
	SAKARYA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ SAKARYA UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE		 SAKARYA UNIVERSITY
	e-ISSN: 2147-835X Dergi sayfası: http://www.saujs.sakarya.edu.tr		
	<u>Geliş/Received</u> 09-10-2017 <u>Kabul/Accepted</u> 21-12-2017	<u>Doi</u> 10.16984/saufenbilder.342521	

Polipropilen lif kullanımının doğal hidrolik kireçli harçların kuruma büzülmesine etkisi

Muhammet Gökhan Altun¹, Süleyman Özen², Ali Mardamı-Aghabaglou^{*2}

ÖZ

Tarihi eserlerin restorasyonu ve rekonstrüksiyonunda aslına uygun malzemelere yakın malzemelerin kullanılması büyük önem arz etmektedir. Ahşap, kerpiç, tuğla, taş ve harç gibi malzemeler tarihi yapıların onarımında kullanılan malzemelerdir. Horasan harcı bu amaçla kullanılan en önemli malzemelerden birisidir. Horasan Harcı öğütülmüş kiremit ve hidrolik kireç karışımından oluşmaktadır. Beton ve harç karışımlarına benzer şekilde büzülme çatlaklarının oluşması, hidrolik kireçli karışımlarda da dayanım ve dayanıklılık problemlerine neden olmaktadır. Bu çalışmada, polipropilen lif kullanımının hidrolik kireçli harçların basınç ve eğilme dayanımına, su emme kapasitesine ve kuruma büzülme davranışına etkisi incelenmiştir. Bu bağlamda bağlayıcı olarak doğal hidrolik kireç, agrega olarak kırma taş kireç agregası içeren lifli ve lifsiz olmak üzere 3 farklı seri harç karışımları hazırlanmıştır. Dayanım özellikleri ve kuruma büzülme davranışlarını iyileştirmek amacı ile harç karışımlarına toplam hacmin %0,5 ve %1,0'i oranlarında polipropilen lif ilave edilmiştir. Tüm karışımlarda su/bağlayıcı, kum/bağlayıcı ve yayılma değerleri sırasıyla 0,6, 2,75 ve 150±10 mm olarak sabit tutulmuştur. Bilindiği gibi lif kullanımı ile harç karışımlarının işlenebilirliği olumsuz etkilenmektedir. Bu sebeple lifli karışımlarda 150±10 mm yayılma değerini sağlamak için lif içermeyen karışıma kıyasla daha fazla su eklenmesi gerekmektedir. Ancak dayanım azalmasını engellemek amacıyla lifli ve lif içermeyen karışımlarda su miktarları sabit tutulmuştur. 150±10 mm hedef yayılma değerini sağlamak için ilaveten değişik oranlarda polikarboksilat esaslı su azaltıcı katkı kullanılmıştır. Üretilen harç karışımların 1, 3, 7 ve 28 günlük basınç ve eğilme dayanımları, 28 günlük su emme ve kuruma-büzülme değerleri belirlenmiştir. Sonuçlara göre lif kullanımı ile istenilen yayılma değerini sağlamak için su azaltıcı katkı gereksinimi artmıştır. Dayanım, su emme ve büzülme değerlerinde ciddi mertebelerde iyileşme olmamıştır.

Anahtar Kelimeler: Hidrolik kireç, Kuruma büzülme, Mekanik özellikler, Polipropilen lif

¹ Bursa Büyükşehir Belediyesi

² Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

The effect of using polypropylene fiber on drying shrinkage of natural hydraulic lime mortars

ABSTRACT

It is important to use the proper materials in accordance with the original in the restoration and reconstruction of the historical buildings. The timber, mud-brick, brick, stone and mortar are the materials used in historical buildings. The Horasan mortar is one of the most important materials used for repairing of historical buildings. The Horasan mortar consists of grinded building-tile and hydraulic lime. Similar to the concrete and mortar mixtures formation of shrinkage cracks cause the strength and durability problems in hydraulic lime mixture. In this study, the effect of polypropylene fibre utilization on compressive, flexural strength and water absorption capacity as well as drying shrinkage of hydraulic lime mortar was investigated. For this aim, three series mortar mixtures containing natural hydraulic lime as binder and crushed limestone aggregate were prepared in the absence and presence of polypropylene fibre. Polypropylene fibre was added as 0.5% and 1.0% of total volume into the mortar mixtures in order to improve strength properties and drying shrinkage behaviour. In the all mortar mixtures, water/binder, sand/binder ratios and flow values were kept constant as 0.6, 2.75 and 150 ± 10 mm, respectively. As it is known, the workability of mortar mixtures is adversely affected by using fibre. For this reason, more amount of water should be added to the fibre-containing mortar compared to the fibre-free mortar to provide flow value of 150 ± 10 mm. However, in order to prevent the decrease in strength, the amount of water was kept constant in both fibre and non-fibre mortar mixtures. A polycarboxylate based water reducing admixture was additionally used at different ratios to provide a target flow value of 150 ± 10 mm. 1, 3, 7, 28-day compressive and flexural strengths, 28-day water absorption capacity as well as 28-day drying-shrinkage behaviour of mortar mixture were measured. According to the test results, water reducing admixture requirement for providing of desired flow value was increased and strengths, water absorption as well as drying-shrinkage of mortar mixture were not significantly improved by addition of fiber.

