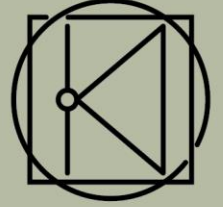




KUJES
KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ



**MÜHENDİSLİK
VE FEN BİLİMLERİ
DERGİSİ**

**JOURNAL OF
ENGINEERING
& SCIENCES**



**Kastamonu Üniversitesi
Mühendislik ve Fen Bilimleri
Dergisi**



**Kastamonu University
Journal of
Engineering and Science**

Kastamonu Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi Hakemli bir dergidir ve yılda 2 defa yayınlanır

Cilt: 2	No:2	Aralık 2016	Vol: 2	Issue: 2	December 2016	ISSN 2149-4037 E-ISSN
---------	------	-------------	--------	----------	---------------	--------------------------

Sahibi: Prof. Dr. Seyit AYDIN Rektör	Owner: Prof. Dr. Seyit AYDIN Rector
Genel Yayın Yönetmeni: Prof. Dr. Naci TÜZEMEN Dekan	General Publishing Manager: Prof. Dr. Naci TÜZEMEN Dean
Editör: Prof. Dr. Savaş CANBULAT	Editor: Prof. Dr. Savaş CANBULAT
Alan Editörleri	Field Editors
Yrd. Doç. Dr. Çiğdem SAKICI, (Peyzaj Mimarlığı)	Assist. Prof. Dr. Çiğdem SAKICI (Landscape Architecture)
Prof. Dr. İzzet ŞENER (Gıda Mühendisliği)	Prof. Dr. İzzet ŞENER (Food Engineering)
Yrd. Doç. Dr. Serkan ISLAK (Kimya Mühendisliği)	Assist. Prof. Dr. Serkan ISLAK (Chymistry Engineering)
Doç. Dr. Mehmet Cengiz BALOĞLU (Genetik ve Biyomühendislik)	Assoc. Prof. Dr. Mehmet Cengiz BALOĞLU, (Genetics and Bioengineering)
Prof. Dr. Fatma KANDEMİRLİ (Biyomedikal Mühendisliği)	Prof. Dr. Fatma KANDEMİRLİ (Biomedical Engineering)
Yrd. Doç. Dr. Özkan ESKİ (Makina Mühendisliği)	Yrd. Doç. Dr. Özkan ESKİ (Machina Engineering)
Yrd. Doç. Dr. Seçil KARATAY (Elektrik ve Elektronik Mühendisliği)	Assist. Prof. Dr. Seçil KARATAY (Electrical and Electronics Engineering)
Prof. Dr. Özkan KÜÇÜK (Malzeme Bilimi ve Nanoteknoloji Mühendisliği)	Prof. Dr. Özkan KÜÇÜK (Materials Science and Nanotechnology Engineering)
Yrd. Doç. Dr. Selçuk MEMİŞ (İnşaat Mühendisliği)	Assist. Prof. Dr. Selçuk MEMİŞ (Construction Engineering)
Yrd. Doç. Dr. Aydın TÜRKYILMAZ (Çevre Mühendisliği)	Assist. Prof. Dr. Aydın TÜRKYILMAZ (Environmental Engineering)
Yrd. Doç. Dr. Yasemin GÜLTEPE (Bilgisayar Mühendisliği)	Assist. Prof. Dr. Yasemin GÜLTEPE (Computer Engineering)
Prof. Dr. Yaşar BOLAT (Matematik)	Prof. Dr. Yaşar BOLAT (Mathematics)
Prof. Dr. Atif ÇETİNER (Fizik)	Prof. Dr. Atif ÇETİNER (Physics)
Doç. Dr. Talip ÇETER (Biyoloji)	Doç. Dr. Talip ÇETER (Biology)
Yrd. Doç. Dr. Halit MUĞLA (Kimya)	Assist. Prof. Dr. Halit MUĞLA (Chmistry)



Cilt: 2	No:2	Aralık 2016	Vol: 2	Issue: 2	December 2016	ISSN 2149-4037 E-ISSN
---------	------	-------------	--------	----------	------------------	--------------------------

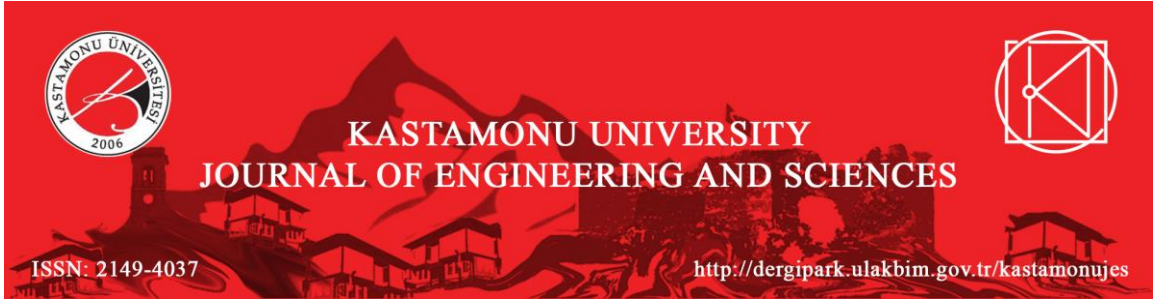
Bu Sayının Hakem Listesi Doç. Dr. Hasbi YAPRAK Yrd. Doç. Dr. Gökhan ŞEKER	This Issue of the Referee Assoc. Prof. Dr. Hasbi YAPRAK Assist. Prof. Dr. Gökhan ŞEKER
Dizgi Sorumluları: Araş. Gör. Kaan İŞINKARALAR Araş. Gör. Hatice Bike İÇEN	Compositors: Res. Assist. Kaan İŞINKARALAR Res. Assist. Hatice Bike İÇEN
Kastamonu Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi 37100- Kastamonu / TÜRKİYE Tel: +(90)366 2802901 Fax: +(90)366 2802900 Web: http://dergipark.ulakbim.gov.tr/kastamonujes e-mail:	
Bu dergi yılda iki defa yayınlanır. (Haziran-Aralık)	This journal is published two times in a year. (June-December)
Kastamonu University Journal of Engineering and Science Indexed and Abstracted in: Dergipark	



