

Farklı kür yöntemlerinin uçucu kül içeren harçların eğilme ve basınç dayanımına etkisi

Effect of different curing conditions on flexural and compressive strength of fly ash mortars

Şemsi YAZICI^{1*}, Gözde İNAN SEZER¹

¹İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Ege Üniversitesi, İzmir, Türkiye.

semsiyazici@gmail.com, aginan@gmail.com

Geliş Tarihi/Received: 21.04.2015, Kabul Tarihi/Accepted: 11.08.2015

* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2015.46547

Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Bu çalışmada; farklı miktarlarda uçucu kül içeren harçların erken yaşlardaki basınç ve eğilme dayanımlarına hızlandırılmış kür uygulamalarının etkisi incelenmiştir. Harç karışımlarında; bağlayıcı olarak CEM I 42.5 R tip çimento ve değişik oranlarda C sınıfı uçucu kül kullanılmıştır. Üretilen harçlardan 40/40/160 mm ayrıtlı prizmatik örnekler dökülerek 7 farklı kür uygulamasına tabi tutulmuştur. Kür uygulamaları standart kür, 35 °C ve 85 °C'de sıcak su kürü şeklinde ve farklı sürelerde yapılmıştır. Uygulanan kür işlemleri sonrasında harç örnekler üzerinde ortadan tekil yüklemeli eğilme ve eğilme sonrası tek eksenli basınç deneyleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda; standart kür koşulları altında uçucu kül ikamesinin erken yaşta oluşturduğu basınç dayanım kaybının sıcak su kürü uygulaması ile telafi edilebileceği görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Kür koşulu, Uçucu kül, Dayanım

Abstract

In this study the effect of accelerated curing on the early flexural and compressive strengths of fly ash mortars were investigated. In the mortar mixtures CEM I 42.5 R type cement and C class C fly ash with different proportions were used. 40/40/160 mm prismatic specimens were prepared from these mortars. The mortar samples cured at 7 different curing conditions. Curing conditions are standard curing, 35 °C and 85 °C hot water curing. These curing conditions applied on specimens for different times. Flexural and compressive strengths were performed on the mortar specimens. Obtained test results were comparatively evaluated. The results of this study revealed that, early age strength gain under standard curing conditions due to fly ash inclusion can be compensated by accelerated curing.

Keywords: Curing condition, Fly ash, Strength

1 Giriş

İnşaat Mühendisliği alanında bilindiği gibi en çok kullanılan malzemelerden birisi betondur. Betonarme yapılarda projelendirme sırasında; betonun 28 günlük dayanımı esas alınmaktadır. Beton 7 günlükken 28 günlük dayanımının yaklaşık olarak %70'ini tamamlar. 28 günlükken ise beklenen dayanıma ulaşması gerekir [1]. Günümüzdeki inşaat teknolojisi göz önüne alındığında 28 günlük kür süresi uzun bir bekleme süresi anlamına gelmektedir. Özellikle erken beton dayanımına ihtiyaç olduğu yerlerde; prefabrik yapılarda, hızlı ve pratik inşaat yapılarında betonun daha erken yaşta 28 günlük dayanımının önemli bir bölümünü kazanmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

Yerine yerleştirilen betonun dayanımının zaman içindeki artışı çimento ile su arasında gerçekleşen kimyasal reaksiyonların bir sonucudur. Sıcaklık ve nemin yeterli olmadığı hallerde bu kimyasal reaksiyonlar yavaşlamakta ve beton istenilen dayanım seviyesine daha uzun zamanda ulaşmaktadır. Betonarme yapılar inşa edilirken bu dayanım kaybını engellemek için beton yüzeyini sulamak, ıslak kum, talaş sermek, katkı kullanmak, beton yüzeyini polietilen tabakalarla kaplamak gibi bazı kür yöntemleri uygulanmaktadır. Fakat bu kür metotları daha çok beton döküldükten sonra meydana gelebilecek dayanım kayıplarını önlemek amacıyla uygulanır [1]-[3]. Betona ve harca erken yaşlarda mekanik özellik kazandırabilmek için de değişik kür yöntemleri geliştirilmiştir. Bu yöntemler arasında en çok bilinenler; sıcak su, kaynar su, yüksek sıcaklık ve basınçta (otoklav yöntemi) kür yöntemleridir [1]-[4].