Keywords: Hydraulic lime, Drying shrinkage, Mechanical properties, Polypropylene fiber

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Geçmişte yapılarda en çok tercih edilen bağlayıcı malzeme olan kireç, portland çimentosunun keşfi ile yaygınlığını kaybetmiştir [1-3]. Portland çimentosu, özellikle son yüzyıldan günümüze kadar beton ve harç sistemlerinde en çok kullanılan bağlayıcı malzeme olmasına karşın, çimentolu sistemlerin neden olduğu bazı uyuşmazlıklardan (çiçeklenme, düşük su buharı geçirirliği, yüksek genleşme katsayısı vb.) dolayı tarihi yapıların restorasyonu ve rekonstrüksiyonunda hidrolik kireçli sistemlerin kullanılması tavsiye edilmektedir [4,5].

Hidrolik kirecin uygulama alanlarından biri, geçmişte Yunanistan, Anadolu, Filistin, İran gibi bölgelerde de kullanımı çok yaygın yapı malzemesi olan Horasan Harcıdır. Horasan Harcı öğütülmüş kiremit, kireç, su ve bazı katkı maddelerinin karışımından oluşmaktadır. Günümüzde hidrolik kireç esaslı bu harçların geliştirilmesine yönelik çalışmalar hız kazanmıştır [6-8]. Söz konusu harçların geliştirilmesinde genellikle mineral katkılar [2, 9, 10] ile organik maddeler [8, 11, 12] kullanılmakta olup, kimyasal katkı içeren çalışmalar [3, 13, 14, 15] da mevcuttur. Buna ilaveten çekme dayanımı, eğilme dayanımı, tokluk gibi bazı mekanik özelliklerin iyileştirilmesi amacıyla çeşitli liflerin hidrolik kireç esaslı harçlara ilave edildiği çalışmalar da bulunmaktadır [4, 5, 16]. Konu ile ilgili bazı çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Seabra ve arkadaşları [15] tarafından yapılan çalışmada, taze hidrolik kireç esaslı harçların reolojik özellikleri araştırılmıştır. İki aşamada gerçekleştirilen deneysel çalışmanın birinci aşamasında harçların rölatif akma gerilmesi ve rölatif plastik viskozite parametreleri tespit edilmiş ve çökme ölçümleri yapılarak reolojik verilerin korelasyon ilişkileri belirlenmiştir. İkinci aşamada ise süperakışkanlaştırıcı kullanımının hidrolik kireçli harçların reolojik davranışları üzerindeki etkileri incelenmiştir. Sonuç olarak süperakışkanlaştırıcı kullanımı ile harçların tork ve çökme değerlerinde artış olduğu gözlemlenmiştir.

Izaguirre ve arkadaşları [5] yaptıkları çalışmada, kireç esaslı harç karışımlarına polipropilen lif ilave ederek harçları performans bakımından incelemiştir. Üretilen kireçlerin taze hal davranışları, hava içeriği, priz süresi, yoğunluk, kuruma-büzülme, su emme, su buharı geçirgenliği,

uzun süreli basınç ve eğilme dayanımları, boşluk yapısı ve donma-çözülme direnci gibi farklı özelliklerini araştırmışlardır. Karışımlarda lif miktarını harç ağırlığının %0,5 ve %0,06'sı olacak şekilde kullanmışlardır. %0,06 oranında lif içeren harç karışımlarında daha düşük su buharı geçirgenliği ve yüksek dayanım elde etmişlerdir. Ayrıca kuruma-büzülmeden dolayı oluşan çatlakların sayısı kontrol karışımına kıyasla daha az görülmüş ve donma çözülme performansında artışlar meydana gelmiştir. %0,5 oranında lif içeren harç karışımlarında donma-çözülme çatlakları oldukça azalmıştır. Ancak harç karışımlarında gerekli işlenebilirliğin sağlanması için su ihtiyacı artmıştır. Bu bağlamda harç karışımların mekanik özellikleri olumsuz etkilenmiştir.

Erdoğan ve arkadaşları [17] tarafından yapılan çalışmada, uçucu kül ve polipropilen lif katkılı kireç harçlarının basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve kılcal su emme davranışları üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu bağlamda kireç yerine %50 oranında uçucu kül kullanılmış olup, 3 ve 6 mm olmak üzere iki çeşit polipropilen lif %1,0 ve %1,5 oranlarında ilave edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre lif kullanımı harçların basınç dayanımlarını az miktarda, eğilme dayanımlarını ise önemli ölçüde arttırmıştır. Ayrıca lif kullanım oranının artışına bağlı olarak kılcalık katsayılarının arttığı gözlemlenmiştir.

