

**T.C.
KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**HORASAN HARCINDA FARKLI TÜR VE ORANLARDA AGREGA
KULLANIMININ HARCIN FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gözde GÖKÇEN

TEMMUZ - 2021

**T.C.
KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**HORASAN HARCINDA FARKLI TÜR VE ORANLARDA AGREGA
KULLANIMININ HARCIN FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNE
ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gözde GÖKÇEN

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi İsmail KILIÇ

Temmuz – 2021

ETİK BEYAN

Kırkırelı Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez ve Proje Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında; tez içinde sunduğum bilgileri, verileri ve dokümanları, değişik sonuç verebilecek şekilde araştırma araç gereçleri kullanmadan, işlem veya kayıt sonuçlarını değiştirmeden akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Gözde GÖKÇEN
02/07/2021

ÖZET

HORASAN HARCINDA FARKLI TÜR VE ORANLARDA AGREGA KULLANIMININ HARCIN FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Gözde GÖKÇEN

Yüksek Lisans Tezi

Kırklareli Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi İsmail Kılıç

Temmuz 2021, 56 sayfa

Önceki dönemlerde birçok tarihi yapının yapımında bağlayıcı malzeme olarak kireç, agrega olarak da tuğla ve kiremit gibi pişmiş malzemelerden oluşan harç ve sıvalar kullanılmıştır. Ülkemizde bu harç ve sıvalar horasan harcı ve sıvaları olarak bilinmektedir. Horasan harçlarının hidrolik özellikleri ve yüksek dayanıma sahip olmalarından dolayı sarnıç, su kemeri ve hamam gibi yapılarda kullanılmıştır.

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 hızı, eğilme dayanımı ve basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Deneyler sonucu elde edilen verilere dayalı olarak, %75 tuğla kırığı kullanılan karışımlarda yayılma en iyi sonucu vermiş olup %100 tuğla kırığı karışımlarında harcın kıvamında belirgin azalmalar meydana gelmiştir. Tuğla kırığı miktarının artmasıyla ultrases geçiş süreleri azalmıştır. Eğilme ve basınç dayanımları tuğla kırığı miktarının artmasıyla artmış yaş ilerledikçe bir azalma göstermiştir.

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

ABSTRACT

THE EFFECT OF THE USE OF AGGREGATE IN DIFFERENT TYPES AND RATIOS OF HORASAN MORTAR ON ITS PHYSICAL AND MECHANICAL CHARACTERISTICS

Gözde GÖKÇEN

MSc Thesis

Kırklareli University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Supervisor: Asst. Prof. Ismail Kılıç

July 2021, 56 pages

In previous periods, mortars and plasters consisting of cooked materials such as lime, brick and tile were used as binding materials in the construction of many historical buildings. In our country, these mortars and plasters are known as horasan mortar and plasters. It has been used in structures such as cisterns, aqueducts and baths due to the hydraulic properties of Khorasan mortars and their high strength.

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 velocity, flexural strength 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 spread of 75% brick fractures in the mixtures used gave the best result and significant reductions in the consistency of mortar occurred in 100% brick fracture mixtures. Ultrases transition times decreased with the increase in the amount of brick fractures. Bending and pressure strengths increased with the increase in the amount of brick fractures, which decreased with age.

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

TEŞEKKÜR

Tez sürecinde gerekli yardımını esirgemeyen bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan, deneysel çalışmam boyunca yok gösteren tez danışmanım sayın Dr. Öğr. Üyesi İsmail Kılıç'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmalarım boyunca bana her türlü desteği veren kardeşim Barlas Seralp'e ve bugüne kadar her zaman beni destekleyen aileme teşekkür eder, sevgilerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

ÖZET	İV
ABSTRACT	V
TEŞEKKÜR	VI
İÇİNDEKİLER	Vii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	İX
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	X
SİMGELER VE KISALTMALAR	Xİ
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
2.1. Horasan Harcının Tarihçesi	3
2.2. Horasan Harcının Özellikleri.....	4
2.3. Horasan Harcı Üretiminde Kullanılan Malzemeler.....	6
2.3.1. Bağlayıcılar.....	6
2.3.1.1. Kireç	6
2.3.1.2. Puzolanlar	9
2.3.2. Dolgu Malzemeleri	10
2.3.3. Katkı Malzemeleri	11
2.4. Horasan Harcı ile İlgili Örnek Çalışmalar	12
3. MALZEME VE DENEYSEL YÖNTEMLER	19
3.1. Malzeme	19
3.1.1. Kireç	19
3.1.2. Tuğla Kırığı ve Tozu	19
3.1.3. Şebeke Suyu	20
3.1.4. Kum	20
3.2. Deneysel Yöntemler	21
3.2.1. Yayılma Tablası Deneyi	24
3.2.2. Birim Hacim Ağırlık Deneyi	25
3.2.3. Ultrases Deneyi	26
3.2.4. Eğilme Deneyi	27
3.2.5. Basınç Deneyi.....	27
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	29

4.1. Yayılma (Kıvam).....	29
4.2. Birim Hacim Ağırlık.....	30
4.3. Ultrases Geçiş Süresi	32
4.4. Eğilme Dayanımı	34
4.5. Basınç Dayanımı	38
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	43
KAYNAKLAR.....	45
EKLER	49
EK A.....	49
EK B	50
EK C	52



ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil 3.1. Harman tuğlası ve çeneli kırıcıda kırılması.....	19
Şekil 3.2. Horasan harcı karışımında kullanılan doğal kum ve tuğla kırığı görüntüleri..	20
Şekil 3.3. Doğal kum	20
Şekil 3.3. Horasan harcı örnekleri.	23
Şekil 3.4. Horasan harcının mikserde karıştırılması ve kıvam deneyi görüntüleri.....	23
Şekil 3.5. Yayılma tablası deney görüntüleri	25
Şekil 3.6. Ultrases deney görüntüleri.....	26
Şekil 3.7. Eğilme deneyi görüntüleri	27
Şekil 3.8. Basınç deneyi görüntüleri.....	28
Şekil 4.1. M1, M2 ve M3 nolu karışımların yayılma (kıvam) değerleri.	29
Şekil 4.2. M1, M2 ve M3 nolu harç örneklerinin birim hacim ağırlık değerleri.....	31
Şekil 4.3. M1, M2 ve M3 nolu 365 günlük harç örneklerinin ultrases geçiş süreleri	33
Şekil 4.4. M1 nolu karışımların 28, 240 ve 365 günlük eğilme dayanımı değerleri	34
Şekil 4.5. M2 nolu karışımların 28, 240 ve 365 günlük eğilme dayanımı değerleri	35
Şekil 4.6. M3 nolu karışımların 28, 240 ve 365 günlük eğilme dayanımı değerleri	37
Şekil 4.7. M1, M2 ve M3 nolu 28 günlük harç örneklerinin eğilme dayanımı değerleri	38
Şekil 4.8. M1 nolu karışımların 28, 240 ve 365 günlük basınç dayanımı değerleri.....	39
Şekil 4.9. M2 nolu karışımların 28, 240 ve 365 günlük basınç dayanımı değerleri.....	40
Şekil 4.10. M3 nolu karışımların 28, 240 ve 365 günlük basınç dayanımı değerleri.....	41
Şekil B.1. Hidrolik kireç doküman verileri	50
Şekil B.2. Hidrolik kireç doküman verileri	51
Şekil C.1. Deney fotoğrafları.....	52
Şekil C.2. Deney fotoğrafları.....	53
Şekil C.3. Deney fotoğrafları.....	54
Şekil C.4. Deney fotoğrafları.....	55
Şekil C.5. Deney fotoğrafları.....	56

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge 2.1. Penelis'in Bizans yapıları için üretilen harç numunelerinin karışım oranları	13
Çizelge 2.2. Karaveziroğlu'na göre horasan harcının karışım oranları	13
Çizelge 2.3. Mavi'nin ürettiği harç karışım oranları	14
Çizelge 2.4. Mavi'nin ürettiği harçların mekanik deney sonuçları	14
Çizelge 2.5. Pusat'ın horasan harcı karışım oranları	15
Çizelge 2.6. Akbulut'a göre horasan harcı karışım oranları	16
Çizelge 3.2. M1, M2 ve M3 horasan harçlarına ait ağırlıkça karışım oranları ve miktarları	22
Çizelge 4.1. Yayılma deney sonuçları	29
Çizelge 4.2. Birim hacim ağırlık deney sonuçları	30
Çizelge 4.3. Ortalama birim hacim ağırlık	31
Çizelge 4.4. Ultrases geçiş süresi deney sonuçları	32
Çizelge 4.5. M1, M2 ve M3 nolu 365 günlük harç örneklerinin ultrases geçiş süreleri ..	32
Çizelge 4.6. M1 nolu karışımların 28, 240 ve 365 günlük eğilme dayanımı değerleri ..	34
Çizelge 4.7. M2 nolu karışımların 28, 240 ve 365 günlük eğilme dayanımı değerleri ..	35
Çizelge 4.8. M3 nolu karışımların 28, 240 ve 365 günlük eğilme dayanımı değerleri ..	36
Çizelge 4.9. M1, M2 ve M3 nolu 28 günlük harç örneklerinin eğilme dayanımı değerleri	37
Çizelge 4.10. M1 nolu karışımların 28, 240 ve 365 günlük basınç dayanımı değerleri ..	39
Çizelge 4.11. M2 nolu karışımların 28, 240 ve 365 günlük basınç dayanımı değerleri ..	40
Çizelge 4.12. M3 nolu karışımların 28, 240 ve 365 günlük basınç dayanımı değerleri ..	41
Çizelge A.1. Yayılma, birim hacim ağırlık, ultrases geçiş süresi, eğilme ve basınç	49
dayanımı deney sonuçları	49

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
A	Kesit alanı
b	Kırılma kesitinin genişliği
°C	Selsiyus
f_c	Basınç dayanımı
f_e	Eğilme dayanımı
h	Kırılma kesitinin yüksekliği
Hz	Hertz
L	Mesnetler arasındaki mesafe
mm	Milimetre
P_k	Kırılma yükü

1. GİRİŞ

Tarihi yapılar sadece mimari eser olmayıp, aynı zamanda uygun oldukları uygarlıkların, kültürlerin, geleneğinin, tarihi olayların tanıklığını yapmış özgün belgelerdir. Bu sebeple tarihi yapıların korunmalarındaki amaç, onları sadece bir sanat eseri olarak görmeyip, tarihi bir belge olarak da görüp korumak olmalıdır (Mavioğlu, 2011).

Tarihi eserlerde yapılan koruma çalışmalarında, yapının tüm özgün değerlerinin gelecek kuşaklara aktarılması gerekmektedir. Bir yapının uygun olduğu dönemin geleneklerini ve teknolojisini yansıtması tarihi yapı malzemelerinin özgün değerlerinin bir parçası olmalıdır. Bu nedendir ki tarihi yapı malzemeleri üzerinde yapılacak olan koruma ve onarım çalışmalarının sürekli olması ve kalıcılığının sağlanması önemlidir (Mavioğlu, 2011).

Tarihi yapılara edilecek olan müdahalelerde özgün yapı malzemelerinin yerlerinde korunmaları esas olmalıdır. Yapıya yeni malzeme ile müdahale edilmesinin zorunlu olduğu durumlarda, özgün yapı malzemesine fiziksel, kimyasal, mekanik ve görsel olarak uyumlu malzemeler seçilmelidir. Yeni malzemelerin bu vasıflara uygun olarak seçilebilmeleri için ilk olarak orjinal yapı malzemelerinin özelliklerinin belirlenmesi gereklidir. Günümüzde mevcut uygulamalarda asıl yapı malzemelerinin özelliklerini belirlemeye yönelik çalışmalar, yetersiz analizler ve tarihi koruma metotlarıyla ilgisi bulunmayan modern yöntemlerden dolayı yeterli olmamıştır. Özgün malzemeler ile yeni malzemelerin birbirleri arasındaki uyumsuzlukları sonucu, tarihi yapıların özgün malzemeleri yok olmaktadır (Sağın, E.U. ve Böke, H., 2010).

Tarihi harçların karakter özelliklerini belirleyen en önemli veriler, agrega ve bağlayıcı çeşitleri, bağlayıcı/agrega oranları, dane boyutları ve benzeri parametrelerdir (Mavioğlu,2011).

Kiremit kırığı, tozu ve tuğla ile buna benzer yapı malzemeleri, kireç ve katkı maddeleri ile karıştırılarak tarihi yapılarda sıva malzemesi ve dolgu harcı olarak kullanılmakta ve oluşturulan bu karışımlara horasan harçları ve sıvaları denilmektedir (Çamlıbel, 1998).

Horasan harçlarında kullanılan bağlayıcı/agrega oranı 1/1 ile 1/4 arasında değişmekle birlikte 1/2 ile 1/3 arasında oranlar önerilmektedir (Matias, ve diğ., 2014; Tosun Y. ve diğ., 2015; Altaş G.K., Özgünler S.A, 2012).

Tuğla kırığı harcın mekanik dayanımını arttırmaktadır. Harcın içerisindeki agrega boyutu ve yoğunluğu harçların kullanım amaçlarına göre değişkenlik göstermektedir. Örgü harçlarında, mekanik dayanım sağladıkları için iri agregalar daha fazla kullanılmaktadır (Altaş G.K. ve diğ., 2012).