İçerisinde uçucu kül, granüle yüksek fırın cürufu gibi mineral katkıların bulunduğu betonlar için kürlenme normal betona göre çok daha önemlidir. Bu tip betonların erken dayanımları düşük olduğundan uzun süre dikkatli şekilde kür edilmeleri dayanım ve dayanıklılık özellikleri açısından büyük önem taşımaktadır [1]-[3],[5]-[8].

Bu çalışmada; çimento yerine farklı oranlarda uçucu kül ikame edilmiş harçların erken yaşlardaki dayanım gelişimine değişik hızlandırılmış kür uygulamalarının etkisi incelenmiştir. Bu amaçla; farklı kür yöntemleri uygulanan harç örneklerinin eğilme ve basınç dayanımları belirlenerek uçucu kül içermeyen kontrol karışımı ile karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

2 Deneysel çalışma

2.1 Malzemeler

Bu çalışmada CEM I 42.5 R tipi çimento kullanılmıştır. Çimentonun özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Harç karışımlarının hazırlanmasında 0-5 mm kırma kireçtaşı kullanılmıştır. Kırma kireçtaşı agregasının elek analizi ve bazı fiziksel özellikleri Tablo 2'de sunulmuştur.

Deneysel çalışmada Soma Termik Santralinden alınmış, Blaine inceliği 2351 cm²/g olan C sınıfı uçucu kül kullanılmıştır. Uçucu kül harç karışımlarında kütlece %0, 20, 30 ve 40 oranlarında çimento yerine ikame edilmiştir. Çalışmada kullanılan uçucu külün (UK) kimyasal özellikleri Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 1: Çimentonun özellikleri.

Kimyasal kompozisyon %	CEM I 42.5 R
SiO ₂	19.5
Al ₂ O ₃	5.6
Fe ₂ O ₃	2.3
CaO	63.7
MgO	1.1
Na ₂ O	0.3
K ₂ O	0.85
SO ₃	2.73
Kızdırma Kaybı	4.05
Serbest CaO	0.88
Fiziksel Özellikler	
Özgül Ağırlık	3.13
Özgül Yüzey (cm ² /g)	3670
0.09 mm elek üstü (%)	0.7
0.032 mm elek üstü (%)	18.2
Hacim Sabitliği (mm)	1
Basınç Dayanımı (MPa)	
2 günlük	27.6
7 günlük	42.7
28 günlük	58.0

Tablo 2: Agreganın özellikleri.

Elek açıklığı (mm)	Geçen (%)
8	100
4	95
2	63
1	46
0.5	30
0.25	17
Fiziksel özellikler	
Özgül ağırlık (kyd)	2.62
Su emme oranı (%)	1.42
Gevşek birim ağırlık (kg/m ³)	1689

Tablo 3: Uçucu külün kimyasal özellikleri.

Bileşenler	İçerik (%)
SiO ₂	45.98
Al ₂ O ₃	23.55
Fe ₂ O ₃	4.91
CaO	18.67
MgO	1.54
Na ₂ O	0.24
K ₂ O	1.80
SO ₃	1.47
Kızdırma Kaybı	2.31
Cl ⁻	0.0053
Serbest CaO	0.64

2.2 Metot

Çalışmada 1 adet kontrol, 3 adette uçucu kül içeren toplam 4 adet standart harç karışımı hazırlanmıştır. Uçucu küllü harç karışımlarında (UK20, UK30 ve UK40) uçucu kül %20, 30 ve 40 oranında çimento yerine kullanılarak 40x40x160 mm ölçülerinde prizmatik örnekler hazırlanmıştır.