Cilt: 2	No:2	Aralık 2016	Vol: 2	Issue: 2	December 2016	ISSN 2149-4037 E-ISSN
---------	------	-------------	--------	----------	------------------	--------------------------

İÇİNDEKİLER/ CONTENTS

Demir Oksit Katkılı Pigmentler Kullanılarak Üretilen Cam Lifi Takviyeli Mimari Betonların Donma-Çözülme Dayanıklılığının İncelenmesi	Gökhan Kaplan, S. Alper Yıldızıl, A. Uğur Öztürk, Erkan Doğan	1-9
--	--	-----



Demir Oksit Katkılı Pigmentler Kullanılarak Üretilen Cam Lifi Takviyeli Mimari Betonların Donma-Çözülme Dayanıklılığının İncelenmesi

Gökhan Kaplan^{*1}, S. Alper Yıldız², A. Uğur Öztürk², Erkan Doğan²

^{*1}Kastamonu Üniversitesi, Kastamonu MYO, Kastamonu/TÜRKİYE

²Manisa Celal Bayar Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Manisa/TÜRKİYE

ARTICLE INFO

Received: October: 22.2016

Reviewed: November: 25.2016

Accepted: December: 16. 2016

Keywords:

Fiberglass,
Pigment,
Architectural Concrete,
White cement,
Durability,

Corresponding Author:

*E-mail: gkaplan@kastamonu.edu.tr

ABSTRACT

Use of pigments in concrete production is an architectural design element which is produced as a response to the unaesthetic outlook of traditional concrete. White cement and powder pigments are used in order to produce architectural concrete. However the use of pigments in concrete production offers an aesthetical look, it has some physical disadvantages such as efflorescence and low processability. Today, it is common to use pigments in concrete and reinforced concrete design. Colored concretes were produced under laboratory conditions with the addition of fiberglass (2.5% in volume) and pigments (brown, yellow, black and red) into white cement in this study. The concretes obtained are inspected for their pressure resistance and their freeze-thaw resistance. It was found that brown, yellow and black pigments contributed to the pressure resistance yet the red pigment had an adverse effect on the pressure resistance resulting in loss of resistance. It is clear that the use of red pigments in architectural mortar design and production requires extended attention to the process. In case of the use of fiberglass, mechanical properties of the concrete improve, yet their freeze-thaw resistance is impaired. Therefore, compression methods gain importance for fiberglass reinforced concrete. The experimental study showed that the gap structure in architectural concrete applications plays an important role in terms of durability.

ÖZET

Anahtar Kelimeler:

Cam lifi,
Pigment,
Mimari beton,
Beyaz çimento,
Durabilite

Beton üretiminde pigment kullanımı geleneksel betonun estetik olmayan görüntüsüne karşı üretilmiş mimari tasarım ürünüdür. Mimari beton üretiminde beyaz çimento ve toz özellikteki pigment katkıları kullanılmaktadır. Beton üretiminde pigment kullanımı estetik görünüm sağlamasına rağmen çiçeklenme ve düşük işlenebilirlik gibi bazı fiziksel problemlerde ortaya çıkarmaktadır. Günümüzde beton ve betonarme yapı elemanlarının tasarımında pigment kullanımı oldukça artmıştır. Bu çalışmada, beyaz çimento içerisine cam lifi (hacimce %2,5) ve pigmentler (kahverengi, sarı, siyah ve kırmızı) ilave edilerek laboratuvar ortamında renkli betonlar üretilmiştir. Elde edilen betonların basınç dayanımı ve donma-çözülme dayanıklılığı incelenmiştir. Kahverengi, sarı ve siyah pigmentlerin basınç dayanımı üzerinde olumlu etki gösterdiği fakat kırmızı pigmentin olumsuz etki göstererek dayanım kaybına yol açtığı belirlenmiştir. Kırmızı pigment kullanılarak elde edilecek mimari harçların tasarım ve üretim aşamasında daha çok dikkat gerekmektedir. Cam lifi kullanılması durumunda betonların mekanik özellikleri artmakta fakat donma-çözülme dayanıklılığı azalmaktadır. Bu yüzden cam lifi takviyeli betonlar için sıkıştırma yöntemleri oldukça önem kazanmaktadır. Yapılan deneysel çalışma sonucunda mimari beton uygulamalarında boşluk yapısının durabilite bakımından çok önemli bir faktör olduğu görülmüştür.