Horasan harçlarının içinde kullanılan pişmiş kil tozlarındaki silikatlar, kirecin su ile reaksiyona girmesiyle oluşan kalsiyum hidroksit ile reaksiyona girerek, suda çözünmeyen ve harca dayanım kazandıran kalsiyum silikat hidrat jellerine dönüşmektedir (Canbaz M., Güler E., 2017). Hidrolik tepkimeler ile oluşan kalsiyum silikat hidrat ve kalsiyum alüminat hidratlar sayesinde, harçlar suda sertleşebilmekte ve dayanımları artmaktadır. Horasan harçlarında agrega olarak kullanılan tuğla kırığının gözenekli yapıda olması, karbonatlaşmış kirecin çözülüp tekrar çökmesine olanak tanıyarak harçların dayanımını arttırmaktadır (TS EN 1015-3, 2000).

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 deney sonuçlarından elde edilen verilerin, horasan harcını oluşturan malzemelerin tanınmasına ve harcın geliştirilmesine katkı sunması amaçlanmıştır.

2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Horasan Harcının Tarihçesi

Barınma insanların yaradılışlarından bugüne kadar olan en önemli ihtiyaçlarından biridir. İnsanlar ilkçağlarda mağaralarda yaşamlarını sürdürmüşlerdir. Yerleşik toplum düzenine geçmek için barınacakları yerleri yapabilmek için malzeme arayışına girmişlerdir. İlk insanlar toplama taşlardan duvar örmüşlerdir. Bu taşları bağlamak için çamur kullanmışlardır. Zaman geçtikçe topladıkları taşları şekillendirmişler, estetik görünümlü duvarlar örmüşlerdir. Bazı topluluklar göçtükleri yerlerde toplama taş bulamamışlardır. Bu durum onları yapay taş üretimine zorlamış ve kerpici üretmişlerdir. En büyük sorun bağlayıcı madde olmuştur. Çamuru bağlayıcı olarak kabul etmek çok mümkün değildir. İnsanoğlunun bulduğu ilk bağlayıcı malzeme alçı harçlarıdır. Bağlayıcı malzeme üretiminde en zor olan yüksek sıcaklıklara ulaşmak olmuştur. Havada yakılan ateşlerle 400-800°C elde etmek imkansızdır. Gerekli sıcaklığın 190°C olması alçı taşından alçı elde etmeyi kolay hale getirmiştir.

Eski taş devri insanları kalker kayalardan oluşan mağaralarda yaşarken ateş yakarak kireci elde etmişler fakat kalsiyum karbonatın kirece dönmesi için gerekli olan 900°C'ı elde edemediklerinden dolayı düşük maliyetli olan bu kireci kullanamadılar. Cilalı taş devirlerinde de kireç, beyaz badana malzemesi olarak kaldı. Altı yüz yıl kadar önce düşey fırınların gelişmesiyle kirecin endüstriyel üretimi gerçekleşmiştir. Bu malzeme birbirinden bağımsız yörelerde ve zamanlarda yapılan yapılarda gözlemlenmiştir (Akman, 2003).

Tarihi yapılarda kullanılan horasan harcı, bağlayıcı olarak kireç, agrega olarak da tuğla ve kiremit kırıklarınının karışımıyla oluşmaktadır (Böke ve diğ., 2004). Horasan ismini, İran'ın doğusunda bulunan Horasan bölgesinden almaktadır. Horasan harcına Hindistan'da "surkhi", Yunanistan'da "korassan", Arap ülkelerinde "homra", Roma döneminde "cociopesto" denmektedir (Akman ve diğ., 1986; Böke ve diğ., 2004).

Horasan, kırılarak toz haline getirilen tuğla, kiremit, çömlek gibi pişmiş kile verilen isimdir. Horasan harcı horasan ile hava kirecinin karıştırılmasıyla elde edilir.

Ayrıca kum ve puzolanik katkı maddelerinin de ilave edilerek oluşturduğu harçtır (Akman ve diğ., 1986; Ersen ve diğ., 1995). İçine kırılmış olarak katılan tuğla veya kiremitlerden oluşan harç karışımları diğer harçlardan daha farklı bir yapıda olup günümüzde kullanılan betona değerce yakın olan taşıyıcı bir yapı oluşturmaktadır (Akman, 1986).

2.2. Horasan Harcının Özellikleri

Harç, topraktan elde edilen kerpiç ve tuğlanın yapı malzemesi olarak kullanılmaya başlanmasıyla oluşmuştur. Tarihte ilk harç olarak çamur kullanılmıştır. Romalılar döneminde çamur yerine kireç harcı kullanılmaya başlanmıştır (Kuban, 1998).

Romalılar ve Bizans döneminde bu harca “Roman” harcı denmiştir. Daha sonralarda renginden ve dokusundan dolayı horasan topraklarına benzediği için Selçuklu ve Osmanlı mimarisinde “Horasan” harcı adıyla anılmıştır. Horasan harcı pişmiş kil kullanılarak hazırlanan bir kireç harcı olarak da tanımlanabilir (Çamlıbel, 1983).

Kireç harçları iki grupta tanımlanmaktadır. Bunlar hidrolik ve hidrolik olmayan harçlardır. Hidrolik olmayan harçlar etkisiz agregalar ile kirecin karışımıyla oluşmaktadır. Bu hidrolik olmayan harçlar, kirecin havanın karbondioksiti ile kalsiyum karbonata dönüşmesiyle sertleşmekte olup, hidrolik harçlar ise hidrolik kireç kullanılarak veya saf kireç ile puzolanların karıştırılmasıyla elde edilmektedir (Lea, 1940).

Horasan harçları hidrolik harçlar grubuna girmektedir. Bu harçlardaki malzemeler su ile kimyasal tepkimeye girerek havaya ihtiyaç duymadan katılaşır. Bu tür harçların suya ve deniz suyuna karşı gösterdikleri dirençleri oldukça fazladır. Hidrolik özelliklerinden dolayı Horasan harç ve sıvaları su kemeri, sarnıç ve hamam gibi yapılarda kullanılmıştır (Akman ve diğ., 1986).

Kirecin ve horasan-kireç karışımının sertleşmesi farklı kimyasal reaksiyonlarla gerçekleşmektedir. Kuru olan hidrate kireç Ca(OH)_2 kristalleşir ve katılaşır. Fakat bu katılaşma geçici olup su ile temas etmesi halinde tekrar yumuşamaktadır. Kirecin suda erimeyen katı bir cisme dönüşmesi için CO_2 ile birleşerek kalsiyum karbonat (CaCO_3) oluşmasıyla gerçekleşir. Kalsiyum karbonat ise asit karbonikli sularda çözülür. Kirecin kalsiyum karbonata dönüşmesi için CO_2 'nin iç katmanlara difüzyonu uzun seneler gerektirdiği için sertleşme süreci oldukça yavaştır.

Horasan-kireç karışımının sertleşmesi asit baz reaksiyonu sonucu suda çözünmeyen bir tuz oluşumuna dayandığı belirtilmektedir. Pişmiş kil, camlaşmış yani kimyasal etkinlik kazanmış silis (SiO_2) zayıf bir asittir. Burada kuvvetli olan baz da kireçtir. Bu elemanların tepkimesi ile kalsiyum silikat tuzu oluşur. Buradaki tepkime yavaş ilerleyen kimyasal tepkimedir, havaya ihtiyaç yoktur. Bu kimyasal tepkimenin kolay bir şekilde gerçekleşmesi için ortamın ıslak olması gereklidir. Oluşan ürün asit karbonik içeren sulara bile erimeyen, jel yapılı hidrate bir tuzdur. Bu tepkimenin gerçekleşebilmesi için ortamın nemli, silisin aktif ve ince taneli olması gerekir (Akman, 1986).

Hidrolik özelliklerinden dolayı horasan harç ve sıvaları suya karşı dayanıklıdır. Sıvanın yapısında bulunan kalkerleşmiş kireç (CaCO_3) gözenek suyunun içinde çözülüp çökelmekte ve bu süreçte sıva tabakası ayrılmış olmasına rağmen bozunmaya uğrayarak çöken kalsiyum karbonat sayesinde kopmamaktadır. Yer yer çözülmeye uğrayan kalsiyum karbonat, tuğlaların gözeneklerinde yeniden çökeliş sıvanın parçalanmasını engelleyerek harcı dayanıklı hale getirmektedir. Bu gözlemler sonucunda horasan harcı ve sıvalarının ıslak zeminler için kullanılabilir en elverişli malzemeler olduğunu göstermektedir (Böke ve diğ., 2004).

Horasan malzeme olarak geç sertleşen bir malzemedir. Dayanımını çok uzun sürede kazanır. Horasanın bu özelliğini bilen eski mimarlar yapının temelini bitirip uzun yıllar ara verip sonra üst yapıya başlardı. Horasan harcının dayanımını arttırmak ve sertleşme sürecini azaltmak için çeşitli katkı maddeleri kullanılabilir (Saraç, 2003).

Osmanlı döneminde şartnamelerde, horasan harcı hazırlıklarında kullanılacak olan tuğlaların yeni ve iyi pişirilmiş olması koşulu vardır. Şartnamelere konu olacak kadar önemli olan tuğlaların iyi pişirilmesi koşulunun sebebi tuğlanın hammaddesi olan killerin tamamının biçimsiz hale dönüşmesidir. Biçimsiz olan malzemenin en fazla 550°C - 600°C sıcaklıkta elde edildiği bilinmektedir. Silikatlar bu sıcaklıklarda polimorflarına dönüşür (Saraylı, 1987).

Tuğlanın yapısındaki kil, kuvars, tektosilikat mineralleri pişirilme sıcaklıklarına göre tuğlaya puzolanik yapı kazandırmakta olup, 600 - 900°C arasında killer puzolanik amorf yapıya dönüşürken, 900°C 'nin üzerinde mullit ve kristobalit gibi kararlı minerallerin oluşmasıyla tuğlanın puzolanik özelliği yok olmaktadır (Baronio ve diğ., 1997).

Su ile temas etmeden kullanılan tuğlanın reaktifliğini kaybetmemesinin sebebi, tuğlaların yeni pişirilmiş olması koşulu ile açıklanabilmektedir. Pişirme işlemi sonucunda aktif hale gelen amorf silikatlar, nem etkisi ile zamanla silisik asit üreterek tuğladaki karbonatlarla tepkimeye girerek reaktifliğini kaybeder. Böylelikle tuğla, harca katılan kireç ile tepkimeye giremez ve puzolanik etki de gösteremez (Böke, 2004).

Horasan harçlarındaki tuğla agregalarının gözenekli yapısı karbonatlaşmış kirecin çözünüp tekrardan çökmesine imkan tanıyarak bu harç ve sıvaların dayanımını arttırmaktadır (Uğurlu ve Böke, 2010).

Harç üretiminde agrega olarak kullanılan tuğlaların yoğunlukları kireç taşı, bazalt vb. agregaların yoğunluklarından daha düşüktür. Horasan harçları bu sebeple daha hafif olup çekme dayanımı da daha yüksektir (Moropolulou, 2002).

2.3. Horasan Harcı Üretiminde Kullanılan Malzemeler

2.3.1. Bağlayıcılar

Bağlayıcılar, tuğla kırıkları, kum, çakıl, kırma taş gibi doğal veya yapay dolgu maddelerini bağlayan malzemelerdir. Bu malzemeler katılma özelliğine göre 3 gruba ayrılmaktadır (Torraca, 1982; Ashurst ve Ashurst 1990b; Borrelli, 1999);

1. Hava ile katılma özelliği gösteren bağlayıcı malzemeler (hava kireci, kireç)
2. Su ile tepkimeye girerek katılma özelliği gösteren bağlayıcı malzemeler (alçı, su kireci, kireç + puzolan ve çimentolar)
3. Su kaybı ile priz yapan bağlayıcı malzemeler (kerpiç harcı)

2.3.1.1. Kireç

İlk çağlardan itibaren bilinen ve çok yönlü kullanılan bir malzemedir. Kirecin hammaddesi kireçtaşıdır. Bu kireçtaşlarını ikiye ayırabiliriz. Bunlar % 97-99 CaCO₃ içeren yüksek kalsiyumlu kireçtaşları ve MgCO₃ oranı % 43'e kadar yükselebilen dolomittik kireçtaşlarıdır (Boynton, 1980). Kireçtaşının elverişli sıcaklıklarda kireç ocaklarında yakılması ve içeriğindeki karbondioksit gazının uçurulması işlemi ile elde edilen parçalara kireç denilmektedir (Şimşek, 2007).

Eski Yunan, Roma ve onu izleyen dönemlerden, çimentonun bulunmasına kadar geçen sürede yapıların inşasında kireç bağlayıcı malzeme olarak kullanılmıştır.

Harcın veya kirecin fiziksel kimyasal özelliklerini geliştirmek amacıyla bu harçlar hazırlanırken kirece veya harca organik ve inorganik maddeler katıldığı da bilinmektedir (Böke, 2004).

Kirecin hammaddesi olan kireçtaşları kalsiyum karbonattan (CaCO_3) oluşmaktadır. Bu taşların kalsinasyonu ile kireç (CaO) elde edilir. Buna sönmüş kireç denir. CaCO_3 (kalsiyum karbonat)'ün kalsinasyon sıcaklığı % 100 CO_2 içeren ortamda ve 760 mm civa basınçta 900°C 'tır (Boynton, 1980).

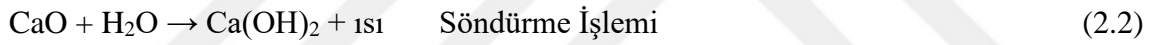
Sönmüş kireç, kalsinasyon sonucu elde edilen sönmemiş kirecin su veya havadaki nem ile reaksiyona girmesiyle oluşur. Kirecin sönmesi için havada % 15 oranında bağıl nem olması yeterlidir (Boynton, 1980).



