



Makale / Research Paper

Horasan Harcında Farklı Karışım Oranlarının Taze ve Sertleşmiş Harç Özelliklerine Etkileri

İsmail KILIÇ^{1a*}, Gözde GÖKÇEN^{2b}

¹Kırklareli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kırklareli/TÜRKİYE
²Kırklareli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Kırklareli/TÜRKİYE
ismail.kilic@klu.edu.tr

Received/Geliş: 24.06.2021

Accepted/Kabul: 26.10.2021

Öz: Tarihi eserlerin restorasyonlarında malzeme analizi yapılmadan farklı harç karışımlarının kullanılması, mevcut malzemenin özgünlüğüne zarar vermektedir. Tarihi eserlerimizde sıkça kullanılmış olan horasan harcının bir standardı veya belirlenmiş bir karışım oranı bulunmamaktadır. Bu nedenle, horasan harcına yönelik çeşitli karışım oranlarını barındıran bu araştırma ile alandaki eksikliğe çözüm üretilmeye çalışılmıştır. Bu çalışmada, 45 farklı horasan harcı karışımından toplamda 405 adet harç örneği üretilmiştir. Horasan harcı karışımlarında tuğla kırığı, doğal kum, hidrolik kireç ve su kullanılmıştır. Taze harç örnekleri üzerinde kıvam tayini deneyi yapılmıştır. 28, 240 ve 365 günlük harç örnekleri üzerinde ise birim hacim ağırlık, ultrases geçiş süresi, eğilme ve basma mukavemet testleri yapılmıştır. Deneyler sonucu elde edilen verilere dayalı olarak, mukavemet açısından çalışmadaki en iyi karışım oranları belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hidrolik kireç; horasan harcı; kireç harcı; tarihi harç; tuğla kırığı.

Effects of Different Mixing Ratios on Fresh and Hardened Mortar Properties in Khorasan Mortar

Abstract: The use of different mortar mixtures without material analysis in the restoration of historical artifacts damages the originality of the existing material. There is no standard or determined mixing ratio of the khorasan mortar, which is frequently used in our historical works. For this reason, a solution to the deficiency in the field has been tried to be found with this research, which includes various mixing ratios for khorasan mortar. In this study, a total of 405 mortar samples were produced from 45 different mixtures of khorasan mortar. Brick fracture, natural sand, hydraulic lime and water are used in mixtures of khorasan mortar. Determination of consistency test was performed on fresh mortar samples. Unit weight, ultrasound transit time, flexural and compressive strength tests were performed on the samples of 28, 240 and 365 days of mortar. Based on the data obtained as a result of the experiments, the best mixture ratios in the study in terms of strength were determined.

Keywords: Hydraulic lime; khorasan mortar; lime mortar; historical mortar; brick fracture.

1. Giriş

Tarihi eserlere sahip çıkmak ve korumak hepimizin görevidir. Korumanın yeterli olmadığı durumlarda bu eserler restore edilmelidir. Restorasyon aşamasında özgün malzemelerin kullanılması gerekmektedir. Horasan harcı tarihi eserlerin restorasyonunda yaygın olarak kullanılan malzeme olmasından dolayı özellikleri çok iyi bilinmelidir.

Horasan harcı Roma, Bizans, Selçuklu ve Osmanlı dönemlerinde kullanılmıştır. Horasan kelimesinin İran'ın Horasan bölgesinden geldiği bilinmektedir [1,2]. Horasan, kırılmış, öğütülmüş

Bu makaleye atıf yapmak için

Kılıç, İ., Gökçen, G., "Horasan Harcında Farklı Karışım Oranlarının Taze ve Sertleşmiş Harç Özelliklerine Etkileri" El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi 2021, 8(2); 203-219.

How to cite this article

Kılıç, İ., Gökçen, G., "Effects of Different Mixing Ratios on Fresh and Hardened Mortar Properties in Khorasan Mortar" El-Cezerî Journal of Science and Engineering, 2021, 8(2); 203-219.

ORCID ID: ^a0000-0001-5556-512X; ^b0000-0003-3681-2150

tuğla ve kiremit gibi pişmiş killere denilmektedir [3]. Horasan harcı ise tuğla kırığı, kireç, su, çeşitli lifler ve katkıları kullanılarak hazırlanan, bağlayıcı ve taşıyıcı özelliğe sahip bir malzemedir [4-7]. Kireç içeren harçlar, eski dönemlerden çimentonun bulunmasına kadar geçen sürede yapıların inşasında yaygın olarak kullanılmıştır [8-10]. Bu harçlar, su kemerleri, sarnıç ve hamam gibi yapıların inşaatlarında değerlendirilmiştir [11-15]. Tarihi yapıların restorasyonunda bağlayıcı olarak hidrolik kirecin kullanıldığı harçlar tavsiye edilmektedir [16,17].

Roma, Bizans, Selçuklu dönemi harçları, bağlayıcı/agrega oranları ve içerikleri, fiziksel ve mekanik özellikleri açısından birbirine benzemektedir [18]. Horasan harçlarında kullanılan bağlayıcı/agrega oranı 1/1 ile 1/4 arasında değişmekle birlikte 1/2 ile 1/3 arasında oranlar önerilmektedir [14,19-21]. Tuğla kırığı harcın mekanik dayanımını artırmaktadır. Harcın içindeki agrega yoğunluğu ve boyutu harçların kullanım amaçlarına göre değişmektedir. İri agregalar mekanik dayanımı sağladıkları için örgü harçlarında daha fazla kullanılmaktadır [22]. Horasan harcında kullanılan pişmiş kil tozlarındaki silikatlar, kirecin su ile reaksiyonu sonucunda oluşan kalsiyum hidroksit ile reaksiyona girerek, suda çözünmeyen ve harca dayanım kazandıran kalsiyum silikat hidrat jellerine dönüşmektedir [23]. Hidrolik reaksiyonlar sonucu oluşan kalsiyum silikat hidrat ve kalsiyum alüminat hidratlar sayesinde, harçların dayanımı artmakta ve suda sertleşebilmektedirler. Horasan harçlarında agrega olarak kullanılan tuğla kırığının gözenekli yapısı, karbonatlaşmış kirecin çözülüp tekrar çökmesine olanak tanıyarak harçların dayanımını artırmaktadır [24].

Bu çalışmada, agrega olarak farklı boyutlarda ve oranlarda doğal kum ve tuğla kırığı kullanılmıştır. Karışımlarda üç farklı su/kireç/agrega oranı üzerinde çalışılmıştır. 45 çeşit horasan harcı örneği üzerinde deneyler yapılmıştır. Bu deneylerden elde edilen veriler doğrultusunda restorasyon çalışmalarında kullanılacak karışım oranları belirlenmiştir. Horasan harcında farklı karışım oranlarının, taze ve sertleşmiş harç özelliklerine etkileri tespit edilmiştir. Yapılan çalışmada, karışım çeşitliliğini fazla tutarak horasan harcında ideal karışım oranını belirlemek ve bu alanda literatüre katkı sunmak amaçlanmıştır.

2. Literatür Özeti

Bu çalışma kapsamında yapılan literatür taramasında, horasan harcı üzerine yapılan çalışmalar ve bu çalışmalardan elde edilen veriler aşağıda özetlenmiştir.

Gürhan ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada, Aydın Eski Hamamı'na ait sıva özelliklerini incelemiş, horasan sıvalarının 1,2-1,4 g/cm³ arasında yoğunluk, % 47-53 arasında gözeneklilik değerlerine sahip olduklarını belirlemişlerdir [25]. Kozlu ve Ersen, yaptıkları çalışmada, Kayseri'de Roma, Bizans, Selçuklu ve Osmanlı Dönemlerinde inşa edilmiş tarihi yapıların duvar örgü ve iç mekan sıva harcı örneklerini incelemişlerdir. İnceleme sonucunda volkanik tüf tozlarının, ocak ve ırmak kumlarının harçlarda kullanıldığını tespit etmişlerdir [26]. Kütahya Balıklı Cami'nin harç ve sıva örnekleri üzerinde yapılan çalışmada, harç örneklerinde % 5-30, sıva örneklerinde ise % 10-20 arasında değişen oranlarda mermer tozu ve kırığının varlığı belirlenmiştir [27]. Canbaz ve Güler, yaptıkları çalışmada, iki farklı kireç türü kullanılarak ürettikleri horasan harçlarının fiziksel ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Harçların eğilme dayanımlarının hidrate kireç kullanılması ile azaldığını, basınç dayanımlarının ise arttığını tespit etmişlerdir [23]. Kılıç, yapmış olduğu çalışmada, horasan harcı üretiminde yumurta akı kullanmış ve dayanım açısından, yumurta akının karışımında bağlayıcı miktarının %5'inden fazla kullanılmaması gerektiğini belirtmiştir [28]. Altaş ve arkadaşları, Erken Bizans Dönemi saray yapılarında kullanılan tarihi harçlar üzerine yaptıkları çalışmada, harç örneklerin porozite değerleri %37- 48, kütlece su emme yüzdesi %23-33, birim hacim kütlesi ise 1,32-1,61 g/cm³ ve basınç dayanımı değerlerinin 6-8 MPa arasında olduğunu belirlemişlerdir. Bağlayıcı/agrega oranlarını ise 1/3 ve 1/4 olarak tespit edilmişlerdir [22]. Çizer ve arkadaşları, bazı Osmanlı Dönemi hamam yapılarının kubbe ve duvarlarında kullanılan harçlar

üzerine yaptıkları incelemelerde, ağırlıkça kireç/agrega oranlarını 1/4-2/3, yoğunlukları 1,4-1,8 g/cm³, gözeneklilikleri %27-43 aralığında ve basınç dayanım değerlerini yaklaşık 9 MPa olarak belirlemişlerdir [29]. Kurugöl ve Güleç, yaptıkları çalışmada, İstanbul Anadolu Hisarı harçlarını incelemişler, harçların yoğunluklarını 1,50-1,81 g/cm³, porozite değerlerini %27-37, ağırlıkça su emme oranlarını %15-24, birim hacim ağırlığını 1,6 g/cm³, bağlayıcı/agrega oranını 1/2,5-1/3, basınç dayanımlarını 5,3-8,5 N/mm² ve eğilme dayanımlarını 1,9-2,8 N/mm² arasında tespit etmişlerdir [30].