1. Giriş

Günümüzde beton ve betonarme yapı elemanlarının tasarımında pigment kullanımı oldukça artmıştır. Pigmentler geleneksel betonun estetik olmayan görüntüsüne karşı üretilmiş mimari tasarım ürünleridir. Beyaz çimentonun yanısıra, özellikle toz pigmentler katkı olarak mimari beton üretiminde kullanılmaktadır. Pigmentler betonun estetiğine önemli bir katkı sağlar, ancak pigmentler çiçeklenme ve düşük işlenebilirlik gibi bazı olumsuzluklara da neden olur.

Renkli beton üretiminde kullanılan pigmentlerin su ile ıslanabilirliği kolay olmalı, ayrıca taze beton içerisinde üniform bir şekilde dağılmalıdır. Hidrofob özelliğe sahip pigmentlerin kullanılması durumunda ıslanabilirlik özellikleri azalmaktadır. Krom (sarı) ve demir (mavi) gibi pigmentlerin alkaliler dayanıklılığı oldukça zayıf olduğu için renkli beton üretimine çok uygun değildir. Krom (sarı) pigmenti sodyum hidroksit çözeltisinde bir saat bekletildiğinde sarı renk koyu turuncu renge, demir (mavi) pigmenti ise pas tonunda kahverengi renge dönüşür. Pigmentlerin kür süresince ve servis ömrü boyunca renk bütünlüğünü koruması gerekir. Ancak bazı pigmentlerin renk bütünlüğü kür işleminden olumsuz etkilenir. Lacivert rengi için kullanılan pigment alkalilere karşı oldukça dayanıklıdır, buna karşın kalsiyum hidroksitin ayrışması sonucu (özellikle yüksek sıcaklıklarda) renk bütünlüğünü koruyamaz. ASTM 1981'e göre pigmentlerin sahip olması gereken özellikler Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Mimari beton üretiminde kullanılan bazı pigmentlerin özellikleri (ASTM 1981)

Sıra no	Pigment Çeşidi	Su ile ıslanabilirlik	Alkalilere dayanıklılık	Kür kararlılığı
1	Sentetik kırmızı (demir oksit)	√	√	√
2	Sentetik sarı (demir oksit)	√	√	√
3	Sentetik siyah (demir oksit)	√	√	√
4	Sentetik kahverengi (demir oksit)	√	√	
5	Doğal kahverengi (demir oksit)	√	√	
6	Yeşil (krom oksit)	√	√	
7	Karbon siyahı (genel amaçlı)	x		√
8	Karbon siyahı (beton)	√	√	√
9	Mavi (kobalt)	√	√	
10	Lacivert	√	√	x
11	Yeşil ftalosiyanın	√	√	
12	Toludin kırmızı	x		
13	Dalamar yeşil	√	√	
14	Watchung kırmızı	x		
15	Sarı (krom)	√	√	
16	Mavi (demir)	√	√	
		√: Uygun	x: Uygun değil	

Yeşil, kırmızı ve kahverengi pigmentlerin hazırlanmasında demirin kimyasal yapısına da bağlı olarak genellikle demir oksitler kullanılmaktadır. ABD ve Britanya'da maden sularından elde edilen demir oksitler tekrar kullanılarak inorganik pigment üretimi sağlanmış (Bailey vd. 2013, Silva vd. 2011, Marcello vd. 2008, Silva vd. 2012), kaolinit ve demir oksit kullanılarak üretilen yeni nesil pigmentler de kullanılmaya başlanmış (Bailey 2013), ilaveten kaolinit su bazlı lateks boyalarda da pigment dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır (Malla ve Devisetti 2005, Sadasivam ve Thoma 2016).

Çimento esaslı kompozitlerde kullanılan pigmentlerin inceliği 75 mikrondan daha küçüktür. Bu yüzden pigment belirli bir kıvam için, beton karışımının su/pigment oranını artırır, pigmentlerin boyut ve yüzey özellikleri de su/pigment oranını etkiler. Pigmentin su ihtiyacı ve dozajı renk kalıcılığını etkileyen en önemli faktörlerden birisidir. Karışımın su/pigment oranında ki artış betonun kuruma büzülmesini de etkilemektedir (Bruce ve Rowe 1992, Lee vd. 2003). Renkli betonlarda; priz süresi, renk sabitliği, kalıcılık, mekanik özellikler, ısıya dayanıklılık ve suda çözünbilir tuz miktarı gibi özellikler önem kazanır, belirtilen

bu özelliklerin kontrolüne ilave olarak, başarılı bir renkli beton uygulamasında kullanılan kalıp sistemi ve kalıp ayırıcıların önemi de göz ardı edilmemelidir (Karagüler 2002-2003, Püttbach 1997, Hahn 1998, Busken 2001). Harç karışımında kullanılan pigmentler, harçların kohezyonu artırır (López vd. 2009), böylece karışımında kullanılan filler malzeme oranının azalmasına katkı sağlar (Collepari ve Passuelo 2005, Corinaldesi vd. 2012).

