The Effect of Polypropylene Fibers on Mechanical Properties of Khorasan Mortars

B. Işıkdağ[1, 2], İ.B. Topçu[3], S. Demirci[3]

[1] Corresponding author

[2] Porsuk Vocational School, Anadolu University, 26140

Eskişehir, Turkey

[3] Department of Civil Engineering, Eskişehir Osmangazi University, 26150 Eskişehir,Turkey

Abstract

The use of inadequate materials in restoration of historical buildings leads to loses in historical properties of construction. Consequently, the materials used in restoration of historical constructions have to be similar with the original materials. Khorosan mortar widely used in ancient times is lightweight material that has adequate strength and workability. In this study, the various type and ratio of polypropylene fibers, tile powder, slaked lime and water were mixed to prepare Khorasan mortars, and physical and mechanical properties of specimens were investigated. The unit weight, ultrasonic pulse velocity, flexural and compressive strength of specimens was determined. Due to experimental results, the use of polypropylene fibers at high ratio in Khorasan mortar led to increase in flexural strength and decrease in compressive strength. The increase in polypropylene fiber length led to increase in flexural strength and decrease in compressive strength. The ratio of tile powder/lime was determined as 4, and adequate experimental results were obtained by 0-1 mm tile powder. To obtain adequate strength, polypropylene fiber at the ratio of 3% and length of 12 mm was found appropriate.

Keywords: Khorasan mortar, lime, polypropylene fiber, restoration, tile powder

Polipropilen Liflerin Horasan Harçlarının Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisi

ÖZET

Tarihi yapıların onarımında uygun olmayan malzemelerin kullanılması, yapının tarihi özelliklerinin kaybolmasına neden olur. Bu nedenle tarihi yapıların onarım çalışmalarında kullanılan malzemeler özgün olmalıdır. Eski dönemlerde yapılarda yaygın olarak kullanılan Horasan harcı, uygun dayanım ve işlenebilirliğe sahip, hafif yapı malzemesidir. Bu çalışmada, çeşitli tip ve oranlarda polipropilen lif, kiremit tozu, sönmüş kireç ve su karıştırılarak horasan harçları hazırlandı ve numunelerin fiziksel ve mekanik özellikleri araştırıldı. Numunelerde birim ağırlık, ultrases geçiş süresi, eğilme ve basınç dayanımları belirlendi. Deneysel sonuçlara göre, horasan harcında yüksek oranda lif kullanılması eğilme dayanımında artış, basınç dayanımda ise azalmaya neden oldu. Polipropilen lif uzunluğunun

artması, numunelerde eğilme dayanımının artmasına ve basınç dayanımının azalmasına neden oldu. Numunelerde kiremit tozu/kireç oranı 4 olarak belirlendi ve 0-1 mm kiremit tozu ile yeterli deneysel sonuçlar elde edildi. Yeterli dayanım elde etmek için ağırlıkça %3 oranında ve 12 mm uzunluğunda polipropilen lif kullanılması uygun bulundu.

Anahtar kelimeler: Horasan harcı, kireç, kiremit tozu, onarım, polipropilen lif

1.0 GİRİŞ

Bağlayıcı ve taşıyıcı özelliği ile tarihi yapıların eski dönemlerden günümüze kadar varlığını korumasını sağlayan Horasan harcı; kırılmış veya öğütülmüş kiremit-tuğla, kireç, su ve katkı eklenmesiyle üretilen, bağlayıcı ve taşıyıcı özelliğe sahip, günümüzde tarihi binaların onarılmasında kullanılan bir malzemedir [1]. Horasan harçlarında agrega olarak kullanılan tuğlaların yoğunlukları kireç taşı, granit ve bazalt gibi agregalardan daha düşüktür. Horasan harcı, Roma'da "Cocciopesto", Hindistan'da "Surkhi", Arap ülkelerinde "Homra" olarak adlandırılır [2]. Horosan harcı genellikle tarihi yapılarda su kemeri, sarnıç, hamam ve surlarda kullanılmıştır [3]. Tuğla kırığı ve kireç içeren harçlarda kullanılan eski tuğlalar günümüz tuğlalarından daha puzolanik ve gözenekli bir yapıya sahiptir [4]. Puzolanik özellikli tuğla kırığı, kireç ile daha iyi reaksiyona girerek harcın dayanıklılığını arttırır [5]. Bu özelliğe sahip olmayan tuğla kırığı ile üretilen harçlar deneysel sonuçlardan beklenen hidrolik özelliği gösteremez [6]. Tarihi hamamlarda kullanılan harç ve sıvalarda yapılan araştırmalarda, tuğlaların düşük sıcaklıklarda pişirildikleri, üretimlerinde daha yüksek oranda kil bulunduğu belirlenmiş ve günümüzde kullanılan tuğlalardan farklı olduğu ortaya çıkmıştır [7]. Tarihi tuğlaların puzolanik özelliklere sahip olması, 900 °C'nin altında pişirildiklerini gösterir [8]. Bu sonuçlar geçmişte, Horasan harcı ve sıva üretiminde kullanılan tuğlaların yüksek puzolanik özellikli olduğunu açıklar [9]. Araştırmalar dikkate alındığında, onarım amaçlı hazırlanacak yeni Horasan harç ve sıvalarında kullanılacak tuğlaların özel olarak üretilmesinin gerekliliği ortaya çıkar [10]. Ayrıca tarihi eserlerde bulunan harç ve sıvalar, kullanıldıkları dönemin yapım teknolojisi hakkında bilgi verdiği için, tarihi bir belge niteliği de taşır [11].