CaO : Sönmemiş kireç

CaCO_3 : Kireçtaşı

CO_2 : Karbondioksit



CaO : Sönmemiş kireç

H_2O : Su

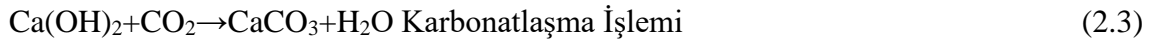
Ca(OH)_2 : Sönmüş kireç

Söndürme işleminde kullanılan suyun saflık derecesi, su/kireç oranı ve karıştırma işlemi kirecin özelliklerini etkilemektedir (Böke ve diğ., 2004).

Kirecin kalitesini ve reaktifliğini kireç taşlarının cinsi, saflığı, büyüklüğü, gözenekliliği, kalsiyum karbonat kristallerinin büyüklüğü etkilemektedir (McClellan ve Eades, 1970).

Gözenekli yüksek sıcaklıklarda kalsine edilmemiş, boşluklu ve katıksız kireç taşından elde edilen sönmemiş kireç su ile daha hızlı tepkimeye girmektedir. Söndürme işlemini hızlandıran bir diğer faktör de sönmemiş kirecin ezilerek kullanılmasıdır. Bu işleminde kullanılan suyun saflık derecesi de oldukça etkilidir. Sülfat ve sülfid iyonları içeren su, kirecin söndürme işlemini geciktirmekte, klorür iyonları ise söndürme işlemini hızlandırmaktadır. Fakat tuzlanmasına da neden olmaktadır.

Söndürme hızını arttırarak yüksek oranlarda sönmüş kireç elde edilmesi söndürme sırasında yapılan karıştırma işlemi sonucudur (Boynton, 1980).



Ca(OH)_2 : Sönmüş kireç

CO_2 : Havadaki karbondioksit

CaCO_3 : Kireçtaşı

H_2O : Buharlaşan su

Sönmüş kireç, sönmemiş kirecin kalsiyum hidroksit oluşturmak için kafi miktarda su ile karıştırılarak kimyasal işlem görmesiyle elde edilen kireç türüdür (Morehead, 1986). Sönmüş kirecin sertleşmesi olayı, havadaki CO_2 ile reaksiyona girip suyun buharlaşması ile oluşur (Holmes ve Wingate, 1997; Borrelli, 1999). Kirecin karbonatlaşma işleminde, karbondioksit gazının konsantrasyonu, suyun miktarı ve kirecin geçirimsizliği çok önemlidir (Uğurlu, 2005).

Kireçler özelliklerine göre de ikiye ayrılmaktadır. Hidrolik kireçler ve hidrolik olmayan kireçler olarak. İki kirecin de sertleşme süresi birbirinden farklıdır. Hidrolik kireçlerin muhtevasında yüksek oranlarda kil parçacıkları bulunan kireç taşlarından oluşmaktadır. Burada sertleşmiş olan killer, kirecin su ile tepkimesiyle oluşmaktadır. Hidrolik olmayan kireçlerde sertleşme, kirecin içerisindeki CaO ile atmosferde bulunan CO_2 arasındaki tepkimesiyle gerçekleşmektedir (Pavia ve Treacy, 2006).

Hidrolik kireç, kalker taşının pişirilmesi sonucu elde edilmektedir. Pişirme işleminden sonra içerisindeki kilin yapısı bozulmaya uğrayıp reaktif ürün olarak silikatlar, alüminatlar ve bazen de demir oksitler ortaya çıkmaktadır. Çıkan bu malzemenin hidrolik olmasının sebebi karbonatlaşmadan kendisinin nemli ortamda priz alabilmesidir (Akman, 2003; Young, 2008).

Hidrolik olmayan kireçler karbonatlaşmanın ilk evrelerinde mekanik dayanımları az ve suda çözünebilirlikleri fazladır. Yüksek geçirgenlik ve esneklik özelliğine sahiptirler. Hidrolik kireçler suyla sertleşme gösterdikleri için daha fazla mekanik dayanım göstermektedirler. Saf kireçlerin düşük geçirgenlik özellikleri göstermesinden dolayı hidrolik kireçlerle karıştırılarak hidrolik kireçlerin neme ve tuzlanmaya karşı daha fazla direnç göstermesi istenmektedir (Pavia ve Treacy, 2006).

Hidrolik kirecin üç alt sınıfı bulunmakta olup bunlar; doğal hidrolik kireç, hidrolik kireç ve tasarlanmış kireçtir. Doğal hidrolik kireç, kil ve silis içeren kireç taşlarının söndürülerek ve yakılarak toz halinde üretim yapılan bir kireçtir. Hidrolik kireç, kireç ile uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve çimentonun karıştırılmasıyla oluşur. Tasarlanmış kireç ise, hava kireci ve/veya doğal hidrolik kireç içeren, içeriğine puzolanik ve/veya hidrolik malzeme katılmasıyla elde edilir (TS EN 459-1, 2015; TS EN 459-2, 2012).

Kireç kullanımı, çok eski zamanlardan beri özellikle inşaat sektöründe, sonrasında kimya sektöründe olmuştur. Çok büyük miktarda kireç kullanımı ise 20. yüzyılın başlarında hızla gelişmekte olan kimya ve demir çelik endüstrisidir. Kirecin tarımda, endüstride ve çevre sektörlerde gün geçtikçe artmasının sebebi, üretim yerlerinin çok olması, kullanım yerlerine yakınlığı, üretimdeki teknolojinin gelişmesi ve bu sayede fiyatının diğerlerine göre ucuz olmasıdır (Kılıç ve Anıl, 2006).

2.3.1.2. Puzolanlar

Puzolanlar, kendi başlarına bağlayıcı değeri olmayan, kireç veya çimento gibi bağlayıcı bir malzeme ile karıştırılarak bağlayıcılık özelliği kazanmış yapı malzemeleridir. Bu yapı malzemelerinin içeriğini kimyasal olarak silikon dioksit (SiO_2) ve az miktarda alüminyum oksit (Al_2O_3) den oluşan maddeler oluşturur. Puzolan, malzeme içinde camlaşmış olan aktif silis kireçle karıştığında nemli ortamda bağlayıcılık özelliği karışır, suda erimeyen kalsiyum silikat tuzuna dönüşür (Pusat, 2002).

Puzolan malzemenin kimyasal analiz sonuçlarının olumlu olması demek o maddenin puzolan olduğunu göstermek için yeterli değildir. Puzolanik özelliğinin araştırılması için kimyasal ve mekanik deneyler yapılması gerekmektedir.

Puzolanik maddeler oluşumlarına göre doğal puzolan ve yapay puzolan olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (Postacıoğlu, 1986). Doğal puzolanlar, silisli, alüminyum silikatlı veya bunların birleşiminden oluşan sedimanter ve volkanik kayalara denilmektedir (TS 25, 2008). Bu doğal puzolanlar tuf, volkanik kül, opal, tras ve diatomlu toprak gibi malzemeler olup, yapay puzolanlar sınıfına ise kiremit, tuğla ve benzeri pişmiş malzemeler, granüle yüksek fırın cürufu, uçucu kül, silis dumanı ve pirinç kabuğu külü girmektedir (Erdoğan & Erdoğan, 2007; Şimşek, 2007).

Doğal puzolanların tek başlarına bağlayıcılık özelliği olmadığından sertleşemezler. Sertleşme reaksiyonun oluşabilmesi için doğal puzolanın ince öğütülerek suyun varlığında ve normal çevre sıcaklığında kalsiyum hidroksit ile belirli oranlarda karıştırılmış olması gerekmektedir. Tepkime sonucunda kalsiyum silikat ve kalsiyum alüminat bileşikleri oluşmakta ve bu bileşikler sayesinde harç dayanım kazanmaktadır. Doğal puzolan maddelerin bu kimyasal bileşimleri yüksek oranda reaktif silisyum dioksit (SiO_2) ve alüminyum oksit (Al_2O_3) ten oluşmaktadır. Geri kalan kısım demir (III) oksit ve diğer oksitler oluşturmaktadır. Reaktif silisyum dioksit miktarı %25'den az olmamalıdır (TS 25, 2008).

Yapay puzolanlardan olan tuğla ve kiremit kırıklıkları, doğal puzolanın olmadığı zamanlarda hidrolik harç oluşturmak için kullanılmıştır (Moropoulou ve diğ, 2005).

Roma ve Bizans dönemlerindeki harçları hazırlarken birbirlerine yakın oranda kireç, agrega ve doğal puzolan kullanılmış olup Bizans harçlarında ise doğal puzolana ilave olarak tuğla kırığı görülmektedir. Bizans harçlarını Roma harçlarından ayıran fark tuğla kırığı kullanılması olmuştur (Mavioğlu, 2011).

Horasan harcını ve sıvasını hazırlarken kullanılan tuğlalar puzolanik özellikte olmalıdır. Osmanlı döneminde kullanılan tuğlaların iyi pişirilmesi gerekliliği şartnamelerde yer almıştır (Akman ve diğ, 1986). Yapılan analizler ile Roma ve Osmanlı dönemindeki horasan harçlarında agrega olarak kullanılan tuğlaların mullit, kristobalit gibi yüksek sıcaklıkta oluşan mineraller içermediği gözlenmiştir. Her iki dönemde tuğlanın pişirilmesi sıcaklığının 900°C 'yi geçmediği sonucuna varılmıştır (Uğurlu & Böke, 2010).

Puzolanik malzemenin yeterli bağlayıcılıkta olabilmesi için sahip olması gereken bazı özellikler vardır. Bunlar (Erdoğan & Erdoğan, 2007):

- Amorf yapıda olmalıdır.
- İçerdiği silika ve alümina miktarı yüksek olmalıdır.
- Çok ince daneli şekilde olmalı ya da öğütülerek ince daneli hale getirilmelidir.

2.3.2. Dolgu Malzemeleri

Dolgu malzemeleri, doğal ve yapay kaynaklardan elde edilen puzolan, kum, tras, kırılmış taş, mermer ve tuğla parçacıklarıdır. Kullanım amacına göre harç ve sıvalara farklı boyutlarda eklenebilmektedir.

Harçta kullanılacak olan dolgu malzemelerinin, bozulmuş taş, kil, tuz vb. gibi harcın saflığını bozacak maddeler içermemesi gerekir. Dolgu malzemesinin kalitesi ve boyutu harcın veya sıvanın dayanımını önemli ölçüde etkilemektedir (Güleç, 1992).

Dolgu malzemesi olarak kullanılan agregaların yoğunluk değerleri harç karışımlarının fiziksel, mekanik özelliklerini etkilemektedir. Tuğla kırığından hazırlanmış olan harçlar daha hafif ve çekme dayanımları daha yüksek olmaktadır. Bunun sebebi; tuğla kırıklarının yoğunluk değerlerinin kireç taşı, bazalt, granit ve benzeri agregalara göre daha düşük olmasıdır (Böke ve diğ, 2004).

Agrega kullanımında dikkat edilmesi gereken hususlar şunlardır:

- Ocak kumları kilden, deniz kumları tuzdan yıkanarak temizlenmelidir (Vitruvius, 1998; Güleç, 1992; Eriç, 2002).
- Kırma taş yumuşak kalkerden üretilmemelidir (Güleç, 1992; Eriç, 2002).
- Yüksek fırın cürufu camlaşmış yapıda ve gevşek olmamalıdır (Güleç, 1992; Eriç, 2002; TS EN 12620, 2009).
- Agregası kalitesi kontrol edilip granülometri şartlarına uygun olmalıdır (Güleç, 1992; Eriç, 2002; TS EN 12620, 2009).
- Agregadaki kükürt içeriği yüksek fırın cürufu için kütlece %2'yi diğer agregalar için %1'i geçmemelidir (TS 706 EN 12620, 2009).

Agrega boyutları uygun ayarlanmış karışımlarda iri boyutlu agregaların arasını küçük boyutlu agregalar doldurduğu için agrega yüzeylerini çevreleyecek bağlayıcının miktarı azalır. Buna bağlı olarak da sertleşen karışım daha dayanıklı hale gelir. Böylece sertleşme sürecindeki rötre de en aza indirgenmiş olur.

Tarihi eserlerde kullanılan kumların dere yataklarından ve ocaklardan alınmış olması, deniz kumu olmaması, agregaların yuvarlanmamış ve köşeli olması gereklidir. Köşeli agregalarda sürtünme olayı artacağından harçlar daha sağlam olur (Mora ve diğ, 1984; Güleç, 1992).

2.3.3. Katkı Malzemeleri

Harç ve sıvaların hazırlanması sırasında kirecin ve harcın fiziksel özelliklerini geliştirmek, karbonatlaşmayı hızlandırmak ya da geciktirmek amacıyla kirece veya harca bazı organik ve inorganik maddeler katılmıştır.

İlave edilen bu maddeler uygulandıkları yörelere ve dönemlere göre farklılık göstermektedir. Bu maddeler; kan, şeker, yumurta akı, arap zankı, tutkal, kemik tutkalı, peynir, incir sütü, gübre, bitki suları ve kazein gibi malzemelerdir (Moropoulou ve diğ, 2005; Güleç, 1992; Böke ve diğ, 2004).

Bu malzemelerden çavdar hamuru, domuz yağı kirecin daha hızlı sertleşmesini sağlarken, kan ve yumurta akı kirecin sertleşmesini geciktirmektedir. Şeker, suyun donma erime fazlarında meydana getirdiği bozunmaları yavaşlatmaktadır. Hayvan tutkalı, yumurta akı, şeker, süt ve keten tohumu gibi katkı maddeleri kirecin kırılgenliğini azaltmaktadır. Bal mumu harçtaki büzölmeyi engellemektedir. Arap zankı, tutkal ve incir sütü de yapışkan olarak kullanılmıştır (Böke ve diğ, 2004).

2.4. Horasan Harcı ile İlgili Örnek Çalışmalar

Horasan harcının içerisindeki malzemelerin karışım miktarları, bağlayıcı agrega oranları zaman geçtikçe unutulmuştur (Kurugöl, 2006).

