çimento hamuru içerisindeki gözenekliliği arttırmakla birlikte pH seviyesinde de azalmaya sebep olur. Böylece çimento esaslı malzemelerin dayanım ve dayanıklılık değerleri tehlike altına girmektedir (Lotenbach ve ark., 2007). Puzolanlar silisli ve alüminli malzemeler olup, portlandit (CH) ile kimyasal reaksiyona girerek kalsiyum silika hidrat (C-S-H) jellerinin oluşmasını sağlarlar ve çimento esaslı malzemelerin dayanımına katkıda bulunabilirler (Erdoğan, 2015).

Uçucu küller puzolanik özelliğe sahip ve betonun özelliklerini olumlu yönde etkileyebilecek nitelikte mineral katkı malzemesidir. Puzolanik reaktivite özelliği sebebiyle uzun süreli dönemde basınç dayanımına katkıda bulunabilmekte ve betonun geçirimsizliğini azaltabilmektedir (Yazıcı, 2005). Silis dumanı endüstriyel atık bir ürün olmakla birlikte puzolanik aktivite değerinin yüksek olması sebebiyle oldukça önemli bir mineral katkıdır. Bu özelliği sebebiyle betonun basınç dayanımında rol oynadığı gibi dayanıklılık değerlerine de katkıda bulunmaktadır (Atiş ve ark., 2003). Yüksek fırın cürüfları demir üretimi

esnasında fırınlardan elde edilen atık bir üründür. Öğütülmüş halde beton üretiminde puzolanik özellik gösterebilmekte ve betonun özellikle durabilite özelliklerini olumlu yönde etkileyebilmektedir (Emiroğlu ve ark., 2011).

Beton teknolojisinde uygulanan kür işlemleri, normal kür, düşük basınçlı buhar kürü, yüksek basınçlı buhar kürü ve membran sarma ile gerçekleştirilen kür işlemleri olarak sıralanabilir. Normal (standart) kür uygulaması ıslak veya nemli ortamda ve normal ortam sıcaklığında gerçekleştirilir. Uygulanan bu koşullar altında, çimento hamurunun hidrasyon süreci ve mukavemet geliştirme oranı yavaş düzeyde gerçekleşmektedir (Liu ve ark., 2005). Otoklav silindirik şekli ve çelik duvarları olan özel bir buhar kürü makinesidir (Mindess ve ark., 1981). Otoklav kürü genellikle, çimento hidrasyonunu hızlandırmak ve betonun mukavemet gelişimini arttırmak için kullanılır (Wang ve Shie, 2009). Aldea vd. (2000) yaptıkları çalışmada, 175 °C sıcaklıkta 0.5 bar buhar basıncı altında, 80 °C sıcaklıkta serbest buhar kürü altında ve 28 gün boyunca 20 °C sıcaklıkta su tankında beklettikleri beton numunelerde kür etkisini araştırmışlardır. En iyi dayanım değerlerini 28 gün boyunca su tankında beklettikleri numunelerden elde ederken, serbest buhar kürünün en düşük dayanım değerlerine sebep olduğunu tespit etmişlerdir. Yazıcı(2007), silis dumanı, uçucu kül ve yüksek fırın cürufu katkılı yüksek dayanımlı betonların, otoklav, standart ve serbest buhar kürü altındaki fiziksel ve mekanik özelliklerini araştırmıştır. Serbest buhar kürü ve otoklav kürü ile kür edilen betonların basınç dayanımlarının standart kür edilen numunelere göre daha yüksek olduğunu belirtmektedir. Chen vd. (2018) uçucu kül katkılı yüksek dayanımlı betonları 0.5 MPa, 1.0 MPa, 1.5 MPa basınç değerlerinde 6,8,10 ve 12 saatlik sürelerle kür işlemine tabi tutmuşlardır. Deneysel sonuçlara göre basınç dayanımı değerlerinin ilk aşamada artış gösterdiğini ancak artan basınç ve süre değerleri sonrasında basınç dayanımı değerlerinin düşüş eğiliminde olduğunu bulmuşlardır. Palou vd.(2012) yaptıkları deneysel çalışmada, otoklav içerisindeki sıcaklık ve basınç değerlerinin artışıyla birlikte ürettikleri beton deney örneklerinin basınç dayanım değerlerinin azaldığını tespit etmişlerdir. Alawad vd. (2015) araştırmalarında otoklav kürü ve standart kür uyguladıkları mineral katkılı deney örneklerinin basınç dayanımı değerlerinin otoklav kürü tarafından negatif etkilendiğini tespit etmişlerdir. Makul ve Agrawal (2012), otoklav kürü ve standart kür uyguladıkları numunelerin morfolojilerini ve mekanik özelliklerini araştırdıkları çalışmalarında, otoklav kürü uyguladıkları deney örneklerinin basınç dayanım değerlerinin standart kür uyguladıkları deney örneklerine göre daha düşük olduğunu tespit etmişlerdir. Bu çalışmada, %15 oranında çimento ile ikame edilen, uçucu kül, silis dumanı ve yüksek fırın cürufu katkılı betonların, 110-145-165 °C sıcaklık ve 2-4-6 bar buhar basıncı altında 8 saat süreyle ve 7 ve 28 gün standart kür işlemine tabi tutulmaları sonucunda elde edilen fiziksel ve mekanik özellikleri karşılaştırmalı olarak araştırılmıştır.