Barr ve arkadaşları [18] yaptıkları çalışmada, doğal hidrolik kireç ve doğal çimento harçlı yığma yapıların bağ dayanımları üzerine araştırmada bulunmuşlardır. Bu amaçla 3 farklı dayanıma sahip hidrolik kireç ile çimento harçlı bağlayıcılar kullanılarak yapılan yığma blokların eğilme bağ dayanımları bağ burkulma testleri ile ölçmüşlerdir. Deneysel sonuçlarında tüm harç karışımlarında eğilme deneyinde göçme bölgesine kadar şekil değiştirmeler lineer olarak artmıştır. Harcın rijitliği hidrolik bağlayıcının artmasıyla artmıştır. Hidrolik kireç ve çimentolu harç sistemlerinin 28 günlük bağ dayanımları karşılaştırıldığında hidrolik kireçli harçların bağ dayanımlarının daha düşük olduğunu tespit etmişlerdir. Bloklar arasında ön ıslatma yapılması bağ dayanımlarında önemli etkilere sebep olmuştur. Ön ıslatma yapılan kısımlarda bağ dayanımlarında düşüşler meydana gelmiştir.

Betonlarda sıkça rastlanan ve betonun kalıcılığını doğrudan etkileyen çatlaklar çeşitli nedenlerden kaynaklanmaktadır. Çatlak oluşumunun önemli sebeplerinden biri kuruma büzülmesidir. Kuruma

büzülmesi sonucu meydana gelen çatlakların önüne geçilmesi betonun faydalı kullanım ömrü açısından büyük önem arz etmekte ve bu konu ile ilgili birçok yöntem bulunmaktadır. Su/çimento oranının azaltılması, lif ilavesi, mineral ve kuruma büzülme engelleyici katkıların kullanılması bu yöntemler arasındadır. Büzülme çatlaklarının oluşması çimentolu sistemlerde olduğu gibi hidrolik kireçli karışımlarda da dayanım ve dayanıklılık problemlerine neden olmakta ve polipropilen lif kullanılarak bu çatlakların oluşması nispeten engellenebilmektedir [19, 20, 21].

Bu çalışmada polipropilen lif kullanımının hidrolik kireçli harçların basınç ve eğilme dayanımı, kuruma büzülmesi ve su emmesine etkisi incelenmiştir. Bu kapsamda toplam hacmin %0,5 ve %1,0'i oranlarında polipropilen lifli ve lifsiz olmak üzere 3 farklı seri harç karışımları hazırlanmıştır. Karışımlarda kum/bağlayıcı oranı ve yayılma miktarı sırasıyla 2,75 ve 150±10 mm olacak şekilde sabit tutulmuştur. İstenen yayılma miktarları su azaltıcı katkı kullanılarak sağlanmıştır. Elde edilen sonuçlar kıyaslamalı olarak değerlendirilmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL STUDY)

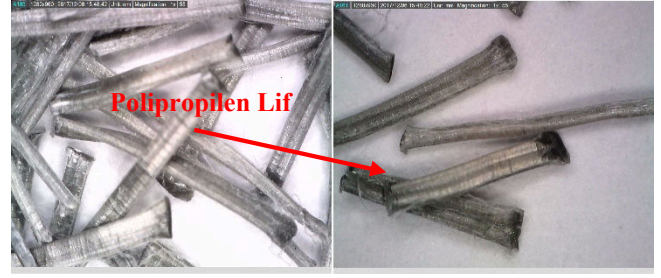
Bu çalışmada bağlayıcı olarak tarihi yapılar için hazırlanmış çimento içermeyen ve üretici firmanın beyanına göre özgül ağırlığı 2,0 olan doğal hidrolik kireç kullanılmıştır. Agrega olarak ise kırma kireçtaşı kumu kullanılmıştır. Kullanılan kumun özgül ağırlığı ve su emme kapasitesi, TS EN 1097-6 [22] standardına göre sırasıyla 2,68 ve %1,0 olarak tespit edilmiştir. Kumun tane büyüklüğü dağılımı Tablo 1'de gösterilmektedir.

Tablo 1. Kumun tane büyüklüğü dağılımı (Sand grain size distribution)

Kare Göz Açıklığı (mm)	Geçen (%)	Kalan (%)
4,00	100	0
2,00	77,5	22,5
1,00	49,4	50,7
0,50	32,0	68,0
0,25	12,9	87,1
0,125	2,5	97,5

Lif içeren karışımlarda Şekil 1' de gösterilen 5 mm uzunluğunda olan 0,5x1,15x5 mm' lik prizma şeklinde tırtıklı polipropilen lif kullanılmıştır.

Kullanılan lifin yoğunluğu ve çekme dayanımı üretici firma tarafından sırasıyla 0,92 g/cm³ ve 400-600 N/mm² olarak tespit edilmiştir.