Horasan harcıyla ilgili geçmişten günümüze her dönemde önerilen malzemeler ve karışım oranları mevcuttur. Araştırmacıların sundukları önerileri sırasıyla inceleyim.

Vitruvius, Puzzuoli şehrinin toprağının hidrolik özelliği üzerinde durmuş kum ve kireçten oluşan bu harca üçte bir oranında öğütölüp elenmiş pişmiş toprak ve tuğla katıldığında daha iyi bir harç elde edilebileceğini belirtmiştir (Kılıç, 2007).

Rodos, İstanbul'da Ayasofya'da kullanılmış olan horasan harçlarında kireç/tuğla tozu oranlarını 1/4 ile 1/2 arasında değıştirdiğini, Bursa'da 14. Yy.'dan kalan Ördekli Hamamı'nda bu oranın 1/1 ile 1/2 arasında değıştirdiğini saptamıştır (Böke ve diğ., 2004).

Penelis, Selanik'teki Bizans yapılarında kullanılmış olan harçların özelliklerini ve karışım oranlarını Pella bölgesindeki puzolanik tüflerden ürettiği Skydra puzolanı ve Santorin toprağı ile yaptığı çalışmada incelemiştir. Malzeme oranları Çizelge 2.1'de verilmiştir. Yapmış olduğı deney sonuçlarının verilerine göre en yüksek eğilme ve basınç dayanımları ile dinamik elastisite modölü değerleri sırasıyla K4, K3 ve K8 harçlarında; en düşük eğilme ve basınç dayanımları ile dinamik elastisite modölü değerleri sırasıyla K19, K18 ve K1 harçlarında elde edilmiştir (Pusat, 2002).

Çizelge 2.1. Penelis'in Bizans yapıları için üretilen harç numunelerinin karışım oranları (Pusat, 2002)

Puzolan Katkısı	Harç Tipi	Kireç	Puzolan	Ağırlığa Göre Karışım Oranları				Su (kg)	Yoğunluk (kg/dm ³)
				Kum		Tuğla Kırığı			
				Maks. Boyut (mm)		Maks. Boyut (mm)			
2	6	2	6						
Santorin	K1	1	1	6	-	-	-	2,24	1,86
	K2	1	1	3	-	3	-	2,7	1,88
	K3	1	1	3	-	-	3	2,42	1,87
	K4	1	1	-	6	-	-	1,92	1,94
	K5	1	1	-	6	-	-	1,86	1,93
	K6	1	1	3	-	-	3	2,2	1,84
	K7	1	1	-	5	-	1	1,97	1,9
	K8	1	1	-	3	-	3	2,24	1,86
Skydra	K18	1	1	6	-	-	-	2,17	1,94
	K19	1	1	-	6	-	-	1,67	2,02

Penelis, Selanik'teki 400 yıllık Osmanlılara ait bir tarihi eserdeki harç üzerinde yapılan deneyler sonucunda harcın eğilme ve basınç dayanımları ile dinamik elastisite modülü değerlerini sırasıyla 0,36 MPa, 1,28 MPa ve 1150 MPa olarak belirlemiştir (Pusat, 2002).

Bir diğer çalışmada, horasan harcının karışım oranları belirlenmiş Çizelge 2.2'de verilmiştir. Üretilen harç numunelerinin 28 gün sonundaki eğilme ve basınç dayanımları ile elastisite modülleri sırasıyla 0,31 MPa, 1,10 MPa ve 1849 MPa olarak elde edilmiştir (Pusat, 2002).

Çizelge 2.2. Karaveziroğlu'na göre horasan harcının karışım oranları (Pusat, 2002)

Kireç	Puzolan	Tuğla Kırıntısı	Kum	Su
1	1	3	3	1,87

Mavi'nin yüksek lisans tezi kapsamında yapmış olduğu deneysel çalışmalarda dokuz farklı karışımda numuneler üretilmiştir. Numunelerin içinde karışım oranları Çizelge 2.3'de verilen miktarlarda kum, sönmüş kireç, akrilik, çimento, su itici, kireç suyu ve puzolan olarak da ponza taşının öğütülmesiyle elde edilen toz kullanılmıştır. Numuneler 14, 28, 90, 180 ve 270 günün sonunda mekanik ve fiziksel deneylere tabi tutulmuştur. Yapılan deneysel çalışmalar Çizelge 2.4'tedir.

Çizelge 2.3. Mavi'nin ürettiği harç karışım oranları (Mavi, 2000)

Kod	Kum (cc)	Kireç (cc)	Puzolan (cc)	Akrilik (g)	Su İtici (g)	Çimento (cc)	Kireç Suyu (ml)
KH	2,4	1	-	-	-	-	-
KPH1	2,4	1	15	-	-	-	-
KPH2	2,4	1	30	-	-	-	50
KAH1	2,4	1	-	2,7	2,7	-	400
KAH2	2,4	1	-	5,4	-	-	-
KAH3	2,4	1	-	10,8	-	-	-
KÇH	2,4	1	-	-	-	30	-
KAPH	2,4	1	30	10,8	-	-	50
KASH	2,4	1	-	10,8	-	-	-

Çizelge 2.4. Mavi'nin ürettiği harçların mekanik deney sonuçları (Mavi, 2000)

Kod	Eğilme (N/mm ²)					Basınç (N/mm ²)				
	14	28	90	180	270	14	28	90	180	270
KH	0,43	0,5	0,7	0,81	0,81	0,35	0,51	0,72	1,36	1,24
KPH1	0,26	0,32	0,48	0,64	0,61	0,35	0,53	0,97	1,29	1,23
KPH2	0,41	0,42	0,66	0,85	0,79	0,46	0,57	1,08	1,67	1,48
KAH1	0,25	0,28	0,47	0,51	0,45	0,3	0,39	0,75	0,97	0,91
KAH2	0,28	0,48	0,6	0,78	0,75	0,38	0,66	1,08	1,64	1,62
KAH3	0,38	0,34	0,75	0,76	0,75	0,55	0,62	1,38	1,55	1,52
KÇH	0,34	0,34	0,41	0,51	0,4	0,72	0,78	0,92	1,18	1,06
KAPH	0,41	0,5	0,68	0,88	0,78	0,62	0,82	1,28	1,95	1,69
KASH	0,31	0,36	0,58	0,76	0,7	0,5	0,69	1,22	1,5	1,47

Pusat'ın yapmış olduğu çalışmada, on farklı harç karışımı belirlenmiştir ve bu karışım oranları Çizelge 2.5'de verilmiştir (Pusat, 2002).

Çizelge 2.5. Pusat'ın horasan harcı karışım oranları (Pusat, 2002)

Harç Tipi	Su	Kireç	Standart Kum	Pişmiş Toprak Kırıntısı	Yüksek Fırın Cürufu	Pişmiş Toprak Tozu
A	0,46	1	3	-	-	-
B	1,4	1	-	3	-	-
C10	0,76	0,9	3	-	0,1	-
C20	0,76	0,8	3	-	0,2	-
C30	0,76	0,7	3	-	0,3	-
C40	0,76	0,6	3	-	0,4	-
D10	0,76	0,9	3	-	-	0,1
D20	0,76	0,8	3	-	-	0,2
D30	0,76	0,7	3	-	-	0,3
D40	0,76	0,6	-	-	-	0,4

Çizelge 2.3'teki harç numunelerinin 90 günlük eğilme dayanımları sırasıyla 0,3 MPa, 0,5 MPa, 0,3MPa, 0,3MPa, 0,4 MPa, 0,4 MPa, 0,2 MPa, 0,2 MPa, 0,1 MPa, 0,2 MPa olarak tespit edilmiştir. Aynı harç numunelerinin 90 günlük basınç dayanımları sırasıyla 2,3 MPa, 2,2 MPa, 2 MPa, 2,6 MPa, 3 MPa, 3,1 MPa, 1,6 MPa, 0,9 MPa, 1,2 MPa, 1,2 MPa olarak tespit edilmiştir (Pusat, 2002).

Akbulut yapmış olduğu çalışmada agrega olarak tuğla pirinci kullandığı on adet horasan harcı üretmiştir. Bunların beşi lifsiz harç beşi de lifli harçtır. Bir de agrega olarak silis esaslı kumu kullanarak on adet horasan harcı üretmiştir. Bunlarında beşi lifli olup beşi lifsizdir. Toplamda yirmi adet horasan harç numunesi üretmiş olup karışım oranları Çizelge 2.6'te verilmiştir (Akbulut, 2006).

Çizelge 2.6. Akbulut'a göre horasan harcı karışım oranları (Akbulut, 2006)

Harç	Kodu	Malzeme Oranları (ağırlıkça)					
		Agrega	Kireç	Yüksek Fırın Cürufu	Su	Lif	
Silis Esaslı Kum	Lifsiz	SC	3	1	-	0,75	-
		SSF	3	0,7	0,3	0,65	-
		SFA	3	0,7	0,3	0,625	-
		SBF	3	0,7	0,3	0,6	-
		SBP	3	0,7	0,3	0,625	-
	Lifli	SCf	3	1	-	0,75	0,01
		SSFf	3	0,7	0,3	0,66	0,01
		SFAf	3	0,7	0,3	0,635	0,01
		SBFf	3	0,7	0,3	0,61	0,01
		SBPf	3	0,7	0,3	0,635	0,01
Tuğla Kırıntı Agregası	Lifsiz	BC	3	1	-	0,97	-
		BSF	3	0,7	0,3	0,79	-
		BFA	3	0,7	0,3	0,71	-
		BBF	3	0,7	0,3	0,719	-
		BBP	3	0,7	0,3	0,709	-
	Lifli	BCf	3	1	-	0,753	0,01
		BSFf	3	0,7	0,3	0,825	0,01
		BFAf	3	0,7	0,3	0,74	0,01
		BBFf	3	0,7	0,3	0,748	0,01
		BBPf	3	0,7	0,3	0,717	0,01

Akbulut yapmış olduğu çalışmalardaki lifli harçlarda eğilme dayanımını arttırmak ve rötreyi azaltmak için % 0,1 oranında ticari kodu M12 olan 12 mm uzunluğunda çapı 18 µ olan polipropilen lif kullanmıştır. Üretmiş olduğu harç numunelerine 7 ve 28 gün laboratuvar ortamında 2 kür süresi ile 365 gün laboratuvar ortamında ve 365 gün atmosfer ortamında olmak üzere toplam 4 kür süresi uygulamıştır. Yapmış olduğu bu çalışmalar sonucunda; kullandığı lifin rötreyi azalttığı, puzolan katkılı harçlarda lif kullanılmasının mekanik özellikleri arttırdığını, tuğla pirinci ile üretilen harçlarda mekanik özelliğinin azaldığı, harca puzolan katılmasının eğilme ve basınç dayanımlarını arttırdığı, laboratuvar ve atmosfer ortamında kür uygulanan harçların mekanik özelliklerinde çeşitlilik görüldüğü sonuçlarına varılmıştır (Akbulut, 2006).

Böke ve arkadaşlarının yapmış olduğu bazı Osmanlı hamamları ile ilgili çalışmada kullanılan harç ve sıvalar incelenmiştir. Harç ve sıva numunelerinde XRD, AFM, TGA, SEM-EDS ve kimyasal analizler yapılmış ve bu yapılardaki harçların morfolojileri, hammadde kombinasyonları, puzolanitesi ile içerisindeki mineralleri belirlenmiştir. İncelenen bu harçlar sonucunda kirece tuğla kırığı ve parçacıklarına rastlanılmıştır. Yüksek puzolaniteye sahip olan tuğla tozları gözlenmiş ve kireç/tuğla agregasının üçte bir olduğu sonucu elde edilmiştir (Böke ve diğ., 2006).

İzmir Bergama'da Roma dönemine ait olan Serapis tapınağında Özkaya ve Böke bazı çalışmalar yapmıştır. Kullanılan harcın mekanik ve fiziksel özelliklerini inceleyip harç içerisinde iri ve ince agregalar tespit etmişlerdir. Harçlardaki agrega/kireç oranının 1/4 olduğu belirlenmiştir (Özlem ve Böke, 2009).

Uğurlu ve Böke'nin yapmış olduğu bir çalışmada da bazı Osmanlı hamamları incelenmiştir. İncelenen tüm yapılarda kireç ve agrega olarak tuğlaya rastlanılmıştır. Kullanılmış olan sıvaların yapısı amorf olup iyi bir puzolanik özellik göstermiştir. Toprağın da kil yönünden oldukça zengin olduğu sonuçlarına varılmıştır (Uğurlu ve Böke, 2009).

Mavioğlu tarafından yüksek lisans tezi olarak yapılan deneysel çalışmada bağlayıcı olarak kireç, agrega olarak da tuğla kırığı ve az miktarda da dere kumu kullanılarak horasan harcı elde edilmiştir. Bu horasan harcına iki farklı ince öğütülmüş puzolanik katkı maddesi eklenerek iki tür horasan harcı üretilmiştir.

Üretilen harç numuneleri üzerinde fiziksel ve mekanik deneyler yapılmıştır. Fiziksel deneyler 28 günlük numunelerde, mekanik deneyler ise 28, 60 ve 90 günlük numuneler üzerinde uygulanmıştır. 28 günlük numunelerin ilk 7 günü etüvde bekletilip sonrasında ultrases geçiş hızı deneyi ve mekanik deneyler yapılmıştır. Yapılan deney çalışmaları sonucunda;

- Birim hacim ağırlık değerleri 1,40-1,55 g/cm³ arasında değişmektedir
- Ultrases geçiş hızının gözeneklilik değerleri arttıkça azalmaktadır. Ultrases hızları zamana bağlı artış göstermiştir.
- Harç numunelerinin eğilme ve basınç dayanımları 28, 60 ve 90 günlük numunelerde yapılan deneylerde gittikçe arttığı gözlenmiştir.

