



UÇUCU KÜLLÜ KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONUN ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ÖN ISITMANIN ETKİSİ

Metehan ARDAHANLI^{1*}, Meral OLTULU², İbrahim ALAMERİ³

¹Erzurum Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 25050, Erzurum, Türkiye

²Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 25240, Erzurum, Türkiye

³Sana'a Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Sana'a, Yemen

Özet: Kendiliğinden yerleşen beton, kendi ağırlığı ile yerleşme yeteneğine sahip, sıkıştırma ve yerleştirme için vibrasyon gerektirmeyen bir betondur. Geleneksel beton ile karşılaştığımızda minimum işçilik gerektirmesi, ekonomik olması, hızlı uygulanması ve sık donatı arasında ayrışma oluşmadan kalıp içerisini kolaylıkla doldurabilmesi önemli avantajlarıdır. Karışım dizaynı ve üretimi özel bir hassasiyet gerektirmektedir. Bu çalışmada su çimento oranı sabit tutularak farklı oranlarda uçucu kül ilavesi ile elde edilen kendiliğinden yerleşen betonlar için erken yaşta ön ısıtmanın, beton hidrasyonuna etkisinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Üretilen numunelerde, bir grupta 28 gün boyunca su küründe (ön ısıtmasız) bekletilirken diğer grup ise ön ısıtma (1 gün boyunca 75°C) etkisinde bırakılmıştır. Elde edilen numunelere Kendiliğinden yerleşen beton taze beton deneyleri ve sertleşmiş beton mekanik deneyleri uygulanmıştır. Numunelerde birim ağırlık, basınç dayanımı, eğilmede çekme dayanımı ve yarmada çekme dayanımı ölçülmüştür. Eğilmede çekme dayanımı deneyinde her 2 grupta en iyi sonuç %30 uçucu kül katkısı ile elde edilirken yarmada çekme dayanımı deneyinde de en iyi sonuç %30 uçucu kül katkılı ön ısıtmasız numunelerde gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre ön ısıtmasız numunelerin basınç dayanımı, ön ısıtmalı numunelerden daha yüksek olduğu görülmüştür. Ek olarak uçucu küllü betonların ön ısıtmaya maruz kaldıklarında olumlu etki gösterebileceği bu çalışma ile belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Kür yöntemleri, Kendiliğinden yerleşen beton, Mekanik özellikler, Taze beton özellikleri, Uçucu kül


The Effect of Preheating on the Properties of the Fly Ash Self-Compacting Concrete


Abstract: Self-compacting concrete is a concrete capable of placing with its own weight and does not require vibration for compaction and placement. Self-compacting concrete has important advantages compared to traditional concrete such as requires minimum labor, economical, fast casting and easy to fill the mold without any separation between reinforcement. Mixing design and production requires special precision. In this study, the temperature change of the curing conditions at an early age was investigated for the self-compacting concretes obtained with the addition of fly ash at different ratios by keeping the water-cement ratio constant. The reference group was cured among the 28 days while the other group samples put in the oven at 75 °C for 1 day and then kept in water. The samples were subjected to various mechanical tests and Self-compacting concrete fresh tests. The compressive strength, bending tensile strength, splitting tensile strength and density of the samples were measured. According to the results, in the bending tensile strength test, the best results were obtained with the addition of 30% fly ash in both groups, while the best result in the splitting tensile strength test was observed in the samples with the addition of 30% fly ash at 28 days with normal water curing. The compressive strength of the samples with water cure for 28 days was higher than the samples exposed to 75°C temperature at early age. In addition, this study reported that concretes with fly ash can have a positive effect when exposed to preheating.


Keywords: Curing methods, Self-compacting concrete, Mechanical properties, Fresh concrete properties, Fly ash

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Erzurum Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 25050, Erzurum, Türkiye

E mail: metehan.ardahanli@erzurum.edu.tr (M. ARDAHANLI)

Metehan ARDAHANLI  <https://orcid.org/0000-0002-8091-2792>

Meral OLTULU  <https://orcid.org/0000-0002-3779-6888>

İbrahim ALAMERİ  <https://orcid.org/0000-0002-4921-3213>

Gönderi: 11 Ocak 2021

Kabul: 31 Mart 2021

Yayınlanma: 01 Temmuz 2021

Received: January 11, 2021

Accepted: March 31, 2021

Published: July 01, 2021

Cite as: Ardahanlı M, Oltulu M, Alameri I. 2021. The effect of preheating on the properties of the fly ash self-compacting concrete. BSJ Eng Sci, 4(3): 81-88.

1. Giriş

Son yıllarda yapısal ve ekonomik nedenlerle imalatları hızlandırma gereksinimi betonun erken dayanım kazanmasının önemini ortaya çıkarmıştır. Betonun erken dayanım kazanması sıcak-soğuk hava koşulları ve kütle betonları için oluşabilecek iç-dış sıcaklık farklarının fazla olabilmesi durumlarında ayrıca önem arz etmektedir. Bu nedenle, kür sıcaklığını kontrol etmek ve aynı zamanda termik rötne nedeniyle oluşabilecek çatlaklardan betonu arındırmak için betonun sahip olduğu yaşı ile birlikte betona uygulanan mukavemetin değerlendirilmesi pratik

bir öneme sahiptir (Alameri ve ark., 2019; Oltulu ve Alameri, 2019; Kim ve ark., 2020).