Hazırlanan harç örneklere 7 farklı kür yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntemler ve uygulama süreleri Tablo 4'te verilmiştir. 35 °C ve 85 °C'de kür uygulamalarında örnekler dökümden yaklaşık olarak 4 saat sonra naylon poşetlere konularak bekletilmiştir. Daha sonra yaklaşık olarak 20 °C/saat hızla ısıtılarak bahsedilen kür sıcaklığına getirilerek 35 °C'de 17 saat 85 °C'de 3.5 saat bekletilmiştir. Daha sonra yaklaşık olarak 2 saat süre ile kendi kendine soğumaya bırakılarak kür

çevrimi tamamlanmıştır. Çalışmada seçilen kür sıcaklıkları hızlandırılmış kür uygulamalarında genelde uygulanan en düşük ve en yüksek kür sıcaklıklarının uçucu küllü harçların erken yaştaki basınç dayanımına etkilerini daha belirgin olarak görebilmek hedeflenmiştir. Tüm kür uygulamaları sonunda harç örnekleri TS EN 196-1 [9] standardına uygun olarak ortadan tekil yüklemeli eğilme deneyine ve eğilme sonrası tek eksenli basınç deneyine tabi tutulmuştur.

Tablo 4: Uygulanan kür yöntemleri.

Kür tipi	Kür uygulama süresi ve yöntemi
A	1 gün standart kür
B	7 gün standart kür
C	28 gün standart kür
D	1 gün 35 °C 'de suda kür
E	1 gün 35 °C 'de suda kür + 27 gün standart kür
F	3.5 saat 85 °C 'de suda kür
G	3.5 saat 85 °C'de suda kür + 1 saat oda sıcaklığında bekletme + toplam 28 gün tamamlanincaya kadar sürede standart kür

3 Bulgular ve tartışma

3.1 Eğilme dayanımı sonuçları

Çalışma kapsamında üretilen harçların eğilme deneyi sonuçları Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5: Eğilme dayanımı deney sonuçları.

Karışım adı	Eğilme dayanımları (MPa)						
	A	B	C	D	E	F	G
Kontrol	5.40	8.30	10.70	7.50	9.15	7.75	10.12
UK20	4.10	6.50	9.50	5.90	8.60	6.28	9.30
UK30	3.90	6.20	9.10	4.15	8.10	4.45	8.71
UK40	2.80	4.80	8.10	3.36	7.52	4.10	7.80

Tablo 5'teki sonuçlar incelendiğinde, A tipi kür uygulamasında kür edilmiş harçlarda eğilme dayanımlarının 2.8 MPa ile 5.4 MPa arasında, B tipi kür uygulamasında eğilme dayanımlarının 4.8 MPa ile 8.3 MPa arasında, C tipi kür uygulamasında eğilme dayanımlarının ise 8.1 MPa ve 10.7 MPa arasında değiştiği görülmektedir.

D kürü uygulamasına tabi tutulan harç örneklerinin eğilme dayanımlarının 3.36 MPa ile 7.5 MPa arasında değiştiği Tablo 5'ten görülmektedir. Bu kür uygulamasında 1 günlük en yüksek eğilme dayanımı kontrol harcında, en düşük eğilme dayanımı ise çimento yerine %40 uçucu kül kullanılan UK40 harcında elde edilmiştir. Aynı kür koşulunda standart küre kıyasla örneklerin 1 günlük eğilme dayanımlarının %6 ile %44 arasında değişen oranlarda daha yüksek değerler aldığı anlaşılmaktadır. Bu kür uygulaması ile tüm harçlara standart küre kıyasla daha yüksek erken dayanım kazandırıldığı tespit edilmiştir.

Yine Tablo 5'teki verilerden E tipi kür uygulamasına tabi tutulan harç örneklerde eğilme dayanımlarının 7.52 MPa ile 9.15 MPa arasında değiştiği görülmektedir. Bu kür koşulunda standart küre kıyasla örneklerin 28 günlük eğilme dayanımları %7 ile %14 arasında değişen oranlarda daha düşük değerler almıştır.

F tipi kür uygulamasına tabi tutulan harç örneklerde eğilme dayanımları 4.1 MPa ile 7.75 MPa arasında değişmektedir. Bu kür koşulunda standart küre kıyasla örneklerin 1 günlük eğilme dayanımlarının %14 ile %53 arasında değişen oranlarda daha yüksek değerler aldığı tespit edilmiştir.

G tipi kür uygulamasına tabi tutulan harç örneklerde eğilme dayanımları 7.8 MPa ile 10.12 MPa arasındadır. Bu kür koşulu için standart küre kıyasla örneklerin 28 günlük eğilme dayanımlarının %2 ile %4 arasında değişen oranlarda daha düşük değerler aldığı görülmüştür.