- Eğilme ve basınç dayanım değerleri ince öğütülmüş puzolan katılan harçlarda katkı maddesi ilave edilmeyen harçlara göre daha yüksek çıkmıştır. 90 günlük numunelerde yapılan deneylerde ponza taşı tozu kullanılan numunelerin ve tuğla tozu kullanılan numunelerin basınç dayanımları katkı maddesi katılmayan numunelerin basınç dayanımlarına göre sırayla %164 ve %102 artış gözlenmiştir. Bu durumda puzolanik etkinin ve dayanımın puzolan malzemelerin inceliğinin artmasının sonucu arttırdığını göstermiştir. Numuneler üzerinde yapılan yapılan eğilme dayanımlarındaki artış yüzdesi ise basınç dayanımlarına göre daha düşük kalmıştır (Mavioğlu, 2011).

Özgen'in yapmış olduğu deneysel çalışmalarda tarihi yapılarda kullanılan kireç harçlarının basınç dayanımlarının araştırılması üzerine 12 adet harç numunesi hazırlamıştır. Bu numunelerde arpa suyu, dışbudak suyu ve yumurta akı olmak üzere üç farklı organik katkı kullanılmıştır. Numuneler kapalı bir ortamda 28 gün bekletilip basınç dayanım deneyine tabi tutulmuştur. Çalışmanın sonucunda, dışbudak suyunun harcın basınç dayanımına katkısının diğerlerinden daha fazla olduğu belirlenmiştir (Özgen, 2012).

3. MALZEME VE DENEYSEL YÖNTEMLER

3.1. Malzeme

Yapılan çalışmada, doğal hidrolik kireç, doğal kum, tuğla kırığı ve şebeke suyu kullanılmıştır.

3.1.1. Kireç

Harç numunelerinin üretiminde kullanılan kireç piyasadan temin edilmiş olup Tekno Yapı Kimyasalları tarafından TS EN 459-1'e uygun üretilen çimento içermeyen Teknorep 550 doğal hidrolik kireçtir (Url-1). Teknik özellikleri Ek-B'de verilmiştir.

3.1.2. Tuğla Kırığı

Piyasadan alınan harman/dolu tuğlanın laboratuvar ortamında çeneli kırıcı ile kırılması sonucu tuğla kırığı elde edilmiştir (Şekil 3.1). Tuğla kırığı, horasan harcı üretiminde 0-2, 2-4, 0-4 mm aralıklarında kullanılmıştır (Şekil 3.2).



Şekil 3.1. Harman tuğlası ve çeneli kırıcıda kırılması



Şekil 3.2. Horasan harcı karışımında kullanılan doğal kum ve tuğla kırığı görüntüleri

3.1.3. Şebeke Suyu

Numunelerde kullanılan su Kırklareli şebeke suyudur. Su, herhangi bir işleme tabi tutulmayıp ve bekletilmeden kullanılmıştır.

3.1.4. Kum

Deneylerde Kırklareli bölgesinden alınan doğal kum kullanılmıştır. Özgül ağırlığı $2,75 \text{ g/cm}^3$ olarak tespit edilmiştir. Horasan harcı üretiminde 0-4 mm aralığında doğal kum kullanılmıştır. Doğal kum ve tuğla kırığına ait granülometrik veriler Çizelge 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.3. Doğal kum

Çizelge 3.1. 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

3.2. Deneysel Yöntemler

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

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

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

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

C: 1,125 su – 1kireç – 3,5 agregaya (kum+tuğla kırığı)

A, B ve C grupları da kendi içerisinde, agregaya (kum+tuğla kırığı) miktarında tuğla kırığının ağırlıkça bulunma yüzdesine göre 5'e ayrılmıştır. Tuğla kırığı, A, B ve C gruplarında agregaya (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. Çizelge 3.2'de M1, M2 ve M3 nolu horasan harçlarına ait ağırlıkça karışım oranları ve miktarları verilmiştir.

Çizelge 3.2. 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 3.3). 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.



Şekil 3.1. Horasan harcı örnekleri.

Örnekler üretilirken, mikserde öncelikle kum, tuğla kırığı ve kireç karıştırılmış, sonra su ilave edilerek karıştırma işlemine devam edilmiştir. Karıştırma işlemi bitince, taze horasan harcı üzerinde yayılma tablası kullanılarak kıvam deneyi yapılmıştır (Şekil 3.4). Çalışmada 300mm'lik yayılma tablası çapının üzerinde yayılma gösteren harçların değerleri 300mm olarak alınmıştır.



Şekil 3.2. Horasan harcının mikserde karıştırılması ve kıvam deneyi görüntüleri

Horasan harcı, 40mm x 40mm x 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. Eğilme dayanımı nedeniyle ikiye ayrılan örneğin her iki tarafında kalan parçaları üzerinde basınç dayanımı deneyi yapılmıştır. 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 sonuçlarda kullanılmıştır.

3.2.1. Yayılma Tablası Deneyi

Harçların karıştırma işlemi tamamlandıktan sonra kalıplara doldurulmadan önce hazırlanan karışımların kıvamları hakkında bilgi vermesi açısından TS EN 1015-3 Standardı'na uygun olarak yayılma tablası deneyi yapılır. 300mm çaplı tablanın üzerine taban çapı 100 mm ve üst çapı 70 mm yüksekliği 60mm olan kesik koni şeklindeki kalıp yerleştirilir. Kalıbın içine taze harç doldurulur. Tokmakla 10 kez hafifçe vurulur. Taze harçla doldurulan bu kalıp düzgünce kaldırıldıktan sonra taze harç saniyede 1 kez olacak şekilde 25 kez düşürülür ve harcın yayılma çapı ölçülür.



Şekil 3.3. Yayılma tablası deney görüntüleri

3.2.2. Birim Hacim Ağırlık Deneyi

Bir cismin birim hacim ağırlığı, kuru numune kütesinin görünür hacmine oranı şeklinde ifade edilmektedir. (TS EN 1936, 2010)

Birim ağırlık deneyi kapsamında 40x40x160 mm ebatlara sahip kalıplarla üretilmiş numunelerin ağırlıkları tek tek tartılarak kayıt edilmiştir. Bu tartım değerlerinin numunenin hacmine bölünmesi sonucunda üretilen numunelerin birim ağırlıkları belirlenmiştir.

3.2.3. Ultrases Deneyi

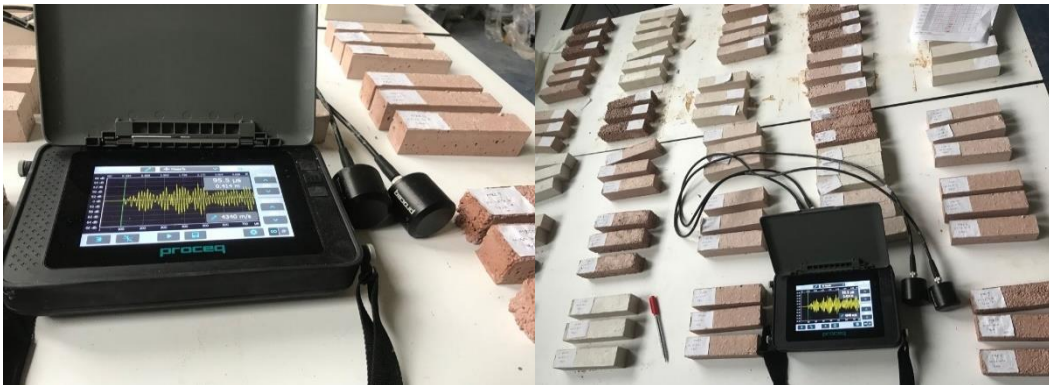
Sesin duyulabilen titreşimi; 16-16000 Hz arasındadır. Frekansın 16000 Hz'nin üzerine çıkması durumunda ses dalgalarına ultrases denilmektedir. Boşlukta yayılamayan bu ses dalgaları gaz, sıvı veya katı halde bulunan bir cismin içinde belirli bir hızla yayılırlar. Bu hız malzemenin yapısına ve cinsine bağlı olarak değişebilmektedir. Ultrases dalgalarının doğrultuları üzerinde boşluk bulursa bu boşluğu geçemez çevresinden dolaşır. Bu durum sesin malzemenin bir ucundan diğer ucuna ulaşmayı gereken süreyi etkiler ve arttırır. Yani içerisindeki ses hızı düşer.

Boşluklu olan bir malzemede ultrases geçiş hızının bilinmesi malzemenin içerdiği boşluk miktarı hakkında bilgi verir. Malzemenin yapısındaki boşluklar dayanımı olumsuz yönde etkilemektedir. Ultrases geçiş hızı ile dayanım arasında doğru orantılı bir ilişki vardır. Bu deney yardımı ile dayanımı ve özellikleri hakkında bilgi edinilir.

Ultrases geçiş süresi için TS EN 12504-4 standardına göre prizma şeklinde numune alınarak bir ucuna prob denilen ultrases üreten verici, diğer ucuna da malzeme içinden geçen ses dalgalarını toplayan alıcı yerleştirilmektedir. Ses dalgaları, alıcı prob tarafından toplanır ve bağlı olduğu cihaza aktarılarak, sesin iki uç arasındaki süresi mikrosaniye cinsinden tespit edilir.

Ultrases deneyini uygularken bazı özelliklere dikkat etmek gerekir. En önemli olarak alıcı ve verici problemlerin malzemeye temas ettikleri yüzeylerde boşluk kalmamasıdır. Bu nedenle boşluk kalmasını engellemek için alıcı ve verici proba jel sürülmüştür.

Ultrases deneyleri, 40x40x160 mm'lik 28, 240, 365 günlük numuneler üzerinde yapılmıştır (Şekil 3.6).



Şekil 3.4. Ultrases deney görüntüleri

3.2.4. Eğilme Dayanımı Deneyi

Eğilme dayanımı deneyinde TS EN 196-1 standardına uygun olarak 40x40x160 mm boyutlarındaki numuneler sırayla deney cihazına yan yüzlerinden biri mesnet silindirlerinin üzerine gelecek şekilde yerleştirilmiş ve açıklığın tam ortasından numune kırılıncaya kadar yük uygulanır. Şekil 3.7’de deneyin uygulanışı gösterilmiştir.

Aşağıdaki hesaplamaya göre örneklerin eğilme dayanımı hesaplanmıştır:

$$f_e = 1,5 (P_k * l) / (b * h^2) \quad (3.1)$$

f_e : Eğilme dayanımı (N/mm²)

P_k : Deney presinden kırılma anında okunan yük değeri (N)

l : Yükleme tablası mesnetleri arasındaki açıklık (mm)

b : Kırılma kesitinin genişliği (mm)

h : Kırılma kesitinin yüksekliği (mm)



Şekil 3.5. Eğilme deneyi görüntüleri

3.2.5. Basınç Dayanımı Deneyi

Basınç dayanımı deneyinde, TS EN 196-1 standardına uygun olarak eğilme dayanımı deneyi sonucunda iki parçaya ayrılmış numuneler kullanılmıştır. Şekil 3.8’de deneyin uygulanması gösterilmiştir. Yükleme plakaları arasına yerleştirilen numunelere kırılma gerçekleşene kadar yükleme yapılmış ve numunenin kırıldığı kuvvet not edilmiştir. Basınç dayanım değeri numunenin kırıldığı yükün kuvvet uygulanan yüzeye oranlanması sonucuyla bulunmuştur.

Yapılan bu deneysel çalışmada eğilme çekme deneyi sonucu 40x40x160mm boyutundaki numunenin ikiye bölünmesiyle elde edilen küçük prizmaların yüzeylerinin düzeltilerek yeniden kullanılmasıyla basınç dayanımları belirlenmiştir. Her yarım prizma 40x40 mm ($A=1600 \text{ mm}^2$) boyutlarındaki kırma başlıklarının arasına yanal yüzeyleri temas edecek şekilde yerleştirildikten sonra kırılana kadar yükleme yapılmıştır. Aşağıdaki formüle göre hesaplama yapılarak deneyi yapılan örneğin dayanabildiği maksimum basınç mukavemeti bulunmuştur.

$$f_c = P_k / A \quad (3.2)$$

f_c : Basınç dayanımı (N/mm^2)

P_k : Kırılma yükü (N)

A : Yüklemenin yapıldığı kesit alanı (mm^2)



Şekil 3.6. Basınç deneyi görüntüleri

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

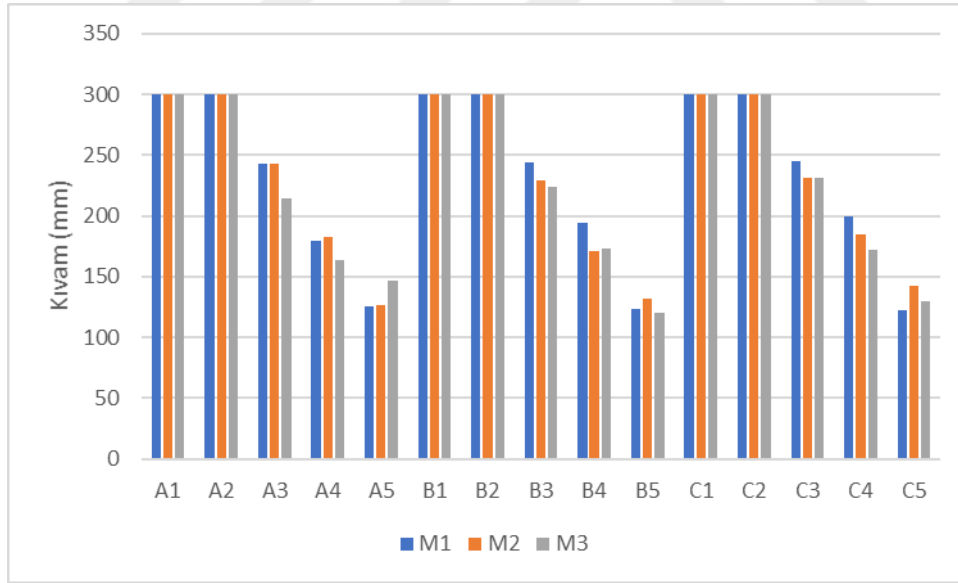
4.1. Yayılma (Kıvam)

Hazırlanan harç karışımlarının yayılma deney sonuçları Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Yayılma deney sonuçları

	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	C1	C2	C3	C4	C5
M1	300	300	243	179	126	300	300	244	194	123	300	300	245	200	122
M2	300	300	243	183	127	300	300	229	171	132	300	300	231	185	143
M3	300	300	214	164	147	300	300	224	173	120	300	300	231	172	130

Çizelge 4.1’de verilen yayılma deney sonuçlarının grafiği Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1. 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 122mm 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.