Beton birçok avantajı nedeniyle uzun yıllardan beri en yaygın kullanılan inşaat malzemesi olup hala inşaat alanındaki mevcut gereksinimlere uyacak şekilde özelliklerini geliştirmek için araştırmalar devam etmektedir (Kannan, 2018; Alameri ve ark., 2020; Akgül ve ark., 2020; Doğan ve Akgül, 2020). Son yıllarda yaygınlaşan ve üzerinde çeşitli çalışmalar yapılan özel beton türlerinden biri olan kendiliğinden yerleşen betonun ortaya çıkış tarihi günümüze yakındır. Betonda



kendiliğinden yerleşebilirlik kavramı ilk olarak Tokyo Üniversitesinde, 1986 yılında Hajime Okamura tarafından ortaya atılmıştır (Topçu ve ark., 2008). Su altında beton dökümü uygulamalarında, vibrasyonsuz beton dökümlerinden edinilen tecrübe ile kendiliğinden yerleşen beton (KYB) üretilmesi amaçlanmıştır. Okamura'nın başlattığı çalışmaları Ozawa, Ouchi ve Maekawa devam ettirmiştir. 1988 yılında aynı üniversitede dayanımın yanı sıra dayanıklılık açısından da yüksek performanslı KYB prototipi üretilmiş ve mekanik özellikleri incelenmiştir (Okamura and Ouchi, 2003). Beton karışımındaki mineral katkı maddesinin rolü, son yıllarda karbondioksit emisyonunun azaltılması, betonun performansının iyileştirmesi ve inşaat maliyetinin düşürmesi nedeniyle geniş ölçüde araştırılmıştır. Mineral katkı maddelerinin birçoğu, endüstriyel katı atıklar veya ürünler olarak kabul edilir. Ögütülmüş yüksek fırın cürufu ve uçucu kül, puzolanik özelliklerinden dolayı en çok kullanılan mineral katkı maddeleridir. Cüruf ve uçucu kül, çimento hidratasyonu ile üretilen CSH jelini üretmek için portlandit ile reaksiyona girer. Böylece, betonun performans gelişimine büyük katkı sağlar. Ayrıca, çimentonun ekzotermik hidratasyon işlemi ve betonun düşük ısı iletkenliği, betonun merkezinde yüksek sıcaklığa yol açar. Uçucu külün sıcaklığa karşı duyarlılığı ve hidratasyonu çimentodan daha farklıdır. Bu katkı maddesinin dayanım mekanizmasına olan etkisini derinlemesine anlamak için, uçucu küllü kompozit bağlayıcının ön ısıtmasının dayanım üzerindeki etkisinin çalışılması gereklidir. Birçok araştırmacı, ön ısıtmaya tabi tutulan mineral katkı maddeli bağlayıcının hidratasyonu üzerindeki etkilerini araştırmıştır (Han ve ark., 2017). Schachinger ve ark. (2008) 24 ile 48 saat boyunca 90°C'de erken yaş sıcaklığına maruz kalan betonun basınç dayanımında artışa neden olduğu sonucuna varmışlardır. Dayanımdaki bu artışın ana sebebi sıcaklıkla silis dumanının puzolanik reaksiyon göstererek Ca(OH)₂ ile tepkimeye girmesidir. Son and Hosoda, (2010) 5°C ve 40°C'de erken yaş sıcaklığına maruz kalan yüksek fırın cürufu betonlardaki mikro çatlakları incelemişlerdir ve erken yaş sıcaklıklarının ilk zamanlarda daha yüksek mukavemetli beton elde edilmesini sağladığı ancak daha sonraki yaşlardaki mukavemeti olumsuz etkilediğini görmüşlerdir. Kim et al. (2020) uçucu kül ve farklı çimento tiplerini kullanılarak, 50°C'ye kadar izotermal koşullarda kürlenmiş ayrıca farklı yaşlarda test edilmiş betonları incelemişlerdir. Uygulanan sıcaklığının ilk zamanlarda basınç ve çekme dayanımlarını artıracağı ancak betonun daha sonraki yaşlarında basınç ve çekme dayanımını azaltacağı sonucuna varmışlardır. Lin ve ark. (2011) yüksek sıcaklıklara maruz kaldıktan sonra suda kürlenmiş uçucu kül içeren betonların basınç dayanımını incelemiş ve elde edilen bulgular göre erken yaş sıcaklıklarının beton basınç dayanımını artırdığı görülmüştür.

Mevcut literatür araştırmasında uçucu külün bağlayıcı olarak kullanıldığı beton içerisinde hidratasyon

üzerindeki etkiler araştırılmış fakat uçucu küllü betonlarda ön ısıtmanın oluşturduğu etki pek fazla incelenmemiştir. Son yıllarda yaygın olarak kullanılan özel beton türü olan KYB'de taze beton özelliklerini iyileştiren bu mineral katkı maddesinin kullanımı yaygındır. Tüm bu nedenlerle ön ısıtmanın uçucu küllü KYB'lerdeki etkisini araştırmak literatürde eksiklik olarak gözükmetedir. Bu yüzden literatürden hareketle seçtiğimiz 75°C ön sıcaklığa maruz kalan farklı oranlarda uçucu kül içeren KYB betonları üretilerek özelliklerini incelemek çalışmanın amacıdır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Materyal