Şekil 1. Polipropilen lifin mikroskopik görünümü
(Microscopic images of polypropylene fiber)

Karışımların dayanım özellikleri ve büzülme davranışlarını iyileştirmek amacı ile lif içermeyen kontrol karışımına ilaveten toplam hacmin %0,5 ve %1' i oranında polipropilen lif ilavesi yapılarak 2 farklı lifli karışım daha hazırlanmıştır. Hazırlanan tüm karışımlarda su/bağlayıcı, kum/bağlayıcı oranları ve yayılma değerleri sırasıyla 0,6, 2,75 ve 150±10 mm olarak sabit tutulmuştur. Harç karışımı üretiminde kullanılan malzeme miktarları Tablo 2' de verilmektedir. Tüm harç karışımları homojen olarak hobart mikserinde hazırlanmıştır. Lif içermeyen kontrol karışımı HK, hacimce %0,5 polipropilen lifli karışım HKP0,5 ve hacimce %1,0 polipropilen lifli karışım ise HKP1,0 olarak adlandırılmıştır. Bilindiği gibi lif kullanımı ile harç karışımlarının işlenebilirliği olumsuz etkilenmektedir. Bu sebepten dolayı Tablo 2' den de görüldüğü gibi lif içeren karışımlarda 150±10 mm yayılma değerini sağlamak için lif içermeyen kontrol karışımına kıyasla daha fazla su gereksinimi olmuştur. Böyle bir durumda, karışımlarda daha fazla su kullanımıyla boşluk miktarı artacağından dolayı dayanımlar düşmektedir [23]. Söz konusu olumsuz etkiyi ortadan kaldırmak için tüm karışımlarda su miktarı sabit tutulmuştur. Hedef yayılma değerini sağlamak için karışımlara değişik oranlarda polikarboksilat esaslı yüksek oranda su azaltıcı katkı ilave edilmiştir. Tablo 2' den de görüldüğü gibi lif kullanımıyla ve kullanım oranının artışıyla sabit yayılma değerini sağlamak için katkı gereksinimi artmıştır.

Tablo 2. Harç karışımlarının üretiminde kullanılan kütlece malzeme oranı (Mass ratios of the materials used in the production of mortar mixtures)

	HK	HKP0,5	HKP1,0
Hidrolik kireç	1	1	1
Su	0,6	0,6	0,6
Kum	2,75	2,75	2,75
Su azaltıcı katkı	0,009	0,010	0,017
Polipropilen lif	0	0,0046	0,0092
Yayılma (mm)	150	143	145

Üretilen karışımlar standarda uygun olacak şekilde kalıplara yerleştirilmiştir. Daha sonra 24 saat boyunca 23°C sıcaklıkta ve nem oranı %95 olan kabinde kürlenmiştir. 24 saatin sonunda, numuneler tam priz almadıklarından dolayı 24 saat daha bekletilerek toplamda 48 saat kabinde kürlenme işlemi uygulanmıştır.

Karışımların 1, 3, 7 ve 28 günlük orta nokta yüklemeye eğilme dayanımı TS EN 196-1 [24] standardına göre 40x40x160 mm' lik prizmatik numunelerden elde edilmiştir. Karışımların 1, 3, 7 ve 28 günlük basınç dayanımı, eğilme deneyine tabi tutulan numunelerden elde edilen 40 mm küp numuneler üzerinde belirlenmiştir.

Bunlara ilaveten hidrolik kireçli harçların kuruma büzülme davranışlarını incelemek amacı ile her seri için üçer adet 25x25x285 mm boyutlarında prizmatik numuneler üretilmiştir. Üretilen numuneler 48 saat sonra kalıptan çıkarılarak 72 saat boyunca 23°C sıcaklıkta ve nem oranı %95 olan kabinde kürlenmiştir. Daha sonra numuneler kabinden çıkarılıp sıcaklığı 20°C ve bağıl nemi %55 olan bir odada bekletilerek numunelerin boy değişimi 12 gün boyunca ASTM C596 [25] standardına uygun olarak Şekil 2' de gösterilen kuruma-büzülme uzunluk ölçüm cihazı kullanılarak Denklem 1' de gösterildiği gibi hesaplanmıştır.

$$S = \frac{L_1 - L}{L_0} \times 100 \quad (1)$$

Burada, S numunenin büzülme yüzdesini, L_1 kür havuzundan çıkarıldıktan sonra başlangıç ölçüm değerini, L sonraki günlerde ölçüm değerlerini, L_0 etkin ölçüm boyunu ifade etmektedir.