2. MATERYAL METOT

Deneysel çalışmada CEM I 42.5 R tipte TS EN 197-1'e uygun portland çimentosu bağlayıcı olarak kullanılmıştır. Kullanılan çimentoya ait fiziksel özellikler Tablo 1'de verilmiştir. Mineral katkılardan uçucu kül Çayırhan termik santralinden elde edilmiştir. Uçucu kül, silis dumanı, yüksek fırın cürufu ve çimentoya ait kimyasal özellikler Tablo 2'de verilmiştir. Uçucu külün toplam $SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$ oranı %73,16 olup ASTM C 618 ile uyumluluk göstermektedir. Uçucu kül, silis dumanı ve yüksek fırın cürufu kimyasal bileşiminde beton üretimi için zararlı bileşene rastlanmamıştır.

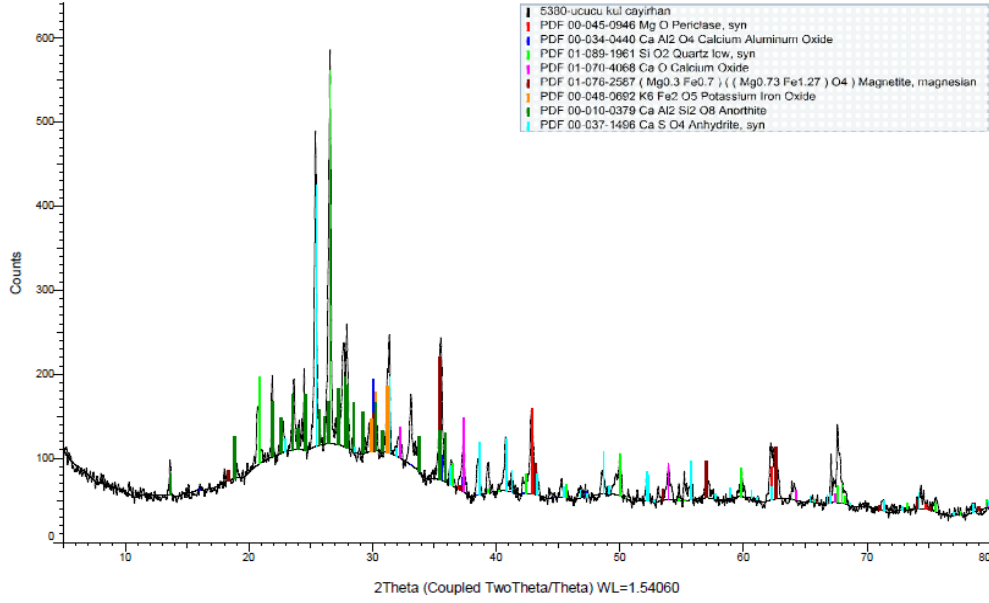
Tablo 1. Çimentoya ait fiziksel özellikler

Fiziksel Özellikler		Sonuçlar
Özgül Ağırlık (gr/cm^3)		3.09
Priz İlk (dakika)		125
Süresi Son (dakika)		190
İncelik Özgül Yüzey (cm^2/gr)		3420

Tablo 2. Çimento ve mineral katkıların kimyasal bileşimleri

Oksit	CaO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MgO	SO ₃	K ₂ O	KK
Çimento	62,63	19,29	4,25	3,88	3,42	2,58	0,34	2,86
Uçucu Kül	10,79	50,43	9,56	13,17	3,74	3,45	1,88	0,86
Silis Dumanı	0,74	94,36	0,70	0,81	1,18	0,20	0,86	0,74
YFC	39,69	40,10	0,92	7,83	4,26	2,11	1,24	0,63

Literatürden de bilindiği gibi silis dumanı ve yüksek fırın cürufunun mineralojik orijini amorf yapıdadır (Tokyay, 2016). Uçucu küle ait mineralojik analize ilişkin veriler ise Şekil 1'de verilmiştir. Şekil 1 incelendiğinde, uçucu külün kristal yapısında baskın olarak SiO_2 (Kuvartz) piki görünmektedir. Kuvartz piki haricinde kristal yapıda bulunan $CaSO_4$ (anhidrit) yapısı dikkat çekicidir.