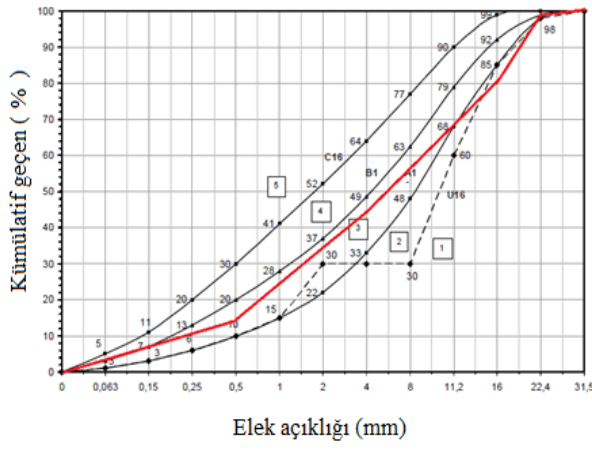
Çalışmada TS EN 197-1 (2012) ve TS EN 196-1 (2016) standartlarına uygun olarak CEM II-R 42.5 tipi çimento kullanılmıştır. Polikarboksilik eter esaslı süper akışkanlaştırıcı beton katkısı çimento ağırlığının %2,5'i oranında karışımda kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan Bursa Orhaneli Termik Santralinde üretilen ASTM C 618 (2019) ve TS EN 450-1 (2013) standartlarına uygun olan F tipi uçucu külün kimyasal analiz sonuçları Tablo 1'de agreganın özellikleri Tablo 2'de, granülometrisi ise Şekil 1'de verilmiştir.

Tablo 1. CEM II-R 42.5 tipi çimentonun ve F tipi uçucu külün özellikleri

Bileşik	CEM II/A-M	F tipi UK
SiO ₂	17,60	48,93
Al ₂ O ₃	4,45	24,63
Fe ₂ O ₃	3,08	7,59
CaO	60,02	9,06
MgO	2,29	2,28
SO ₃	2,67	2,48
Kızdırma kaybı	8,49	1,69
Na ₂ O	0,22	0,35
K ₂ O	0,63	2,51
Na ₂ O+0.658K ₂ O	0,63	-
Cl	0,01	0,005
Ölçülemeyen	0,54	-
SCaO	0,69	-
Katkı	19,90	-
S+A+F	-	81,15
Fiziksel özellikleri		
Özgül ağırlığı	3,01	2,31
Özgül yüzeyi (cm ² /g)	4403	2900
Basınç dayanımı (MPa)	51,03	-

Tablo 2. Agreganın özellikleri

Agrega Boyutu (mm)	Özgül Ağırlık (gr/cm ³)
0-2	2,610
2-4	2,650
4-8	2,661
8-16	2,685



Şekil 1. Agrega granülometrisi.

2.2. Beton Karışım Oranları

Beton karışım tasarımı, TS EN 206 (2017) standart yöntemi ile uyumlu olup çimento yerine %10, %20 ve

Tablo 3. KYB karışım oranları (m³)

Grup	Çimento Miktarı	UK	0-2 (mm)	2-4 (mm)	4-8 (mm)	8-16 (mm)	Su Miktarı	SA	Toplam (m ³)
10UK	149,50	21,65	213,79	121,89	152,57	121,79	235	10,77	1026,96
20UK	132,89	43,29	202,30	121,89	151,45	121,42	235	9,57	1017,80
30UK	116,28	64,94	210,73	120,75	150,70	120,30	235	8,37	1027,06

UK= Çimento yerine kullanılan ağırlıkça uçucu kül yüzdesi, SA= süper akışkanlaştırıcı

2.3. Deneyler

2.3.1. Yayılma tablası deneyi

Taze KYB'nin şekil değiştirme hızının gözlenmesini ve numunenin kendi ağırlığı ile yayılarak oluşturacağı çapın ölçülmesini içerir. Deney aparatı olarak çökme (Abrams Konisi) hunisi ve 80 x 80 cm boyutlarında bir tabla (Şekil 2) kullanılır. KYB'nin 50 cm çaplı daireye gelinceye kadar geçen zaman miktarı bir kronometre yardımıyla ölçülmüş ve not edilmiştir (T50).



Şekil 2. Yayılma tablası deneyi.

%30 oranında uçucu kül katılması ile 3 grup beton karışımı elde edilmiştir. Su/bağlayıcı oranı 0.47 ve ön çalışmalar sonucunda en uygun işlenebilirliği sağlamak için karışımdaki süperakışkanlaştırıcı miktarı çimento miktarının kütlece %2,5'u olarak katılmıştır (Süperakışkanlaştırıcı özgül ağırlık 1.045(gr/cm³)). Karışım işleminde ilk olarak kuru haldeki agrega, çimento ve uçucu kül 2 dk boyunca karıştırılmıştır. Kuru karışım işleminden sonra akışkanlaştırıcı, karışım suyunun yarısına ilave edilerek miksera katılmış ve 3 dk boyunca karıştırma işlemine devam edilmiştir. Son olarak karışım suyunun kalanı ilave edilip ve 1 dk kadar karıştırma işlemine devam edilmiştir. Her gruptan basınç dayanımı için 3 adet 15 cm ayrıtlı küp, eğilmede çekme deneyi için 3 adet 7×7×28 cm ayrıtlı prizma ve yarmada çekme deneyi için 3 adet 10 cm çaplı silindir numune üretilmiştir. Karışım oranları Tablo 3'de verilmiştir.