Hong-seok Jang vd. beyaz çimento, yüksek fırın cürufu ve inorganik pigment kullanarak renkli harçlar üretmiş, pigment ilavesi ile harçların akışkanlıkları azalmış ancak karışıma ilave edilen cüruf ile akışkanlık iyileştirilmiştir. Ayrıca cürufu ilavesi ile çiçeklenme problemi azaltılarak uzun dönem dayanımlarında da artış elde edilmiştir (Hong-seok 2014).

Bu çalışmada, beyaz çimentoya kahverengi, sarı, siyah ve kırmızı pigmentler ilave edilerek laboratuvar ortamında renkli betonlar üretilmiştir. Elde edilen betonların mekanik özellikleri ve donma çözülme dayanıklılığı incelenmiştir. Ayrıca diğer çalışmalardan farklı olarak karışım içerisine cam lifi takviyesi yapılmıştır.

2. Materyal ve Metod

Deneysel çalışma kapsamında üretilen örneklerde ÇİMSA çimento fabrikası ürünü olan TS EN 197-1 ve ASTM C150 standartlarına uygun CEM I 52.5 R (Beyaz Portland Çimentosu) çimentosu kullanılmıştır. CEM I 52.5 R çimentosuna ait kimyasal ve fiziksel özellikler Çizelge 2'de gösterilmiştir. Kimyasal katkı olarak polikarboksilat esaslı su azaltıcı katkı kullanılmıştır.

Çizelge 2. CEM I 52.5 R çimentosuna ait kimyasal ve fiziksel özellikler

Kimyasal özellikler (%)		Fiziksel ve mekanik Özellikler	
SiO ₂	21,6	Özgül ağırlık	3,06
Al ₂ O ₃	4,05	Özgül yüzey (cm ² /gr)	4600
Fe ₂ O ₃	0,26	Beyazlık (%)	85,5
CaO	65,7	Priz başlangıcı (dak.)	100
MgO	1,30	Priz sonu (dak.)	130
Na ₂ O	0,30	Kıvam suyu (%)	30
K ₂ O	0,35	Hacim sabitliği (mm)	1,0
SO ₃	3,30	0,045 mm Elekte kalıntı (%)	1,0
Serbest CaO	1,60	0,090 mm Elekte kalıntı (%)	0,1
Klorür (Cl)	0,01	2 Günlük basınç dayanımı (MPa)	37,0
Çözünmeyen Kalıntı	0,18	7 Günlük basınç dayanımı (MPa)	50,0
Kızdırma Kaybı	3,20	28 Günlük basınç dayanımı (MPa)	60,0

Karışımlarda agrega olarak 80-100 AFS aralığındaki silis kumu kullanılmıştır. Silis kumuna ait özellikler Çizelge 3'de vermiştir.

Çizelge 3. Karışımlarda kullanılan agreganın fiziksel özellikleri

Elek Göz Açıklığı	1 mm	710 µm	500 µm	355 µm	250 µm	180 µm	125 µm	90 µm	63 µm
Elekten geçen (%)	0	0	0	0,2	0,3	20,1	60,4	16,1	1,8
Ortalama tane boyutu (µm)		140-170		Özgül ağırlık		2,68			
Kil miktarı (%)		0,6-0,8		AFS Değeri (%)		84,6			

Uygulamanın gerçekleştirilmesi için karışım içerisinde Fe₂O₃ esaslı 4 farklı pigment kullanılmıştır. Kullanılan pigmentlerin teknik özellikleri Çizelge 4'de sunulmuştur.

Çizelge 4. Pigmentlerin teknik özellikleri

Pigment türü	Kahverengi	Sarı	Siyah	Kırmızı
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ (max % 100)	4	1,2	3,2	4
Fe ₂ O ₃	96	98,8	96,8	96
Yoğunluk (g/cm ³)	0,75-1,05	0,45-0,65	0,75-1,05	0,70-1,10
pH	5-8	3,2-7,5	4-8	4-7

Karışımların hazırlanmasında Çizelge 5'de özellikleri belirtilen alkalilere dayanıklı (AR) cam lifi kullanılmıştır (Kurt 2006).

Çizelge 5. Cam lifinin teknik özellikleri

Lif Boyu (mm)	Lif Çapı (µm)	Özgül Yüze (m ² /kg)	Bağlı Yoğunluk (Mg/m ³)	Elastisite Modülü (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)
8-12	14	105	2,68	72000	1700

Üretilen beton numuneler 5x5x5 cm boyutlarında küp numunelerdir. Karışımların hazırlanmasında kullanılan malzemeler (1m³ için) Çizelge 6'de verilmiştir. Tüm karışımların çökme değeri (TS EN 1170) 4 cm olarak sabit tutulmuştur. Referans karışımının elde edilmesini takiben hacimce % 2.5 oranında 8 mm ve 12 mm uzunluğundaki cam elyaflar içeren karışımlar elde edilmiştir. Hazırlanan beton numuneler üzerinde su emme, birim ağırlık, 1, 7 ve 28. günlerde basınç dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca elde edilen numunelere 100 çevrimden oluşan donma-çözülme testi uygulanmıştır.