Standart kür koşulunda kürlenmiş kontrol harcının 28 günlük eğilme dayanımlarının 35 °C'de kür uygulaması ile %70'ini, uçucu kül içeren örneklerde ise %42 ile %62'sini kazandığı görülmektedir. 85 °C'de kür uygulamasında ise kontrol numunesinin eğilme dayanımının %72'sini, uçucu kül içeren örneklerin ise %51 ile %66'sını kazandığı tespit edilmiştir.

3.2 Basınç dayanımı sonuçları

Çalışma kapsamında üretilen harçların basınç deneyi sonuçları Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6: Basınç dayanımı deney sonuçları.

Karışım adı	Basınç dayanımları (MPa)						
	A	B	C	D	E	F	G
Kontrol	14.1	32.7	42.8	23.6	37.6	27.1	39.8
UK20	12.6	30.2	39.5	17.4	36.8	19.4	38.6
UK30	11.0	25.8	33.6	13.5	29.7	15.3	33.5
UK40	7.5	24.9	33.4	10.5	29.3	13.7	31.9

Tablo 6'daki sonuçlar incelendiğinde; basınç dayanımlarının A tipi kür uygulamasında 7.5 MPa ile 14.1 MPa arasında, B tipi kür uygulamasında 24.9 MPa ile 32.7 MPa arasında, C tipi kür uygulamasında ise 33.4 MPa ve 42.8 MPa arasında değiştiği görülmektedir.

D kürü uygulamasına tabi tutulan harç örneklerinin basınç dayanımlarının 10.5 MPa ile 23.6 MPa arasında değiştiği Tablo 6'da görülmektedir. Bu kür koşulunda standart küre kıyasla örneklerin 1 günlük basınç dayanımlarının %23 ile %67 arasında değişen oranlarda daha yüksek değerler aldığı anlaşılmaktadır. Bu kür uygulaması ile tüm harçlara standart küre kıyasla daha yüksek erken dayanım kazandırılmıştır.

E tipi kür uygulamasına tabi tutulan harç örneklerde basınç dayanımlarının 29.3 MPa ile 37.6 MPa arasında değiştiği görülmektedir. Bu kür koşulunda standart küre kıyasla örneklerin 28 günlük basınç dayanımlarının %7 ile %12 arasında değişen oranlarda daha düşük değerler aldığı belirlenmiştir.

F tipi kür uygulamasına tabi tutulan harç örneklerde basınç dayanımları 13.7 MPa ile 27.1 MPa arasında değişmektedir. F tipi kür uygulaması ile standart küre kıyasla örneklerin 1 günlük basınç dayanımlarının %39 ile %92 arasında değişen oranlarda daha yüksek değerler aldığı tespit edilmiştir.

G tipi kür uygulamasına tabi tutulan harç örneklerde basınç dayanımları 31.9 MPa ile 39.8 MPa arasındadır. Bu kür koşulu için standart küre kıyasla örneklerin 28 günlük basınç dayanımlarının %7'ye varan oranlarda daha düşük değerler aldığı görülmüştür.

Standart kür koşulunda kürlenmiş kontrol harcının 28 günlük basınç dayanımlarının 35 °C'de kür uygulaması ile %55'ini,

uçucu kül içeren örneklerde ise %31 ile %44'ünü kazandığı görülmektedir. 85 °C'de kür uygulamasında ise kontrol numunesinin eğilme dayanımının %63' ünü, uçucu kül içeren örneklerin ise %41 ile %49'unu kazandığı tespit edilmiştir.

Tüm kür koşulları için kontrol harcı en yüksek eğilme ve basınç dayanımı değerlerini vermektedir. Uçucu kül içeren harç karışımlarının eğilme ve basınç dayanımları uçucu kül miktarının artışıyla birlikte düşmektedir.

Erken eğilme ve basınç dayanımı açısından sıcak su kürü uygulanan harç örneklerinin dayanım kazanımlarının standart küre kıyasla daha yüksek olduğu görülmüştür. Uygulan sıcak su kür yöntemleri içerisinde 85 °C'deki kürün 35 °C'deki küre kıyasla daha etkili dayanım artışı sağladığı tespit edilmiştir.