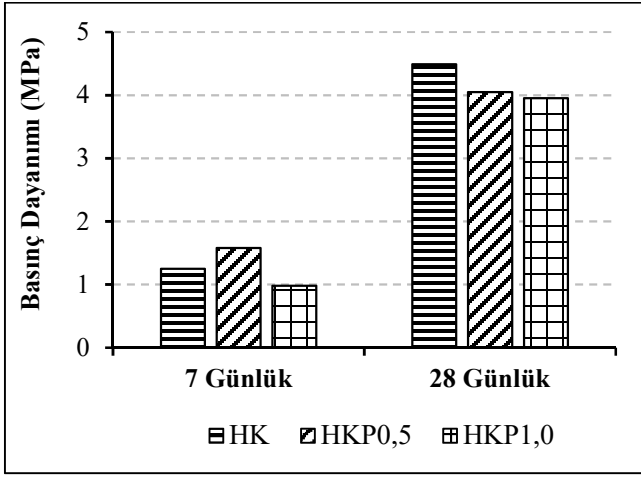


Şekil 2. Harç kuruma-büzülme boy değişimi ölçüm cihazı (Mortar drying-shrinkage length comparator)

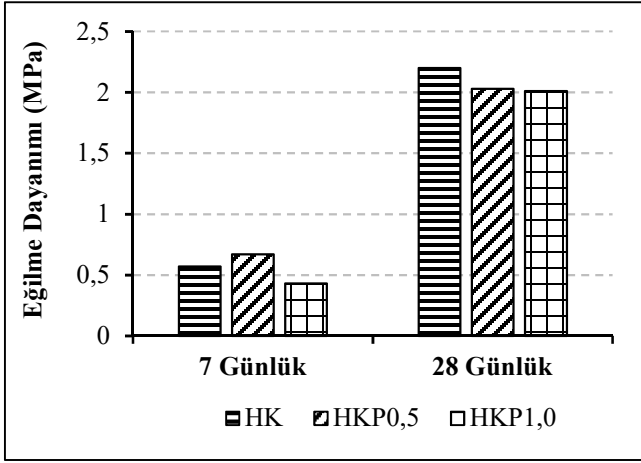
3. DENEY SONUÇLARI ve DEĞERLENDİRME (TEST RESULTS AND EVALUATION)

3.1. Basınç ve Eğilme Dayanımı (Compressive and Flexural Strength)

Karışımların basınç ve eğilme dayanımları sonucu sırasıyla Şekil 3 ve 4' te verilmiştir. Numuneler 48 saatin sonunda priz almadıklarından dolayı 1 günlük dayanımlar belirlenememiştir (Şekil 5a). Buna ilaveten 3 günlük numunelerin basınç ve eğilme dayanımı sıfıra yakın bir değer çıkmıştır (Şekil 5b). 7 günlük örneklerle bakıldığında polipropilen lif kullanımıyla karışımların dayanımı artmıştır. Ancak, hacimce %1 oranında lif kullanıldığında hem basınç hem de eğilme dayanımında azalmalar gözlemlenmiştir. 28 günlük sonuçlar incelendiğinde lif kullanım oranından bağımsız olarak harç karışımlarının hem eğilme hem de basınç dayanımları azalmıştır. Bu etki lif kullanım oranının artışıyla daha da belirgin hale gelmiştir.



Şekil 3. Karışımların basınç dayanımı (Compressive strength of mortar mixtures)

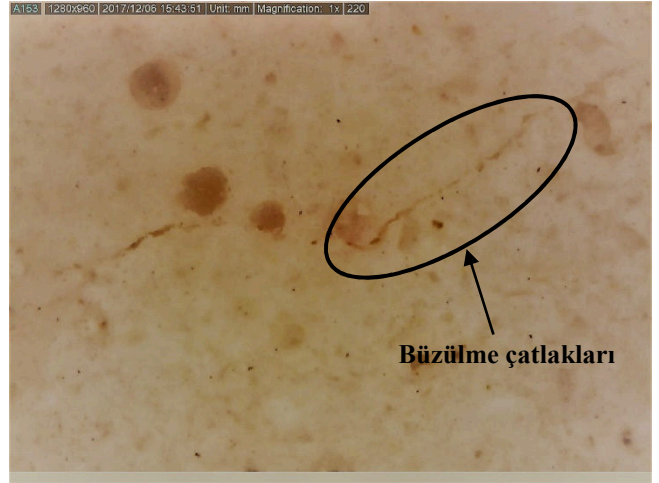


Şekil 4. Karışımların eğilme dayanımı (Flexural strength of mortar mixtures)

Literatüre göre bağlayıcı olarak kireç içeren karışımlarda su/kireç oranları genel olarak 1'in üstünde seçilmektedir [5,13]. Daha öncede vurgulandığı gibi harç karışımlarının dayanımını artırmak amacıyla su azaltıcı katkı kullanılarak karışımların su/kireç oranı önceki karışımlara kıyasla daha düşük (0,6) seçilmiştir. Böyle bir karışımda, başlangıç yayılma değeri sağlansa da aşırı su ihtiyacından dolayı Şekil 6'da da gösterildiği gibi karışımın yüzeyinde büzülme kaynaklı çatlakların oluştuğu gözlemlenmiştir. Dayanım değerlerindeki azalmanın sebebinin, oluşan çatlaklar sonucu matris ve liflerin yüklem esnasında beraber çalışmadığından kaynaklandığı düşünülmektedir. Dolayısıyla su ihtiyacı fazla olan hidrolik kireç karışımlarda lif kullanımının, karışımların dayanımları üzerinde belirgin bir olumlu etkisi olmadığı tespit edilmiştir.