Çizelge 6. 1m³ harç karışımında kullanılan malzeme miktarları

	Kahverengi	Sarı	Siyah	Kırmızı	Referans
Pigment (g)	1250	1250	1250	1250	-
1 gr pigment için ek su (g)	4,5	13	4,13	4,75	-
Ek su (kg)	5,625	16,25	5,163	5,938	-
Agrega (kg)	625	625	625	625	625
Çimento (kg)	625	625	625	625	625
Hiperakışkanlaştırıcı (kg)	3,69	3,69	3,69	3,69	3,30
Su (kg)	190	190	190	190	190
Çökme (cm)	4	4	4	4	4
8-12 mm Cam fiber (AR)	Hacimce % 2,5				

Pigment katkılı renkli harçların üretimi sırasında agrega, pigment ve çimento için kuru olarak karıştırma işlemi yapılmıştır. Kuru karıştırma işlemi yaklaşık 30 sn sürmüştür. Karışıma su ilave edildikten sonra fiber katkısı eklenecekse eklendikten sonra 2,5 dakika karıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir.

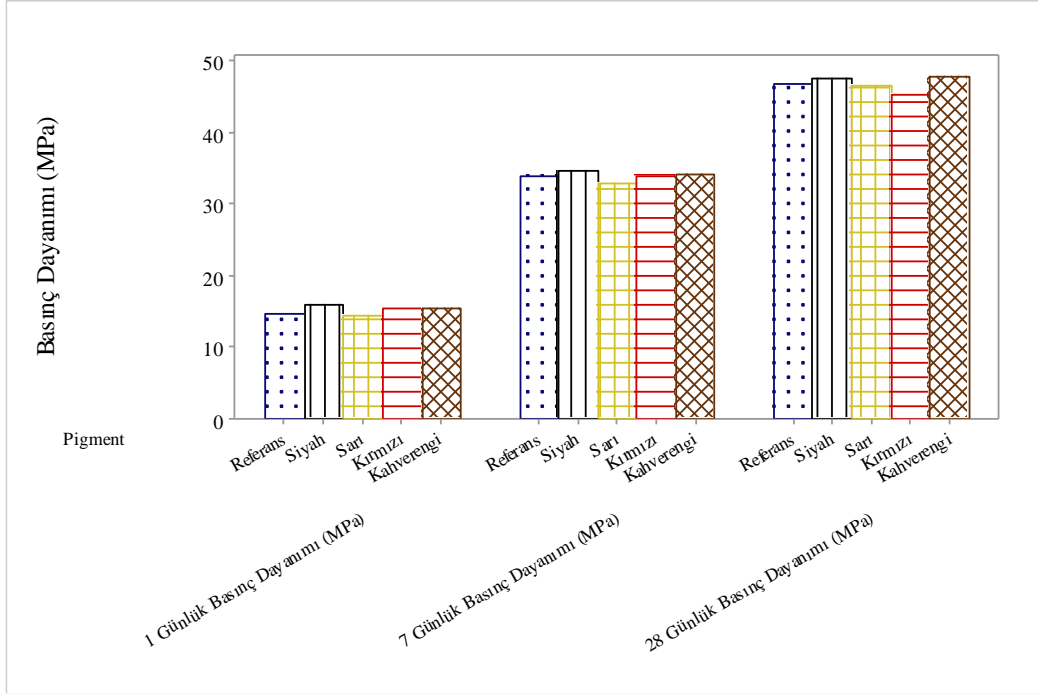
Donma çözülme deneyleri ASTM C 310 standardına göre gerçekleştirilmiştir. Donma-çözülme çevrimi öncesi ve sonrası numuneler üzerinde basınç deneyleri gerçekleştirilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Pigment Türünün Basınç Dayanımı Üzerindeki Etkileri

Pigment türünün 1, 7 ve 28 günlük basınç dayanımı üzerindeki etkileri Şekil 1'de görülmektedir. 1 günlük basınç dayanımları açısından kahverengi, siyah ve kırmızı pigmentler betonların basınç dayanımını arttırmaktadır. Ancak sarı pigment kullanımı betonların basınç dayanımını olumsuz etkilemektedir. 7 günlük basınç dayanımları açısından sarı pigment dışında olumsuz özellik gösteren pigment türü bulunmamaktadır. Sarı pigmentin neden olduğu dayanım kaybı ihmal edilebilir (~ %3) derecededir. 28 günlük basınç dayanımları incelendiğinde kahverengi ve siyah pigmentler azda olsa (~ %2) betonların basınç dayanımını arttırmıştır. Sarı pigmentin 28 günlük basınç dayanımları açısından olumsuz bir özelliği belirlenmemiştir. Kırmızı pigment kullanılarak üretilen betonlarda diğer deney günlerine göre 28. günde yaklaşık %4 dayanım kaybı gerçekleşmiştir. Kür işleminin sürdürülmesi durumunda pigmentlerin beton bünyesinde farklı davranışlar gösterdiği belirlenmiştir. Tüm deney günleri dikkate alındığında siyah ve

kahverengi pigmentlerin mimari beton üretiminde kullanımı mekanik özellikler açısından daha olumlu sonuçlar sağlamıştır.