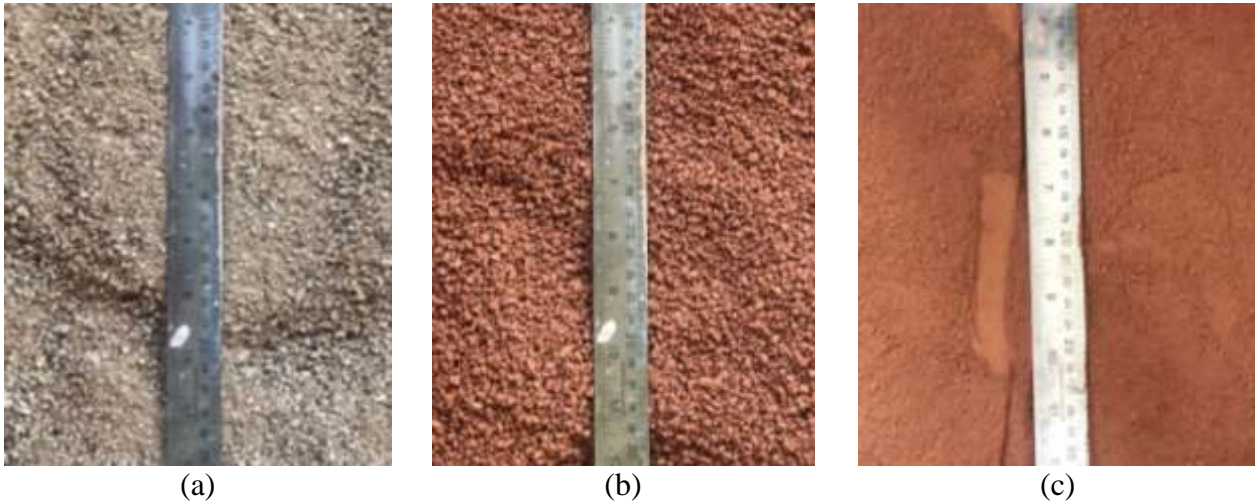
3. Materyal ve Metot

3.1. Materyal

Horasan harcı üretiminde, 0-4 mm, 2-4 mm ve 0-2 mm aralıklarında tuğla kırığı, 0-4 mm aralığında doğal kum, hidrolik kireç ve su kullanılmıştır. Bağlayıcı olarak Teknorep 550 doğal hidrolik kireç kullanılmıştır. (Tablo 1). Harman tuğlası veya dolu tuğla diye de adlandırılan tuğlalar çeneli kırıcıda kırılmış ve kare gözlü eleklerde elenerek 0-4 mm, 2-4 mm ve 0-2 mm gibi istenilen aralıklarında tuğla kırığı elde edilmiştir. (Şekil 1a, 1b ve 1c). Tablo 2’de 0-4 mm doğal kum ve 0-4 mm tuğla kırığına ait elek analizi sonuçları verilmiştir.

Tablo 1. Hidrolik kirecin teknik özellikleri [31].

Teknik Özellikler	
Yoğunluk	1,65 ± 0,1 kg/lt.
Eğilme Dayanımı	Min. 1,0 MPa
Basınç Dayanımı	Min. 4,0 MPa
Raf Ömrü	12 ay
Ambalaj	16 kg (torba)
Uygulama Sıcaklığı	(+5°C) – (+35°C)
Yangına Tepki	A1 Sınıfı



Şekil 1. Horasan harcı karışımında kullanılan doğal kum ve tuğla kırığı görüntüleri.

Çalışmada, harç kodları verilirken M1, M2 ve M3 olmak üzere üç farklı karışım numarası kullanılmıştır. Bu numaralar kum ve tuğla kırığının karışımında kullanıldıkları boyutlara göre verilmiştir.

M1: 0-4 mm kum ve 0-4 mm tuğla kırığı

M2: 0-4 mm kum ve 2-4 mm tuğla kırığı

M3: 0-2 mm kum ve 0-2 mm tuğla kırığı

Tablo 2. Kum ve tuğla kırığına ait granülometrik veriler.

Elek No (mm)	Elekten Geçen (%)	
	Kum	Tuğla Kırığı
4	100	100
2	93	53
1	82	35
0,5	51	26
0,25	28	8

Harç kodları verilirken ayrıca A, B ve C grupları oluşturulmuştur. Bu gruplar, karışımlarda ağırlıkça su, kireç ve agrega (kum+tuğla kırığı) oranlarına göre belirlenmiştir.

A: 0,875 su -1 kireç - 2,5 agrega (kum+tuğla kırığı)

B: 1 su -1 kireç - 3 agrega (kum+tuğla kırığı)

C: 1,125 su - 1kireç - 3,5 agrega (kum+tuğla kırığı)

A, B ve C grupları da kendi içerisinde, agrega (kum+tuğla kırığı) miktarında tuğla kırığının ağırlıkça bulunma yüzdesine göre 5'e ayrılmıştır. Tuğla kırığı, A, B ve C gruplarında agrega (kum+tuğla kırığı) miktarının sırasıyla % 0, 25, 50, 75 ve 100'ü oranlarında kullanılmıştır. M1, M2 ve M3 karışım numaraları, A, B ve C grupları ile % 0, 25, 50, 75 ve 100 oranlarında tuğla kırığı miktarlarını ifade eden sırasıyla 1, 2, 3, 4 ve 5 rakamları bir araya getirilerek harç kodları oluşturulmuştur. Tablo 3'de M1, M2 ve M3 nolu horasan harçlarına ait ağırlıkça karışım oranları ve miktarları verilmiştir.

Tablo 3. M1, M2 ve M3 horasan harçlarına ait ağırlıkça karışım oranları ve miktarları.

Karışım No	Harç Kodu	Ağırlıkça Karışım Oranları			Ağırlıkça Karışım Miktarları (gr)			
		Su	Kireç	Kum+Tuğla Kırığı	Su	Kireç	Kum	Tuğla Kırığı
M1	M.A1	0,875	1	2,5	350	400	1000	0
	M.A2	0,875	1	2,5	350	400	750	250
	M.A3	0,875	1	2,5	350	400	500	500
	M.A4	0,875	1	2,5	350	400	250	750
	M.A5	0,875	1	2,5	350	400	0	1000
M2	M.B1	1	1	3	400	400	1200	0
	M.B2	1	1	3	400	400	900	300
	M.B3	1	1	3	400	400	600	600
	M.B4	1	1	3	400	400	300	900
	M.B5	1	1	3	400	400	0	1200
M3	M.C1	1,125	1	3,5	450	400	1400	0
	M.C2	1,125	1	3,5	450	400	1050	350
	M.C3	1,125	1	3,5	450	400	700	700
	M.C4	1,125	1	3,5	450	400	350	1050
	M.C5	1,125	1	3,5	450	400	0	1400

Çalışmada, 45 farklı horasan harcı karışımı ve her bir karışımdan 3 adet olmak üzere 28 günlük deney verileri için 135 adet horasan harç örneği üretilmiştir. (Şekil 2). 240 ve 365 günlük deney verileri için de aynı sayıda harç üretildiğinden toplamda üretilen harç örneği sayısı 405 adet olmuştur. Harç örneklerinde tuğla kırığı oranı arttıkça, renk tonlarında da koyulaşma görülmüştür.

3.2. Metot

Horasan harç örneklerinin kıvamı, yayılma tablası ile TS EN 1015-3 [32], eğilme ve basınç dayanımları TS EN 1015-11 [33] standardına uygun olarak yapılmıştır. Ultrases geçiş süresi ise

ASTM C 597 [34] standardına uygun olarak ve Pundit PL200 marka ultrasonik test cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Veri olarak ultrases geçiş hızı yerine ultrases geçiş süresi tercih edilmiştir.



Şekil 2. Horasan harcı örnekleri.

Örnekler üretilirken, mikserde öncelikle kum, tuğla kırığı ve kireç karıştırılmış, sonra su ilave edilerek karıştırma işlemine devam edilmiştir (Şekil 3a). Karıştırma işlemi bitince, taze horasan harcı üzerinde yayılma tablası kullanılarak kıvam deneyi yapılmıştır (Şekil 3b). Çalışmada, 300mm'lik yayılma tablası çapının üzerinde yayılma gösteren harçların değerleri 300mm olarak alınmıştır.