Tuğlalarının temel ham maddesi genellikle kuvars, albit ve potasyum feldspatlardır [12]. Horasan harç ve sıvalarda agrega olarak kullanılan tuğlaların günümüzdeki yapı tuğlalarından farkı ise içerdikleri amorf malzemelerin daha fazla olmasıdır [13]. Amorf malzemelerin varlığı tuğlalara puzolan özelliğini vermektedir. Günümüz tuğlaları yüksek sıcaklıklarda (900 ºC ve üstü) pişirilmekte ve bunun sonucunda amorf yapılar bozulmaktadır [14]. Bu oluşumlar tuğlaların puzolanik özeliklerini azaltmaktadır. Tuğlaların yapısındaki demir oksit fazlalığı puzolanik özeliklerini azaltmaktadır [15]. Kirecin elde edilmesinde kullanılan ham madde kireç taşıdır. Kireç taşı ($CaCO_3$) için kalsinasyon sıcaklığı, %100 CO_2 ortamında ve 760 mm civa basıncında 900 °C'dir [16]. Kireç fırınlarından elde edilen kalker (CaO), havada bulunan nem veya su ile reaksiyona girerek sönmüş kirece ($Ca(OH)_2$) dönüşür.

Horasan harçları ve sıvaları kireç ve tuğla kırığından oluşan agregaların karıştırılması ile elde edilen yapı malzemesidir [17]. Agregalar, harçlarda ve sıvalarda çatlak oluşmasını önler ve basınç dayanımlarını artırır [18]. Aynı zamanda karışımın gözenekli bir yapıda olmasını sağlayarak karbonatlaşmayı hızlandırır. Puzolanik agregalar, kireç ile reaksiyona girerek harç ve sıvaların su altında sertleşmesini sağlayan aktif silikatlar ve

alüminatlardan oluşur [1-3]. Harçların hazırlanmasında üç yöntem vardır; toz kirecin agrega ve su ile karıştırılması, kireç kaymağının agrega ile karıştırılması, sönmemiş kirecin agrega ile karıştırıldıktan sonra su ile söndürülerek karıştırılması [4-6]. Üçüncü yöntemde agregaların ara yüzeyleri tamamen kireç ile kaplandığı için diğer yöntemlerden daha dayanıklı harç üretilir [7-9]. Kireç harçları plastik özelliğe sahip ve bu özellik yapıya esneklik sağlayarak ısı ve nem değişikliklerinden meydana gelen hareketlere karşı önleyicidir [3-5].

$CaCO_3 + ısı \rightarrow CaO + CO_2$ (1)

$CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2 + ısı$ (2)

Yapı malzemesi olarak kullanılan polimer yapay lifler genellikle çimento hamuru içerisine mekanik özellikleri iyileştirmek için ilave edilir. Polipropilen lif günümüzde yaygın olarak kullanılan bir çeşit polimerdir [18]. Hacim oranları % 0,1-0,05 arasında değişir, lif hamuru ve tekil halde bulunur. Çimento içerikli malzemelerde kullanılan liflerin amacı yük altında çimento matrisindeki çatlak oluşumunu engellemek veya geciktirmektir. Polipropilen lifler betonda rötre çatlaklarının engellenmesi ve dayanımın artmasını sağlar. Yapının dışını saran sıvalarda ise, sıcak-soğuk, nem, kirlilik gibi dış ortam şartları etkisi bulunur. Bu etkileri azaltmak amacıyla sıvalara polipropilen lif ilave edilebilir. Polipropilen lifli sıvalarda karışım oranı, lif tipi ve boyutuna bağlı olarak sıvalardaki rötre çatlağı ve büzülmede azalma görülür [18].

2.0 DENEYSEL ÇALIŞMA

Çalışmada, agrega olarak kiremit tozu ve kırıkları kullanılarak üretilen Horasan harcı numunelerinin yoğunluk, basınç ve eğilme dayanımları ve bağlayıcı/agrega oranı araştırıldı. Taze harçlarda yayılma ve birim ağırlık belirlenirken, sertleşmiş harçlarda ultrases geçiş süresi, kuru birim ağırlık, basınç dayanımı ve eğilme dayanımı belirlendi.

2.1 Malzemeler

2.1.1 Sönmüş kireç

Deneylerde standartlara uygun olarak üretilmiş, birim ağırlığı 0.46 kg/dm^3 olan ve özellikleri Tablo 1'de verilen Akay Kiremit Fabrikası ürünü sönmüş kireç kullanıldı [19]. Kalsiyum hidroksit olarak adlandırılan genellikle sönmüş kireç olarak bildiğimiz inorganik bir bileşiktir. Kalsiyum oksidin su ile karıştırılması ile elde edilir. Yapı endüstrisi ve birçok alanda kullanılır.