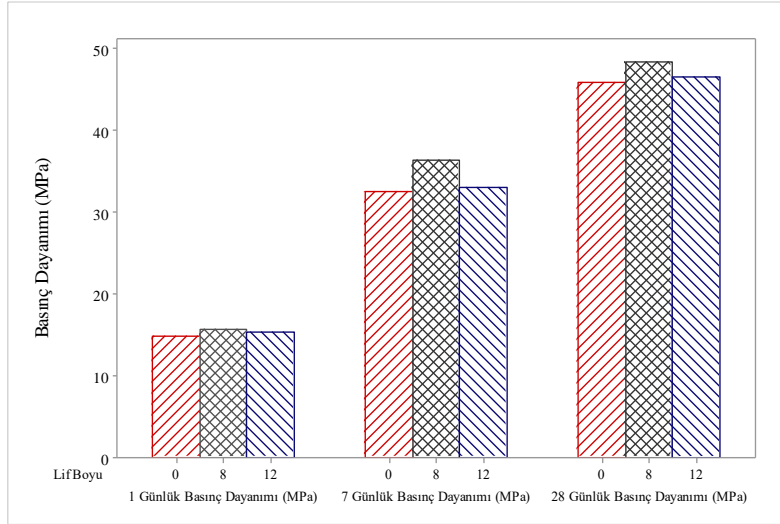


Şekil 1. Pigment türü ve basınç dayanımı ilişkisi

3.2. Lif Boyunun Basınç Dayanımı Üzerindeki Etkileri

Lif boyunun basınç dayanımı üzerindeki etkisi Şekil 2'de verilmiştir. Bir günlük basınç dayanımları; lif boyunun 8 mm ve 12 mm olması durumunda sırasıyla %5,1 ve %3,5 oranında artmaktadır. 7 günlük basınç dayanımları incelendiğinde 8 mm lif kullanılması durumunda basınç dayanımı yaklaşık %10 oranında artış göstermektedir. Ancak lif boyunun 12 mm olması durumunda dayanım artışı %1,6 olmaktadır. 8 mm cam lifi kullanımı 28. günde basınç dayanımını yaklaşık %4,6 oranında arttırmaktadır. 12 mm'lik liflerin basınç dayanımını yaklaşık %2 oranında arttırdığı görülmüştür. Tüm deney günleri için cam lifi boyunun 8 mm olması mekanik özellikleri daha olumlu etkilemektedir. 12 mm'lik lif kullanımı referans karışıma göre iyi sonuçlar vermesine rağmen 8 mm'lik lifli numunelere göre daha olumsuz sonuçlar göstermiştir.

Pigment türü ve lif boyu için tam faktöriyel deney tasarımına göre 1, 7 ve 28. günler için optimizasyon yapılmıştır. Mekanik özelliklerin maksimize fonksiyonuna göre yapılan optimizasyon sonucu pigment olarak kahverengi ve cam lifi boyunun 8 mm olması en verimli karışım olarak tespit edilmiştir.

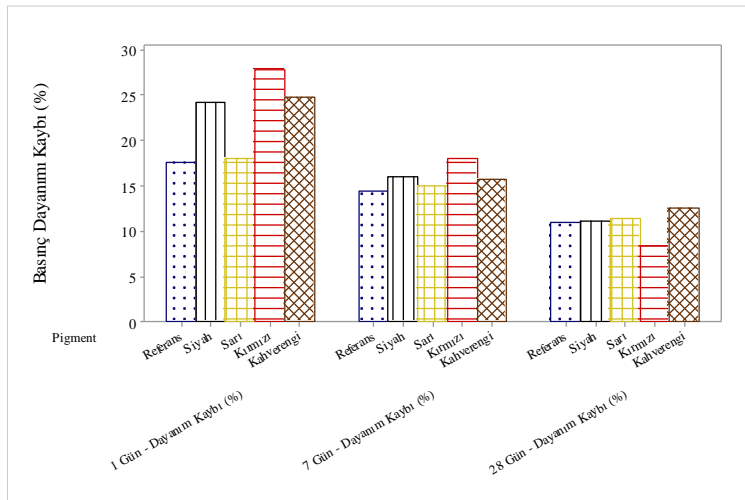


Şekil 2. Lif boyunun basınç dayanımı üzerindeki etkisi

3.3. Pigment Türünün Donma-Çözülme Dayanıklılığı Üzerindeki Etkisi

Pigment türünün donma-çözülme dayanıklılığı üzerindeki etkileri Şekil 3'de verilmiştir. 1 günlük kür işlemi sonunda 100 çevrimden oluşan donma-çözülme deneyi sonucu kırmızı pigment ile üretilen betonların dayanım kaybı yaklaşık %27 olarak belirlenmiştir. Sarı pigment ile üretilen betonların dayanım kaybı ise referans betonla aynı değerde gerçekleşmiştir. 7 günlük kür süresinin sonunda uygulanan donma çözülme deneyinde ise referans ve pigment kullanılarak üretilen betonlar arasında belirgin farklar elde edilmemiştir. 28 gün kür süresinden sonra uygulanan donma çözülme deneyinde referans betonda %11.2, kahverengi pigment ile üretilen betonlarda ise %12.5 oranında dayanım kaybı gerçekleşmiştir. Kırmızı pigment kullanılarak üretilen betonlar ise diğer deney günlerinin aksine daha az dayanım (%10.7) kaybına uğramıştır.