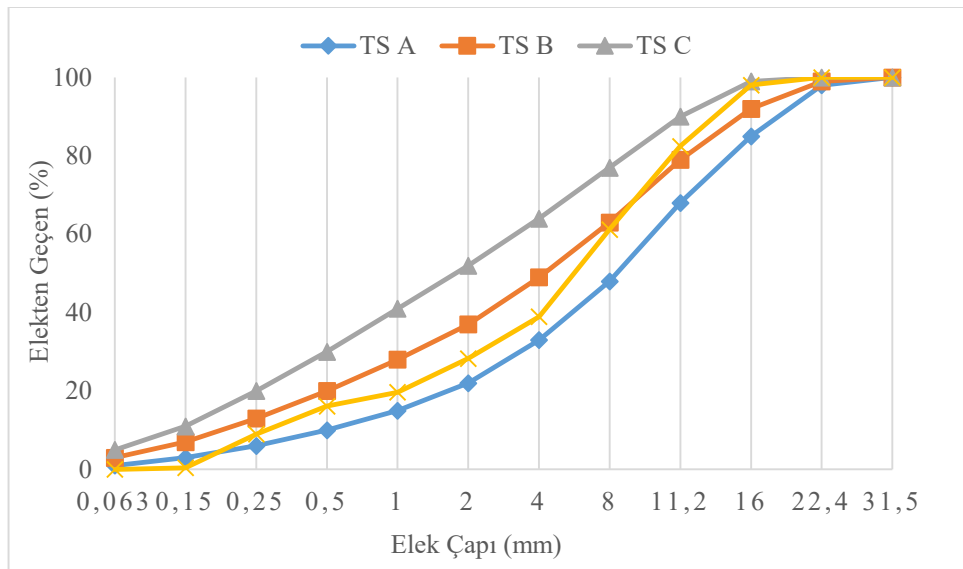
Şekil 1. Uçucu küle ait XRD analizi

Beton karışımı değerleri Tablo 3’de verilmiştir. Üretilcek deney örneklerinin karışım oranları TS 802’de belirtilen referans koşullara uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Karışımda maksimum agrega tane boyutu 22mm olarak seçilmiş ve maksimum agrega tane boyutuna göre hazırlanan karışım granülometrisi referans eğrileri arasında kalacak şekilde oluşturulmuştur (Şekil 2).

Tablo 3. Karışım oranları (kg/m³)

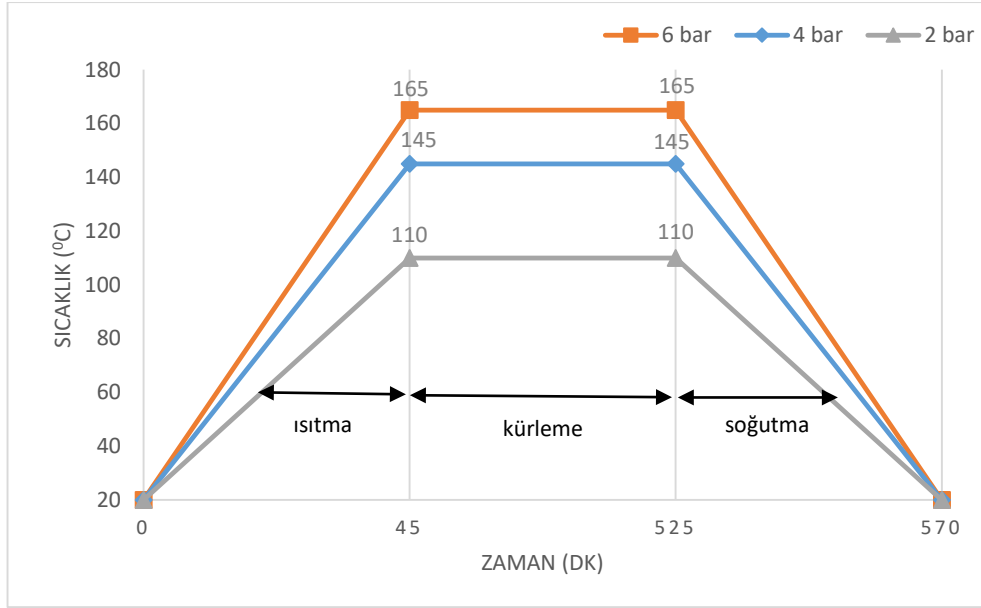
Seri Adı	*İnce Agrega (0-5 mm)	*İri Agrega (5-12 mm)	*İri Agrega (12-22 mm)	Çimento	Uçucu Kül	Silis Dumanı	Yüksek Fırın Cürufu	Su	Hava (dm ³)
ŞAHİT	668	618	444	371	-	-	-	204	20
SD	668	618	444	315,35	-	55,65	-	204	20
UK	668	618	444	315,35	55,65	-	-	204	20
YFC	668	618	444	315,35	-	-	55,65	204	20