(a)

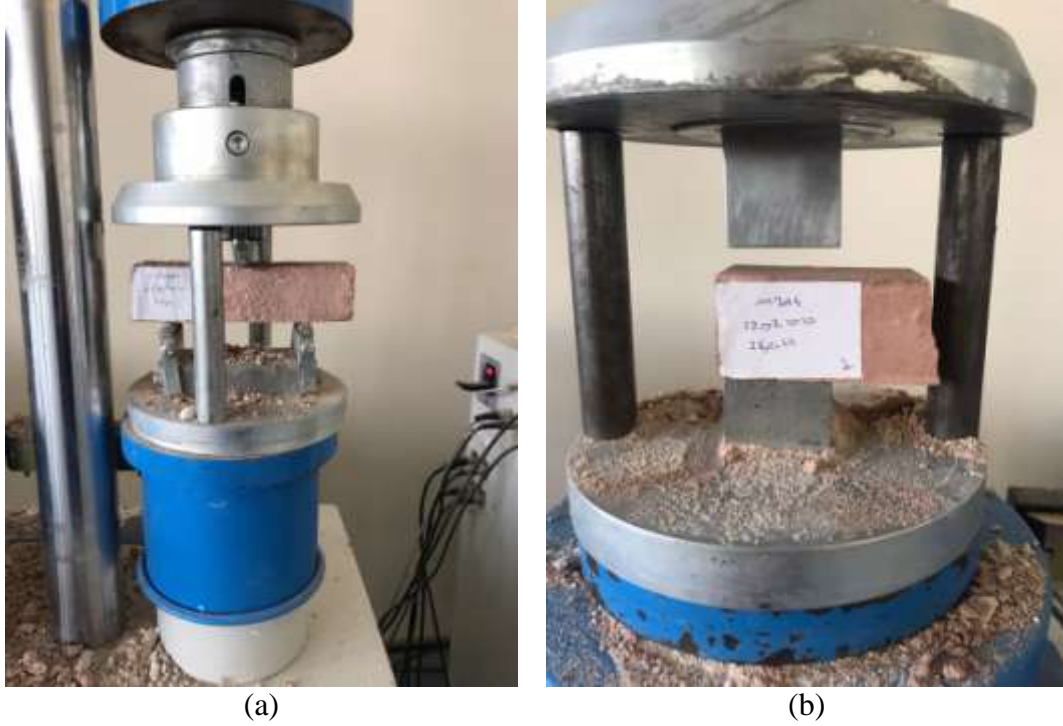


(b)

Şekil 3. Horasan harcının mikserde karıştırılması ve kıvam deneyi görüntüleri.

Horasan harcı, 40mm × 40mm × 160mm boyutlarında prizmatik örnekler olacak şekilde üretilmiştir. Taze horasan harcı daha önce içerisi yağlanan metal kalıplara doldurulmuş ve sarsma tablası kullanılarak kalıba yerleşmesi sağlanmıştır. Harç örneklerini 24 saat sonra kalıptan çıkarmanın sakıncalı olabileceği düşünülmüş ve bu nedenle yeterli dayanım kazanması için 48 saat bekletildikten sonra kalıptan çıkarılmıştır. Kalıptan çıkarılan örnekler 28, 240 ve 365 günlük oluncaya kadar laboratuvar ortamında bekletilmiştir.

28, 240 ve 365 günlük harç örnekleri öncelikle tartılmış ve birim hacim ağırlıkları hesaplanmıştır. Ultrasonik test cihazı kullanılarak örneklerin ultrases geçiş süreleri ölçülmüş ve daha sonra eğilme dayanımları belirlenmiştir (Şekil 4a). Eğilme dayanımı deneyinde ikiye ayrılan örneğin her iki tarafında kalan parçaları üzerinde basınç dayanımı deneyi yapılmıştır (Şekil 4b). 45 farklı horasan harcı karışımında, her bir karışım için üretilen 3'er adet harç örnekleri üzerinde yapılan ölçüm ve test sonuçlarının aritmetik ortalaması alınmış ve bu ortalama değerler çalışma ile ilgili bulgularda kullanılmıştır.



Şekil 4. Eğilme ve basınç dayanımı deney görüntüleri.

4. Bulgular ve Tartışma

Horasan harç örnekleri üzerinde yapılan, yayılma, birim hacim ağırlık, ultrases geçiş süresi, eğilme ve basınç dayanımı deneylerinden elde edilen sonuçlar tablo ve grafikler halinde aşağıda verilmiştir (Tablo 4), (Şekil 4-15).

Tablo 3'te M1, M2 ve M3 nolu karışımlarından üretilen horasan harçlarının yayılma miktarları incelendiğinde, M1 nolu karışımların 122mm-300mm aralığında, M2 nolu karışımların 127mm-300 mm aralığında ve M3 nolu karışımların ise 120mm-300mm aralıklarında yayılma değerlerine sahip oldukları belirlenmiştir. A1 ve A2 grubu harçların yayılma değerlerinin 300mm'nin üzerinde olduğu belirlenmiş olup, tabla çapının 300mm olmasından dolayı ortalama değer olarak bu harçlarda 300mm değeri dikkate alınmıştır.

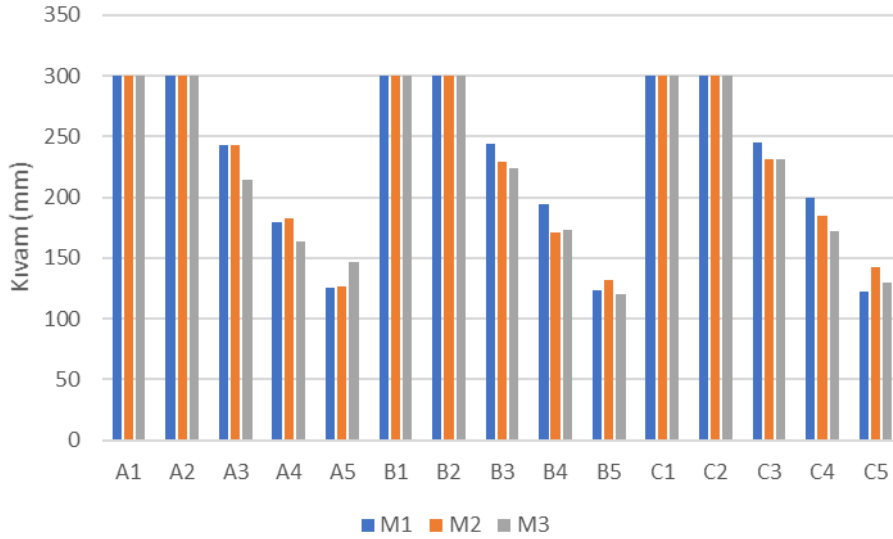
Birim hacim ağırlık verilerinden, M1 nolu karışımların $1,54 \text{ g/cm}^3$ - $1,70 \text{ g/cm}^3$ aralığında, M2 nolu karışımların $1,42 \text{ g/cm}^3$ - $1,68 \text{ g/cm}^3$ aralığında ve M3 nolu karışımların ise $1,40 \text{ g/cm}^3$ - $1,67 \text{ g/cm}^3$ aralıklarında değer aldıkları tespit edilmiştir.

Harçların 28, 240 ve 365 günlük verileri kendi içerisinde kıyaslandığında, harç örneğinin yaşı arttıkça ses geçiş sürelerinin de arttığı görülmüştür. Bu durum, harç örneklerinin içerisinde bulunan suyun zamanla buharlaşması sonucu, suyun yerini boşlukların almasından kaynaklanmıştır. Harç örnekleri üzerinde, diğerlerine oranla bünyesindeki su miktarı daha az olan 365 günlük örnekler

üzerinde ultrases geçiş sürelerine yönelik değerlendirme yapılmıştır. M1 nolu karışımların ultrases geçiş süreleri 83 μ s -149 μ s aralığında, M2 nolu karışımların 94 μ s -158 μ s aralığında ve M3 nolu karışımların ise 85 μ s -151 μ s aralıklarında değerler almıştır.

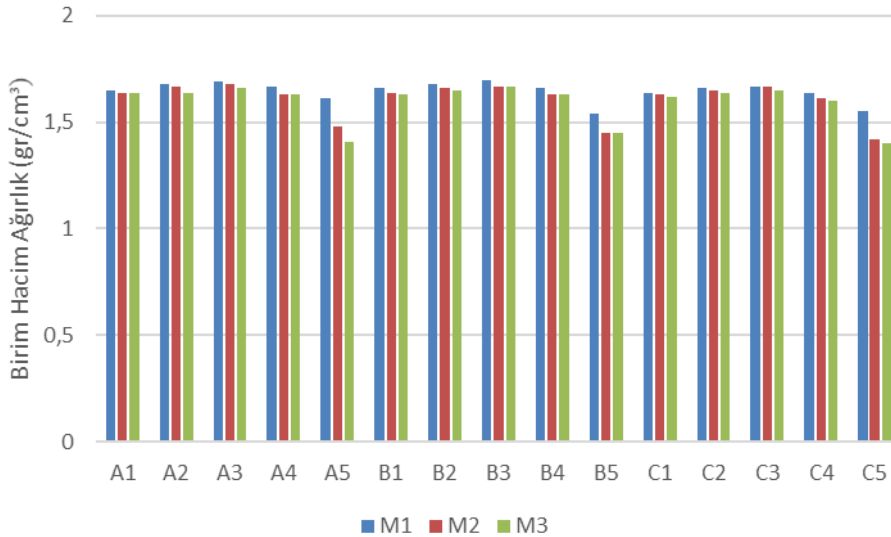
Tablo 4. Yayılma, birim hacim ağırlık, ultrases geçiş süresi, eğilme ve basınç dayanımı deney sonuçları.