4.2. Birim Hacim Ağırlık

Harç numunelerinin 28, 240 ve 365 günlük birim hacim ağırlık deney sonuçları Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Birim hacim ağırlık deney sonuçları

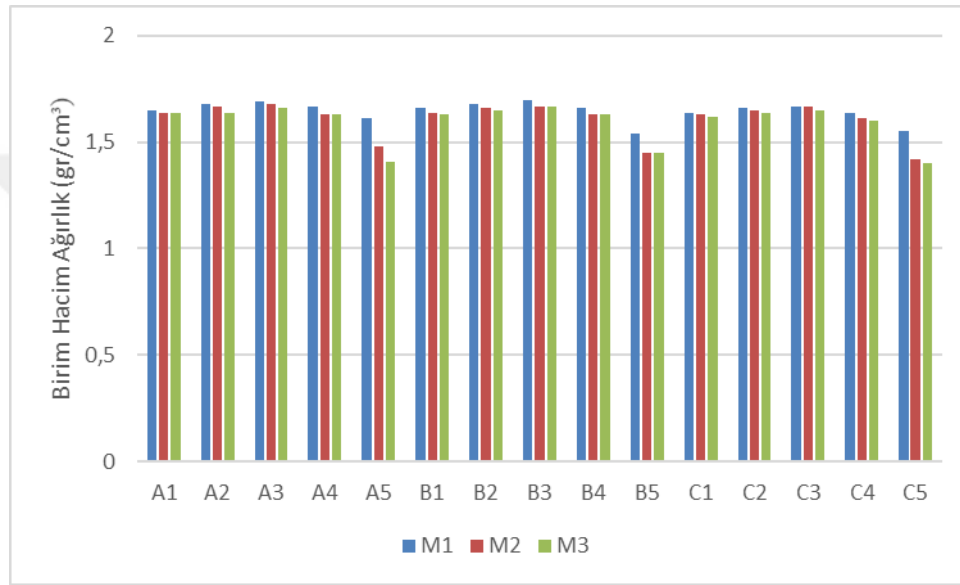
KARIŞIM KODU	BİRİM HACİM AĞIRLIK			KARIŞIM KODU	BİRİM HACİM AĞIRLIK			KARIŞIM KODU	BİRİM HACİM AĞIRLIK		
	28	240	365		28	240	365		28	240	365
M1A1	1,62	1,65	1,68	M2A1	1,65	1,61	1,66	M3A1	1,64	1,63	1,66
M1A2	1,69	1,64	1,70	M2A2	1,70	1,64	1,67	M3A2	1,63	1,64	1,64
M1A3	1,70	1,67	1,69	M2A3	1,71	1,66	1,66	M3A3	1,63	1,66	1,68
M1A4	1,69	1,65	1,66	M2A4	1,65	1,6	1,64	M3A4	1,64	1,62	1,64
M1A5	1,61	1,61	1,62	M2A5	1,57	1,4	1,48	M3A5	1,41	1,45	1,36
M1B1	1,65	1,67	1,65	M2B1	1,63	1,66	1,62	M3B1	1,62	1,63	1,64
M1B2	1,67	1,69	1,68	M2B2	1,69	1,63	1,66	M3B2	1,64	1,65	1,67
M1B3	1,73	1,68	1,69	M2B3	1,69	1,63	1,68	M3B3	1,67	1,66	1,67
M1B4	1,70	1,63	1,66	M2B4	1,67	1,63	1,59	M3B4	1,64	1,62	1,63
M1B5	1,58	1,53	1,50	M2B5	1,47	1,42	1,46	M3B5	1,45	1,44	1,45
M1C1	1,69	1,58	1,64	M2C1	1,62	1,58	1,68	M3C1	1,61	1,62	1,64
M1C2	1,69	1,61	1,67	M2C2	1,66	1,62	1,67	M3C2	1,63	1,62	1,68
M1C3	1,69	1,67	1,65	M2C3	1,69	1,64	1,69	M3C3	1,64	1,65	1,66
M1C4	1,66	1,63	1,64	M2C4	1,63	1,58	1,62	M3C4	1,58	1,60	1,62
M1C5	1,56	1,59	1,50	M2C5	1,52	1,33	1,40	M3C5	1,39	1,40	1,41

Çizelge 4.2'de verilen birim hacim ağırlık deney sonuçları M1, M2 ve M3 kodları olarak ortalama alınmış olup Çizelge 4.3'de bu ortalama değerler verilmiştir.

Çizelge 4.3. Ortalama birim hacim ağırlık

	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	C1	C2	C3	C4	C5
M1	1,65	1,68	1,69	1,67	1,61	1,66	1,68	1,70	1,66	1,54	1,64	1,66	1,67	1,64	1,55
M2	1,64	1,67	1,68	1,63	1,48	1,64	1,66	1,67	1,63	1,45	1,63	1,65	1,67	1,61	1,42
M3	1,64	1,64	1,66	1,63	1,41	1,63	1,65	1,67	1,63	1,45	1,62	1,64	1,65	1,60	1,40

Çizelge 4.3’de verilen birim hacim ağırlık deney sonuçlarının grafiği Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2. 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 agrega olarak 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 ve diğ., (2015), tarihi eserler üzerinde yapmış oldukları çalışmalarda, birim hacim ağırlık değerlerini Roma dönemi eserlerinde 1,65 gr/cm³, Bizans dönemi eserlerinde 1,57 gr/cm³ ve Selçuklu dönemi eserlerinde ise 1,68 gr/cm³ olarak tespit etmişlerdir. Altaş ve diğ., (2012), tarihi yapılardaki horasan harçlarında görülen birim hacim ağırlığın 1,32 gr/cm³ ile 1,61 gr/cm³ arasında olduğunu belirtmişlerdir. Tespit etmiş olduğumuz birim

hacim ağırlık değerleri ile bu çalışmalarda ki sonuçların birbirlerine yakın oldukları belirlenmiştir.

4.3. Ultrases Geçiş Süresi

Hazırlanan numunelerin 28, 240 ve 365 günlük ultrases geçiş süresi deney sonuçları Çizelge 4.4’de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Ultrases geçiş süresi deney sonuçları

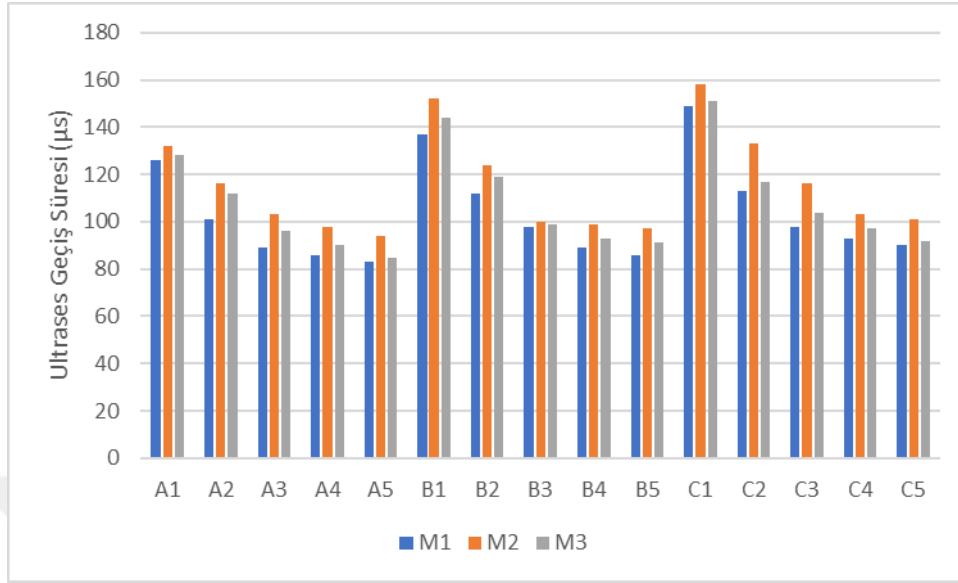
KARIŞIM KODU	ULTRASES GEÇİŞ SÜRESİ			KARIŞIM KODU	ULTRASES GEÇİŞ SÜRESİ			KARIŞIM KODU	ULTRASES GEÇİŞ SÜRESİ		
	28	240	365		28	240	365		28	240	365
M1A1	98	118	126	M2A1	104	122	132	M3A1	106	120	128
M1A2	84	100	101	M2A2	87	104	116	M3A2	88	103	112
M1A3	72	84	89	M2A3	75	92	103	M3A3	79	89	96
M1A4	70	80	86	M2A4	71	87	98	M3A4	73	84	90
M1A5	69	78	83	M2A5	70	86	94	M3A5	72	83	85
M1B1	106	126	137	M2B1	120	146	152	M3B1	124	135	144
M1B2	91	101	112	M2B2	92	112	124	M3B2	94	109	119
M1B3	76	89	98	M2B3	79	92	100	M3B3	83	91	99
M1B4	73	84	89	M2B4	76	90	99	M3B4	77	86	93
M1B5	72	81	86	M2B5	73	88	97	M3B5	75	85	91
M1C1	118	135	149	M2C1	133	148	158	M3C1	138	145	151
M1C2	92	105	113	M2C2	94	117	133	M3C2	101	111	117
M1C3	79	91	98	M2C3	80	102	116	M3C3	84	97	104
M1C4	77	86	93	M2C4	78	93	103	M3C4	83	90	97
M1C5	73	84	90	M2C5	75	94	101	M3C5	80	89	92

M1, M2 ve M3 nolu harç numunelerinin 365 günlük ultrases geçiş süreleri Çizelge 4.5’de verilmiştir.

Çizelge 4.5. M1, M2 ve M3 nolu 365 günlük harç örneklerinin ultrases geçiş süreleri

	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	C1	C2	C3	C4	C5
M1	126	101	89	86	83	137	112	98	89	86	149	113	98	93	90
M2	132	116	103	98	94	152	124	100	99	97	158	133	116	103	101
M3	128	112	96	90	85	144	119	99	93	91	151	117	104	97	92

Çizelge 4.5’de verilen M1, M2 ve M3 nolu 365 günlük harç örneklerinin ultrases geçiş süresi grafiği Şekil 4.3’de verilmiştir.



Şekil 4.3. 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 µs, M2C1 kodlu harç örneğinde 158 µs ve M3C1 kodlu harç örneğinde ise 151 µs 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 µs, M2A5 kodlu harç örneğinde 94 µs ve M3A5 kodlu harç örneğinde ise 85 µs olmak üzere A5 grubu almıştır.

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.

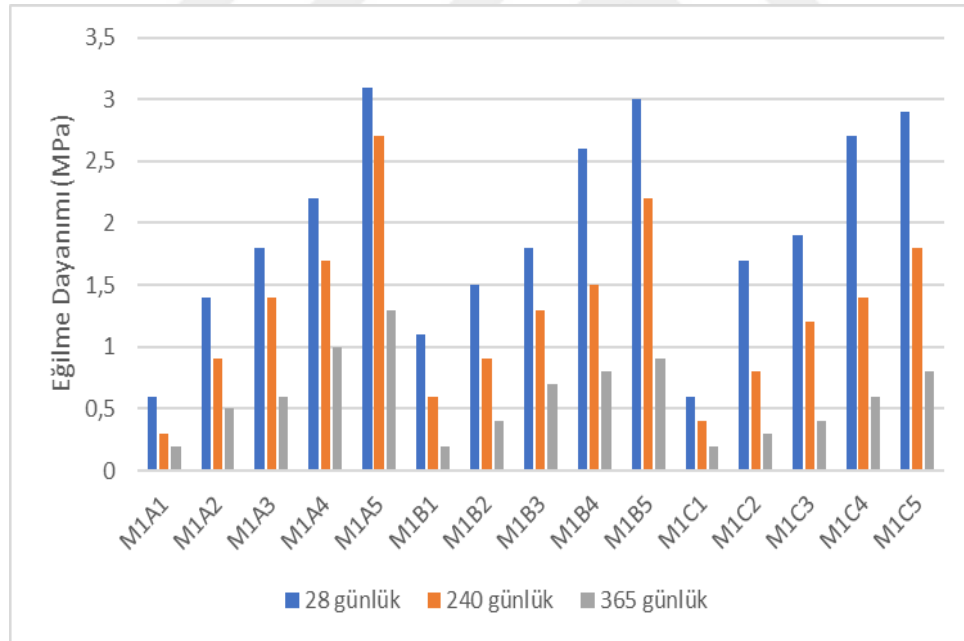
4.4. Eğilme Dayanımı

M1 nolu harç numunelerinin 28, 240 ve 365 günlük eğilme dayanımı sonuçları Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6. M1 nolu karışımların 28, 240 ve 365 günlük eğilme dayanımı değerleri

HARÇ KODU	EĞİLME DAYANIMI			HARÇ KODU	EĞİLME DAYANIMI			HARÇ KODU	EĞİLME DAYANIMI		
	28	240	365		28	240	365		28	240	365
M1A1	0,6	0,3	0,2	M1B1	1,1	0,6	0,2	M1C1	0,6	0,4	0,2
M1A2	1,4	0,9	0,5	M1B2	1,5	0,9	0,4	M1C2	1,7	0,8	0,3
M1A3	1,8	1,4	0,6	M1B3	1,8	1,3	0,7	M1C3	1,9	1,2	0,4
M1A4	2,2	1,7	1,0	M1B4	2,6	1,5	0,8	M1C4	2,7	1,4	0,6
M1A5	3,1	2,7	1,3	M1B5	3,0	2,2	0,9	M1C5	2,9	1,8	0,8

Çizelge 4.6'da verilen M1 nolu karışımların 28, 240 ve 365 günlük eğilme dayanımı değerlerinin grafiği Şekil 4.4'de verilmiştir.