Tablo 1 - Sönmüş kireç özellikleri

Kimyasal Bileşenler	Değer (%)
CaO + MgO	92
MgO	1.5
SO_3	0.8
CO_2	4
Çözünmeyen madde + SiO_2	1
R_2O_3	0.5
LoI	0.2
Fizisel Özellikler	
630µ (elek üstü)	0.5
90µ (elek üstü)	4
Birim ağırlık (kg/dm^3)	0.46

2.1.2 Kiremit tozu

Deneylerde agrega olarak kullanılan 0-1 mm kiremit tozu standartlara uygun olarak üretilen Kılıçoğlu Kiremit Fabrikası kiremitlerinden elenerek elde edildi [20]. Kiremit tozu genellikle kuvartz içerikli doğal kil, feldspar ve çeşitli minerallerden oluşur. Çalışmada kullanılan kiremit tozunun birim ağırlığı 1.21 kg/dm^3, özgül ağırlığı 2.63 olarak belirlendi.

2.1.3 Polipropilen lif

Beton, sıva ve harçlarda fiber elyaf donatı kullanımı su tutma kapasitesini, homojenliği, su geçirimsizliğini, basınç ve çekme dayanımını artırır, rötre çatlaklarını ise azaltır. Eski yapıların dış sıva ve harçlarında çatlamaya karşı saman, hayvan kılları gibi malzemelerin kullanıldığı bilinmektedir. Günümüzde ise bu malzemelerin yerine yeni teknoloji ve standartlara sahip polipropilen lifleri kullanmak uygundur. Bu nedenle, yapılan çalışmada Horasan harcı karışımına kiremit tozu kütlesinin %1 ve %3'ü oranında polimer esaslı 3, 6, 12, 19 mm uzunluklarında polipropilen elyaf mikro donatı lif takviyesi yapıldı. Tablo 2'de standartlara uygun olarak üretilen polipropilen liflerin teknik özellikleri görülmektedir [21]. Çalışmada M03, M06, M12 ve M19 tip lifler kullanıldı, M lif tipini yanındaki rakamlar ise lif uzunluğu belirtmektedir.

Tablo 2 - Polipropilen lif teknik özellikleri

Kimyasal Yapı	% 100 polipropilen lif
Özgül Ağırlık, g/cm^3	0.91
Lif Uzunluğu, mm	3, 6, 12, 19
Lif Çapı	18 mikron-nominal
Su Emme	Eser miktarda
Ergime Noktası, °C	160
Tutuşma Sıcaklığı, °C	365
Isı İletkenliği	Düşük
Elektrik İletkenliği	Düşük
Liflerin Özgül Yüzey Alanı, m^2/kg	250
Asit Direnci	Yüksek
Alkali Direnci, %	100
Çekme Dayanımı, MPa	300 – 400
Elastiklik Modülü, MPa	~ 4000

2.2 Metot

Çalışmada çeşitli oran ve uzunlukta polipropilen lifler karışıma katılarak 4x4x16 cm standart boyutlu horasan harçları üretildi. Deneylerde, %1 ve %3 oranlarda polipropilen lif ve sabit oranda kiremit tozu ve kireç kullanıldı. Her lif çeşidi için 12'şer adet toplam 48 tane numune üretildi. Harçlarda denemeler yapılarak en uygun su oranı belirlendi. Numunelerin hazırlanmasında homojenliğin sağlanması için karıştırma işlemi hassas olarak yapılarak karıştırma işlemine düşük hızda kuru olarak başlandı ve iyice karıştırdıktan sonra suyun 1/3'ü ilave edildi, daha sonra kalan su miktarı yavaşça eklenerek kıvam sağlayana kadar karıştırılma işlemine devam edildi. Üretilen numunelerin karışım oranları Tablo 3'te görülmektedir.

Tablo 3 - Karışım oranları

LİF KODU	KT/K	SERİ KODU	KİREMİT TOZU, gr	%	KİREÇ, gr	%	SU, gr	%	LİF M03 gr	%	LİF M06 gr	%	LİF M12 gr	%	LİF M19 gr	%
M03	4	LİFLİ H %1	935	57	225	14	465	28	9	1	-	-	-	-	-	-
		LİFLİ H %3	910	56	225	14	465	28	27	3	-	-	-	-	-	-
M06	4	LİFLİ H %1	935	57	225	14	465	28	-	-	9	1	-	-	-	-
		LİFLİ H %3	910	56	225	14	465	28	-	-	27	3	-	-	-	-
M12	4	LİFLİ H %1	935	57	225	14	465	28	-	-	-	-	9	1	-	-
		LİFLİ H %3	910	56	225	14	465	28	-	-	-	-	27	3	-	-
M19	4	LİFLİ H %1	935	57	225	14	465	28	-	-	-	-	-	-	9	1
		LİFLİ H %3	910	56	225	14	465	28	-	-	-	-	-	-	27	3

Yayılma ve birim ağırlığı belirlenerek kalıba dökülen taze harç numuneler Şekil 1'de görülmektedir. Yayılma deneyi, sarsma tablası üzerine yerleştirilen tabanı 10 cm çaplı içi boş koni içerisine iki kerede şişlenerek yerleştirilen harcın, koni kaldırıldıktan sonra sarsma tablasının 15 saniye içinde 25 kere düşürülmesi şeklinde uygulandı. Harçlar kalıba doldurulduktan sonra vibratörle yerleşmesi sağlandı ve üretimden 72 saat sonra kalıplardan çıkarılarak deneylerin yapılacağı 14 ve 28 güne kadar sıcaklığı 20±3 ^{0}C, ortalama rölatif nemi %50±5 olan laboratuvar ortamında kür yapıldı. Numuneler üzerinde standartlara uygun olarak birim ağırlık, ultrases geçiş süresi, eğilme ve basınç deneyleri yapıldı [22,23]. Sertleşmiş harçlardaki birim ağırlık ve ultrases geçiş sürelerinden yararlanarak numunelerin dinamik elastisite modülleri hesaplandı.