Karışım No	Harç Kodu	Kıvam (mm)	B.Hacim Ağırlık (g/cm^3)	Ultrases Geçiş Süresi (μ s)			Eğilme Dayanımı (MPa)			Basınç Dayanımı (MPa)		
				28	240	365	28	240	365	28	240	365
M1	M1A1	300	1,65	98	118	126	0,6	0,3	0,2	1,7	1,2	1,1
	M1A2	300	1,68	84	100	101	1,4	0,9	0,5	2,6	2,3	2,1
	M1A3	243	1,69	72	84	89	1,8	1,4	0,6	5	4	3,4
	M1A4	179	1,67	70	80	86	2,2	1,7	1	7,9	6,5	4,8
	M1A5	126	1,61	69	78	83	3,1	2,7	1,3	10,5	8,5	6,3
	M1B1	300	1,66	106	126	137	1,1	0,6	0,2	1,3	1,1	1
	M1B2	300	1,68	91	104	112	1,5	0,9	0,4	2,2	1,7	1,5
	M1B3	244	1,70	76	89	98	1,8	1,3	0,7	4,7	3,2	3,1
	M1B4	194	1,66	73	84	89	2,6	1,5	0,8	6,9	5	4
	M1B5	123	1,54	72	81	86	3	2,2	0,9	9	6,9	4,4
	M1C1	300	1,64	118	135	149	0,6	0,4	0,2	1,1	0,9	0,8
	M1C2	300	1,66	92	105	113	1,7	0,8	0,3	2,1	1,6	1,4
	M1C3	245	1,67	79	91	98	1,9	1,2	0,4	3,9	2,9	2,3
	M1C4	200	1,64	77	86	93	2,7	1,4	0,6	5,4	4,2	3,6
	M1C5	122	1,55	73	84	90	2,9	1,8	0,8	8	6	4,3
M2	M2A1	300	1,64	104	122	132	0,7	0,5	0,2	2,1	1,2	1,1
	M2A2	300	1,67	87	104	116	0,9	0,6	0,4	3,2	2,1	1,8
	M2A3	243	1,68	75	92	103	1,4	1,1	0,7	4,8	3,6	3,1
	M2A4	183	1,63	71	87	98	2,1	1,5	1,2	7,3	5,4	4,6
	M2A5	127	1,48	70	86	94	2,7	1,3	1,2	10,2	5,3	4,4
	M2B1	300	1,64	120	146	152	0,4	0,3	0,2	1,4	1,2	0,9
	M2B2	300	1,66	92	112	124	0,7	0,4	0,3	2,2	1,6	1,4
	M2B3	229	1,67	79	92	100	1	0,9	0,8	3,8	3	2,8
	M2B4	171	1,63	76	90	99	1,9	1,5	1,1	6,4	4,5	4,2
	M2B5	132	1,45	73	88	97	2,3	1,2	1,1	8,5	4,4	4,1
	M2C1	300	1,63	133	148	158	0,6	0,3	0,2	1,1	1	0,6
	M2C2	300	1,65	94	117	133	0,8	0,6	0,3	2,2	1,5	1
	M2C3	231	1,67	80	102	116	1	0,8	0,6	3,6	2,5	2,1
	M2C4	185	1,61	78	93	103	1,5	1,1	1	5,3	3,9	3,1
	M2C5	143	1,42	75	94	101	2,3	0,9	0,8	7,7	3,6	2,8
M3	M3A1	300	1,64	106	120	128	0,7	0,4	0,3	1,6	1,4	1,2
	M3A2	300	1,64	88	103	112	1,2	0,8	0,5	2,7	2,3	2,2
	M3A3	214	1,66	79	89	96	1,9	1,2	0,8	4,4	3,8	3,9
	M3A4	164	1,63	73	84	90	2,4	1,6	1,2	6,4	5,9	5,4
	M3A5	147	1,41	72	83	85	1,5	0,8	0,5	3,6	2,9	2,5
	M3B1	300	1,63	124	135	144	0,6	0,4	0,2	1,2	1,1	1
	M3B2	300	1,65	94	109	119	1,2	0,5	0,3	2,1	1,7	1,5
	M3B3	224	1,67	83	91	99	2,1	1,1	0,6	3,9	3,1	2,9
	M3B4	173	1,63	77	86	93	2,9	1,7	0,8	6,1	4,7	4,1
	M3B5	120	1,45	75	85	91	1,9	1,6	0,7	4,6	4	3,7
	M3C1	300	1,62	138	145	151	0,8	0,3	0,1	0,9	0,8	0,7
	M3C2	300	1,64	101	111	117	1,2	0,7	0,3	1,5	1,4	1,3
	M3C3	231	1,65	84	97	104	2,1	1	0,5	3,2	2,7	2,3
	M3C4	172	1,60	83	90	97	2,4	1,4	0,7	5,1	4	3,5
	M3C5	130	1,40	80	89	92	1,4	1,3	0,4	3,2	2,8	2,3



Şekil 5. M1, M2 ve M3 nolu karışımların yayılma (kıvam) değerleri.

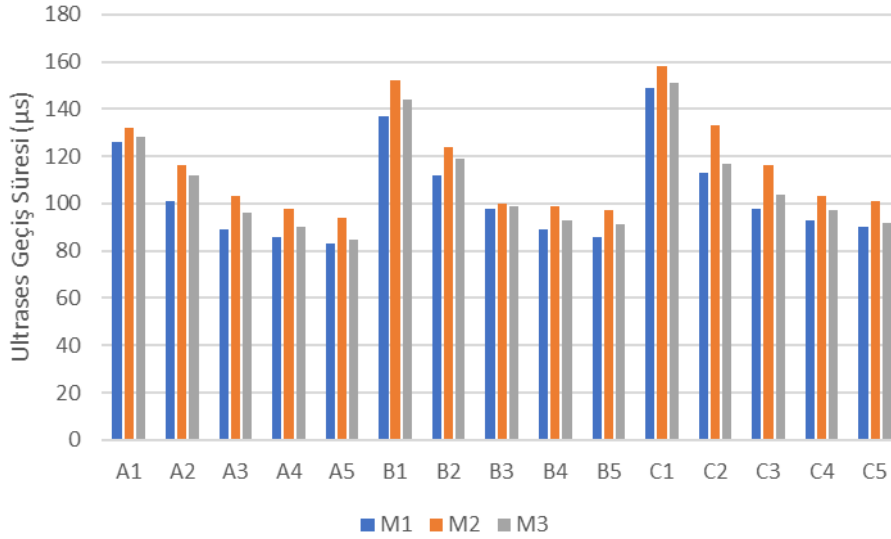
M1, M2 ve M3 nolu harçların yayılma değerleri incelendiğinde, karışımlarda tuğla kırığı miktarının artması ile ters orantılı olarak yayılma değerlerinin azaldığı görülmektedir. Ayrıca, karışımlarda ince malzeme miktarının artması, genel olarak kıvam değerlerinde azalmaya neden olmuştur. En düşük yayılma değerini 122 mm ile M1C5 kodlu harç örneği vermiştir. Horasan harcı karışımında hiç tuğla kırığı kullanılmayan A1, B1 ve C1 grubu ile %25 tuğla kırığı kullanılan A2, B2 ve C2 grubu karışımlarda yayılma değeri 300mm'nin üzerine çıkarak akıcı bir kıvam almıştır. %100 tuğla kırığı kullanılan A5, B5 ve C5 grubu karışımlarda ise yayılma değeri 150mm'nin altına düşerek kuru bir kıvam almıştır. En ideal kıvam değerleri ise %75 tuğla kırığı kullanılan A4, B4 ve C4 grubu harç örneklerinde 164mm-200mm aralığında ve %50 tuğla kırığı kullanılan A3, B3 ve C3 grubu harç örneklerinde 214mm-245mm olarak tespit edilmiştir.



Şekil 6. M1, M2 ve M3 nolu harç örneklerinin birim hacim ağırlık değerleri.

M1, M2 ve M3 nolu harçların birim hacim ağırlık değerleri incelendiğinde, agrega olarak % 50 kum ve % 50 tuğla kırığı kullanılan A3, B3 ve C3 grubu karışımlarda sırasıyla 1,70 g/cm³, 1,68 g/cm³ ve 1,67 g/cm³ olmak üzere en yüksek değerlere ulaşılmıştır. Birim hacim ağırlık değerleri en düşük karışımlar ise kum kullanılmayan % 100 tuğla kırığı kullanılan A5, B5 ve C5 grubu karışımlar olmuştur. Bu gruptaki karışımlarda en düşük değerler ise sırasıyla 1,54 g/cm³, 1,42 g/cm³ ve 1,40 g/cm³ olmuştur.

Oğuz vd. [18], tarihi eserler üzerinde yapmış oldukları çalışmalarda, birim hacim ağırlık değerlerini Roma dönemi eserlerinde $1,65 \text{ gr/cm}^3$, Bizans dönemi eserlerinde $1,57 \text{ gr/cm}^3$ ve Selçuklu dönemi eserlerinde ise $1,68 \text{ gr/cm}^3$ olarak tespit etmişlerdir. Altaş vd. [22], tarihi yapılardaki horasan harçlarında görülen birim hacim ağırlığın $1,32 \text{ gr/cm}^3$ ile $1,61 \text{ gr/cm}^3$ arasında olduğunu belirtmişlerdir. Tespit etmiş olduğumuz birim hacim ağırlık değerleri ile bu çalışmalardaki sonuçların birbirlerine yakın oldukları belirlenmiştir.