Şekil 4.4. M1 nolu karışımların 28, 240 ve 365 günlük eğilme dayanımı değerleri

0-4 mm 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.

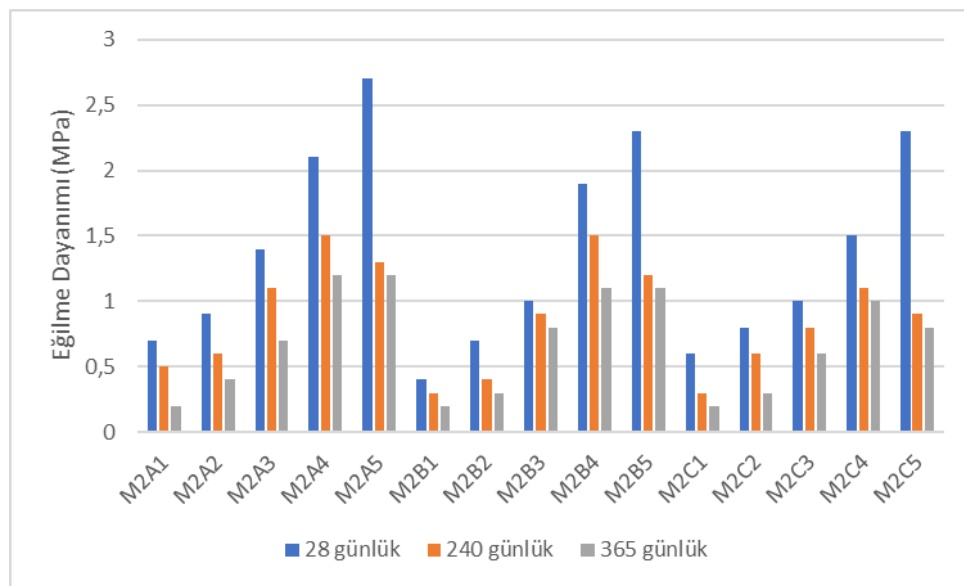
Eğilme dayanımı en yüksek değerler %100 tuğla kırığı kullanılan harç örneklerinden, en düşük değerler ise tuğla kırığı kullanılmayan harç örneklerinden elde edilmiştir. 28, 240 ve 365 günlük harç örneklerinden elde edilen verilere göre A grubu karışımların en yüksek dayanım değerlerini verdiği tespit edilmiştir. Eğilme dayanımı en yüksek değerler M1A5 kodlu harç örneğinden, 28 günlük 3,1 MPa, 240 günlük 2,7 MPa ve 365 günlük 1,3 MPa olarak belirlenmiştir.

M2 nolu harç numunelerinin 28, 240 ve 365 günlük eğilme dayanımı değerleri Çizelge 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4.7. M2 nolu karışımların 28, 240 ve 365 günlük eğilme dayanımı değerleri

HARÇ KODU	EĞİLME DAYANIMI			HARÇ KODU	EĞİLME DAYANIMI			HARÇ KODU	EĞİLME DAYANIMI		
	28	240	365		28	240	365		28	240	365
M2A1	0,7	0,5	0,2	M2B1	0,4	0,3	0,2	M2C1	0,6	0,3	0,2
M2A2	0,9	0,6	0,4	M2B2	0,7	0,4	0,3	M2C2	0,8	0,6	0,3
M2A3	1,4	1,1	0,7	M2B3	1,0	0,9	0,8	M2C3	1,0	0,8	0,6
M2A4	2,1	1,5	1,2	M2B4	1,9	1,5	1,1	M2C4	1,5	1,1	1,0
M2A5	2,7	1,3	1,2	M2B5	2,3	1,2	1,1	M2C5	2,3	0,9	0,8

Çizelge 4.7’de verilen M2 nolu karışımların 28, 240 ve 365 günlük eğilme dayanımı değerlerinin grafiği Şekil 4.5’de verilmiştir.



Şekil 4.5. M2 nolu karışımların 28, 240 ve 365 günlük eğilme dayanımı değerleri

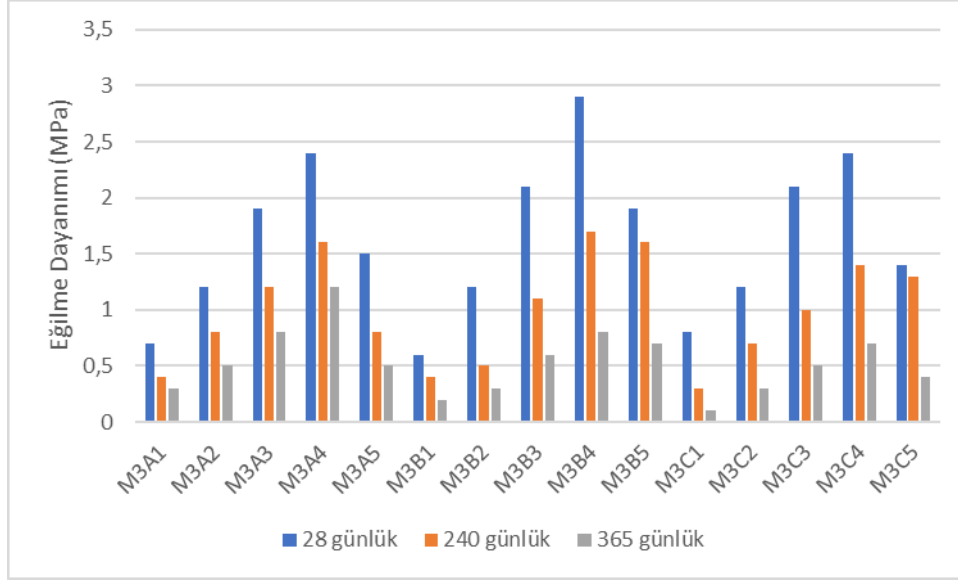
0-4 mm kum ve 2-4mm tuğla kırığı kullanılan M2 nolu horasan harçlarının eğilme dayanımları, karışımlardaki tuğla kırığı yüzdesinin artmasına paralel olarak artış göstermiştir. Sadece %100 tuğla kırığı kullanılan M2A5, M2B5 ve M2C5 kodlu harç örneklerinin 240 ve 365 günlük dayanımlarında azalma olmuştur. Üretilen harçların yaşları ilerledikçe dayanımlarında düşme meydana gelmiştir. M2 nolu harçlar içerisinde 28 günlük harç örneklerinde en iyi dayanım değerleri A5, B5 ve C5 grubu karışımlar, 240 ve 365 günlük harç örneklerinde ise A4, B4 ve C4 grubu karışımlar verilmiştir. 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 2,7 MPa, 240 günlük M2A4 ve M2B4 kodlu harç örnekleri 1,5 MPa ve 365 günlük M2A4 ve M2A5 kodlu harç örnekleri 1,2 MPa olarak vermiştir

M3 nolu harç numunelerinin 28, 240 ve 365 günlük eğilme dayanımı değerleri Çizelge 4.8’de verilmiştir.

Çizelge 4.8. M3 nolu karışımların 28, 240 ve 365 günlük eğilme dayanımı değerleri

HARÇ KODU	EĞİLME DAYANIMI			HARÇ KODU	EĞİLME DAYANIMI			HARÇ KODU	EĞİLME DAYANIMI		
	28	240	365		28	240	365		28	240	365
M3A1	0,7	0,4	0,3	M3B1	0,6	0,4	0,2	M3C1	0,8	0,3	0,1
M3A2	1,2	0,8	0,5	M3B2	1,2	0,5	0,3	M3C2	1,2	0,7	0,3
M3A3	1,9	1,2	0,8	M3B3	2,1	1,1	0,6	M3C3	2,1	1	0,5
M3A4	2,4	1,6	1,2	M3B4	2,9	1,7	0,8	M3C4	2,4	1,4	0,7
M3A5	1,5	0,8	0,5	M3B5	1,9	1,6	0,7	M3C5	1,4	1,3	0,4

Çizelge 4.8’de verilen M3 nolu karışımların 28, 240 ve 365 günlük eğilme dayanımı değerlerinin grafiği Şekil 4.6’da verilmiştir.



Şekil 4.6. M3 nolu karışımların 28, 240 ve 365 günlük eğilme dayanımı değerleri

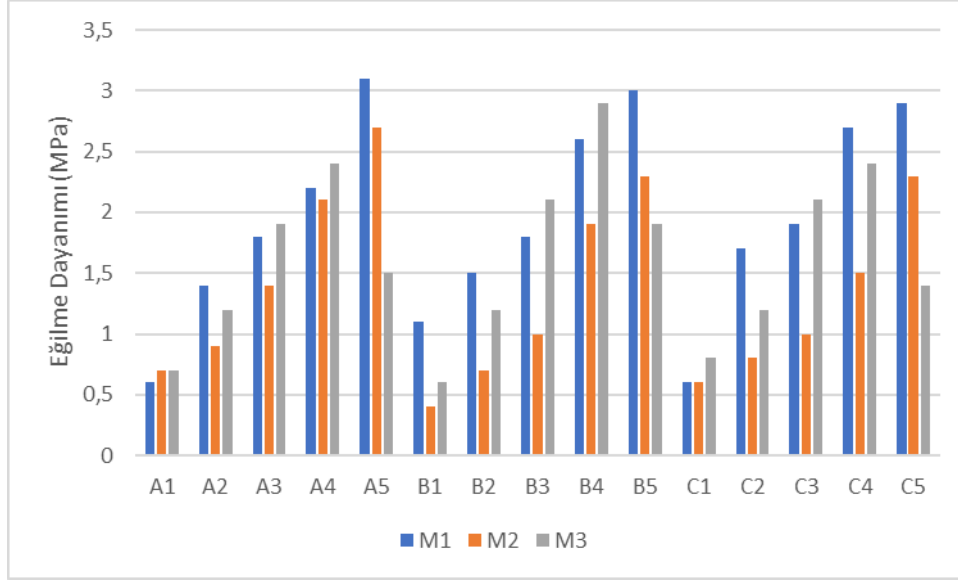
0-2 mm kum ve 0-2mm tuğla kırığı kullanılan M3 nolu horasan harçlarının eğilme dayanımları, karışımlardaki tuğla kırığı yüzdesinin %75'e kadar artmasına paralel olarak artış göstermiştir. Sadece %100 tuğla kırığı kullanılan M3A5, M3B5 ve M3C5 kodlu harç örneklerinin 28, 240 ve 365 günlük dayanımlarında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

Hazırlanan harç numunelerinden M1, M2 ve M3 nolu karışımların 28 günlük eğilme dayanımı değerleri Çizelge 4.9'da verilmiştir.

Çizelge 4.9. M1, M2 ve M3 nolu 28 günlük harç örneklerinin eğilme dayanımı değerleri

	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	C1	C2	C3	C4	C5
M1	0,6	1,4	1,8	2,2	3,1	1,1	1,5	1,8	2,6	3	0,6	1,7	1,9	2,7	2,9
M2	0,7	0,9	1,4	2,1	2,7	0,4	0,7	1	1,9	2,3	0,6	0,8	1	1,5	2,3
M3	0,7	1,2	1,9	2,4	1,5	0,6	1,2	2,1	2,9	1,9	0,8	1,2	2,1	2,4	1,4

Çizelge 4.9'da verilen M1, M2 ve M3 nolu 28 günlük harç örneklerinin eğilme dayanımı değerlerinin grafiği Şekil 4.7'de verilmiştir.



Şekil 4.7. 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.

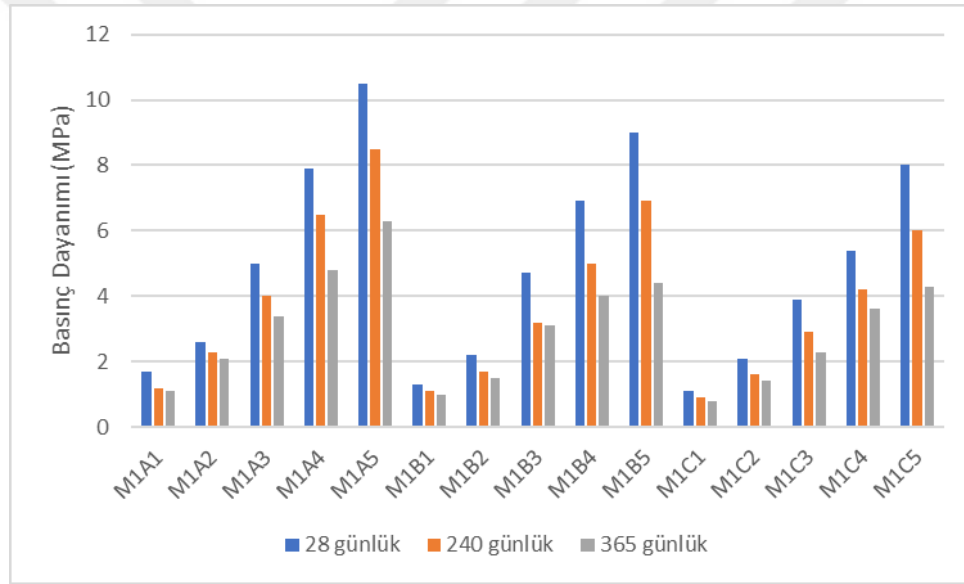
4.5. Basınç Dayanımı

M1 nolu harç numunelerinin 28, 240 ve 365 günlük basınç dayanımı sonuçları Çizelge 4.10'da verilmiştir.