2.3.2. L kutusu deneyi

Taze KYB'nin kendiliğinden yerleşme yeteneğinin, doldurma yeteneğinin, geçiş yeteneğinin ve ayrışmaya karşı direncinin, L şeklindeki bir kutu içerisinde gözlenmesini içerir. Kutunun alt ortasında sürgülü bir kapak ve aynı zamanda engel oluşturan demir çubuklar bulunmaktadır. Sürgülü kapak çekilerek betonun diğer bölüme 20 cm ve 40 cm ilerleme süreleri ölçülür. İki taraftaki yükseklik farkı belirlenir (Şekil 3). Taze betonun döküldüğü yerde oluşturduğu yükseklik (H1) ile sürgülü kapaktan geçen betonun son yüksekliği (H2) ölçülerek oranlanır.



Şekil 3. L kutusu deneyi.

2.3.3. V hunisi deneyi

KYB'nin birim zamandaki yayılması değerlendirilir. Taze KYB'nin kendi ağırlığı ile özel tasarlanmış bir huninin dar olan ağzından boşalma süresinin ölçülmesini içerir. Betonun boşluklardan geçebilme yeteneğini ölçmek için yapılan kendiliğinden yerleşebilirlik deneyidir. Deney, KYB'nin viskozitesi ve geçiş yeteneği hakkında fikir vermektedir. Bu deney (Şekil 4) için, özel bir huni kullanılır. Huniye taze KYB, hiçbir sıkıştırma ve vibrasyon uygulanmadan doldurulduktan sonra, huninin altındaki sürgülü kapak açılır ve huni içindeki tüm betonun alttaki kovayı doldurma süresi kaydedilir.



Şekil 4. V hunisi deneyi.

2.3.4. Birim ağırlık deneyi

Üretilen betonların birim ağırlık deneyi TS EN 12350-6 (2010)'a göre yapılmıştır. Deneylerde kütlesi (M_2 , kg) hacmi (V , m^3) bir kalıp içerisinde sıkıştırılarak beton ile doldurmuş olan kalıp tartılarak (M_1 , kg), taze betonun birim ağırlıkları (D , kg/m^3) aşağıdaki bağıntı (eşitlik 1) ile hesaplanmıştır.

$$D = (M_1 - M_2)/V \quad (1)$$

2.3.5. Basınç dayanımı deneyi

Basınç dayanımı deneyleri, $15 \times 15 \times 15$ cm boyutundaki küp numuneler üzerinde TS EN 12390-3 (2010) standardına uygun olarak yapılmıştır. Deney de kullanılan basınç pres cihazı otomatik yüklemeli 3000 tip 300 ton kapasitesine sahiptir (Şekil 5). Deney sırasında uygulanan yükleme hızı $0,4$ MPa/s dir. Yapılan deney ile numunelerin kırılmadan ve parçalanmadan dayanabileceği maksimum gerilme belirlenmiştir.



Şekil 5. Basınç dayanımı deneyi.

2.3.6. Eğilmede çekme deneyi

Eğilmede çekme deneyleri $7 \times 7 \times 28$ cm boyutlu dikdörtgen prizma numuneler üzerinde TS EN 12390-5 (2010) standardına uygun deney üç noktalı yükleme şeklinde olarak yapılmıştır (Şekil 6). Deney sırasında uygulanan yükleme hızı 0.04 MPa/s dir.



Şekil 6. Eğilmede çekme deneyi.

2.3.7. Yarmada çekme deneyi

Yarmada çekme dayanımı deneyleri, 10 cm çaplı, 20 cm yüksekliğe sahip silindirik beton numuneler üzerinde TS EN 12390-6 (2010) standardına uygun olarak yapılmıştır. Deney özetlenirse; silindirik numune şeklinde gösterilen cihaza yatay olarak yerleştirilir ve yük uygulanmaya başlanır. Yükleme doğrultusuna dik doğrultuda oluşan çekme gerilmesine bağlı olarak yük doğrultusunda çatlak oluşur. Basınç deneyi için kullanılan cihaz bu deney için de kullanılmıştır (Şekil 7).



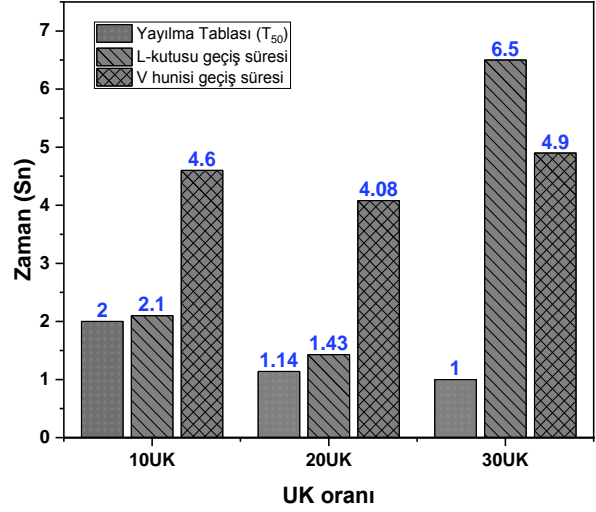
Şekil 7. Yarmada çekme deneyi.