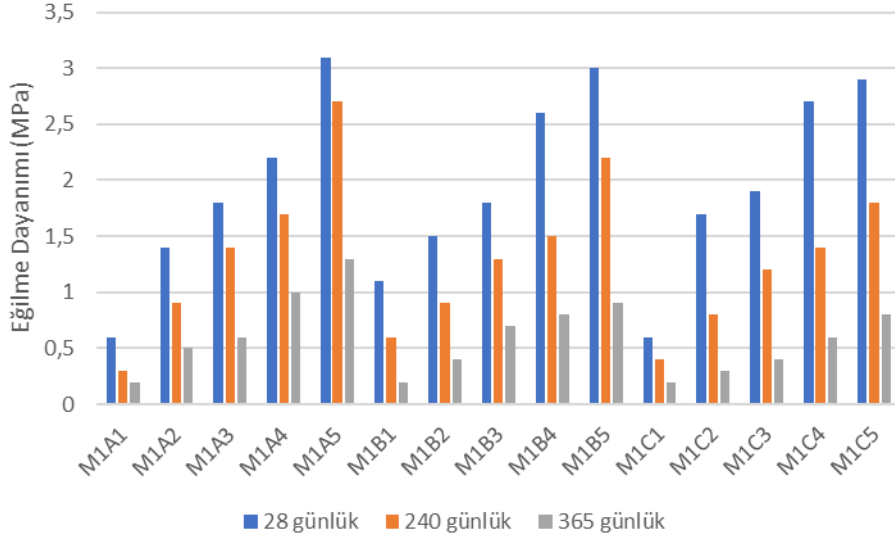
Şekil 7. M1, M2 ve M3 nolu 365 günlük harç örneklerinin ultrases geçiş süreleri.

Harç karışımında tuğla kırığı kullanılmayan A1, B1 ve C1 grubu karışımlarda, ultrases geçiş süreleri en yüksek değerleri almıştır. Bu grubun içerisinde ise en yüksek değerler M1C1 kodlu harç örneğinde $149 \mu\text{s}$, M2C1 kodlu harç örneğinde $158 \mu\text{s}$ ve M3C1 kodlu harç örneğinde ise $151 \mu\text{s}$ olmak üzere C1 grubunda oluşmuştur. Karışımlarda tuğla kırığı miktarı arttıkça, harç içerisindeki boşluk oranı azalmış ve ses geçiş sürelerinde azalma meydana gelmiştir. Karışımlarda agrega olarak % 100 tuğla kırığı kullanılan A5, B5 ve C5 grubu karışımlarda ultrases geçiş süreleri en düşük değerleri vermiştir. Bu grubun içerisinde en düşük değerleri, M1A5 kodlu harç örneğinde $83 \mu\text{s}$, M2A5 kodlu harç örneğinde $94 \mu\text{s}$ ve M3A5 kodlu harç örneğinde ise $85 \mu\text{s}$ olmak üzere A5 grubu almıştır. Geçiş süresi (μs) ile geçiş hızı (km/s) birbirine dönüştürülebilen farklı verilerdir. Ultrases geçiş süresi azaldıkça, ultrases geçiş hızının arttığı bilinmektedir. Bu durum, ultrases geçiş süresi üzerinden malzeme özelliklerine yönelik değerlendirmelerde dikkate alınmalıdır.

M1, M2 ve M3 nolu harçlar kendi içerisinde değerlendirildiğinde, 0-4mm kum ve 0-4mm tuğla kırığı agregası kullanılan M1 nolu harçlarda, ses geçiş süreleri daha küçük değerler alması bu gruptaki harçlarda boşluk oranının daha az olduğunu göstermektedir. 0-4mm kum ve 2-4mm tuğla kırığı agregası kullanılan M2 nolu harçlarda ise ses geçiş süreleri en yüksek değerleri almış ve bu harçların diğerlerine oranla daha boşluklu bir yapıda olduklarını göstermiştir.

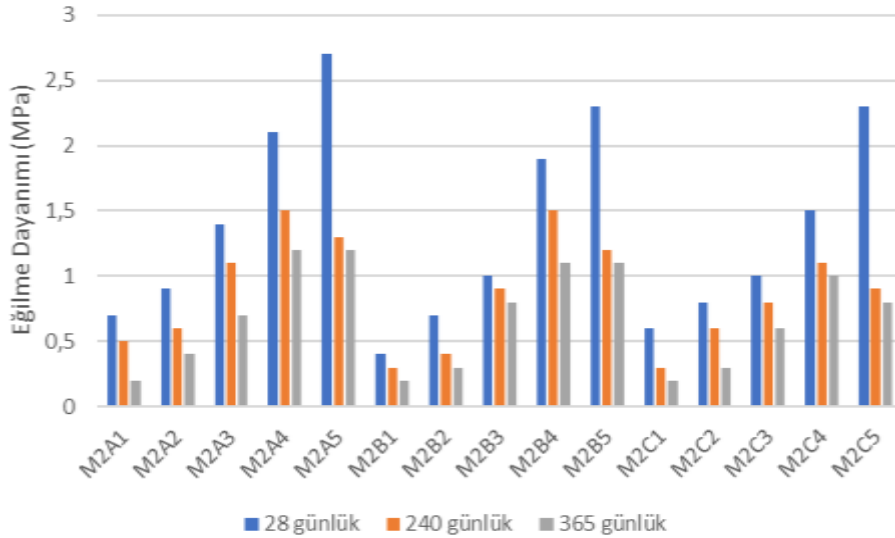
0-4mm kum ve 0-4mm tuğla kırığı kullanılan M1 nolu horasan harçlarının eğilme dayanımları, karışımlardaki tuğla kırığı yüzdesinin artmasına paralel olarak artış göstermiştir. Üretilen harçların yaşları ilerledikçe dayanımlarında düşme meydana gelmiştir. Eğilme dayanımı en yüksek değerler %100 tuğla kırığı kullanılan harç örneklerinden, en düşük değerler ise tuğla kırığı kullanılmayan harç örneklerinden elde edilmiştir. 28, 240 ve 365 günlük harç örneklerinden elde edilen verilere göre A grubu karışımların en yüksek dayanım değerlerini verdiği tespit edilmiştir. Eğilme dayanımı en yüksek değerler M1A5 kodlu harç örneğinden, 28 günlük $3,1 \text{ MPa}$, 240 günlük $2,7 \text{ MPa}$ ve 365 günlük $1,3 \text{ MPa}$ olarak belirlenmiştir.

0-4mm kum ve 2-4mm tuğla kırığı kullanılan M2 nolu horasan harçlarının eğilme dayanımları, karışımlardaki tuğla kırığı yüzdesinin artmasına paralel olarak artış göstermiştir. Sadece % 100 tuğla kırığı kullanılan M2A5, M2B5 ve M2C5 kodlu harç örneklerinin 240 ve 365 günlük dayanımlarında azalma olmuştur.



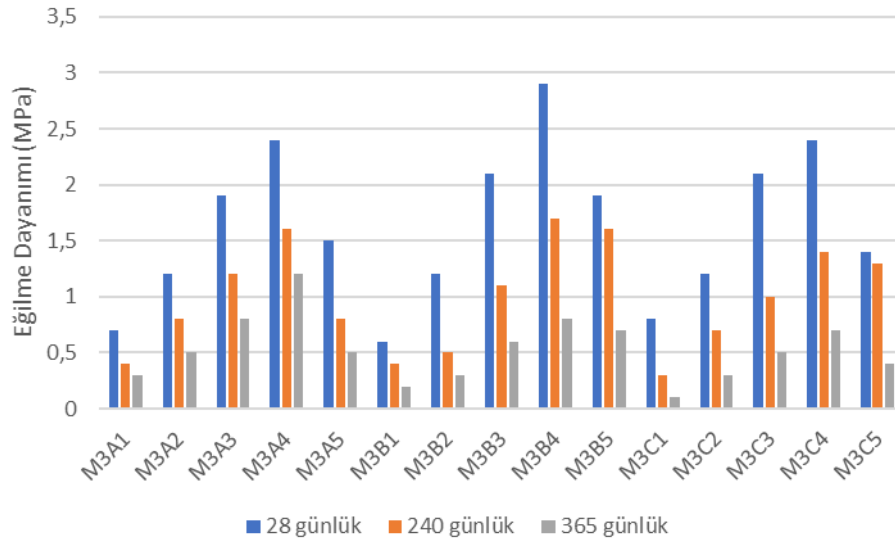
Şekil 8. M1 nolu karışımların 28, 240 ve 365 günlük eğilme dayanımı değerleri.

Üretilen harçların yaşları ilerledikçe dayanımlarında düşme meydana gelmiştir. M2 nolu harçlar içerisinde 28 günlük harç örneklerinde en iyi dayanım değerlerini A5, B5 ve C5 grubu karışımlar, 240 ve 365 günlük harç örneklerinde ise A4, B4 ve C4 grubu karışımlar vermiştir. A, B ve C grubu kendi içerisinde değerlendirildiğinde A grubu karışımların dayanım değerlerinin daha iyi olduğu grafikten anlaşılmaktadır. En yüksek eğilme dayanımı değerlerini, 28 günlük M2A5 kodlu harç örneği 2,7MPa, 240 günlük M2A4 ve M2B4 kodlu harç örnekleri 1,5 MPa ve 365 günlük M2B4 kodlu harç örneği 1,2 MPa olarak vermiştir.



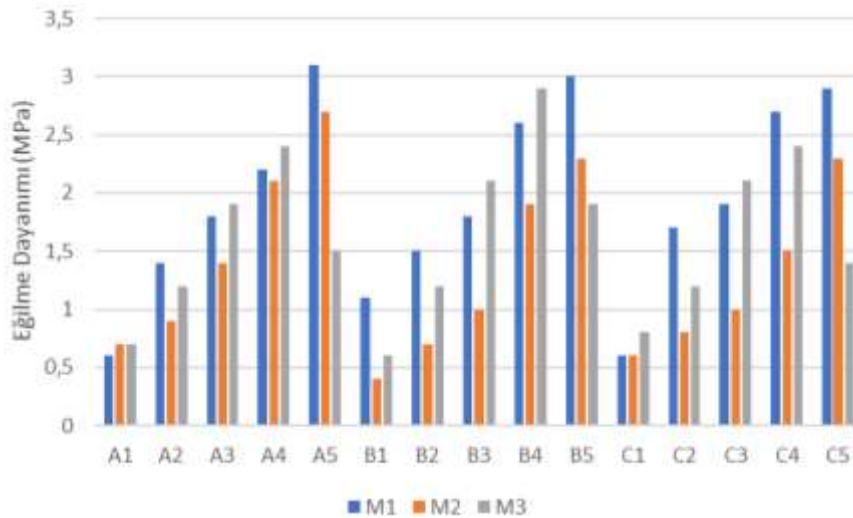
Şekil 9. M2 nolu karışımların 28, 240 ve 365 günlük eğilme dayanımı değerleri.

