



Yüksek Sıcaklığın Polipropilen Lif Takviyeli Horasan Harcının Bazı Özelliklerine Etkisi

Tuğçe İsağça Kaya¹, Kemal Karakuzu², Ali Mardani^{3*}, Adem Doğangün⁴

¹ Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye (ORCID: 0000-0002-9331-1339), tucekaya@uludag.edu.tr

² Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1023-3962), karakuzu.kemal@gmail.com

^{3*} Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye (ORCID: 0000-0003-0326-5015), alimardani@uludag.edu.tr

⁴ Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1867-7103), adogangun@uludag.edu.tr

(5th International Symposium on Innovative Approaches in Smart Technologies – 28-29 May 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1135216)

ATIF/REFERENCE: İsağça Kaya, T., Karakuzu, K., Mardani, A. & Doğangün, A. (2022). Yüksek Sıcaklığın Polipropilen Lif Takviyeli Horasan Harcının Bazı Özelliklerine Etkisi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (37), 96-101.

Öz

Dünyanın pek çok yerinde, tarihi eser niteliği taşıyan yapılarda kireç esaslı harç ve sıvaların kullanıldığı bilinmektedir. Horasan harcı ise ülkemizin önemli kültürel miraslarını oluşturan tarihi yapılarda sıklıkla rastlanan kireç esaslı bir geleneksel harç türüdür. Yüzyıllardan beri yapıların inşası sırasında örgü ve sıva harcı olarak kullanılan Horasan harcı günümüzde bu yapıların onarım ve güçlendirme işlerinde sıklıkla tercih edilmektedir. Bu sebeple, bu harcın dayanım ve durabilite özelliklerinin geliştirilmesine yönelik çalışmalar devam etmektedir. Bu çalışmada da sentetik bir lif çeşidi olan polipropilen lif takviyesinin, yüksek sıcaklığa maruz bırakılan Horasan harcının bazı özelliklerine etkisi incelenmiştir. Bu amaçla, kontrol karışımına ek olarak %0,4, 0,6, 0,8 oranlarında 3 mm uzunluğunda polipropilen lif içeren toplamda 4 farklı harç karışımı hazırlanmıştır. Tüm karışımlar için su/bağlayıcı, agrega/bağlayıcı oranları ve yayılma değerleri sırasıyla, 0,91, 3,0 ve 150±10 mm olarak sabit tutulmuştur. Tüm karışımlarda, bağlayıcı kütesinin %80'ini doğal hidrolik kireç ve %20'sini tuğla tozu oluşturmaktadır. Agrega olarak ise, %70 oranında tuğla kırığı %30 oranında dere kumu kullanılmıştır. Elde edilen harç numunelerinin, 90 günlük kür süresi sonunda, başlangıç durumunda ve 300, 600, 900 °C sıcaklığa maruz bırakıldıktan sonraki birim hacim ağırlık, ultrases geçiş hızı ve dinamik elastisite modülü değerleri belirlenmiştir. Deneysel çalışma sonucunda, harç karışımlarında lif kullanımı ve dozajının artışı ile hedef yayılma değerine ulaşabilmek için su azaltıcı katkı ihtiyacının arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca, lif içeriğine bağlı olarak, numunelerin başlangıç durumunda ve 300 °C sıcaklığa maruz bırakıldıklarında söz konusu değerlerinde azalma olduğu görülmüştür. Daha yüksek sıcaklıklarda ise lifli ve lifsiz numunelerin ultrases geçiş hızı ve dinamik elastisite modülü değerleri açısından benzerlik gösterdiği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Horasan Harcı, Kireç Harcı, Polipropilen Lif, Yüksek Sıcaklık

Effect of Elevated Temperature on Some Properties of Polypropylene Fiber Reinforced Khorasan Mortar

Abstract

In many parts of the world, it is known that lime-based mortars and plasters are used in buildings that have the characteristics of historical monuments. On the other hand, Khorasan mortar is a traditional type of lime-based mortar that is frequently found in historical buildings that constitute the important cultural heritage of our country. Khorasan mortar was used as a masonry mortar and plaster during the construction of structures for centuries. It is also frequently preferred in the restoration works of these structures. For this reason, studies are continuing to improve the strength and durability properties of this mortar. In this study, the effect of polypropylene fiber reinforcement on some properties of Khorasan mortar specimens exposed to high temperatures was investigated. For this purpose, in addition to the control mixture, four different mortar mixtures containing 3 mm long polypropylene fiber at 0.4, 0.6 and 0.8% ratios were prepared. Water/binder, aggregate/binder ratios and target flow value for all mixtures were constant at 0.91, 3.0 and 150±10 mm, respectively. 80% of the binder mass consists of natural hydraulic lime and 20% of brick dust in all mixtures. 70% crushed brick and 30% river sand were used as aggregate. At the end of the 90-day curing period, the unit weight, ultrasonic pulse velocity and modulus of dynamic elasticity values of the mortar specimens were determined in their initial state and after exposure to 300, 600, 900 °C. As a result of the experimental study, it was determined that the need for water-reducing admixture increased to reach the target flow value with the increase in fiber utilization ratio in mortar mixtures. In addition, depending on the fiber utilization ratio, it was observed that the values in question decreased in the initial state and after exposure to a temperature of 300 °C. At higher temperatures, fibrous and non-fibrous specimens were found to have similar properties in terms of ultrasonic pulse velocity and modulus of dynamic elasticity.