*0-5mm, 5-12 mm ve 12-22 mm agregaların özgül ağırlıkları sırasıyla 2,52 - 2,52 – 2,50 gr/cm³ olarak bulunmuştur.



Şekil 2. Karışım granülometrisi

Deney örnekleri otoklav içerisinde 110 – 145 – 165 °C olmak üzere 3 farklı sıcaklık ve 2 – 4 – 6 bar şeklindeki 3 farklı buhar basıncı altında 8 saat süreyle kür edilmişlerdir. İstenilen sıcaklığa gelene kadar 45 dk ısıtma süresi ve kür işlemi bitiminde de 45 dk'lık soğutma süresince otoklav içerisinde bekletilmişlerdir. Uygulanan kür rejimi Şekil 3'de gösterilmiştir. Mineral katkılı deney örnekleri otoklav kürü haricinde 7 ve 28 gün süresince su tankı içerisinde bekletilmiş ve standart kür uygulaması gerçekleştirilmiştir. Uygulanan değişik kür işlemleri sonucunda fiziksel ve mekanik özellikler karşılaştırılmıştır.



Şekil 3. Kür rejimi

Ultrases geçiş hızı okumaları otoklav öncesi ve sonrasında ASTM C 597'ye uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Deney örneklerinin ultrases geçiş hızı hesaplamalarında formül (1)'den faydalanılmıştır.

$$V = \frac{L}{t} \quad (1)$$

Denklemdede; V, geçiş hızı, (km/sn), t, geçiş süresi (sn) ve L, ölçüm yapılan uzunluk (km)'dir.

Mekanik özellikleri belirlemek amacıyla otoklav kürü ve standart kür uygulanan numuneler üzerinde tek eksenli basınç dayanımı deneyleri TS EN 12390-3 referans alınarak gerçekleştirilmiştir. Basınç dayanımı değerleri formül (2) yardımı ile hesaplanmıştır.

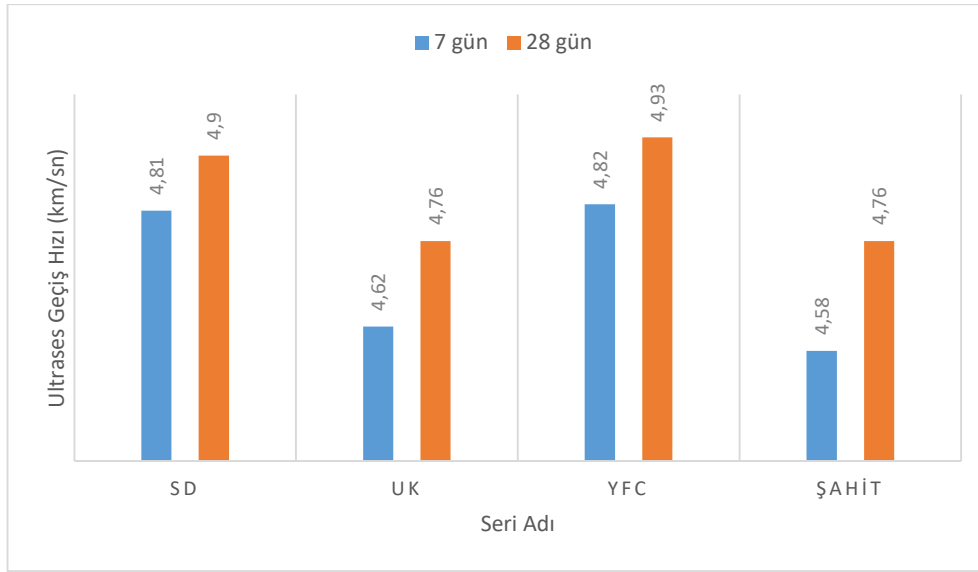
$$f_{ck} = \frac{P}{A_0} \quad (2)$$

Denklemdede; f_{ck} , karakteristik basınç dayanımı, (N/mm²), P uygulanan kuvvet (N) ve A_0 yüzey alanı (mm²)'dir.