0-2mm kum ve 0-2mm tuğla kırığı kullanılan M3 nolu horasan harçlarının eğilme dayanımları, karışımlardaki tuğla kırığı yüzdesinin % 75'e kadar artmasına paralel olarak artış göstermiştir. Sadece % 100 tuğla kırığı kullanılan M3A5, M3B5 ve M3C5 kodlu harç örneklerinin 28, 240 ve 365 günlük dayanımlarında azalma olmuştur.



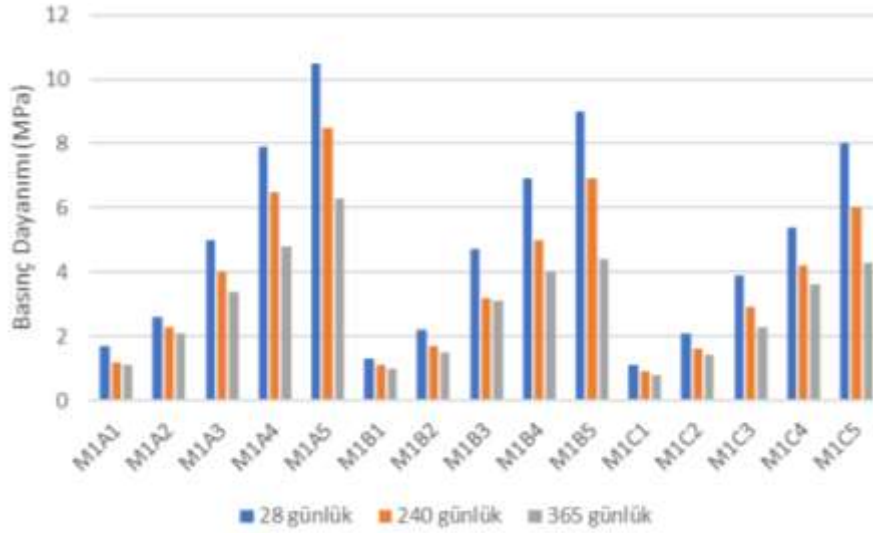
Şekil 10. M3 nolu karışımların 28, 240 ve 365 günlük eğilme dayanımı değerleri.

Üretilen harçların yaşları ilerledikçe dayanımlarında düşme meydana gelmiştir. A, B ve C grubu karışımların kendi içerisinde en iyi sonuçlar %25 kum, %75 tuğla kırığı kullanılan M3A4, M3B4 ve M3C4 kodlu harç örneklerinden elde edilmiştir. En yüksek eğilme dayanımı değerlerini, 28 günlük M3B4 kodlu harç örneği 2,9MPa, 240 günlük M3B4 kodlu harç örneği 1,7MPa ve 365 günlük M3A4 kodlu harç örneği 1,2MPa olarak vermiştir.



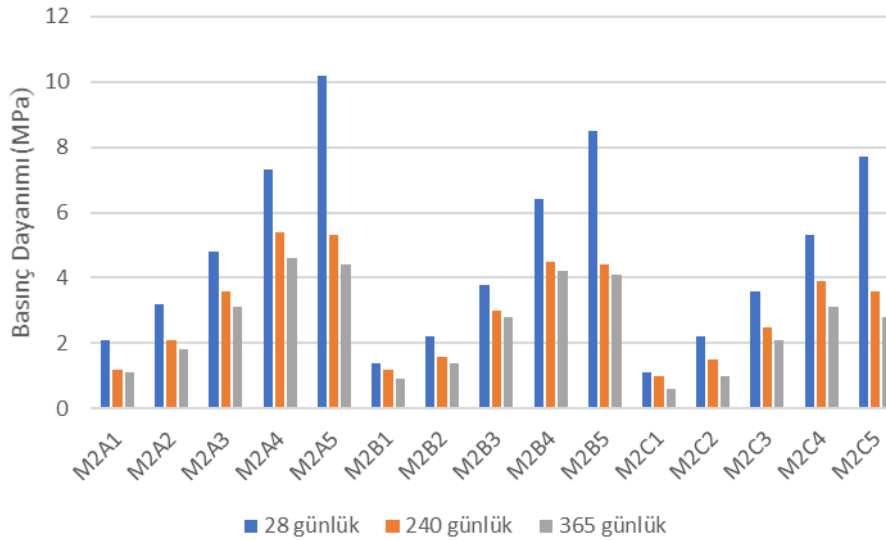
Şekil 11. M1, M2 ve M3 nolu 28 günlük harç örneklerinin eğilme dayanımı değerleri.

M1, M2 ve M3 nolu harçlar kendi içerisinde değerlendirildiğinde, karışımdaki tuğla kırığının artması ile birlikte dayanım değerlerinde de artış belirlenmiştir. Sadece 0-2mm kum ve 0-2mm tuğla kırığı kullanılan M3 nolu harçlarda %100 tuğla kırığı kullanılması durumunda eğilme dayanımında azalma meydana gelmiştir. En yüksek eğilme dayanımı değerini, M1 nolu harçlarda M1A5 kodlu harç örneği 3,1MPa, M2 nolu harçlarda M2A5 kodlu harç örneği 2,7MPa ve M3 nolu harçlarda ise M3B4 kodlu harç örneği 2,9MPa olarak vermişlerdir. M2 ve M3 nolu harçlara oranla, karışımında agrega olarak 0-4mm kum ve 0-4mm tuğla kırığı kullanılan M1 nolu harçlarda daha yüksek eğilme dayanım değerleri tespit edilmiştir. Bununla birlikte, ağırlıkça karışım oranları 0,875 su -1 kireç - 2,5 agrega (kum+tuğla kırığı) olan A grubu karışımlardan genellikle en iyi dayanım değerleri elde edilmiştir.



Şekil 12. M1 nolu karışımların 28, 240 ve 365 günlük basınç dayanımı değerleri.

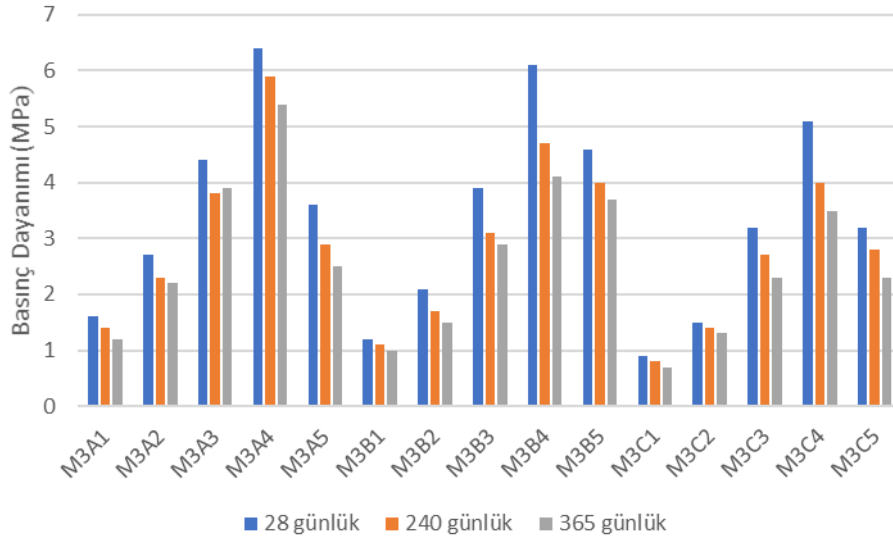
0-4mm kum ve 0-4mm tuğla kırığı kullanılan M1 nolu horasan harçlarının basınç dayanımları, karışımlardaki tuğla kırığı yüzdesinin artmasına paralel olarak artış göstermiştir. Üretilen harçların yaşları ilerledikçe dayanımlarında düşme meydana gelmiştir. Dayanım azalmasının nedeni, bünyesindeki suyun buharlaşması sonucu harcın daha kuru ve kırılğan olması olarak açıklanmıştır. Eğilme dayanımı en yüksek değerler %100 tuğla kırığı kullanılan harç örneklerinden, en düşük değerler ise tuğla kırığı kullanılmayan harç örneklerinden elde edilmiştir. 28, 240 ve 365 günlük harç örneklerinden elde edilen verilere göre A grubu karışımların en yüksek dayanım değerlerini verdiği tespit edilmiştir. Basınç dayanımı en yüksek değerler M1A5 kodlu harç örneğinden, 28 günlük 10,5MPa, 240 günlük 8,5MPa ve 365 günlük 6,3MPa olarak belirlenmiştir.



Şekil 13. M2 nolu karışımların 28, 240 ve 365 günlük basınç dayanımı değerleri.