Şekil 5. Harç karışımlarının erken yaşlardaki görüntüleri; a) 1 günlük, b) 3 günlük (Early age images of mortar mixtures; a) 1-day, b) 3-day)



Şekil 6. Harç karışımlarındaki büzülme çatlaklarının mikroskopik görünümü (Microscopic images of shrinkage cracks in mortar mixtures)

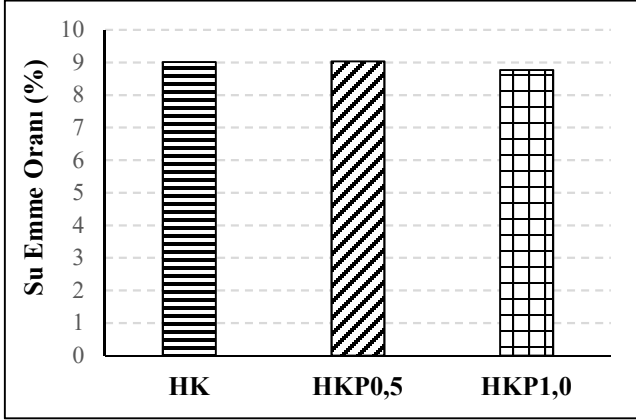
3.2. Su Emme Kapasitesi (Water Absorption Capacity)

Karışımların su emme kapasiteleri Şekil 7' de verilmiştir. Her değer 3 ölçümün ortalaması olarak hesaplanmıştır. Şekil 7' den de anlaşıldığı gibi lif kullanımıyla ve kullanım oranının artışıyla karışımların su emme değerleri değişmemiştir.

Bilindiği gibi çimento esaslı malzemelerin su emme kapasitesi su/bağlayıcı oranı, çimentonun

tipi, karışım suyu miktarı, agrega türü ve özellikleri, katkı maddeleri, betonun yaşı, üretim koşulları, kürlenme koşulları ve boşluk yapısı gibi parametrelerden etkilenmektedir [23].

Bu çalışma kapsamında söz edilen tüm etken parametreler sabit tutularak polipropilen lif ilavesiyle farklı harç karışımları hazırlanmıştır. Sonuçlardan da görüldüğü gibi lif kullanımı harç karışımlarının boşluk yapısını ciddi mertebede etkilememiştir.

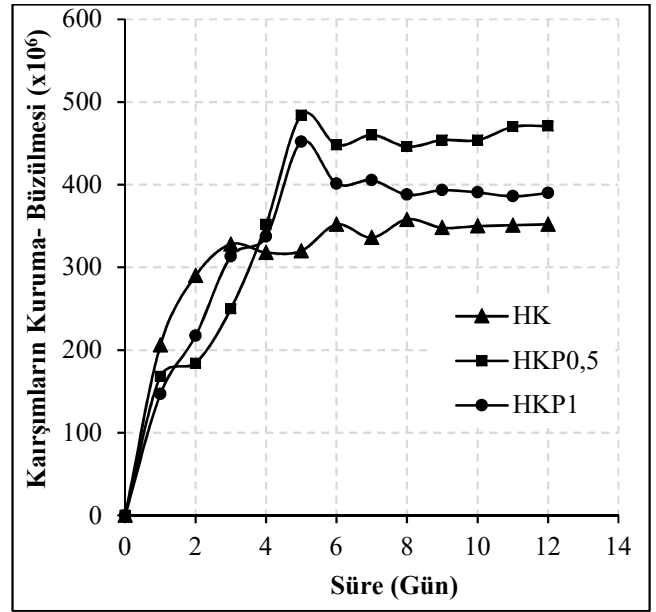


Şekil 7. Harç karışımların su emme kapasiteleri (Water absorption capacities of mortar mixtures)

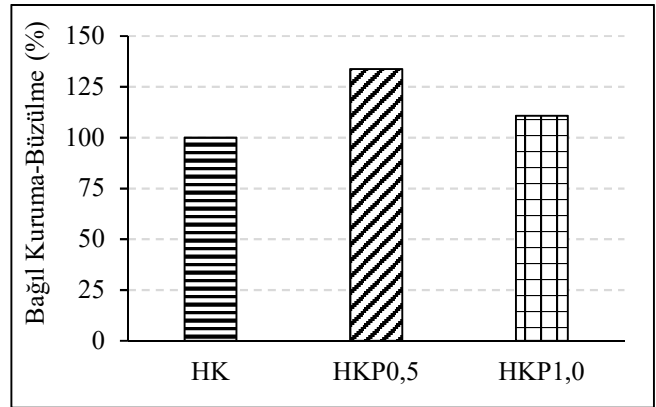
3.3. Kuruma-Büzülme (Drying-Shrinkage)

Harç karışımlarının 12 gün boyunca kuruma-büzülme değerleri Şekil 8’ de özetlenmiştir. Her değer 3 ölçümün ortalaması olarak hesaplanmıştır. Beklenildiği gibi harç karışımlarının kuruma-büzülme değerleri ilk 5 günde hızlı artarken sonraki günlerde sabitlenmiştir. Karışımların dayanım özelliklerinde de tespit edildiği gibi, lif kullanımıyla ve kullanım oranının artışıyla beklenenin tersine büzülme değerleri artmıştır.