Keywords: Khorasan Mortar, Lime Based Mortar, Polypropylene Fiber, Elevated Temperature.

1. Giriş

Çimento teknolojisinin gelişmesinden önce yapılarda, kireç esaslı harçların tercih edildiği bilinmektedir. Bu sebeple, tarihi yapılarda kireç esaslı harçlara sıklıkla rastlanmaktadır. Ancak kirecin geç priz alması, dayanım kazanma süresinin uzun olması ve gözenekli yapısı nedeniyle çeşitli dayanım ve dayanıklılık sorunları gözlemlenebilmektedir (Silva ve ark., 2019; Arizzi ve Cultrone, 2012). Bu amaçla, dönemin teknolojisine bağlı olarak, çeşitli katkı ve lif kullanımı ile bu harçların dayanım ve dayanıklılık performansları artırılmaya çalışılmıştır (Brandt, 2008; Tekin ve Kurugöl, 2012). Kireç esaslı bir harç türü olan Horasan harcı, öğütülmüş tuğla veya kiremit parçası içeren geleneksel bir harç türüdür. Horasan harcının yapısında bulunan pişmiş kil (tuğla tozu, tuğla kırığı vb.), puzolanik aktivite özelliği ile harcın hidrolik performansını artırarak, karışımların dayanım ve dayanıklılık özelliklerini olumlu etkilemektedir. Horasan harcı, hidrolik özelliğinden ötürü, Osmanlı, Selçuklu ve Bizans dönemlerinde, suya maruz kalan yapılarda sıklıkla tercih edilmiştir (Akman ve ark.,1986; Böke ve İpekoğlu, 2004; İsafova ve ark, 2021).

Tarihi yapılarda, çevresel koşullara, dinamik yüklere, yapının kullanım amacına ve kullanılan malzeme gibi etkenlere bağlı olarak çeşitli bozulmalar meydana gelebilir (Torraca, 1982; İsafova ve ark., 2021). Yangınlar da bu etkenlerden biridir. Dünyanın pek çok farklı yerinde meydana gelen yangınlar, tarihi yapılarda ciddi hasarlar meydana getirmektedir. Horasan harcı gibi, yığma yapılarda taşıyıcı duvarları oluşturan elemanları birbirine bağlama amaçlı ya da yapıyı korumak üzere sıva olarak kullanılan malzemelerin, yüksek sıcaklığa maruz kalması sonucunda, fiziko-mekanik ve kimyasal özellikleri önemli derecede olumsuz etkilenebilmektedir. Örneğin, örgü harçlarının performansının zayıflaması yapının stabilitesinin olumsuz etkilenmesine sebep olabilmektedir. Yangına maruz kalan harcın performansı, malzemenin yapısı, ulaşılan maksimum sıcaklık ve maruz kalma süresi gibi etkenler ile ilişkilidir (Pachta ve Stefanidou, 2021).

Çimentolu sistemlerde, yüksek sıcaklığa karşı direncin artırılmasında polipropilen (PP) lifler sıklıkla kullanılmaktadır (Akça ve Zihnioğlu, 2013; Akça ve Özyurt, 2018; Durgun ve ark., 2021). Lifler, yüksek sıcaklıkta eriyerek yüksek sıcaklık etkisine bağlı olarak oluşabilecek buhar basıncının azalmasını sağlayan boşluklar oluşturmaktadır. Fakat, Horasan harcının yüksek sıcaklık direncinin artırılmasına yönelik yapılan çalışmalarda eksiklik olduğu görülmüştür.