3. Bulgular ve Tartışma

Tablo 4'te ve Şekil 8'de sonuçları yer alan KYB taze beton deneylerinde, uçucu kül miktarı arttıkça yayılma çapı değişimi az miktarda azalırken en düşük T50 süresi 30UK grubunda gözlemlenmiştir. Uçucu kül kullanımının belli bir orana kadar artışı ile KYB'nin yerleşme ve yayılma özelliğine olumlu katkı sağladığı bilinmektedir (Tohumcu ve Bingöl, 2013; Zhao ve ark., 2015; Benli ve Karataş, 2019). Deney sonuçlarına göre de uçucu kül arttıkça yayılma tablası deneyi baz alındığında işlenebilirlik artmaktadır.

L kutusu deneyinde 30UK karışımının KYB geçiş süresinin 20UK katkısına göre %350 kadar büyük bir oranda artırdığı ve yine bu deneyde ölçülen H1 seviyesinin uçucu kül katkı yüzdesi arttıkça azaldığı, H2 seviyesinin de katkı oranına bağlı olmaksızın yakın olduğu gözlemlenmiştir.

V hunisi KYB taze beton deneyinde en düşük geçiş süresi 30UK karışımından %16 kadar daha az olarak 20UK karışımında elde edilmiştir. Yayılma tablası T50 süresi, L kutusu ve V hunisi geçiş süreleri birlikte incelendiğinde L kutusu geçiş süresi ile V hunisi geçiş süresi arasında belirgin bir şekilde benzer olarak en iyi akıcılık 20UK karışımında gözlenmiştir. 30UK grubunda artışın sebebi olarak uçucu kül yüzdesinin %20'den fazla olması ile oluşabilecek topaklanmalar sonucunda L kutusundaki donatılar arasındaki akışta yavaşlama olduğu düşünülmektedir. KYB'lerin taze beton özelliklerinin belirlenmesinde nispeten deney sonuçları birbirine yakın çıkmasına ve ilişkili olmasına rağmen işlenebilirlik deneylerinin tümünün yapılması sonuç çıkarılması adına daha belirleyici olmuştur.



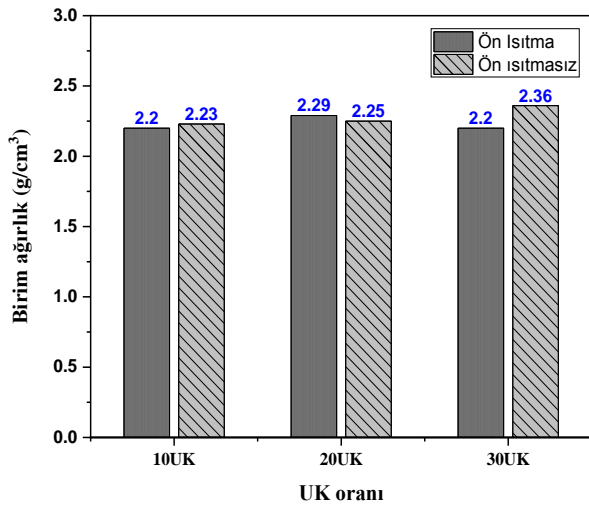
Şekil 8. KYB taze beton deneyleri.

Şekil 9'da verilen sertleşmiş beton birim ağırlık sonuçlarına göre, ön ısıtmasız numunelerde uçucu kül yüzdesi arttıkça birim ağırlık artarken 10UK ile 20UK karışımları arasında %0,9 ve 20UK ile 30UK karışımları arasında %5 lik birim ağırlık farkı olduğu gözlemlenmiştir. Katkı yüzdesine bağlı olmaksızın su kürü etkisinde kalan numunelerin birim ağırlıkları ön ısıtmalı numunelerden daha yüksek çıkmıştır. Ön ısıtmaya maruz kalan numunelerde 10UK ile 30UK karışımlarının birim ağırlıkları aynı çıkarken 20UK karışımlarda %4 lük farkla daha yüksek sonuç elde edilmiştir. Bu durum belirli bir oranda uçucu kül ilavesi ile daha az boşluklu ve daha yoğun bir kendiliğinden yerleşen beton elde edilebileceğini göstermektedir.

Tablo 4. KYB taze beton deney sonuçları

Deney metodu		10UK	20UK	30UK
Yayılma tablası	Ortalama	54,0	53,0	52,0
	Çap(cm)			
	T50(sn)	2,0	1,14	1,0
L-kutusu deneyi	Geçiş Süresi(sn)	2,1	1,43	6,5
	H ₁ (cm)	3,5	2,5	2,0
	H ₂ (cm)	8,0	7,8	7,9
V hunisi deneyi	Geçiş Süresi(sn)	4,6	4,1	4,9

UK= Çimento yerine kullanılan ağırlıkça uçucu kül yüzdesi.

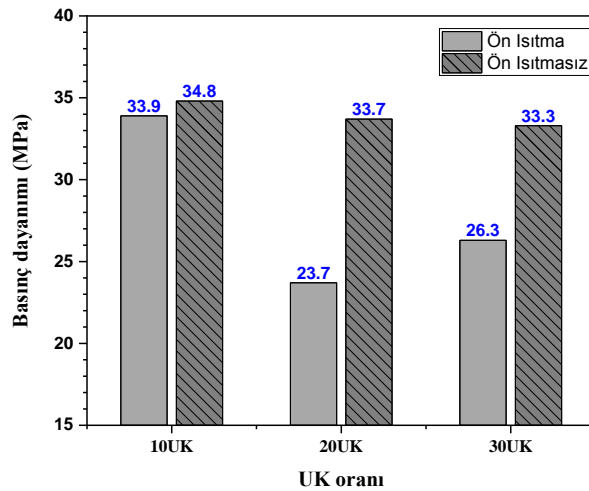


Şekil 9. Birim ağırlık sonuçları.