Şekil 1 - Polipropilen lif katkılı numuneler

3.0 DENEY SONUÇLARI

Deney sonuçlarına göre, Horasan harcında ince taneli kiremit tozunun tercih edilmesi gerekmektedir. Bunun nedeni, toz halindeki kiremit ile kireç arasındaki puzolanik etkinin iri taneli kiremit kırıkları ile oluşan etkiden daha fazla olmasıdır. Bu nedenle çalışmada, 0-1 mm boyutlu kiremit tozu ve dört çeşit polipropilen lif çeşidinden oluşan numunelerin mühendislik özelikleri araştırıldı. Karışım oranları ağırlıkça hesaplandı, kiremit tozu/kireç oranı 4, polipropilen lif oranı %1 ve %3, su miktarı ise %30 olarak belirlendi.

3.1 Taze birim ağırlık

Taze harcın birim ağırlığı, karışımdaki malzemelerin özelliklerine, oranlarına ve karışımın boşluk miktarına bağlıdır. Tablo 4'te görülen sonuçlar incelendiğinde lif yüzdesinin artması ile birim ağırlığın azaldığı görüldü. En büyük ve en küçük taze birim ağırlıklar sırası ile %1 M19 polipropilen lif içeren karışımda 1690 kg/m^3, %3 M03 polipropilen lif içeren karışımda 1427 kg/m^3 olarak bulunmuştur. Lif boyu uzadıkça taze birim ağırlık değerinde artış ve lif oranının artması ile birim ağırlık değerinde azalmalar belirlendi.

Tablo 4 - Taze birim ağırlık

Numuneler		Taze Birim Ağırlık, kg/m^3			
		M03	M06	M12	M19
Lif Oranı	%1	1456	1680	1688	1690
	%3	1427	1645	1659	1669

3.2 Yayılma

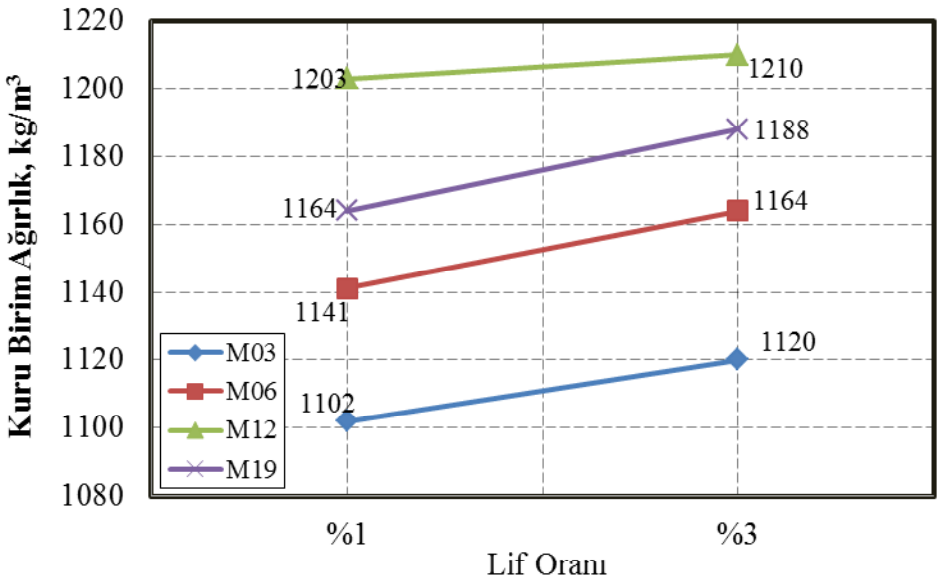
Lif oranı ve büyüklüğü arttıkça karışımın yayılma değerinin azaldığı görüldü. Kiremit tozu ve kirecin sabit olduğu koşullarda lif oranın ve büyüklüğünün artması ile yayılma değerlerinde azalmalar görüldü. Harçlarda yayılma değerlerinin Tablo 5'te görüldüğü gibi 11 cm'e kadar düştüğü belirlendi.

Tablo 5 - Yayılma

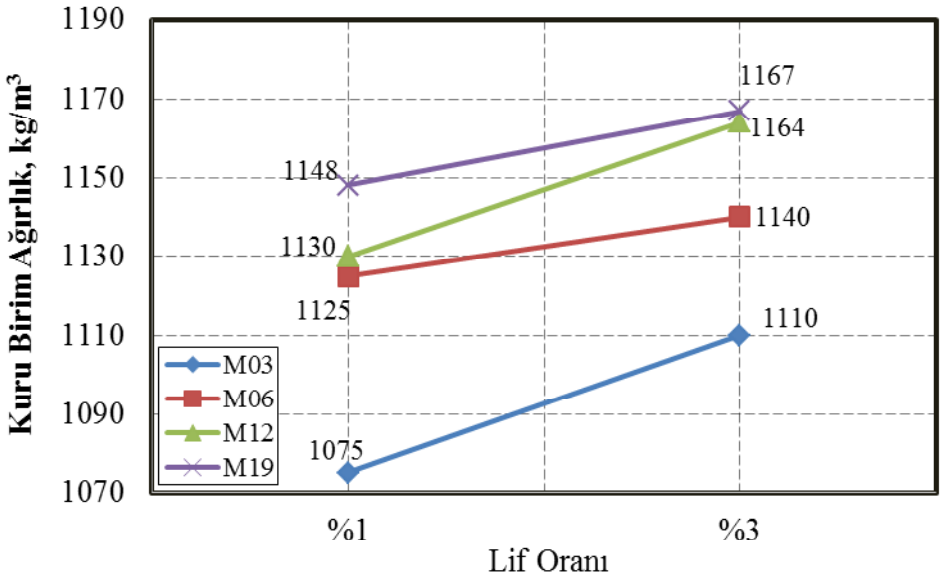
Numuneler		Yayılma Deneyi, cm			
		M03	M06	M12	M19
Lif Oranı	%1	14.0	13.0	12.0	11.5
	%3	13.5	12.5	11.5	11.0