3. BULGULAR

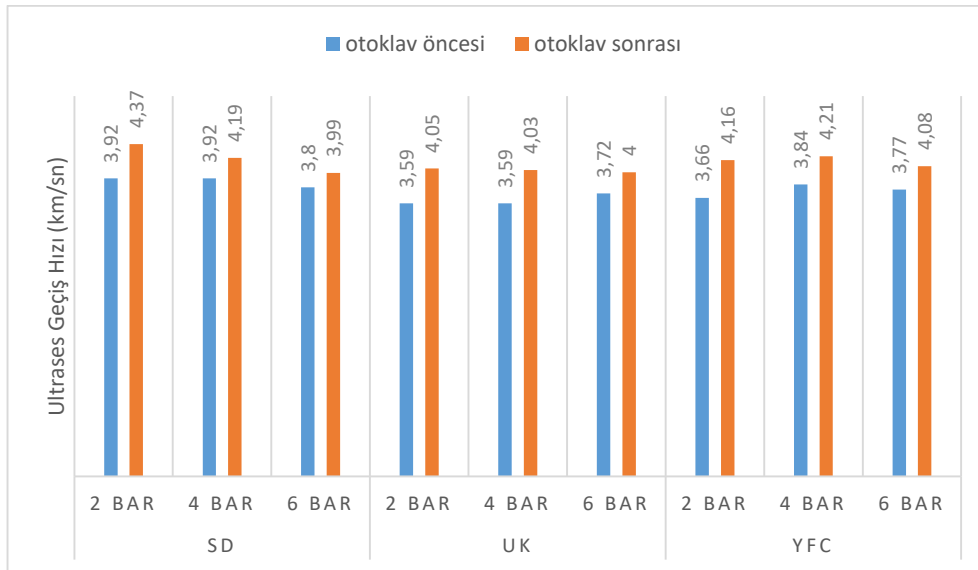
3.1. Ultrases Geçiş Hızı Bulguları

Mineral katkılı beton deney örneklerinin ultrases geçiş hızları öncelikle 7 ve 28 gün su tankında bekletilmiş ve standart kür uygulanmış şahit örneklerle karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmaya ilişkin bulgular Şekil 4'de verilmiştir. Tüm serilerde 28 günlük numunelerin ultrases geçiş hızı değerleri 7 günlük numunelere göre daha yüksek bulunmuştur. Silis dumanı ve yüksek fırın cürufu katkılı numunelerin ultrases geçiş hızı bulguları uçucu kül katkılı ve şahit numunelere göre daha yüksek olup, bu değerler kendi aralarında karşılaştırıldığında ise çok fazla bir fark gözlenmemiştir. Silis dumanı katkılı 28 günlük örneklerin geçiş hızı ortalaması 4,9 km/sn iken, yüksek fırın cürufu katkılı 28 günlük örneklerin bu değeri ise 4,93 km/sn olarak bulunmuştur.