Tablo 5. KYB mekanik test sonuçları

Katkı Malzeme Oranı	Basınç Dayanımı (MPa)		Eğilmede Çekme Dayanımı (MPa)		Birim ağırlık (gr/cm³)		Yarmada Çekme Dayanımı (MPa)	
	Ön ısıtma	Su Kürü	Ön ısıtma	Su Kürü	Ön ısıtma	Su Kürü	Ön ısıtma	Su Kürü
	10UK	33,9	34,8	5,6	5,5	2,2	2,23	2,27
20UK	23,7	33,7	5,1	5,04	2,29	2,25	2,29	2,52
30UK	26,3	33,3	5,7	6,8	2,20	2,36	2,34	2,92

UK= Çimento yerine kullanılan ağırlıkça uçucu kül yüzdesi.



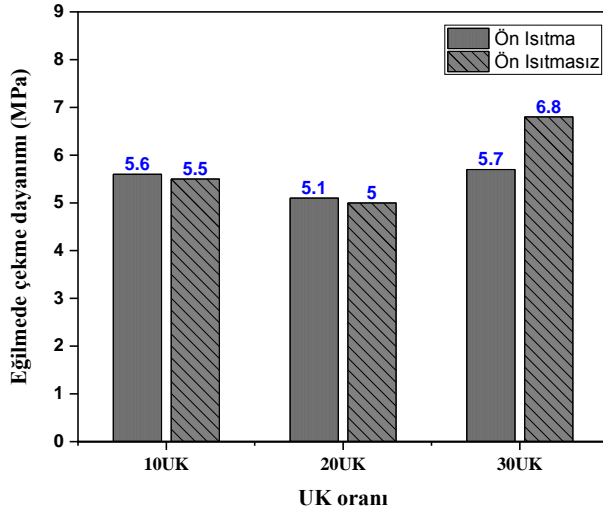
Şekil 10. Basınç dayanımı sonuçları

Eğilmede çekme dayanımı sonuçları (Tablo 5 ve Şekil 11) incelendiğinde, ön ısıtma olan ve olmayan gruplarda yakın değerlerde olduğu gözlemlenirken, ön ısıtmalı gruplarda en yüksek eğilmede çekme dayanımı 30UK karışımındaki numunelerde görülmüştür. En düşük eğilmede çekme dayanımına sahip olan 20UK karışımındaki numunelerle arasındaki dayanım farkının %11 olduğu belirlenmiştir. Eğilmede çekme dayanımında KYB'nin ön ısıtmalı ve sadece su kürüne maruz kalması sonucunda oluşan en büyük dayanım farkı 30UK karışımındaki numunelerde %16 oranında olduğu gözlemlenmiştir. KYB'de yüksek oranda uçucu kül

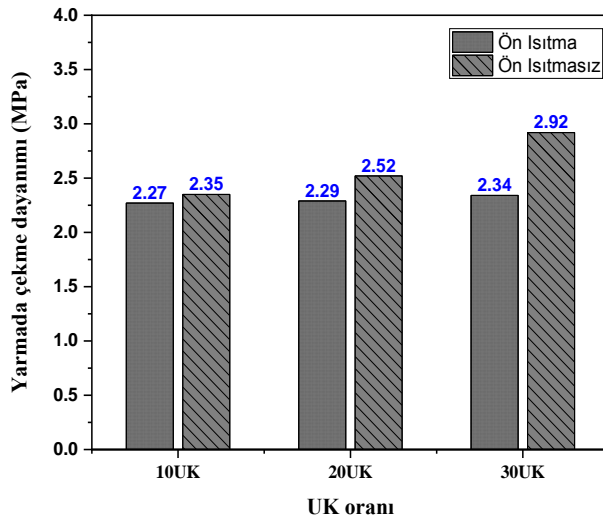
KYB betonlarının basınç dayanımı sonuçları (Tablo 5 ve Şekil 10) incelendiğinde karışımda kullanılan uçucu kül yüzdesi arttıkça basınç dayanımları; 10UK ile 20UK arasında %3, 20UK ile 30UK arasında %1 oranında azalma olup ön ısıtmaya maruz kalan numunelerde ve su kürü etkisindeki numunelerde en iyi basınç dayanımı sonucu 10UK karışımlarında elde edilmiştir. Bu azalmanın nedeni olarak; uçucu külün, betonun ileriki yaşlardaki dayanımına etkisinin fazla olması ve erken yaşlarda beton dayanımına negatif etki göstermesi şeklinde açıklanabilmektedir (Carette ve Malhotra, 1983; Bilodeau ve ark., 1989; Karataş ve Ulucan, 2007). Ön ısıtma etkisinde kalan KYB'lerde en düşük basınç dayanımı 20UK karışımında görülmüş olup 10UK karışımı ile arasındaki basınç dayanımı farkı %29 dur.

kullanılması (%30 oranı) ve bu betonun ön ısıtmaya maruz bırakılması sonucunda sıcaklığın oluşturduğu hidrasyon reaksiyonu ile eğilmede çekme dayanımlarında artışa neden olmaktadır. KYB'de yüksek oranda uçucu kül kullanılması (%30'a kadar) ve bu betonun ön ısıtmaya maruz bırakılması sonucunda oluşan eğilmede çekme dayanımlarındaki artışın nedeni sıcaklığın hidrasyon reaksiyonuna pozitif etkisi ile açıklanabilir).