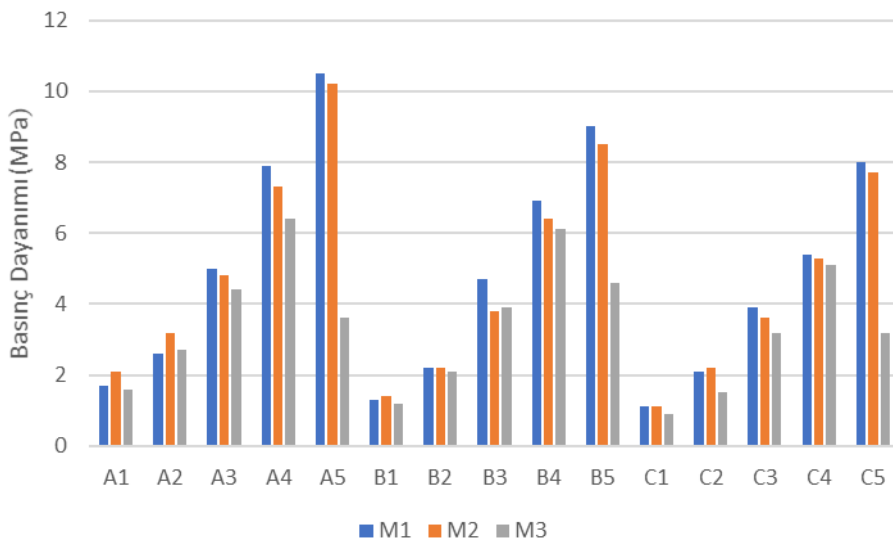
0-4mm kum ve 2-4mm tuğla kırığı kullanılan M2 nolu horasan harçlarının basınç dayanımları, karışımlardaki tuğla kırığı yüzdesinin artmasına paralel olarak artış göstermiştir. (Şekil 13). Sadece % 100 tuğla kırığı kullanılan M2A5, M2B5 ve M2C5 kodlu harç örneklerinin 240 ve 365 günlük dayanımlarında azalma olmuştur. Üretilen harçların yaşları ilerledikçe dayanımlarında düşme meydana gelmiştir. M2 nolu harçlar içerisinde 28 günlük en iyi dayanım değerlerini M2A5, M2B5

ve M2C5 kodlu harç örnekleri, 240 ve 365 ise M2A4, M2B4 ve M2C4 kodlu harç örnekleri vermiştir. A, B ve C grubu kendi içerisinde değerlendirildiğinde A grubu karışımların dayanım değerlerinin daha iyi olduğu grafikten anlaşılmaktadır. En yüksek basınç dayanımı değerlerini, 28 günlük M2A5 kodlu harç örneği 10,2MPa, 240 günlük M2A4 kodlu harç örneği 5,4 MPa ve 365 günlük M2A4 kodlu harç örneği 1,2 MPa olarak vermiştir.



Şekil 14. M3 nolu karışımların 28, 240 ve 365 günlük basınç dayanımı değerleri.

0-2mm kum ve 0-2mm tuğla kırığı kullanılan M3 nolu horasan harçlarının basınç dayanımları, karışımlardaki tuğla kırığı yüzdesinin % 75'e kadar artmasına paralel olarak artış göstermiştir. Sadece % 100 tuğla kırığı kullanılan M3A5, M3B5 ve M3C5 kodlu harç örneklerinin 28, 240 ve 365 günlük mukavemetlerinde azalma olmuştur. Üretilen harçların yaşları ilerledikçe dayanımlarında düşme meydana gelmiştir. Bu durum, harçların bünyesindeki nemini kaybetmesi sonucu kırılganlığının artmasından kaynaklanmıştır. A, B ve C grubu karışımların kendi içerisinde en iyi sonuçlar %25 kum, %75 tuğla kırığı kullanılan M3A4 kodlu harç örneğinden elde edilmiştir. En yüksek basınç dayanımı değerlerini, 28 günlük M3A4 kodlu harç örneği 6,4MPa, 240 günlük M3A4 kodlu harç örneği 5,9MPa ve 365 günlük M3A4 kodlu harç örneği 5,4MPa olarak vermiştir.



Şekil 15. M1, M2 ve M3 nolu 28 günlük harç örneklerinin basınç dayanımı değerleri.

M1, M2 ve M3 nolu harçlar kendi içerisinde değerlendirildiğinde, karışımdaki tuğla kırığının artması ile birlikte dayanım değerlerinde de artış belirlenmiştir. Sadece 0-2mm kum ve 0-2mm tuğla kırığı kullanılan M3 nolu harçlarda %100 tuğla kırığı kullanılması durumunda basınç dayanımında azalma meydana gelmiştir. En yüksek basınç dayanımı değerini, M1 nolu harçlarda M1A5 kodlu harç örneği 10,5MPa, M2 nolu harçlarda M2A5 kodlu harç örneği 10,2MPa ve M3 nolu harçlarda ise M3A4 kodlu harç örneği 6,4MPa olarak vermişlerdir. M2 ve M3 nolu harçlara oranla, karışımında agrega olarak 0-4mm kum ve 0-4mm tuğla kırığı kullanılan M1 nolu harçlarda daha yüksek basınç dayanım değerleri tespit edilmiştir. Bununla birlikte, ağırlıkça karışım oranları 0,875 su -1 kireç - 2,5 agrega (kum+tuğla kırığı) olan A grubu karışımlardan genellikle daha iyi dayanım değerleri elde edilmiştir.

Farklı karışımlardan elde edilen basınç dayanımı sonuçlarına göre; karışımda bağlayıcı, iri agrega ve tuğla kırığı miktarlarının artması horasan harcının dayanım değerlerini artırmıştır.

Oğuz vd. [18], tarihi eserler üzerinde yapmış oldukları çalışmalarda, basınç dayanımı değerlerini Roma dönemi eserlerinde 6 MPa, Bizans dönemi eserlerinde 8,3 MPa ve Selçuklu dönemi eserlerinde ise 6,6 MPa olarak belirlemişlerdir. Altaş vd. [22], tarihi yapılarıdaki horasan harçlarında basınç dayanımı değerinin 6 MPa ile 8 MPa arasında olduğunu belirtmişlerdir. Bu çalışmalarda basınç dayanımı değerleri ile yapmış olduğumuz çalışmadaki dayanım değerleri karşılaştırıldığında, üretilen horasan harçları içerisinde 28 günlük basınç dayanımı daha yüksek, 240 ve 365 günlük harçlar içerisinde ise yakın dayanımlarda harç karışımlarının olduğu tespit edilmiştir.

5. Sonuç ve Öneriler

Farklı boyutlarda agregaların, horasan harcında ağırlıkça farklı oranlarda kullanılması ile üretilen horasan harç örnekleri üzerinde yapılan çalışmadan aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Horasan harcı karışımlarında en iyi kıvam değerlerinin, %75 tuğla kırığı kullanılan A4, B4 ve C4 grubu harç örneklerinde 164mm-200mm aralığında ve %50 tuğla kırığı kullanılan A3, B3 ve C3 grubu harç örneklerinde 214mm-245mm aralığında olduğu belirlenmiştir.
- Üretilen 45 çeşit harç örneğinin birim hacim ağırlık değerleri $1,40 \text{ g/cm}^3$ - $1,70 \text{ g/cm}^3$ aralığında bulunmuştur.
- 0-4mm kum ve 0-4mm tuğla kırığı agregası kullanılan M1 nolu harçların, M2 ve M3 nolu harçlara göre ultrases geçiş sürelerinin daha küçük değerler alması, bu harçlarda boşluk oranının daha az olduğunu göstermiştir.
- M1, M2 ve M3 nolu harç karışımlarında, tuğla kırığı miktarının artmasıyla doğru orantılı olarak harç içerisindeki boşluk oranı azalmış ve ultrases geçiş sürelerinde azalma meydana gelmiştir.
- Tuğla kırığı oranının artması, horasan harç örneklerinde boşluk oranını azaltmıştır. Bunun yanında, tuğla kırığı içerisindeki kil tozlarının harç içerisinde kalsiyum silikat hidrat (C-S-H) ve kalsiyum alüminat hidrat (C-A-H) jellerini oluşturması eğilme ve basınç dayanımlarında artışa neden olmuştur.
- M1, M2 ve M3 nolu harç karışımlarında, tuğla kırığı miktarının artmasıyla doğru orantılı olarak eğilme ve basınç dayanımı değerleri de artmıştır. Sadece 0-2mm kum ve 0-2mm tuğla kırığı kullanılan M3 nolu harçlarda agrega olarak %100 tuğla kırığı kullanılması durumunda eğilme ve basınç dayanım değerlerinde azalma olmuştur.
- Horasan harcı karışımlarında agrega olarak %100 tuğla kırığı kullanılması eğilme ve basınç dayanımlarını arttırmasına rağmen, harcın kıvamında belirgin azalmaya neden olmuştur. Hem işlenebilirlik hem de dayanım değerleri göz önünde bulundurulursa, agrega olarak %25 kum ve %75 tuğla kırığı karışımının kullanılması önerilmektedir.
- Ağırlıkça karışım oranları 0,875 su -1 kireç - 2,5 agrega (kum+tuğla kırığı) olan A grubu karışımlardan genellikle en iyi dayanım değerleri elde edilmiştir. Bu değerlere en yakın

değerler ağırlıkça karışım oranları 1 su -1 kireç - 3 agrega (kum+tuğla kırığı) olan B grubu karışımlardan elde edilmiştir. En düşük dayanım değerlerini ise C grubu karışımlar vermiştir.

- Üretilen horasan harcı örneklerinin ilerleyen yaşlarda eğilme ve basınç dayanımı değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Harcın bünyesindeki suyun buharlaşması, harcın kırılganlığını artırdığından dolayı ilerleyen yaşlarda dayanım değerlerinde azalmaya neden olmuştur.
- En yüksek eğilme dayanım değerlerini, M1 nolu harçlarda M1A5 kodlu harç örneği 3,1MPa, M2 nolu harçlarda M2A5 kodlu harç örneği 2,7MPa ve M3 nolu harçlarda ise M3B4 kodlu harç örneği 2,9MPa olarak vermişlerdir.
- En yüksek basınç dayanım değerlerini, M1 nolu harçlarda M1A5 kodlu harç örneği 10,5MPa, M2 nolu harçlarda M2A5 kodlu harç örneği 10,2MPa ve M3 nolu harçlarda ise M3A4 kodlu harç örneği 6,4MPa olarak vermişlerdir.