Bu çalışma kapsamında da yüksek sıcaklığa maruz bırakılan PP lif takviyeli Horasan harç numunelerinin dinamik elastisite modülü ve gözeneklilik özelliklerinin ultra-ses geçiş hızı (UPV) deneyi yardımı ile yorumlanması hedeflenmiştir. Bu amaçla, lif içermeyen kontrol karışımına ek olarak, hacimce %0,4, 0,6 ve 0,8 oranlarında PP lif içeren toplamda 4 farklı harç karışımı hazırlanmıştır. Hazırlanan harç karışımlarının, 150±10 mm olarak belirlenen hedef yayılma değerine ulaşabilmesi için gerekli su azaltıcı katkı miktarı ve zamana bağlı yayılma değerleri belirlenmiştir. 90 günlük kür süresinin sonunda sertleşmiş hal birim hacim ağırlık (BHA), ultrases geçiş hızı (UPV) ve dinamik elastisite modülü (DEM) değerleri tespit edilmiştir.

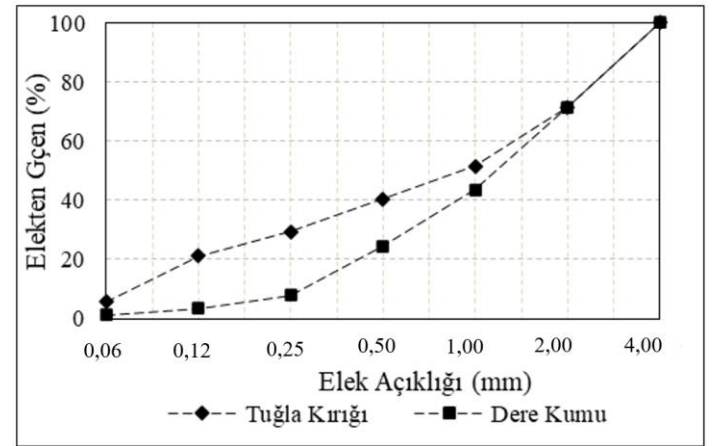
2. Materyal ve Metot

2.1. Malzemeler

Horasan harç karışımlarında, bağlayıcı olarak ağırlıkça %80 doğal hidrolik kireç (NHL3,5) ve %20 tuğla tozu (90 µm elekten elenmiş) kullanılmıştır. Hidrolik kireç ve tuğla tozunun fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Agregata olarak 4 mm'lik elekten elenen tuğla agregası ve nehir kumu tercih edilmiştir. Agregalara ait gradasyon eğrisi Şekil 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Harç karışımlarında kullanılan doğal hidrolik kireç ve tuğla tozuna ait fiziksel ve kimyasal özellikler

Bileşen	Birim	Miktar	
		Doğal Hidrolik Kireç	Tuğla Tozu
SiO_2	%	8,47	47,72
Al_2O_3	%	3,46	14,60
Fe_2O_3	%	0,39	11,02
CaO	%	53,84	8,98
MgO	%	0,62	6,51
SO_3	%	0,54	1,25
Na_2O	%	0,16	2,39
K_2O	%	0,27	1,60
Kızdırma Kaybı	%	30,41	0,92
Özgül Ağırlık		2,79	2,95
Blaine	cm ² /g	5850	4150



Şekil 1. Tuğla agregası ve dere kumuna ait gradasyon eğrisi

Tablo 2. Harç karışımlarını oluşturan malzeme miktarları

Karışım	Kireç(g)	Tuğla Tozu (g)	Tuğla Kırığı (g)	Dere Kumu (g)	Su (g)	Lif (%) *	Su Azaltıcı Katkı (%) **
K	280	70	735	315	320	-	-
PPF4	280	70	735	315	320	0,4	0,28
PPF6	280	70	735	315	320	0,6	0,40
PPF8	280	70	735	315	320	0,8	0,50

*Hacimce **Ağırlıkça

2.1.1. Karışımların Hazırlanması

Çalışma kapsamında, su azaltıcı katkı veya lif içermeyen kontrol karışımına ek olarak, hacimce %0,4, 0,6 ve %0,8 oranlarında 3 mm uzunluğunda ve 0,91 g/cm³ yoğunluğunda PP lif içeren dört farklı Horasan harç karışımı hazırlanmıştır. Tüm karışımların bağlayıcı/agrega oranı ve hedef yayılma değerleri sırasıyla 1/3 ve 150±10 mm olarak sabit tutulmuştur. Ayrıca lifli karışımlarda, hedef yayılma değerini sağlamak için polikarboksilat eter esaslı su azaltıcı katkı kullanılmıştır.