Yarmada çekme dayanımı sonuçlarına bakıldığında (Tablo 5 ve Şekil 12) uçucu kül miktarı arttıkça yarmada çekme dayanımında artmıştır ve en fazla artış 20UK ile 30UK karışımları arasında olup %14 kadardır. Ön ısıtmasız numunelerin yarmada çekme dayanımı uçucu kül katkı yüzdesine bağlı olmaksızın ön ısıtmalı numunelere göre daha yüksek olup uçucu kül yüzdesinin artışına bağlı olarak yarmada çekme dayanımında arttığı görülmüştür. Yarmada ve eğilmede çekme dayanımı sonuçları karşılaştırıldığında her iki deneyde en yüksek dayanım, 30UK karışımında ön ısıtmasız numunelerde elde edilmiş olup benzer veriler elde edilmiştir.



Şekil 11. Eğilmede çekme dayanımı sonuçları.



Şekil 12. Yarmada çekme dayanımı sonuçları.

4. Sonuç

Farklı uçucu kül oranları ve ön ısıtmalı ısıtmasız kür metodu kullanılarak üretilen KYB beton numunelerinin taze beton işlenebilirlik özellikleri ile sertleşmiş beton mekanik testleri ve deneylerine dayanarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

1. Ön ısıtmasız numunelerde uçucu kül yüzdesi arttıkça birim ağırlık artarken, katkı yüzdesine bağlı olmaksızın su kürü etkisinde kalan numunelerin birim ağırlıkları ön ısıtmalılarından daha yüksek çıkmıştır.
2. Ön ısıtmasız numunelerin basınç dayanımı ön ısıtmalılarından daha yüksektir. En yüksek basınç dayanımı ön ısıtmasız ve ön ısıtmalı 10UK karışımındaki numunelerde gözlenmiştir.
3. Ön ısıtmalı ve ön ısıtmasız numuneler arasındaki basınç dayanımı farkı 20UK karışımında en yüksek iken, 30UK karışımındaki basınç dayanımı farkının ön ısıtmalı ile ön ısıtmasız numuneler arasında azaldığı belirlenmiştir.
4. Ön ısıtmalı numunelerde en düşük basınç dayanımı ve en yüksek birim ağırlık 20UK karışımında olduğu

belirlenmiştir. Bu durum ön ısıtmalı KYB'lerde yoğunluğun artışıyla basınç dayanımında düşüş olduğunu göstermektedir. Ayrıca ön ısıtmasız numunelerde uçucu kül katkı yüzdesi arttıkça basınç dayanımı kısmen azalırken birim ağırlıkları artmıştır.

5. Ön ısıtmalı 10UK ve 20UK karışımlarının eğilmede çekme dayanımları, ön ısıtmasız numunelerden daha yüksektir.
6. Numunelerin yarmada çekme dayanımı uçucu kül katkısı arttıkça artarken, her iki çekme dayanımı için en iyi sonuçlar 30UK karışımında gözlenmiştir.
7. En iyi yayılma çapı 10UK karışımında elde edilmiştir.
8. Yayılma tablası T50 süresi, L kutusu ve V hunisi geçiş süreleri birlikte incelendiğinde L kutusu geçiş süresi ile V hunisi geçiş süresi arasında belirgin bir şekilde benzer olarak en iyi akıcılık 20UK karışımında gözlenmiştir.
9. L kutusu deneyinde H1 seviyesi uçucu kül miktarı arttıkça azalırken H2 seviyesinin ise büyük oranda değişmediği belirlenmiştir.
10. Eğilmede çekme dayanımı her iki kür şartında uçucu kül yüzdesi arttıkça artarken, taze beton deneylerinden T50 süresi ise katkı yüzdesi arttıkça azalmaktadır. Böylece uçucu kül yüzdesinin artışı eğilmede çekme dayanımını yükseltirken daha akıcı beton elde edilmesini de sağladığı belirlenmiştir.

Sonraki çalışmalarda;

- Ön ısıtma ile farklı kür sıcaklıklarına farklı sürelerle maruz kalan farklı oranlarda uçucu kül katkılı ve/veya farklı puzolanlı KYB'lerin performans özellikleri incelenmesi,
- Ön ısıtma uygulanarak üretilen KYB'lerin erken ve ileri yaşlarda içyapı analizlerinin yapılması, mekanik ve durabilite özelliklerinin belirlenmesi önerilmektedir.

Katkı Oranı Beyanı

Tüm yazarlar eşit katkı oranına sahiptir ve yazarlar makaleyi inceleyip onaylamıştır.

Çatışma Beyanı

Yazarlar bu çalışmada hiçbir çıkar ilişkisi olmadığını beyan etmektedirler.