3.3 Kuru birim ağırlık

Numunelerde belirlenen 14 ve 28 gün kuru birim ağırlık değerleri Şekil 2 ve Şekil 3'te görülmektedir. Ölçümlerde 28 günlük numunelerin 14 günlük numunelere göre su kaybı nedeniyle daha hafif olduğu görüldü. Numunelerde polipropilen lif boyu ve oranı arttıkça kuru birim ağırlık değerlerinde az da olsa artış gözlendi.



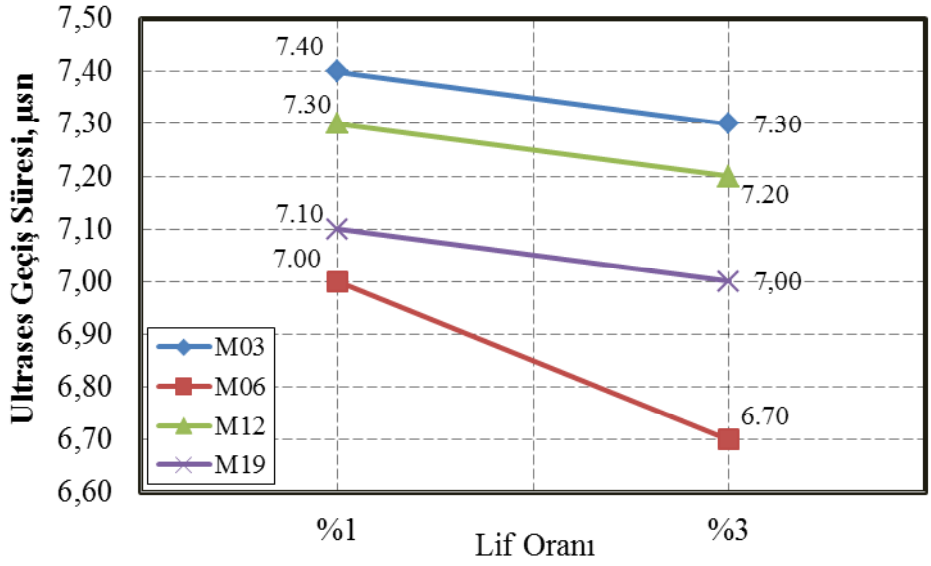
Şekil 2 - Kuru birim ağırlık (14 gün)



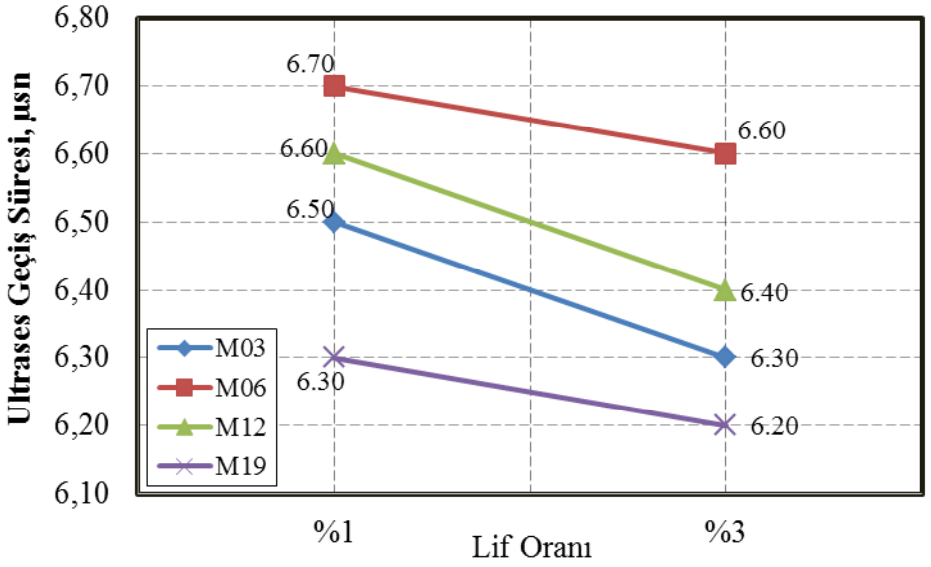
Şekil 3 - Kuru birim ağırlık (28 gün)

3.4 Ultrases geçiş süresi

Ultrases geçiş süresi değerleri Şekil 4 ve Şekil 5'te görülmektedir. Deney sonuçlarına göre sürenin azalması ile boşluk oranı azaldı dayanım ise arttı. Sonuçlara göre 28 gün ultrases geçiş süreleri 14 günlük numunelere göre daha düşük değerlerde bulundu. Numunelerdeki lif oranı ve boyunun artması ile boşluklu yapı azaldı ve ultrases geçiş süresi kısaldı. Ultrases geçiş süresi deneylerinde en uygun lif tipi M12 olarak belirlendi.