Şekil 4. Mineral katkılı örneklerin standart kür ultrases geçiş hızı bulguları

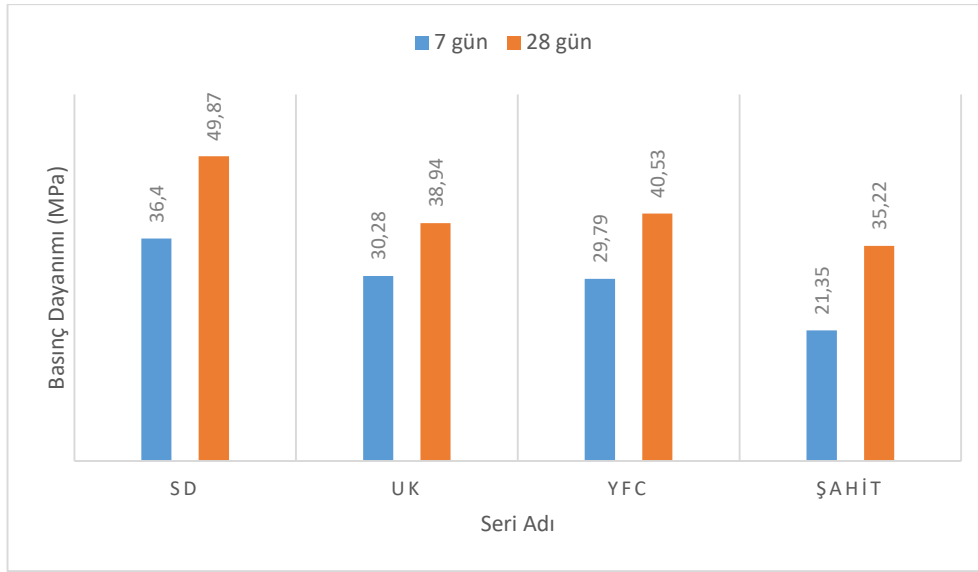
Şekil 5’de mineral katkılı deney örneklerinin otoklav kürü sonucunda elde edilmiş ultrases geçiş hızı bulguları verilmiştir. Ultrases geçiş hızı deneyi otoklav öncesi ve otoklav sonrasında gerçekleştirilmiş olup, otoklav kürünün etkisiyle geçiş hızındaki değişim belirlenmiştir. Otoklav kürü sonrasında tüm serilerin ultrases geçiş hızında artış tespit edilmiştir. Ancak bu artışın otoklav rejimindeki sıcaklık ve basıncın artışı ile birlikte düşüşe geçtiği de tespit edilmiştir. Bu durumun yüksek sıcaklıkla birlikte buhar basıncına bağlı olarak iç bünyede, çimento yerine ikame edilen mineral katkının buhar basıncına karşı yeterli dayanımı gösterememesi sonucu gerçekleşebilecek kılcal çatlaklar sonucu oluşacak boşluklu yapıdan kaynaklanabileceği düşünülmektedir.



Şekil 5. Otoklav kürü ultrases geçiş hızı bulguları

3.2. Basınç Dayanımı Bulguları

Standart kür uygulaması yapılan deney örneklerinin basınç dayanımına ait bulgular Şekil 6’de verilmiştir. Çimento yerine %15 oranında silis dumanı, uçucu kül ve yüksek fırın cürufu ilavesi sonucunda deney örneklerinin basınç dayanımı değerlerinde artış tespit edilmiştir. Bu artış değerleri ise Tablo 4’de yüzdesel olarak ifade edilmiştir. Puzolanik malzemeler çimento hidrasyonu sonucu açığa çıkan serbest kireç ile reaksiyona girerek ilave bağlayıcı jel üretmektedirler (Baradan ve ark., 2015). Deney örneklerinin basınç dayanımlarındaki artışa bu durum sebep olarak gösterilebilir. Ayrıca puzolanik malzemeler kendi aralarında karşılaştırıldıklarında ise en iyi dayanım değerleri 28 günlük numuneler arasında silis dumanı ikameli örneklerde 49,87 MPa olarak tespit edilmiştir. Bu değer uçucu kül ikameli örneklerde 38,94 MPa, yüksek fırın cürufu ikameli örneklerde ise 40,53 MPa olarak bulunmuştur.

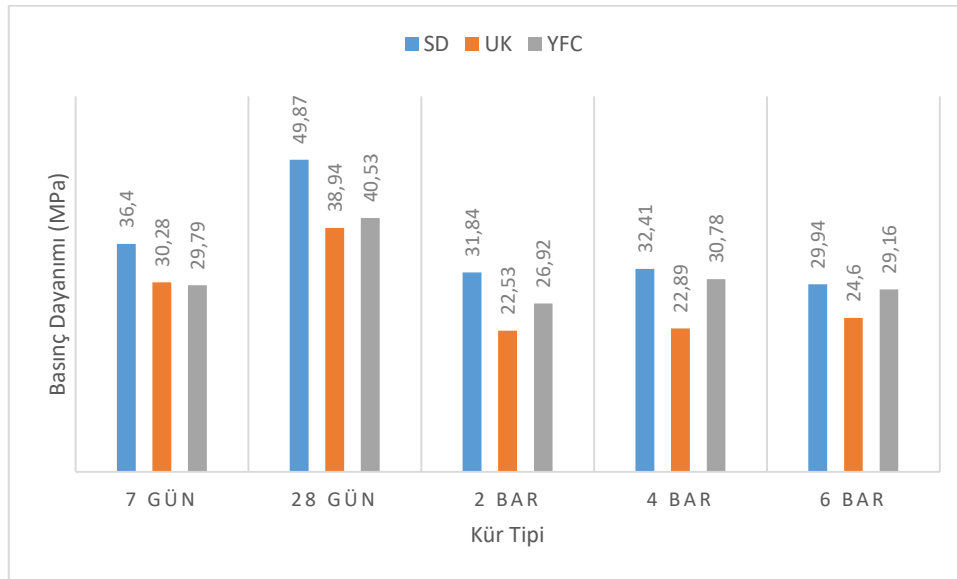


Şekil 6. Standart kür uygulanmış örneklerin basınç dayanımı bulguları

Tablo 4. Standart kür dayanım bulguları

Seri Adı	7 Günlük Dayanım (MPa)	Artış (%)	28 Günlük Dayanım (MPa)	Artış (%)
ŞAHİT	21,35	-	35,22	-
SD	36,40	70,49	49,87	41,59
UK	30,28	41,82	38,94	10,56
YFC	29,79	39,53	40,53	15,07