Karışımların isimlendirilmesi, içerdikleri lif oranlarına göre yapılmıştır. Lif içermeyen kontrol karışımı K ile gösterilirken %0,4 oranında lif içeren karışım PPF4 olarak isimlendirilmiştir. Horasan harç karışımlarının üretiminde kullanılan malzeme miktarları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2'de verilen karışım oranları göz önünde bulundurularak, yüksek sıcaklık deneyine tabi tutulmak üzere, 50 mm boyutlarında küp numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler, EN 1015-11'e uygun olarak, ilk 2 günü kalıp içerisinde olmak üzere 20±2°C'de %95±5 bağıl nemli ortamda 7 gün, deney gününe kadar da 20±2°C'de, %65±5 bağıl nemli ortamda bekletilmiştir.

2.1. Metot

PP lif kullanımının harç karışımlarının zamana bağlı yayılma miktarına etkisini incelemek amacı ile 60 dakika boyunca her 15 dakikada bir ASTM C1437 standardına göre yayılma ölçümü gerçekleştirilmiştir.

90 günlük Horasan harç numunelerinin birim hacim ağırlık değerleri TS EN 12390-7 Standardına, ultrases geçiş hızı değerleri ASTM C597 Standardına göre tespit edilmiştir. Numunelerin dinamik elastisite modülleri Neville (2010) tarafından önerilen ve aşağıda gösterilen Denklem 1 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$E_{dn} = \rho c^2 \frac{(1 + \nu)(1 - 2\nu)}{(1 - \nu)} \quad (1)$$

E_{dn} : numunenin dinamik elastisite modülü (MPa),

ρ : sertleşmiş numunenin yoğunluğu (kg/m³),

c : ultrases geçiş hızı değeri (km/s)

ν = Poisson oranı

Poisson oranı tüm numuneler için 0,15 olarak kabul edilmiştir (Demirkan D.S., 2014; Drougkas ve ark., 2019).

3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

3.1. Taze Hal Özellikleri

Karışımların hedef yayılma değerini sağlamak için su azaltıcı katkı gereksinimi ve zamana bağlı yayılma değerleri Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3: Harç karışımlarına ait zamana bağlı yayılma değerleri (mm)

Karışım	Su Azaltıcı Katkı (%) *	0. dk	15. dk	30. dk	45. dk	60. dk
K	-	16,0	15,6	14,7	14,7	14,2
PPF4	0,28	16,0	15,6	15,4	15,1	14,7
PPF6	0,40	15,9	14,9	14,2	14,1	13,7
PPF8	0,50	14,0	13,3	13,0	12,5	12,5

*Ağırlıkça

Tablo 3'ten de anlaşıldığı gibi karışımlara lif ilavesi ve kullanım oranının artması ile istenilen yayılma değerini sağlamak için su azaltıcı katkı gereksiniminin arttığı görülmüştür. Söz konusu su azaltıcı katkı gereksiniminin artışının, liflerin işlenebilirliği olumsuz etkilemesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Lif dozajının artışı ile bu etki daha baskın hale gelmektedir. Literatürde PP lif kullanılan çalışmalarda benzer sonuçlar tespit edilmiştir (Izaguirre ve ark. 2011; Barbero-Barrera ve Medina, 2018).

Lif kullanımının karışımların zamana bağlı yayılma davranışına etkisini incelemek için, karışımların yayılma değerleri, her 15 dakikada bir olmak üzere 60 dakika boyunca ölçülmüştür. Buna göre, 60 dakika sonunda karışımların yayılma değerlerindeki kaybın %7,8 ve 10,9 arasında olduğu görülmüştür. Bu bağlamda, kıvam koruma bakımından en iyi performansı PPF4, en kötü performansı ise PPF6 karışımının gösterdiği belirlenmiştir.

3.2. Sertleşmiş Hal Özellikleri

3.2.1. Sertleşmiş Hal Birim Hacim Ağırlık

Çalışma kapsamında, Horasan harç numuneleri 25°C ve 300°C, 600°C ve 900°C sıcaklığa maruz bırakıldıktan sonra BHA değerleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4: Horasan harç numunelerine ait sertleşmiş hal birim hacim ağırlık değerleri (kg/m³)

	Karışımların sertleşmiş hal BHA değerleri (kg/m ³)			
	22°C	300°C	600°C	900°C
K	1757,33	1756	1728	1584
PPF4	1706,67	1700	1676	1544
PPF6	1714,67	1688	1680	1544
PPF8	1680	1679.52	1628	1524