45 çeşit farklı karışımdan üretilen harç örneklerinden elde edilen sonuçlar, bu alanda yapılan çalışmalara katkı sunacaktır. Ayrıca, restorasyon çalışmalarında üretilecek olan horasan harçları için karışım miktarlarının belirlenme aşamasında örnek olacaktır. Horasan harcı karışımında, bağlayıcı, iri agrega ve tuğla kırığı miktarlarının artması harcın basınç dayanımını artırmaktadır. İşlenebilirlik ve dayanım değerleri açısından, ağırlıkça karışım oranları 0,875 su -1 kireç - 2,5 agrega (kum+tuğla kırığı) olan ve agrega içeriğinde, %25 kum ve %75 tuğla kırığı bulunan horasan harcı karışımın kullanılması önerilmektedir.

Yazarların Katkıları

İK ve GG üretilen harç karışımlarını tasarladı. İK deney cihazlarını ölçümler için hazır hale getirdi. GG harç örneklerini üretti, deneysel çalışmaları yaptı. İK ve GG birlikte makaleyi yazdı. Her iki yazar da makalenin son halini okudu ve onayladı.

Çıkar Çatışması

Yazarlar, çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Kaynaklar

- [1]. İpekoğlu B., Böke H., and Çizer Ö., Assessment of Material Use in Relation to Climate in Historical Buildings, *Building and Environment*, 2007, 42(2): 970-978. Doi:10.1016/j.buildenv.2005.10.029
- [2]. Uğurlu E., Böke H., The Use of Brick-Lime Plasters and Their Relevance to Climatic Conditions of Historic Bath Buildings, *Construction and Building Materials*, 23(6): 2442-2450. Doi:10.1016/j.conbuildmat.2008.10.005
- [3]. Topçu İ. B., Canbaz M., “Karanfil H., Horasan Harç ve Betonun Özellikleri”, Yapı Mekaniği Semineri, ODTÜ-ESOGÜ, Eskişehir, 99-107, 2005.
- [4]. Özkaya Ö.A., Böke H., Properties of Roman Bricks and Mortars Used in Serapis Temple in The City of Pergamon, *Materials Characterization*, 2009, 60(9): 995-1000. Doi:10.1016/j.matchar.2009.04.003
- [5]. Prince W., Castanier G., Giafferi J.L., Similarity Between Alkali-Aggregate Reaction and The Natural Alternation of Rocks, *Cement and Concrete Research*, 2001, 31(2), 271–276. Doi:10.1016/S0008-8846(00)00478-6
- [6]. Mavioğlu Ü.A., “Farklı Puzolanik Katkıları ile Hazırlanan Horasan Harçlarının Değişen Parametrelerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2011.

- [7]. Altun M.G., Özen S., Aghabaglou, A.M., Polipropilen Lif Kullanımının Doğal Hidrolik Kireçli Harçların Kuruma Büzülmesine Etkisi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 2018, 22(2): 427-435. Doi: 10.16984/saufenbilder.342521
- [8]. Böke H., Akkurt S., İpekoğlu B., Tarihi Yapılarda Kullanılan Horasan Harcı ve Sıvalarının Özellikleri, Yapı Dergisi, 2004, 269: 90-95.
- [9]. Dariz P., Schmid T., Ferruginous Phases in 19th Century Lime and Cement Mortars: A Raman Microspectroscopic Study, Materials Characterization, 2017, 129: 9-17. Doi:10.1016/j.matchar.2017.04.009
- [10]. Seabra M., Paiva H., Labrincha J. and Ferreira V., Admixtures Effect on Fresh State Properties of Aerial Lime Based Mortars, Construction and Building Materials, 2009, 23(2): 1147-1153. Doi:10.1016/j.conbuildmat.2008.06.008
- [11]. Güleç A., Tulun T. Physico-Chemical and Petrographical Studies of Old Mortars and Plasters of Anatolia, Cement and Concrete Research, 1997, 27(2): 227-234. Doi:10.1016/S0008-8846(97)00005-7
- [12]. Böke H., Akkurt S., Ettringite Formation in Historic Bath Brick-Lime Plasters, Cement and Concrete Research, 2003, 33(9): 1457-1464. Doi:10.1016/S0008-8846(03)00094-2
- [13]. Stefanidou M., Pachta V., Konopissi S., Karkadelidou F., Papayianni I., Analysis and Characterization of Hydraulic Mortars from Ancient Cisterns and Baths in Greece, Materials and Structures, 2014, 47(4): 571-580.
- [14]. Matias G., Faria P., Torres I., Lime Mortars with Heat Treated Clays and Ceramic Waste: A Review, Construction and Building Materials, 2014, 73: 125-136. Doi:10.1016/j.conbuildmat.2014.09.028
- [15]. Nezerka V., Nemecek J., Slizkova Z., Tesarek P., Investigation of Crushed Brick-Matrix Interface in Lime-Based Ancient Mortar by Microscopy and Nanoindentation, Cement and Concrete Composites, 2015, 55: 122-128. Doi:10.1016/j.cemconcomp.2014.07.023
- [16]. Santarelli M., Sbardella F., Zuena M., Tirillò J., Sarasini F., Basalt Fiber Reinforced Natural Hydraulic Lime Mortars: A Potential Bio-Based Material for Restoration, Materials and Design, 2014, 63: 398-406. Doi:10.1016/j.matdes.2014.06.041
- [17]. Izaguirre A., Lanas J., Alvarez J., Effect of A Polypropylene Fibre on The Behaviour of Aerial Lime-Based Mortars, Construction and Building Materials, 2011, 25(2): 992-1000.
- [18]. Oğuz C., Türker F., Koçkal N.U., Andriake Limanı'nda Roma, Bizans ve Selçuklu Dönemi Harçların Özellikleri, İMO Teknik Dergi, 2015, 429: 6993-7013.
- [19]. Tosun Y., Oltulu M., Polat R., Şahin R., Bingöl, A.F., "Hidrolik Kireçli Harçlarda Uçucu Kül Kullanımı", 5.Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu-1, 103-112, 2015.
- [20]. Özgen Ö., "Horasan Harcı Üzerine Deneysel Çalışmalar", T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı İstanbul Rölöve ve Anıtlar Müdürlüğü, Uzmanlık Tezi, İstanbul, 2002.
- [21]. Gürdal E., Altaş G.K., Özgünler S.A., İstanbul'da Bulunan Erken Bizans Dönemi Dini Yapılarında Kullanılan Horasan Harçlarının Özelliklerinin İncelenmesi, Vakıf Restorasyon Yıllığı, 2012, 2.
- [22]. Altaş G.K., Özgünler S.A., Güldal E., İstanbul'daki Roma Dönemi Saray Yapılarındaki Horasan Harçlarının İncelenmesi, Vakıf Restorasyon Yıllığı, 2012, 4.
- [23]. Canbaz M., Güler E., "Kireç Türünün Horasan Harcı Özelliklerine Etkisi", 6.Tarihi Yapıların Korunması ve Güçlendirilmesi Sempozyumu, 2017.
- [24]. Uğurlu E., Böke H., "Koruma Amaçlı Üretilen Horasan Harç ve Sıvalarda Kullanılacak Kirecin ve Tuğlaların Özellikleri", 5. Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi ve Sergisi, İstanbul, 385-396, 2010.
- [25]. Gürhan F., Uğurlu Sağın E., Böke H., "Aydın Eski Hamam Sıva Özellikleri", 6. Tarihi Yapıların Korunması ve Güçlendirilmesi Sempozyumu, 227-236, 2017.

- [26]. Kozlu H. H., “Kayseri Yöresindeki Tarihi Harçların Karakterizasyonu ve Onarım Harçlarının Özellikleri”, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı, Doktora Tezi, İstanbul, 2010.
- [27]. Akyol A. A., Kadioğlu Y. K., “Kütahya Balıklı Cami Yapı Malzemeleri Arkeometrik Çalışmaları”, Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu-1, 293-299, 2007.
- [28]. Kılıç İ., Horasan Harcında Yumurta Akı Kullanımının İncelenmesi, Kırklareli Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 2021, 7 (1) , 122-134. DOI: 10.34186/klujes.882789
- [29]. Çizer Ö., Böke H., İpekoğlu B., “Bazı Osmanlı Dönemi Hamam Yapılarının Kubbe ve Duvarlarında Kullanılan Kireç Harçların Özellikleri”, II. Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi, TMMOB Mimarlar Odası Büyükşehir Şubesi, 1-13, 2004.
- [30]. Kurugöl S., Güleç A., Anadolu Hisarı Harçlarının Fiziko-Kimyasal ve Petrografik Özelliklerinin İncelenmesi, Restorasyon Konservasyon Raporu, KUDEB, 2010, 5, 59-69.
- [31]. Tekno Yapı, https://www.teknoyapi.com.tr/Documents/TDS_teknorep_550.pdf, 17.10.2021.
- [32]. TS EN 1015-3, “Kagir Harcı-Deney Metotları-Bölüm3:Taze Harç Kıvamının Tayini (Yayılma Tablası ile)”, TSE, Ankara, 2000.
- [33]. TS EN 1015-11, “Kagir Harcı-Deney Yöntemleri-Bölüm1: Sertleşmiş Harcın Eğilmede Çekme ve Basınç Dayanımının Tayini”, TSE, Ankara, 2020.
- [34]. ASTM C 597, “Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concete”, American Society for Testing and Materials, ASTM International, USA, 2002.