1 ve 7 günlük kür sürelerinden sonra uygulanan donma çözülme etkisi kırmızı pigment kullanılarak üretilen betonlara daha çok etkilemektedir. Ancak kür süresinin artması sonucunda bu etki ortadan kalkmaktadır. Tüm deney günleri açısından sarı renkli pigment ile üretilen betonların referans betona daha yakın sonuçlar verdiği görülmektedir.



Şekil 3. Pigment türünün donma-çözülme dayanıklılığı üzerindeki etkisi

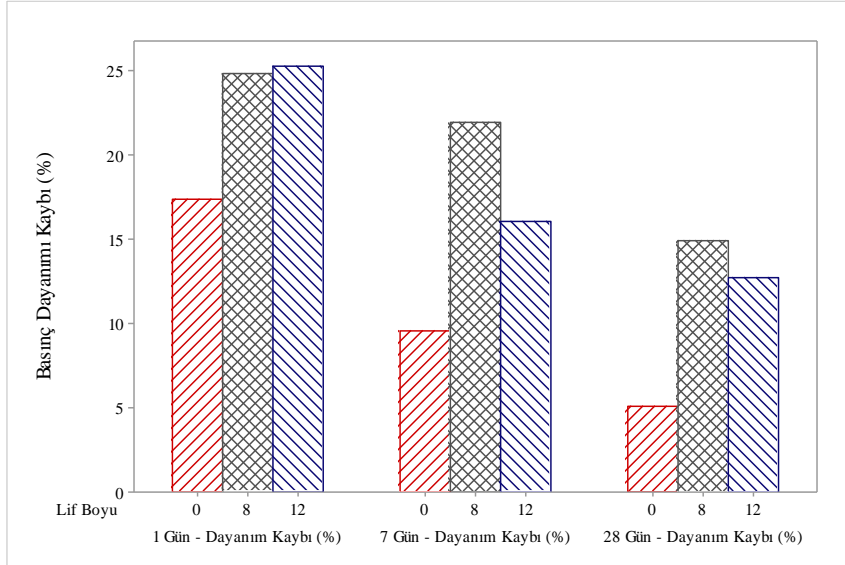
3.4. Lif Boyunun Donma-Çözülme Dayanıklılığı Üzerindeki Etkisi

Lif boyunun donma-çözülme dayanıklılığı üzerindeki etkileri Şekil 4'de verilmiştir. Tüm deney günleri için cam lifi kullanılması durumunda donma çözülme dayanıklılığı azalmaktadır.

1 günlük kür süresi sonunda cam lifi kullanılması durumunda (8-12 mm) basınç dayanımı yaklaşık %25 oranında azalmaktadır. Referans beton için dayanım kaybı ise yaklaşık %17,5, 7 günlük kür işlemi sonucunda 12 mm lifli betonlar için dayanım kaybı yaklaşık %17, 8 mm cam lifli betonlarda dayanım kaybı yaklaşık %22 olmaktadır.

Kür süresinin 28 gün olması durumunda donma çözülme dayanıklılığı oldukça artmaktadır. Referans betonun donma çözülme deneyi sonucundaki dayanım kaybı yaklaşık %6 olmaktadır. Cam lifi kullanılması durumunda diğer deney günlerinde olduğu gibi dayanım kaybı oranı da artmaktadır. 8 mm lifli betonlarda dayanım kaybı yaklaşık %15, 12 mm lifli numunelerde ise dayanım kaybı yaklaşık %12,6 olmaktadır.

Cam lif boyunun artması donma çözülme dayanıklılığını arttırmaktadır. Ancak cam lifi kullanılması referans betona göre daha fazla dayanım kaybına neden olmuştur. Slump değerleri sabit olmasına rağmen cam lif takviyeli betonlarda daha fazla sıkıştırma boşlukları oluşmuş, artan boşluk hacmi numunelerin donma çözülme direncini azaltmıştır.



Şekil 4. Lif boyunun donma-çözülme dayanıklılığı ilişkisi

Pigment türü ve lif boyu için tam faktöriyel deney tasarımına göre 1, 7 ve 28. günlük kür işlemlerinden sonra uygulanan donma çözülme etkisi için optimizasyon yapılmıştır. Dayanım kaybı oranı minimize fonksiyonuna göre yapılan optimizasyon sonucu pigment olarak kırmızı ve cam lifinin kullanılmaması en verimli karışım olarak tespit edilmiştir.

4. Sonuçlar

1, 7 ve 28. günlerdeki basınç dayanımlarına göre siyah ve kahverengi pigment kullanımı betonların mekanik özelliklerini iyileştirmektedir.

Pigment kullanılarak üretilen mimari betonlarda cam lifi kullanılması basınç dayanımlarını arttırmaktadır. Özellikle 8 mm'lik cam lif kullanılması betonların mekanik özelliklerini iyileştirmektedir.

1, 7 ve 28 günlük kür süresinden sonra uygulanan donma çözülme etkisine göre en uygun pigmentler sarı ve kırmızı olarak belirlenmiştir.