Değişik koşullarda kür edilen harç örneklerin 28 günlük eğilme ve basınç dayanımlarına bakıldığında, sıcak su kürü uygulamalarının standart küre kıyasla dayanımlarda düşüşe sebep olduğu anlaşılmaktadır. Bu düşüş 35 °C'de kür edilen örneklerde 85 °C'de kür edilenlere kıyasla daha fazla oluşmuştur. Bu olayın nedeni olarak da yüksek sıcaklık etkisinde başlangıçta oluşan C-S-H jelinin homojen dağılımının bozulması ve bunun sonucu olarak boşluk miktarının artmasıyla dayanımda düşüşe yansımaları olarak sayılabilir [1]-[3].

Uçucu kül ikamesinin standart kürde erken yaşta oluşturduğu basınç dayanım kaybının sıcak su kürü uygulaması ile telafi edilebileceği görülmüştür [3].

4 Sonuçlar

Yapılan bu çalışmada kullanılan malzemelerin özelliklerine ve oranlarına bağlı olarak aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

Deneyel çalışmada denenen 7 farklı kür süresi ve koşulu için; kontrol harcı en yüksek eğilme ve basınç dayanımı değerlerini verirken, en düşük eğilme ve basınç dayanımı değerlerini %40 oranında uçucu kül içeren UK40 karışımı vermiştir.

Değişik koşullarda kür edilen harç örneklerinin eğilme ve basınç dayanımlarına bakıldığında; sıcak su kürü uygulamalarının standart küre kıyasla 1 günlük dayanımlarda artışa, 28 günlük dayanımlarda ise düşüşe sebep olduğu tespit edilmiştir.

Uygulanan sıcak su kür yöntemleri içerisinde 85 °C'deki kürün 35 °C'deki küre kıyasla daha etkili dayanım artışı sağladığı anlaşılmıştır.

Uçucu kül ikamesinin standart kürde erken yaşta oluşturduğu basınç dayanımı kaybının sıcak su kürü uygulaması ile telafi edilebileceği de görülmüştür.

Sıcak su kürü uygulamaları ile harçlara standart kür koşulundaki 28 günlük eğilme dayanımlarının %72'si, basınç dayanımlarının ise %63'ünün kazandırılacağı tespit edilmiştir.

Çalışmadan elde edilen sonuçlar kullanılan UK ve çimento için geçerlidir. UK ve çimento özelliklerindeki değişimlerin elde edilen sonuçlarda farklılıklar yaratabileceği göz ardı edilmemelidir.

5 Kaynaklar

- [1] Erdoğan TY. *Beton*. Ankara, Türkiye, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim AŞ. Yayını, 2003.
- [2] Mindess S, Young JF. *Concrete*. New Jersey, USA, Prentice-Hall, 1981.

- [3] Baradan B, Türkel S, Yazıcı H, vd. *Beton*. İzmir, Türkiye, DEU Mühendislik Fakültesi Yayınları, 2012.
- [4] Bingöl AF, Tohumcu İ. "Effects of different curing regimes on the compressive strength properties of self compacting concrete incorporating fly ash and silica fume". *Materials & Design*, 51, 12-18, 2013.
- [5] Ramezaniyanpour AA, Khazali MH, Vosoughi P. "Effect of steam curing cycles on strength and durability of SCC: A case study in precast concrete". *Construction and Building Materials*, 49, 807-813, 2013.
- [6] Özkul MH. "Efficiency of accelerated curing in concrete". *Cement and Concrete Research*, 31(9), 1351-1357, 2001.
- [7] Al-Gahtani AS. "Effect of curing methods on the properties of plain and blended cement concretes". *Construction and Building Materials*, 24(3), 308-314, 2010.
- [8] Ramezaniyanpour AA. "Effect of curing on the compressive strength, resistance to chloride-ion penetration and porosity of concrete incorporating slag, fly ash or silica fume". *Cement and Concrete Composite*, 17(2), 125-133, 1995.
- [9] TS EN 196-1. "Çimento Deney Metotları- Bölüm 1: Dayanım". Ankara, Türkiye, 2002.