Şekil 9’ da da görüldüğü gibi 12 gün sonunda hacimce %0,5 polipropilen lif içeren HKP0,5 ve hacimce %1,0 polipropilen lif içeren HKP1,0 karışımları, kontrol karışımına kıyasla sırasıyla yaklaşık olarak %34 ve %11 oranlarında daha fazla büzülme davranışı göstermiştir. Kontrol karışımı büzülme davranışı açısından en başarılı karışım olmuştur.



Şekil 8. Harç karışımların kuruma-büzülme değerleri (Drying-shrinkage values of mortar mixtures)



Şekil 9. Harç karışımların bağıl kuruma-büzülme değerleri (Relative drying-shrinkage values of mortar mixtures)

Bilindiği gibi, çimento esaslı karışımların büzülmesini engellemek amacıyla polipropilen lif kullanılmaktadır. Ancak bu çalışmada lif kullanımı ile beklenenin aksine karışımların büzülme miktarları artmıştır. Şekil 10’da görüldüğü gibi karışımların su/bağlayıcı oranının az olması sebebiyle kıvamı çok düşük ve kalıplara yerleştirmesi çok zor olan karışımlar üretilmiştir.

Daha öncede söylenildiği gibi, karışımın yüzeyinde aşırı miktarda büzülme kaynaklı çatlakların oluştuğu tespit edilmiştir (Şekil 6). Böyle bir problemi ortadan kaldırmak için daha akıcı bir karışım üretilmesi önerilmektedir. Böyle bir karışımın matris ve lif arasındaki aderansın zayıf olduğu düşünülmektedir. Ayrıca söz konusu karışımlarda polipropilen lifin karışımlarda homojen bir şekilde dağılmama riski yüksektir.

Tüm bu olumsuz faktörler göz önüne bulundurularak, karışımların kuruma-büzülme değerinin artışı büzülme esnasında matris fazı ve lifin yekpare bir malzeme olarak çalışmadığından kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 10. Harç karışımlarının yayılma deneyi (Slump test of mortar mixtures)

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Lif içeren karışımların ve kontrol karışımının 1 günlük basınç ve eğilme dayanımları numuneler prizini almadığı için tespit edilememiş ve 3 günlük dayanım değerleri ise sıfıra yakın elde edilmiştir. Hacimce %0,5 polipropilen lif kullanılan karışımların 7 günlük basınç ve eğilme dayanımlarında kontrol karışımına kıyasla artış gözlenmiştir. Ancak karışımlarda hacimce %1 oranında lif kullanıldığında 7 günlük dayanımlarda azalmalar tespit edilmiştir. Lif içeren karışımların 28 günlük basınç ve eğilme dayanımlarında kontrol karışımına kıyasla aynı oranda azalmalar meydana gelmiştir. Su ihtiyacı fazla olan hidrolik kireç içeren karışımlarda lif kullanımının dayanımlar üzerinde belirgin bir olumlu etkisi olmadığı tespit edilmiştir.

Karışımlarda lif kullanımıyla karışımların su emme değerlerinde kayda değer bir değişiklik olmamıştır.

Lif içeren ve kontrol karışımlarının kuruma büzülme değerlerinde ölçüm başlangıcı sonrası 5 gün içinde hızlı bir artış tespit edilmiştir. 5 gün sonrasında devam eden günlerde önemli bir değişim belirlenmemiştir. Karışımlara lif ilave edilmesiyle karışımların büzülme değerlerinde artış tespit edilmiştir.

Karışımlarda matris ve polipropilen lifler arasında aderans sağlanamamıştır. Bu bağlamda matrisin ve polipropilen lifin beraber çalışma mekanizması gerçekleşmemiş, numunelerde büzülme kaynaklı çatlaklar meydana gelmiştir. Kireç esaslı

karışımlarda söz konusu aderansın sağlanması ve hamur fazının liflerle beraber işlevsel bir mekanizma oluşturabilmesi için daha yüksek su/kireç oranı kullanılması önerilmektedir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)

Yazarlar çalışmada kullanılan su azaltıcı katkıların temini için Yüksek İnşaat Mühendisi Gökhan Yılmaz başta olmak üzere Polisan Kimya A.Ş.'ye teşekkür eder.