Kırmızı pigment ile üretilen betonların 28 günlük basınç dayanımları düşük olmasına rağmen donma çözülme dayanıklılığı açısından en uygun pigment olarak belirlenmiştir. Bu durum kırmızı pigmentin hidrofob özellik gösterdiğini belirtmektedir. Çimentonun su ile hidrasyonunu olumsuz etkilemektedir ancak donma çözülme etkisinde betonun su emmesini de engellemektedir.

Cam lif kullanılması durumunda betonların donma-çözülme dayanıklılığı azalmaktadır. Bu yüzden cam lifli takviyeli betonlar için sıkıştırma yöntemleri oldukça önem kazanmaktadır.

Donma çözülme etkisi için kür süresinin oldukça önemli bir faktör olduğu belirlenmiştir. Referans beton için 1 günlük kür süresinden sonra yapılan donma çözülme etkisinde dayanım kaybı %25, 28 günlük kür süresinden sonra yapılan donma çözülme etkisinde dayanım kaybı %5 olmaktadır.

Mimari beton üretiminde kullanılan pigmentlerin su ile ıslanabilirlik, alkalilere karşı dayanıklılığı ve kür kararlığı gibi özellikleri mutlaka dikkate alınmalıdır. Ancak bu faktörler dışında durabilite ve maliyet gibi faktörlerde dikkate alınmalıdır.

5. Teşekkür

Bu çalışma Manisa Celal Bayar Üniversitesi 2015-063 numaralı BAP projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir. Yazarlar, destekleri dolayısıyla Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkür ederler.

6. Kaynaklar

- ASTM (1981) Subcommittee Section C09.03.08.05 on Methods of Testing and Specifications for Admixture, Pigments for Integrally Colored Concrete.
- Bailey M.T, Moorhouse A.M.L, Byrom A.J, Kershaw S (2013) Applications for hydrous ferric oxide mine water treatment sludge, Proc. Inter. Mine Water Assoc. (IMWA) 519–524;
- Bruce S.M, Rowe G.H, (1992) The influence of pigments on mix designs for block paving units, Proc. 4th Int. Conf. Concrete Block Paving, 2:117–124.
- Busken E.V.D (2001) Innovations in Concrete Block Paving in Belgium, Proceedings of I. International Symposium for Street Furniture.
- Colleparidi M, Passuelo A. (2005) The best SCC: stable, durable and colourable. In: Helene P, Holland TC, Pazzini E, Bittecourt R, editors. Procs IV int ACI/CANMET conf on quality of concrete structures and recent advances in concrete materials and testing, Furnas Centrais Elqtricas SA, Civil Engineering Technological Center, Goibnia, Brasil.
- Corinaldesi V, Monosi S, Ruello M.R (2012) Influence of inorganic pigments' addition on the performance of coloured SCC, Construction and Building Materials 30: 289–293
- Hahn U (1998) Colored Concrete – Nature Has The Aggregates, Magazine of Concrete Precasting Plant and Technology, BFT 1:78-88.
- Hong-seok J, Hye-seon K, Seung-young S (2014) Color expression characteristics and physical properties of colored mortar using ground granulated blast furnace slag and White Portland Cement, KSCE Journal of Civil Engineering, 18(4):1125-1132
- Karagüler, M (2002) Mimarlıkta Beton, Mimari Beton, THBB Hazır Beton Dergisi, 53:56.
- Karagüler M (2003) Mimari Beton ve Kalıp, THBB Hazır Beton Dergisi, 57:68.
- Kurt G (2006) Lif İçeriğini ve Su/Çimento Oranının Fibrobetonun Mekanik Davranışına Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye.
- Lee H.S, Lee J.Y, Yu M.Y (2003) Influence of iron oxide pigments on the properties of concrete interlocking blocks, Cement and Concrete Research, 33:1889–1896.

- López A, Tobes J.M, Giaccio G, Zerbino R (2009) Advantages of mortar-based design for coloured self-compacting concrete. *Cement Concr Compos*, 31:754–61.
- Malla P.B, Devisetti S (2005) Novel kaolin pigment for high solids ink jet coating, *Pap. Technol.* 46(8): 17–27.
- Marcello R.R, Galato S, Peterson M, Riella H.G, Bernardin A.M (2008) Inorganic pigments made from the recycling of coal mine drainage treatment sludge, *J. Environ. Manag.* 88:1280–1284.
- Sadasivam S, Thoma H.R (2016) Colour and toxic characteristics of metakaolinite–hematite pigment for integrally coloured concrete, prepared from iron oxide recovered from a water treatment plant of an abandoned coal mine, *Journal of Solid State Chemistry*, 239:246–250
- Silva R.D.A, Castro C.D, Peter C.O, Schneider I.A.H (2011) Production of iron pigments (goethite and hematite) from acid mine drainage, in: *Proceedings of the 11th International Mine Water Association*, 469–474.
- Silva R.D.A, Castro C.D, Viganico E.M, Peter C.O (2012) Selective precipitation/UV production of magnetite particles obtained from the iron recovered from acid mine drainage, *Miner. Eng.* 29:22–27.
- Püttbach E (1997) New Pigments for the Coloring of Construction Materials Processing Advantages at Zero Tariff, *Magazine of Concrete Precasting Plant and Technology*, 8:104-107.