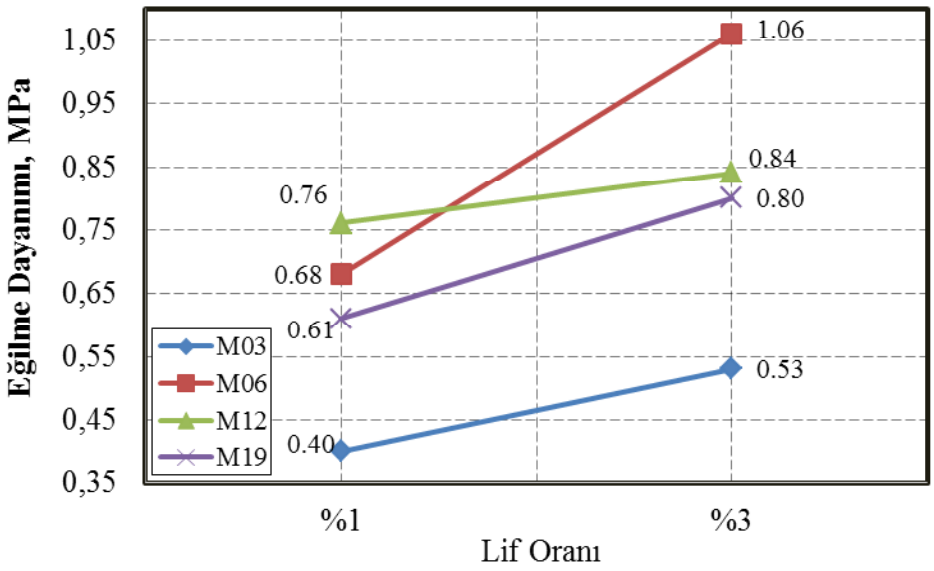
Şekil 4 - Ultrases geçiş süresi (14 gün)



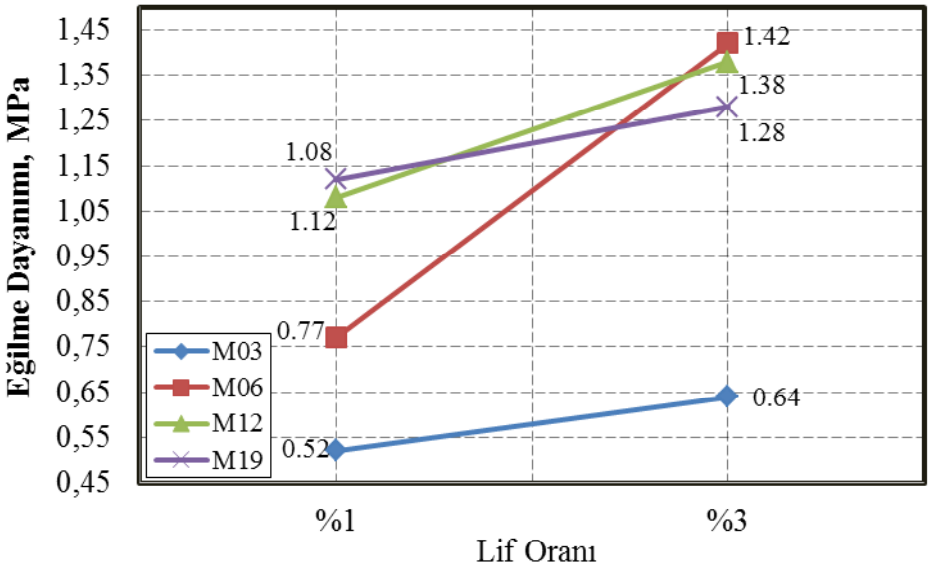
Şekil 5 - Ultrases geçiş süresi (28 gün)

3.5 Eğilme dayanımı

Numunelerde yapılan 3 noktalı eğilme dayanımı deneyi sonucunda bulunan değerler Şekil 6 ve Şekil 7'de görülmektedir. Deney sonuçlarına göre lif boyunun ve oranının artması ile eğilme dayanımının arttığı belirlendi. Eğilme dayanımı deneyi sonrasında M12 tip %3 lif katkılı numune Şekil 8'de görülmektedir.