Hem kireç esaslı harçlarda hem de çimentolu sistemlerde kullanılan lifin topaklaşmasının, karışımların işlenebilirlik ve sıkıştırılabilirlik özelliklerini olumsuz etkileyerek harcın yapısında boşluk oluşumuna sebep olduğu bilinmektedir (Rosato ve ark., 2017; Izaguirre ve ark., 2011; Latifi ve ark., 2021; Durgun ve ark. 2022). Yüksek sıcaklık etkisinden bağımsız olarak, bu durum harç numunelerinin boşluk yapısını etkilemektedir. Tablo 4'ten görüldüğü üzere lif ilavesi ile tüm sıcaklık derecelerinde, harç numunelerinin BHA değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Lif dozajından bağımsız olarak, numunelerin maruz kaldığı sıcaklık arttıkça BHA değerlerinde azalma meydana gelmiştir. 300 °C'ye maruz bırakılan tüm numuneler için BHA değerlerindeki azalma, %1'in altında olmuştur. Bununla birlikte BHA kaybındaki en yüksek ve en düşük kayıplar sırasıyla, 600 °C için %3,1 (PPF8) ve %1,7 (K), 900 °C için ise %9,9 (K) ve %9,3 (PPF8) şeklinde olmuştur.

Yüksek sıcaklığa maruz kalan lifli numunelerin boşluk yapısı üzerinde 2 farklı mekanizmadan bahsedilmektedir (Aydın ve ark, 2008; Durgun ve ark., 2022). Birinci mekanizmada, numunelerin içerisindeki lifler yüksek sıcaklık altında eriyerek numunelerdeki boşluk miktarının artmasına sebep olur. İkinci mekanizmada ise erimiş liflerin oluşturduğu boşluk sebebiyle numunelerin gözeneklerindeki buhar basıncı azalır. Bu durum, bu basıncın numuneye olan zararlı etkisini azaltır. Buna bağlı olarak yüksek sıcaklıktan kaynaklı çatlak oluşumu da azalabilmektedir. Ayrıca, boşluk miktarı fazla olan numunelerde, soğuma daha yavaş gerçekleşmektedir. Buna bağlı olarak da soğutma işlemi sırasında numunede çatlak oluşumunun daha az olduğu bildirilmiştir (Durgun ve ark., 2022).

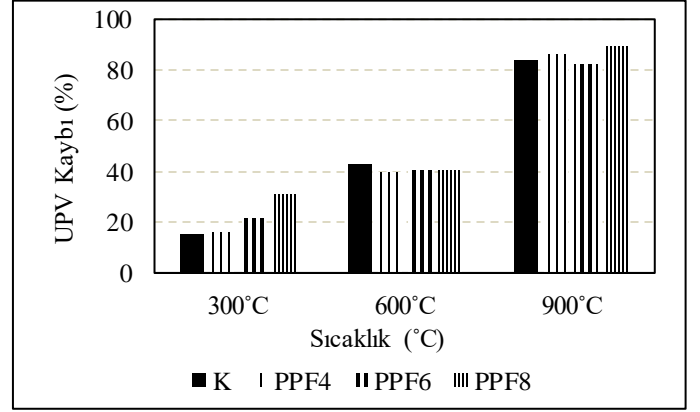
Çalışma kapsamında kullanılan PP lifin erime sıcaklığı 162 °C'dir. Bu sebeple, 300°C'ye kadar yüksek sıcaklık deneyine tabi tutulan numunelerde gerçekleşen BHA değerlerindeki azalmanın, liflerin erimesine bağlı olduğu düşünülmektedir. 200-600°C arasında, harç yapısında bulunan kalsiyum silika hidrat ve kalsiyum alümina hidratların dehidroksilasyona uğradığı bilinmektedir (Böke ve ark., 2006). 600 °C'deki ağırlık kaybının liflerin erimesine ek olarak bu durumdan kaynaklandığı düşünülmektedir. Sıcaklık 900°C'ye ulaştığında ise, bağlayıcılık özelliği gösteren yapıların dekompoze olması nedeniyle ağırlık kaybı oluşmaktadır.

3.2.2. Ultrases Geçiş Hızı

Yüksek sıcaklık deneyine tabi tutulan Horasan harcı numunelerinin deney öncesinde ve sonrasında UPV değerleri ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar ve numunelerin başlangıç durumuna göre bağlı UPV değerleri sırasıyla, Tablo 5 ve Şekil 2'de verilmiştir.