KAYNAKÇA (REFERENCES)

- [1] P. Dariz and T. Schmid, "Ferruginous phases in 19th century lime and cement mortars: A Raman microspectroscopic study," *Materials Characterization*, vol. 129, pp. 9–17, 2017.
- [2] S. Xu, J. Wang, Q. Jiang and S. Zhang, "Study of natural hydraulic lime-based mortars prepared with masonry waste powder as aggregate and diatomite/fly ash as mineral admixtures", *Journal of Cleaner Production*, vol. 119, pp. 118-127, 2016.
- [3] M. Seabra, H. Paiva, J. Labrincha and V. Ferreira, "Admixtures effect on fresh state properties of aerial lime based mortars", *Construction and Building Materials*, vol. 23, no. 2, pp. 1147-1153, 2009.
- [4] M. Santarelli, F. Sbardella, M. Zuena, J. Tirillò and F. Sarasini, "Basalt fiber reinforced natural hydraulic lime mortars: A potential bio-based material for restoration", *Materials & Design*, vol. 63, pp. 398-406, 2014.
- [5] A. Izaguirre, J. Lanás and J. Alvarez, "Effect of a polypropylene fibre on the behaviour of aerial lime-based mortars", *Construction and Building Materials*, vol. 25, no. 2, pp. 992-1000, 2011.
- [6] C. De Nardi, A. Cecchi, L. Ferrara, A. Benedetti and D. Cristofori, "Effect of age and level of damage on the autogenous healing of lime mortars", *Composites Part B: Engineering*, vol. 124, pp. 144-157, 2017.
- [7] P. Maravelaki-Kalaitzaki, A. Bakolas, I. Karatasios and V. Kilikoglou, "Hydraulic lime mortars for the restoration of historic masonry in Crete", *Cement and Concrete*

- Research*, vol. 35, no. 8, pp. 1577-1586, 2005.
- [8] İ. Topçu, M. Canbaz ve H. Karanfil, "Horasan harç ve betonunun özellikleri", in *Yapı Mekaniği Semineri*, Eskişehir, 2005.
- [9] J. García-Cuadrado, A. Rodríguez, I. Cuesta, V. Calderón and S. Gutiérrez-González, "Study and analysis by means of surface response to fracture behavior in lime-cement mortars fabricated with steelmaking slags", *Construction and Building Materials*, vol. 138, pp. 204-213, 2017.
- [10] J. Grilo, A. Santos Silva, P. Faria, A. Gameiro, R. Veiga and A. Velosa, "Mechanical and mineralogical properties of natural hydraulic lime-metakaolin mortars in different curing conditions", *Construction and Building Materials*, vol. 51, pp. 287-294, 2014.
- [11] S. Fang, H. Zhang, B. Zhang and Y. Zheng, "The identification of organic additives in traditional lime mortar", *Journal of Cultural Heritage*, vol. 15, no. 2, pp. 144-150, 2014.
- [12] L. Ventolà, M. Vendrell, P. Giraldez and L. Merino, "Traditional organic additives improve lime mortars: New old materials for restoration and building natural stone fabrics", *Construction and Building Materials*, vol. 25, no. 8, pp. 3313-3318, 2011.
- [13] A. Izaguirre, J. Lanas, and JI. Alvarez, "Effect of water-repellent admixtures on the behaviour of aerial lime-based mortars", *Cement and Concrete Research*, vol. 39, pp. 1095-1104, 2009.
- [15] M. Seabra, J. Labrincha and V. Ferreira, "Rheological behaviour of hydraulic lime-based mortars", *Journal of the European Ceramic Society*, vol. 27, no. 2-3, pp. 1735-1741, 2007.
- [16] M. C. A. D. D. M. Barbero-Barrera, O. Pombo, and M. D. L. Á. Navacerrada, "Textile fibre waste bindered with natural hydraulic lime," *Composites Part B: Engineering*, vol. 94, pp. 26-33, 2016.
- [17] Ş. Erdoğan, U. Kandil, S. Nayır ve M. Nas, "Uçucu kül ve polipropilen lif içeren kireç harçlarının tarihi yapıların güçlendirilmesi açısından değerlendirilmesi", *5. Tarihi Yapıların Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu*, Erzurum, 2015.
- [18] S. Barr, W. J. Mccarter, and B. Suryanto, "Bond-strength performance of hydraulic lime and natural cement mortared sandstone masonry," *Construction and Building Materials*, vol. 84, pp. 128-135, 2015.
- [19] B. Baradan, H. Yazıcı ve H. Ün, *Beton ve Betonarme Yapılarda Kalıcılık*, 1st ed. Türkiye Hazır Beton Birliği, 2010.
- [20] T. Kadioğlu, "Rötre Azaltıcı Katkı Maddeleri", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.
- [21] K. J. Folliard and N. S. Berke, "Properties of high-performance concrete containing shrinkage-reducing admixture," *Cement and Concrete Research*, vol. 27, no. 9, pp. 1357-1364, 1997.
- [22] TS EN 1097-6, Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler - Bölüm 6: Tane Yoğunluğunun ve Su Emme Oranının Tayini, TSE, Ankara, 2013.
- [23] P. Mehta and P. Monteiro, *Concrete: microstructure, properties, and materials*. McGraw-Hill Education, 2006.
- [24] TS EN 196-1, Çimento deney metotları-Bölüm 1: Dayanım tayini, TSE, Ankara, 2016.
- [25] ASTM C596-09, Standard Test Method for Drying Shrinkage of Mortar Containing Hydraulic Cement, *ASTM International*, West Conshohocken, PA, 2017.