Kaynaklar

- Anonim. 2007. Pamuk toplama makinası tarihçesi. John Deere Pamuk Toplama Makinası ve Makinalı Pamuk Hasadı Semineri, Seyhan / Adana. 08 Mart 2007.
- Akgül M, Doğan O, Etili S. 2020. Farklı çimento ile üretilen granül atık kauçuk agregaların ikame edilmiş kendiliğinden yerleşen beton harcının mekanik özelliklerinin incelenmesi. Int J Eng Res and Devel, 12(2): 787-798.
- Alameri I, Oltulu M, Ardahanlı M. 2019. Effect of early-age temperature on the behavior of concrete containing silica fume. 3rd International Conference on Advanced Engineering Technologies, September, 19-21, 2019, Bayburt, Turkey.
- Alameri I, Oltulu M, Ardahanlı M. 2020. Influence of preheating

- on the mechanical properties of high strength concrete with micro silica filler. *Bilecik Şeyh Edebali Üniv Fen Bil Derg*, 7(2): 1084-1093.
- ASTM C 618. 2019. Standard specification for coal fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use in concrete. American Society For Testing and Materials, 2019.
- Benli A, Karatas M. 2019. Uçucu kül ve silis dumanı ikameli üçlü karışımlardan üretilen kendiliğinden yerleşen harçların durabilite ve dayanım özellikleri. *DÜMF Mühendislik Derg*, 10: 335-345.
- Bilodeau A, Carette GG, Malhotra VM. 1989. Mechanical properties of non-air-entrained high strength concrete incorporating supplementary cementing materials. CANMET, Energy, Mines and Resources, Canada, USA.
- Carette GG, Malhotra VM. 1983. Earlyage strength development of concrete incorporating fly ash and condensed silica fume. First CANMET/ACI International Conference on the Use of Fly Ash, Silica Fume, Slag and Other Minerals Byproducts in Concrete, Detroit, USA.
- Doğan O, Akgül M. 2020. Donatı korozyonunun betonarmenin durabilite ve aderansına etkisi. *Anadolu 5. Uluslararası Uygulamalı Bilimleri Kongresi*, 251-264, 26-27 Aralık 2020, Diyarbakır.
- Han F, He X, Zhang Z, Liu J. 2017. Hydration heat of slag or fly ash in the composite binder at different temperatures. *Thermochimica Acta*, 655: 202-210.
- Kannan V. 2018. Strength and durability performance of self compacting concrete containing self-combusted rice husk ash and metakaolin. *Const and Building Mat*, 160: 169-179.
- Karataş M, Ulucan ÇZ. 2007. F sınıfı uçucu kül içeren kendiliğinden sıkışan betonda karışım süresinin işlenebilirliğe etkisi. *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları*, 2007: 69-72.
- Kim JK, Han SH, Song YC. 2020. Effect of temperature and aging on the mechanical properties of concrete: Part I. Experimental results. *Cement and Concrete Res*, 32(7): 1087-1094.
- Lin Y, Hsiao C, Yang H, Lin YF. 2011. The effect of post-fire-curing on strength-velocity relationship for nondestructive assessment of fire-damaged concrete strength. *Fire Safety J*, 46(4): 178-185.
- Okamura H, Ouchi M. 2003. Self-compacting concrete. *J Adv Concrete Tech*, 1(1): 5-15.
- Oltulu M, Alameri I. 2019. The mechanical properties of concrete with red mud (bauxite residue) and nano-al₂o₃ at high temperatures. *Fresenius Environ Bull*, 28: 4692-4701.
- Schachinger I, Hilbig H, Stengel T, Fehling E. 2008. Effect of curing temperature at an early age on the long-term strength development of UHPC. 2nd International Symposium on Ultra High Performance Concrete, Kassel University Press GmbH, Kassel, Germany, 2008: 205-213.
- Son HN, Hosoda A. 2010. Detection of microcracking in concrete subjected to elevated temperature at very early age by acoustic emission. *J Adv Concrete Tech*, 8(2): 201-211.
- Tohumcu İ, Bingöl AF. 2013. Silis dumanı ve uçucu kül katkılı kendiliğinden yerleşen betonların taze beton özellikleri ve basınç dayanımları. *Deü Müh Fak Müh Bil Derg*, 15(2): 31-44.
- Topçu İB, Bilir T, Baylavlı H. 2008. Kendiliğinden yerleşen betonun özellikleri. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Müh Mim Fak Derg*, 21(1): 1-22.
- TS EN 12350-6, 2010. Beton- taze beton deneyleri- bölüm 6: yoğunluk. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12390-3, 2010. Beton-sertleşmiş beton deneyleri-bölüm 3: deney numunelerinin basınç dayanımını tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12390-5, 2010. Beton - sertleşmiş beton deneyleri - bölüm 5: deney numunelerinin eğilme dayanımının tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12390- 6, 2010. Beton - sertleşmiş beton deneyleri - bölüm 6: deney numunelerinin yarmada çekme dayanımının tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 197-1, 2012. Çimento - bölüm 1: genel çimentolar - bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 450-1, 2013. Uçucu kül - betonda kullanılan - bölüm 1: tarif, özellikler ve uygunluk kriterleri. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 196-1, 2016. Çimento deney metotları - bölüm 1: dayanım tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 206:2013+A1, 2017. Beton - özellik, performans, imalat ve uygunluk. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Zhao H, Sun W, Wu X, Gao B. 2015. The properties of the self-compacting concrete with fly ash and ground granulated blast furnace slag mineral admixtures. *J Cleaner Prod*, 95: 66-74.