Tablo 5: Harç numunelerine ait UPV değerleri (km/s)

Karışım	Karışımların UPV değerleri (km/s)			
	22°C	300°C	600°C	900°C
K	1,843	1,561	1,063	0,291
PPF4	1,796	1,501	1,087	0,246
PPF6	1,795	1,403	1,071	0,217
PPF8	1,770	1,217	1,053	0,187



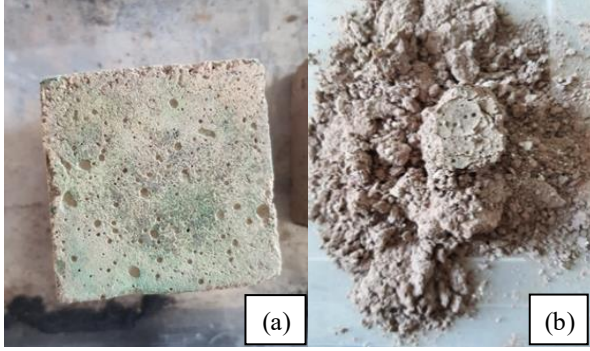
Şekil 2. Yüksek sıcaklığa maruz kalan numunelerin UPV değerleri için kayıp yüzdeleri

Tablo 5'ten görüldüğü üzere sıcaklık etkisinden bağımsız olarak lif oranının artışı ile UPV değerleri azalmıştır. PP lif kullanımının, çimentolu sistemlerin gözenekliliğini arttırdığını gösteren çalışmalar mevcuttur (Karahana ve Atış, 2011). Bu sonuç, numunelerin birim hacim ağırlık değerleri ile de örtüşmektedir. Sıcaklık artışı ile numunelerin UPV değerlerindeki düşüş yüzdeleri de artmıştır. 300 °C derece sıcaklıkta UPV değerindeki en düşük azalma kontrol numunesinde gerçekleşmiştir. Lif kullanım oranının artmasıyla, UPV değerindeki azalma artmıştır. Bu durumun, 300 °C 'de eriyen liflerin boşluk oluşturarak UPV değerini azaltmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Uysal ve arkadaşları da (2012) çimentolu sistemler üzerinde yaptıkları bir çalışmada, yüksek sıcaklığa maruz bırakılan, PP lif içeren numunelerin UPV değerlerindeki düşüşün liffsiz numunelere göre daha fazla olduğunu tespit etmişlerdir. Bu bağlamda, lif kullanım ile matriste oluşan boşluk miktarının UPV değerlerini olumsuz etkilediği söylenebilmektedir.

600 ve 900 °C'de UPV değerlerindeki düşüş oranları birbirine yakın olmuş ancak 300 °C'deki değerlere göre artış göstermiştir. Bu durumun ise lif kullanımının etkili olduğu 2. mekanizmaya bağlı olduğu düşünülmektedir. Sıcaklık artışı ile numunenin içerisinde oluşan buhar basıncı da artmıştır. Ancak lif oranı yüksek olan numunelerde lifin erimesi ile oluşan boşluklar bu basınca bağlı olarak meydana gelebilecek çatlak oluşumunu azaltmıştır. Ancak kontrol numunesinde, boşluk miktarının daha az olmasına bağlı olarak, sıcaklık artışı ile birlikte buhar basıncından kaynaklı hasar oluştuğu düşünülmektedir. Buna bağlı olarak, kontrol numuneleri 300 °C'de lifli numunelere göre daha üstün performans sergilerken 600 °C'deki performansı lifli numunelere yakın olmuştur.

900 °C'de ise, numunelerde renk değişimi gözlemlenmiş ve soğumaya bırakılan numunelerin boyutsal kararlılığının bozulduğu tespit edilmiştir. Bu sıcaklıkta, tüm numunelerin UPV değerlerinde %80'in üzerinde düşüş gerçekleşmiştir. Bu

durumun, birim hacim ağırlık değerlerinden de görüldüğü üzere, numunelerin boyutsal kararlılığının bozulmuş olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Şekil 3).



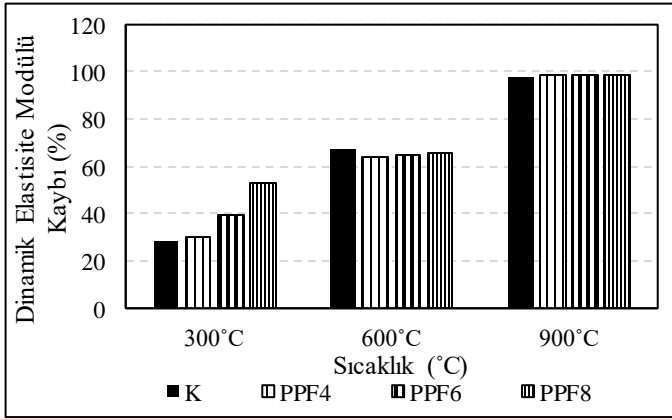
Şekil 3. 900 °C derece sıcaklığa maruz bırakılan harç numunelerinin soğutulmadan önce (a) ve sonraki (b) görünümü

3.2.3. Dinamik Elastisite Modülü

90 günlük Horasan harcı numunelerinin dinamik elastisite modülü değerleri ve sıcaklığa bağlı olarak meydana gelen azalma yüzdeleri sırasıyla Tablo 6 ve Şekil 4'te verilmiştir.