Şekil 6 - Eğilme dayanımı (14 gün)



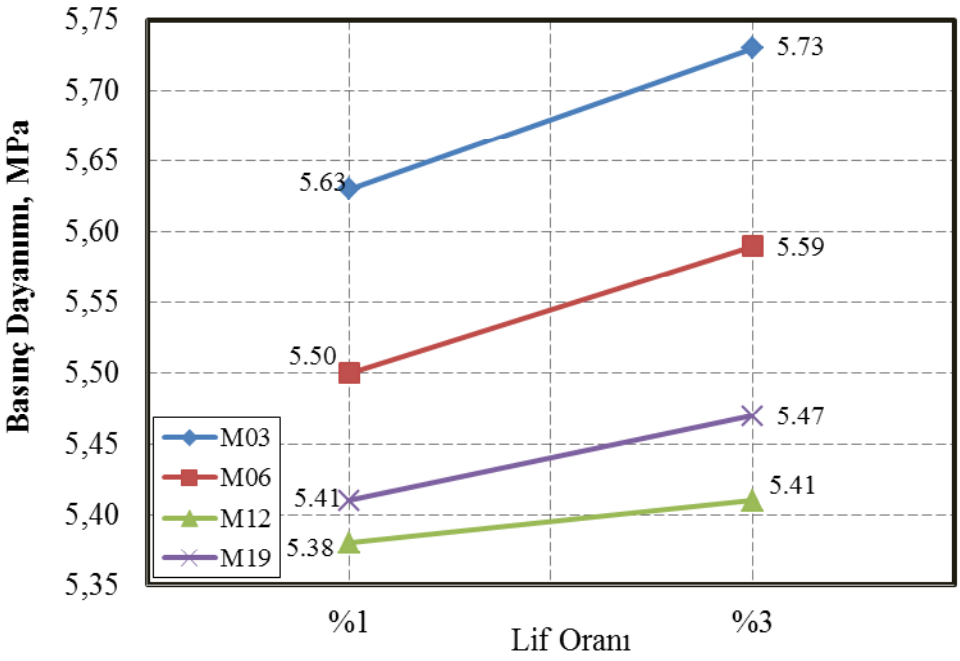
Şekil 7 - Eğilme dayanımı (28 gün)



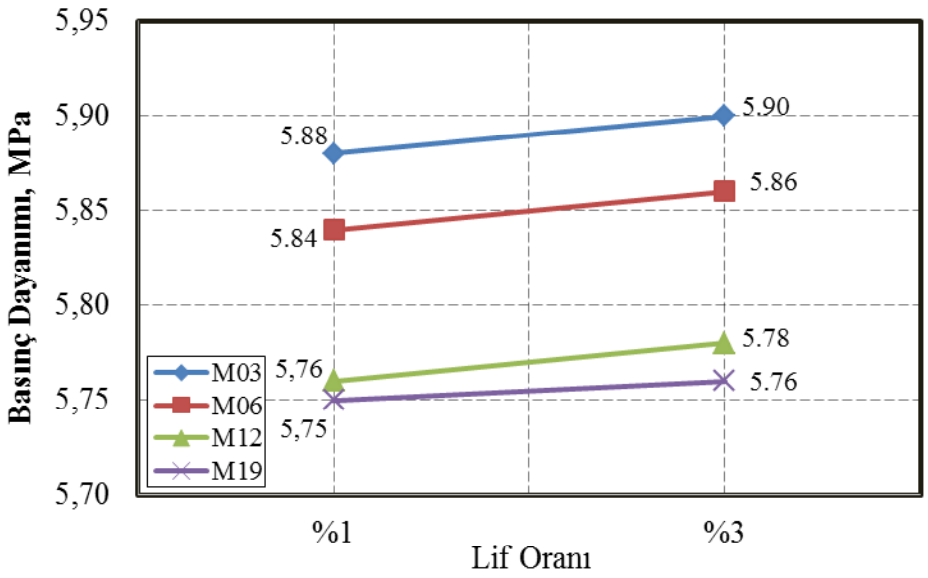
Şekil 8 - Eğilme deneyi sonrası M12 tip %3 lif katkılı numune

3.6 Basınç dayanımı

Basınç dayanımı deneyinde bulunan değerler Şekil 9 ve Şekil 10'da görülmektedir. Tüm numuneler için basınç dayanımlarında artış elde edildi. 28 günlük numunelerin basınç dayanımı 14 günlük numunelere göre daha yüksek olarak belirlendi. Polipropilen liflerin uzunluğu arttıkça basınç dayanımında azalma görüldü. En yüksek ve düşük basınç dayanımı değerleri %1 M03 ve %1 M12 tip lifler ile elde edildi.



Şekil 9 - Basınç dayanımı (14 gün)



Şekil 10 - Basınç dayanımı (28 gün)

4.0 SONUÇ

Horasan harcına katkı malzemesi olarak konulan polipropilen lifler numunelerde eğilme dayanımını arttırırken basınç dayanımını düşürmektedir. Horasan harcının içerisine gereğinden fazla oranda lif konulmasının eğilme dayanımına etkisinin olmadığı belirlenmiştir. Lif uzunluğu 12 mm'den fazla olan numuneler içerisinde boşlukların daha fazla olması nedeniyle basınç dayanımında azalmalar görülmektedir. 28 günlük numunelerin eğilme dayanımının 14 günlük numunelere göre ortalama %25 kadar daha yüksek olduğu görülmüştür. En iyi eğilme dayanımı 28 günlük %3 M12 tip lif katkılı numunelerde elde edilmiştir. En iyi basınç dayanımı ise 28 günlük %1 M03 lif katkılı numunelerde elde edilmiştir.