Tablo 4'deki veriler incelendiğinde, 7 günlük dayanım artış oranlarında silis dumanı ikameli betonlarda artış oranı %70,49, uçucu kül ikameli betonlarda %41,82, yüksek fırın cürufu ikameli betonlarda ise %39,53 olarak bulunmuştur. Erken hidrasyon dönemine bağlı olarak değerlendirilecek basınç dayanımı bulguları sonucunda en yüksek katkıyı silis dumanının verdiği söylenebilir. En düşük katkı ise yüksek fırın cürufu tarafından verilmiştir. 28 günlük dayanım değerleri incelendiğinde ise, silis dumanı ikameli betonlarda %41,59 oranında, uçucu kül ikameli betonlarda %10,56 ve yüksek fırın cürufu ikameli betonlarda %15,07 oranında artış tespit edilmiştir.



Şekil 7. Otoklav kürü ve standart kür basınç dayanımı karşılaştırması

Mineral katkı ikameli betonların standart kür ve otoklav kürü sonrasındaki basınç dayanımlarına ilişkin bulgular Şekil 7’de verilmiştir. Farklı kür işlemleri sonucu elde edilen dayanım bulguları karşılaştırmalı olarak değerlendirildiğinde standart kür işlemi görmüş numunelerde daha yüksek dayanım değerleri elde edildiği tespit edilmiştir. Otoklav kürü sonrasında 7 gün standart kür işlemi uygulanmış numunelerin dayanım değerlerine yaklaşık değerler elde edilirken, 28 gün standart kür işlemi görmüş numuneler için bunu söylemek pek mümkün olmamaktadır. Yüksek sıcaklık şartları altında dahi, kalsiyum hidroksit ve silikat arasındaki reaksiyon devam etmektedir, ancak sıcaklığın yükselmesi ihtiyaç olan nemin yeteri derecede karşılanmasına engel olacaktır. Ortaya çıkacak nem kaybı ise, bünye içerisinde çatlaklara ve düşük mukavemet gelişimine sebep olacaktır (Shi ve Hu, 2003., Friedlaender ve Camarda, 1972). Bu durum, otoklav kürü sonrasında dayanım kaybı yaşanmasına sebep olarak gösterilebilir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Mineral katkılı betonların mekanik ve fiziksel özellikleri üzerine otoklav kürü etkisinin deneysel olarak araştırıldığı bu çalışmada şu sonuçlara ulaşılmıştır;

- Mineral katkı ikamesi ile birlikte standart kür uygulaması yapılan deney örneklerinin 7 ve 28 günlük basınç dayanımı değerlerinde artış tespit edilmiştir. Bu oran silis dumanı ikameli seride 7 günde %70,49, 28 günde %41,59, uçucu kül ikameli seride 7 günde %41,82, 28 günde %10,56, yüksek fırın cürufu ikameli seride 7 günde %39,53, 28 günde %15,07 olarak bulunmuştur.
- Otoklav kürü uygulanan serilerin basınç dayanım değerleri standart kür uygulaması yapılan deney örneklerinin basınç dayanım değerlerinden daha düşük bulunmuştur.
- Otoklav kürü uygulanan numunelerin ultrases geçiş hızı değerlerinin standart kür uygulaması yapılan serilerin ultrases geçiş hızı değerlerinden daha düşük çıktığı tespit edilmiştir.

Elde edilen sonuçlar ışığında, mineral katkıların %15 oranında çimento ile ikame edilmesiyle beton üretiminde doğrudan kullanılabilceği söylenebilir. Erken dayanım istenen durumlarda otoklav ile gerçekleştirilecek kürlenme işleminde sıcaklık ve basınç değerlerine dikkat edilmesi, kür işlemi öncesinde ve sonrasında beton iç yapısına etki edeceği düşünülen ısıtma ve soğutma sürelerinin 30 dk’dan düşük tutulmaması önerilmektedir. Ayrıca otoklav küründeki farklı sıcaklık ve basınç değerlerinde gerçekleştirilecek deneysel çalışmaların faydalı olacağı düşünülmektedir.