Tablo 6: Harç numunelerinin ait dinamik elastisite modülü değerleri (MPa)

Karışım	Numunelerin DEM değerleri (MPa)			
	22°C	300°C	600°C	900°C
K	5,671	4,066	1,855	0,127
PPF4	5,230	3,639	1,881	0,089
PPF6	5,216	3,157	1,822	0,069
PPF8	5,000	2,363	1,715	0,050



Şekil 4. Yüksek sıcaklığa bağlı olarak harç numunelerinin dinamik elastisite modülü değerlerindeki kayıp yüzdeleri

Tablo 6'dan görüldüğü üzere sıcaklıktan bağımsız olarak lif takviyesi ile harç numunelerinin dinamik elastisite modülü değerlerinde belirgin bir değişim gözlemlenmemiştir. Gil ve ark. (2016) da lif takviyesinin çimento ve kireç esaslı harçlara etkisini inceledikleri çalışmalarında, kireç esaslı harçlarının dinamik elastisite modülü değerlerinde önemli bir değişiklik olmazken çimento harçlarında bir miktar saçılma olduğunu tespit etmişlerdir.

Lif kullanımından bağımsız olarak, sıcaklık artışı ile birlikte dinamik elastisite modülü değerlerinde de düşüş tespit edilmiştir. Numunelerin ölçülen UPV değerleri ile bağlantılı olarak, 300°C'de lif oranının artışı ile dinamik elastisite modülü

değerlerinde azalma olurken; 600 ve 900 °C'deki değerlerin düşüş yüzdelerinde önemli bir fark tespit edilememiştir.

4. Sonuç

Yüksek sıcaklığın, lif takviyeli Horasan harcının bazı özelliklerine etkisinin incelendiği çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Lif takviyesi yapılan harç karışımlarının işlenebilirliği olumsuz etkilenmiş ve belirlenen hedef yayılma miktarına ulaşması için su azaltıcı katkı gereksinimi artmıştır.
- Lif kullanımından bağımsız olarak, yüksek sıcaklık deneyine tabi tutulan harç numunelerinin tamamında birim hacim ağırlık, ultrases geçiş hızı ve bunlara bağlı olarak da dinamik elastisite modülü değerlerinin azaldığı görülmüştür. Sıcaklık artışı ile birlikte söz konusu değerlerdeki düşüş belirginleşmiştir.
- Harç numunelerindeki lif içeriğinin artışı ile 300°C'de UPV ve dinamik elastisite modülü değerleri olumsuz etkilenirken, özellikle 600 °C sıcaklığa maruz bırakılan tüm numunelerin söz konusu değerleri arasında önemli bir fark olmadığı görülmüştür.

5. Teşekkür

Bu çalışma, Bursa Uludağ Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından OUAP(MH) 2020/4 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir. Birinci ve ikinci yazarlar doktora eğitimleri süresince Yükseköğretim Kurulu tarafından sağlanan YÖK 100/2000 bursu ile desteklenmektedir. Ayrıca birinci yazar, TÜBİTAK 2211A burs programı kapsamındaki destekleri için, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na teşekkür eder. Ayrıca yazarlar, kireç ve tuğla tozunun kimyasal bileşimini ve fiziksel özelliklerini belirlemede Bursa Çimento Fabrikası'na, su azaltıcı katkı ve polipropilen lifin sağlanmasındaki nazik yardımlarından dolayı Polisan Yapı Kimyasalları ve Polyfibers Şirketlerine teşekkür eder.

Kaynakça

- Akca, A. H., & Özyurt, N. (2018). Deterioration and recovery of FRC after high temperature exposure. *Cement and Concrete Composites*, 93, 260-273.
- Akca, A. H., & Zihnioglu, N. Ö. (2013). High performance concrete under elevated temperatures. *Construction and building materials*, 44, 317-328.
- Akman, M., Güner, A., Aksoy, İ., (1986). Horasan harcı ve betonunun tarihi ve teknik özellikleri. II. Uluslararası türk-islam bilim ve teknoloji tarihi kongresi, İ.T.Ü., İstanbul
- Arizzi, A., Martínez-Martínez, J., & Cultrone, G. (2013). Ultrasonic wave propagation through lime mortars: an alternative and non-destructive tool for textural characterization. *Materials and Structures*, 46(8), 1321-1335.
- Arizzi, A., Viles, H., & Cultrone, G. (2012). Experimental testing of the durability of lime-based mortars used for rendering historic buildings. *Construction and Building Materials*, 28(1), 807-818.