Polipropilen lif katkılı numunelerin katkısız numunelere göre daha hafif olduğu görülmüştür. Polipropilen lif yüzdesi arttıkça numunelerin taze birim ağırlıklarının azaldığı, kuru birim ağırlıklarının da arttığı gözlenmiştir. Deneylerde kiremit ve kirecin liflerle daha iyi aderans yaptığı görülrmektedir. Yayılma deneylerinde lif oranı ve boyunun artması ile yayılma değerlerinde azalmalar görülmüştür. Bunun nedeni uzun liflerin daha iyi aderans sağlaması ve harcı bir arada tutmasıdır. Numunelerin ultrases geçiş süresi deneylerinde, en iyi sonuçlar M12 tip lif ile sağlanmıştır. Lif uzunluğunun artması ile boşluk oranı artışı ile birlikte ultrases geçiş süresinin artması beklenirken aksine kısalması liflerin ses iletkenliğinin daha yüksek olması ile açıklanabilir.

KAYNAKLAR

1. Böke, H., Akkurt, S., "Ettringite formation in historic bath brick-lime plasters", **Cement Concrete Res**, Cilt 33, No 9, 1457-1464, 2003.
2. Akkurt, S., İpekoğlu, B., Böke, H., "The characteristics of brick powder mortars and plasters used in historic buildings", **Yapı Dergisi**, Cilt 269, No 4, 90-95, 2004.
3. Böke, H., Akkurt, S., İpekoğlu, B., Uğurlu, E., "Characteristics of brick used as aggregate in historic brick-lime mortars and plasters", **Cement Concrete Res**, Cilt 36, No 6, 1115-1122, 2006.
4. İpekoğlu, B., Böke, H., Çizer, Ö., "Assessment of material use in relation to climate in historical buildings", **Build Environ**, Cilt 42, No 2, 970-978, 2007.

5. Böke, H., Çizer, Ö., İpekoğlu, B., Uğurlu, E., Şerifaki, K., Toprak, G., "Characteristics of lime produced from limestone containing diatoms", **Constr Build Mater**, Cilt 22, No 5, 866-874, 2008.
6. Özkaya, Ö.A., Böke, H., "Properties of Roman bricks and mortars used in Serapis temple in the city of Pergamon", **Mater Charact**, Cilt 60, No 9, 995-1000, 2009.
7. Uğurlu, E., Böke, H., "The use of brick-lime plasters and their relevance to climatic conditions of historic bath buildings", **Constr Build Mater**, Cilt 23, No 6, 2442-2450, 2009.
8. Arıoglu, N., Acun, S., "A research about a method for restoration of traditional lime mortars and plasters: A staging system approach", **Build Environ**, Cilt 41, No 9, 1223-1230, 2006.
9. Miriello, D., Bloise, A., Crisci, G.M., Apollaro, C., Marca, A.L., "Characterisation of archaeological mortars and plasters from kyme (Turkey)", **J Archaeol Sci**, Cilt 38, No 4,794-804, 2011.
10. Güleç, A., Tulun, T., "Physico-chemical and petrographical studies of old mortars and plasters of Anatolia", **Cement Concrete Res**, Cilt 27, No 2, 227-234, 1997.
11. Bakolas, A., Biscontin, G., Moropoulou, A., Zendria, E., "Characterization of structural byzantine mortars by thermogravimetric analysis", **Thermochim Acta**, Cilt 321, No 1, 151-160, 1998.
12. Degryse, P., Elsen, J., Waelkens, M., "Study of ancient mortars from Sagalassos (Turkey) in view of their conservation", **Cement Concrete Res**, Cilt 32, No 9, 1457-1463, 2002.
13. Moropoulou, A., Cakmak, A.S., Biscontin, G., Bakolas, A., Zendri, E., "Advanced Byzantine cement based composites resisting earthquake stresses: the crushed brickylime mortars of Justinian's Hagia Sophia", **Constr Build Mater**, Cilt 16, No 8, 543-552, 2002.
14. Moropoulou, A., Bakolas, A., Bisbikou, K., "Investigation of the technology of historic mortars", **J Cult Herit**, Cilt 1, No 1, 45-58, 2000.
15. Binici, H., Arocena, J., Kapur, S., Aksogan, O., Kaplan, H., "Investigation of the physico chemical and microscopic properties of Ottoman mortars from Erzurum (Turkey)", **Constr Build Mater**, Cilt 24, No 10, 1995-2002, 2010.
16. Bakolas, A., Biscontin, G., Contardi, V., Franceschi, E., Moropoulou, A., Palazzi, D., Zendri, E., "Thermoanalytical research on traditional mortars in Venice", **Thermochim Acta**, Cilt 269/270, 817-828, 1995.
17. Işıkdağ, B., Topçu, İ.B., "The effect of ground granulated blast-furnace slag on properties of Horasan mortar", **Constr Build Mater**, Cilt 40, 448-454, 2013.
18. Parres, F., Crespo-Amoros, J.E., Nadal-Gisbert, A., "Mechanical properties analysis of plaster reinforced with fiber and microfiber obtained from shredded tires", **Constr Build Mater**, Cilt 23, No 10, 3182-3188, 2009.
19. Turkish Standard, TS EN 459-1, "Building lime, definitions, specifications and conformity criteria", 2012.
20. Turkish Standard, TS EN 771-1, "Specification for masonry units - Part 1: Clay masonry units", 2012.

21. American Standards of Testing Materials, ASTM C 1116-97, "Standard Specification for Fiber-Reinforced Concrete and Shotcrete", 1997.

22. American Standards of Testing Materials, ASTM C 597-97, "Standard Test Method for Pulse Velocity through Concrete", 1998.

23. Turkish Standard, TS EN 196-1, "Methods of testing cement-Part 1: Determination of strength", 2002.