5. KAYNAKLAR

- Aldea, C., Young, F., Wang, K., Shah, S., P. (2000). Effects of curing conditions on properties of concrete using slag replacement. *Cement and Concrete Research*, 30: 465-472.
- Alawad, O., A., Alhozaimy, A., Jaafar, M., S., Abdulaziz, F., N., Al-Negheimish, A. (2015). Effect of autoclave curing on the microstructure of blended cement mixture incorporating ground dune sand and ground granulated blast furnace slag. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, Vol.9, No.3, pp.381-390.
- ASTM C597-09 (2009). Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete, ASTM International, West Conshohocken.
- ASTM C618-17 (2007). Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete, ASTM International, West Conshohocken.
- Atiş, C., Özcan, F., Karahan, O., Bilim, C., Sevim, U., K., Demir, A. (2003). Silis dumanı kullanımının beton basınç dayanımı üzerindeki etkisi. *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 426(4): 121-124.
- Baradan, B., Yazıcı, H., Aydın, S., (2015). Beton. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları*, 2. Baskı, İzmir.
- Chen, T., Gao, X., Ren, M. (2018). Effects of autoclave curing and fly ash on mechanical properties of ultra-high performance concrete. *Construction and Building Materials*, 158:864-872.
- Emiroğlu, M., Koçak, Y., Subaşı, S. Yüksek Fırın Cürufunun Betonun Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Etkisi. 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS’11), 16-18 May 2011, Elazığ, Turkey. pp113-117.
- Erdoğan, T., Y. (2015). Beton. *ODTÜ Yayıncılık*, 5. Baskı, Ankara.
- Friedlaender, W.V., Camarda, F.,V. (1972). Influence Of Superheated Steam On The Autoclave-Cure Strengths Of Cement And Concrete Compositions. American Concrete Institute Publishing, Volume 32, pp:99-116.
- Hewlett, P. (2003). Lea’s chemistry of cement and concrete. *Oxford*, UK: Butterworth-Heinemann.
- Liu, B., Xie, Y., Li, J. (2005). Influence of steam curing on the compressive strength of concrete containing supplementary cementing materials. *Cement and Concrete Research*, 35(5), 994-998.

- Lothenbach, B., Winnefeld, F., Alder, C., Wieland, E. and Lunk, P. (2007) Effect of Temperature on the Pore Solution, Microstructure and Hydration Products of Portland Cement Pastes. *Cement and Concrete Research*, 37, 483-491.
- Makul, N., Agrawal, D. (2012). Comparison of the microstructure and compressive strength of Type 1 Portland cement paste between accelerated curing methods by microwave energy and autoclaving, and a saturated-lime deionized water curing method. *Journal of Ceramic Processing Research*. Vol. 13, No. 2, pp. 174~177.
- Mindess, S., Young, J.F., Darwin, D. (1981) Concrete. *Prentice Hall*, New Jersey.
- Neville, A. M. (2000). Properties of Concrete, *Longman*, 4. Edition, England.
- Palou, M., Zıvıca, V., Bagel, L., Ifka, T. (2012). Influence of hydrothermal curing on g-oil well cement properties. *Building Research Journal*, 60: 223-230.
- Rahem, A.,A., Soyngbe A.,A., Emenike, A., J. (2013). Effect of Curing Methods on Density and Compressive Strength of Concrete. *International Journal of Applied Science and Technology*, Vol. 3 No. 4; April.
- Shi, C., Hu, S. (2003). Cementitious properties of ladle slag fines under autoclave curing conditions. *Cement and Concrete Research*, 33(11):1851–1856.
- Taylor, P., C. (2014). Curing Concrete. *CRC Press*, London.
- Tokuy, M. (2016). Cement and Concrete Mineral Admixtures. *CRC Press*, New york, 2016.
- TS EN 12390-3 (2003). Beton-Sertleşmiş Beton Deneylemleri-Bölüm 3: Deneysel Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 197-1, Çimentoların Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2002.
- TS 802, Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2009.
- Wang, H., Shie, J. (2009). Effect of autoclave curing on the compressive strength and elastic modulus of lightweight aggregate concrete. *Journal of ASTM International*, Vol. 6, No. 6: 1-4.
- Yazıcı, H. (2005). Yüksek hacimde c sınıfı uçucu kül içeren betonların mekanik özellikleri ve sülfürik asit dayanıklılığı. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 11(3):443-448.
- Yazıcı, H. (2007). The effect of curing conditions on compressive strength of ultra high strength concrete with high volume mineral admixtures. *Building and Environment*, 42:2083–2089.