- Aydin, S., Yazici, H., & Baradan, B. (2008). High temperature resistance of normal strength and autoclaved high strength mortars incorporated polypropylene and steel fibers. *Construction and Building Materials*, 22(4).
- Barbero-Barrera, M. M., & Medina, N. F. (2018). The effect of polypropylene fibers on graphite-natural hydraulic lime pastes. *Construction and Building Materials*, 184, 591-601.
- Böke, H., Akkurt, S. & İpekoğlu, B. (2004). Tarihi yapılarda kullanılan Horasan harcı ve sıvalarının özellikleri. *Yapı Dergisi*, 269, 90-94.
- Böke, H., Akkurt, S., İpekoğlu, B., & Uğurlu, E. (2006). Characteristics of brick used as aggregate in historic brick-lime mortars and plasters. *Cement and Concrete Research*, 36(6), 1115–1122.
- Brandt, A. M. (2008). Fibre reinforced cement-based (FRC) composites after over 40 years of development in building and civil engineering. *Composite structures*, 86(1-3), 3-9.
- Demirkan, D. S. (2014). Yiğma yapılarda derz kalınlığı ve duvarörme tekniğinin yapıya etkisinin anizotrop bir model üzerinde incelenmesi (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Drougkas, A., Verstryngge, E., Hayen, R., & Van Balen, K. (2019). The confinement of mortar in masonry under compression: experimental data and micro-mechanical analysis. *International Journal of Solids and Structures*, 162, 105-120.
- Durgun, M. Y., Özen, S., Karakuzu, K., Kobya, V., Bayqra, S. H., & Mardani-Aghabaglou, A. (2022). Effect of high temperature on polypropylene fiber-reinforced mortars containing colemanite wastes. *Construction and Building Materials*, 316, 125827.
- Gil, L., Bernat-Masó, E., & Cañavate, F. J. (2016). Changes in properties of cement and lime mortars when incorporating fibers from end-of-life tires. *Fibers*, 4(1), 7.
- Izaguirre, A., Lanás, J., & Alvarez, J. I. (2011). Effect of a polypropylene fibre on the behaviour of aerial lime-based mortars. *Construction and Building Materials*, 25(2), 992-1000.
- İsağa, T., Karakuzu, K., Özen, S., Doğangün, A., & Mardani-Aghabaglou, A. (2021). Effects of material properties on the mechanical and durability behaviors of Khorasan mortar mixtures: a review. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 35(23), 2507-2528.
- Karahan, O., & Atış, C. D. (2011). The durability properties of polypropylene fiber reinforced fly ash concrete. *Materials & Design*, 32(2), 1044-1049.
- Latifi, M. R., Biricik, Ö., & Mardani Aghabaglou, A. (2022). Effect of the addition of polypropylene fiber on concrete properties. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 36(4), 345-369.
- Neville, A. M., & Brooks, J. J. (2010). *Concrete Technology*, 2nd Editio. Edinburgh, England: Pearson Education Limited.
- Nunes, C., & Slížková, Z. (2016). Freezing and thawing resistance of aerial lime mortar with metakaolin and a traditional water-repellent admixture. *Construction and Building Materials*, 114, 896-905.
- Pachta V. & Stefanidou M. (2021), Evaluation of the Behaviour of Lime and Cement Based Mortars Exposed at Elevated Temperatures, 12th International conference on structural analysis of historical constructions, September 2021, Spain.
- Rosato, L., Stefanidou, M., Milazzo, G., Fernandez, F., Livreri, P., Muratore, N., & Terranova, L. M. (2017). Study and evaluation of nano-structured cellulose fibers as additive for restoration of historical mortars and plasters. *Materials Today: Proceedings*, 4(7), 6954–6965.
- Silva, B., Pinto, A. P. F., Gomes, A., & Candeias, A. (2019). Fresh and hardened state behaviour of aerial lime mortars with superplasticizer. *Construction and Building Materials*, 225, 1127-1139.
- Tekin, Ç., & Kurugöl, S. (2012). Impacts of Various Organic Additives on Carbonization of Lime, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 27(4).
- Torraca, G. (1982). Porous building materials, materials science for architectural conservation. International Centre for The Study of The Preservation and The Restoration of Cultural Property, Italy.
- Uysal, M., Yılmaz, K., & Ipek, M. (2012). Properties and behavior of self-compacting concrete produced with GBFS and FA additives subjected to high temperatures. *Construction and Building Materials*, 28(1), 321-326.