Çizelge 4.10. M1 nolu karışımların 28, 240 ve 365 günlük basınç dayanımı değerleri

HARÇ KODU	BASINÇ DAYANIMI			HARÇ KODU	BASINÇ DAYANIMI			HARÇ KODU	BASINÇ DAYANIMI		
	28	240	365		28	240	365		28	240	365
M1A1	1,7	1,2	1,1	M1B1	1,3	1,1	1,0	M1C1	1,1	0,9	0,8
M1A2	2,6	2,3	2,1	M1B2	2,2	1,7	1,5	M1C2	2,1	1,6	1,4
M1A3	5,0	4,0	3,4	M1B3	4,7	3,2	3,1	M1C3	3,9	2,9	2,3
M1A4	7,9	6,5	4,8	M1B4	6,9	5,0	4,0	M1C4	5,4	4,2	3,6
M1A5	10,5	8,5	6,3	M1B5	9,0	6,9	4,4	M1C5	8,0	6,0	4,3

Çizelge 4.10’da verilen M1 nolu karışımların 28, 240 ve 365 günlük basınç dayanımı değerlerinin grafiği Şekil 4.8’de verilmiştir.



Şekil 4.8. M1 nolu karışımların 28, 240 ve 365 günlük basınç dayanımı değerleri

0-4 mm 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. Basınç 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.

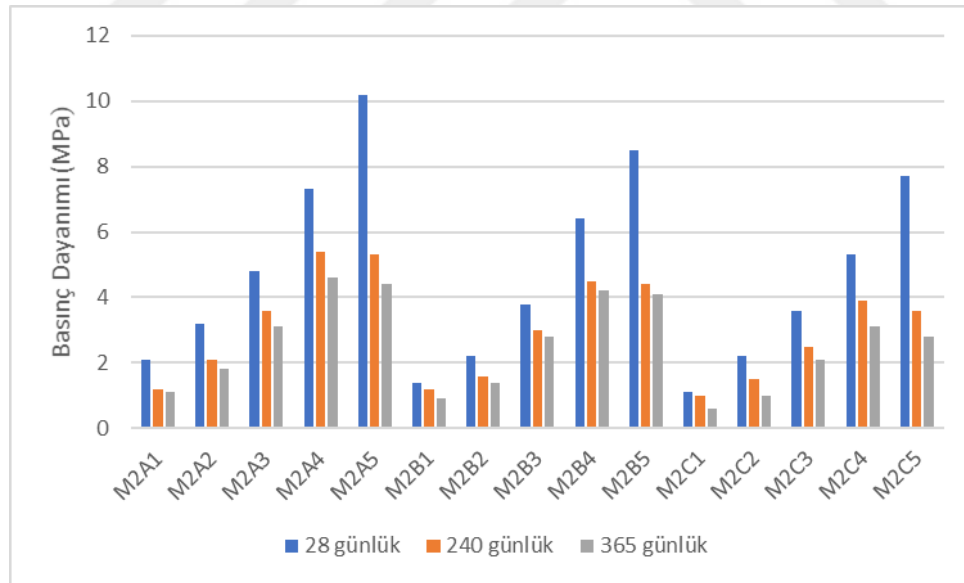
Basınç dayanımı en yüksek değerler M1A5 kodlu harç örneğinden, 28 günlük 10,5MPa, 240 günlük 8,5MPa ve 365 günlük 6,3MPa olarak belirlenmiştir.

Hazırlanan M2 nolu numunelerin 28, 240 ve 365 günlük basınç dayanımı değerleri Çizelge 4.11’de verilmiştir.

Çizelge 4.11. M2 nolu karışımların 28, 240 ve 365 günlük basınç dayanımı değerleri

HARÇ KODU	BASINÇ DAYANIMI			HARÇ KODU	BASINÇ DAYANIMI			HARÇ KODU	BASINÇ DAYANIMI		
	28	240	365		28	240	365		28	240	365
M2A1	2,1	1,2	1,1	M2B1	1,4	1,2	0,9	M2C1	1,1	1,0	0,6
M2A2	3,2	2,1	1,8	M2B2	2,2	1,6	1,4	M2C2	2,2	1,5	1,0
M2A3	4,8	3,6	3,1	M2B3	3,8	3,0	2,8	M2C3	3,6	2,5	2,1
M2A4	7,3	5,4	4,6	M2B4	6,4	4,5	4,2	M2C4	5,3	3,9	3,1
M2A5	10,2	5,3	4,4	M2B5	8,5	4,4	4,1	M2C5	7,7	3,6	2,8

Çizelge 4.11’de verilen M2 nolu karışımların 28, 240 ve 365 günlük basınç dayanımı değerlerinin grafiği Şekil 4.9’da verilmiştir.



Şekil 4.9. M2 nolu karışımların 28, 240 ve 365 günlük basınç dayanımı değerleri

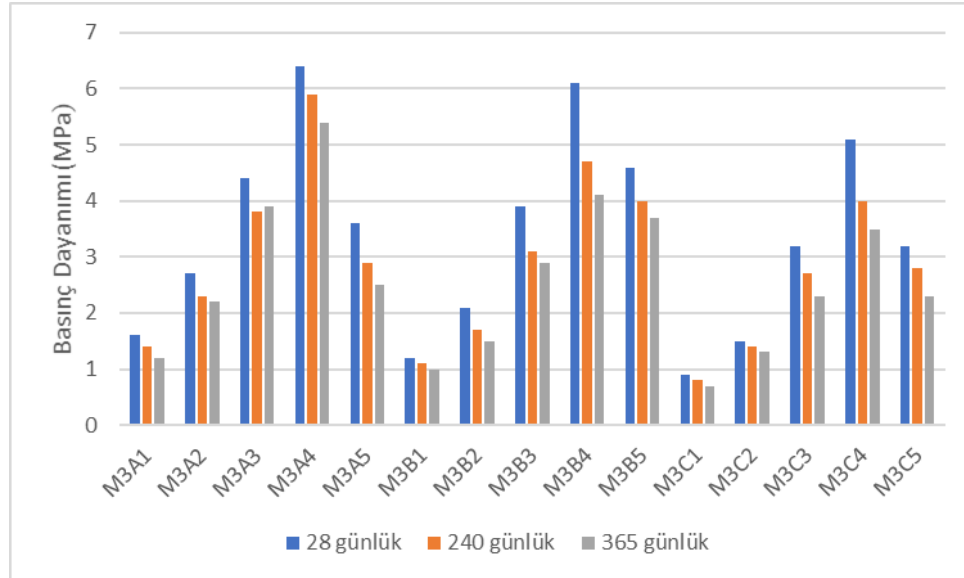
0-4mm kum ve 2-4mm tuğla kırığı kullanılan M2 nolu horasan harçlarının basınç dayanımları, karışımlardaki tuğla kırığı yüzdesinin artmasına paralel olarak artış göstermiştir. Sadece % 100 tuğla kırığı kullanılan M2A5, M2B5 ve M2C5 kodlu harç örneklerinin 240 ve 365 günlük dayanımlarında azalma olmuştur.

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 4,6 MPa olarak vermiştir.

Hazırlanan M3 nolu numunelerin 28, 240 ve 365 günlük basınç dayanımı değerleri Çizelge 4.12’de verilmiştir.

Çizelge 4.12. M3 nolu karışımların 28, 240 ve 365 günlük basınç dayanımı değerleri

HARÇ KODU	BASINÇ DAYANIMI			HARÇ KODU	BASINÇ DAYANIMI			HARÇ KODU	BASINÇ DAYANIMI		
	28	240	365		28	240	365		28	240	365
M3A1	1,6	1,4	1,2	M3B1	1,2	1,1	1,0	M3C1	0,9	0,8	0,7
M3A2	2,7	2,3	2,2	M3B2	2,1	1,7	1,5	M3C2	1,5	1,4	1,3
M3A3	4,4	3,8	3,9	M3B3	3,9	3,1	2,9	M3C3	3,2	2,7	2,3
M3A4	6,4	5,9	5,4	M3B4	6,1	4,7	4,1	M3C4	5,1	4	3,5
M3A5	3,6	2,9	2,5	M3B5	4,6	4	3,7	M3C5	3,2	2,8	2,3



Şekil 4.10. M3 nolu karışımların 28, 240 ve 365 günlük basınç dayanımı değerleri

0-2 mm 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 dayanımlarında azalma olmuştur. 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 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.

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.

Oğuz ve diğ., (2015), 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 ve diğ., (2012), tarihi yapılardaki horasan harçlarında basınç dayanımı değerinin 6 MPa ile 8 MPa arasında olduğunu belirtmişlerdir. Bu çalışmalardaki 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 ÖNERİLER

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 taze harcın yayılma 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, 0-4mm tuğla kırığı agregası kullanılan M1 nolu harçların, 0-4mm kum, 2-4mm tuğla kırığı agregası kullanılan M2 ve 0-2mm kum, 0-2mm tuğla kırığı agregası kullanılan M3 nolu harçlara göre ultrases geçiş süreleri daha küçük değerler almıştır.
- 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.
- 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 yayılma değerlerinde belirgin azalmaya neden olmuştur.

- Hem yayılma değerleri hem de dayanım değerleri göz önünde bulundurulursa, agrega olarak %25kum ve %75tuğla kırığı karışımı en iyi sonucu vermiştir.
- 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 ağırlıkça karışım oranları 1,125 su -1 kireç – 3,5 agrega (kum+tuğla kırığı) olan C grubu karışımlar vermiştir.
- Üretilen horasan harcı örneklerinin ilerleyen yaşlarda eğilme ve basınç dayanımı değerlerinde azalma meydana gelmiştir.
- En yüksek eğilme dayanım değerlerini, 0-4 mm kum ve 0-4 mm tuğla kırığı kullanılan M1 nolu harçlarda M1A5 kodlu harç örneği 3,1MPa, 0-4 mm kum ve 2-4 mm tuğla kırığı kullanılan M2 nolu harçlarda M2A5 kodlu harç örneği 2,7MPa ve 0-2 mm kum ve 0-2 mm tuğla kırığı kullanılan 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.

Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, horasan harcı üretiminde ağırlıkça karışım oranları 0,875 su -1 kireç - 2,5 agrega (kum+tuğla kırığı) olan A grubu karışımlar ile 1 su -1 kireç - 3 agrega (kum+tuğla kırığı) olan B grubu karışımların kullanılması önerilmektedir. Yayılma ve dayanım değerleri açısından, agrega olarak %25kum ve %75tuğla kırığı karışımının en iyi sonuçları verdiği göz önünde bulundurulmalıdır.

KAYNAKLAR

- Akbulut, D.E.**, 2006, “Tarihi yapıların onarımında kullanılacak harçların seçimine Yönelik bir öneri”, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 10-21-22 .
- Akman, M., Güner, A., Aksoy, İ.**, 1986, Horasan harcı ve betonun tarihi ve teknik özellikleri, II. Uluslararası Türk-İslam Bilim ve Teknoloji Tarihi Kongresi, İ.T.Ü., İstanbul
- Akman, M.S.**, 2003, Yapı malzemelerinin tarihsel gelişimi, Türkiye mühendislik haberleri, Sayı 426-2003/4, 30-36 s.
- Altaş G.K., Özgünler S.A., Güldal E.**, İstanbul’daki Roma Dönemi Saray Yapılarındaki Horasan Harçlarının İncelenmesi, Vakıf Restorasyon Yıllığı, 2012, 4.
- Ashurst, J. ve Ashurst, N.**, 1990b, Practical Building Conservation- Mortars, Plasters& Renders. Volüme 3. Gower Technical Press. England.
- Baronia, G., Binda, L.**, 1997, Study of the Puzzolanicity of Some Bricks and Clays. Construction and Building Materials (11/1), 41-46
- Baronia, G., Binda, L., Lombardini, N.**, 1997, The Role of brick pebbles and dust in conglomerates based on hydrated lime and crushed bricks. Construction and Building Materials (11), 33-40
- Borrelli, E.**, 1999, Binders. ARC Laboratory Handbooks. ICCROM. S.p.A. Pres. Rome.
- Borrelli, E. ve Urland, A.**, 1999, ICCROM-UNESCO-WHC ARC Laboratory Handbook; Conservation of Architectural Heritage, Historic Structures and Materials. ICCROM. Rome.
- Boynton, R.S.**, 1980, Chemistry and technology of lime and limestone, 2nd edition, John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Böke, H., Akkurt, S. ve İpekoğlu, B.**, 2004, Tarihi yapılarda kullanılan horasan harcı ve sıvalarının özellikleri, Yapı Dergisi.
- Böke, H., Özkaya, O., İpekoğlu, B.**, 2006, Roma dönemi tuğla ve harçların özellikleri: Bergama Serapis Tapınağı örneği. 3. Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi ve Sergisi (s. 616-627), TMMOB Mimarlar Odası İstanbul Büyükkent Şubesi, İstanbul.
- Canbaz M., Güler E.**, “Kireç Türünün Horasan Harcı Özelliklerine Etkisi”, 6.Tarihi Yapıların Korunması ve Güçlendirilmesi Sempozyumu, 2017.
- Cinemre, M.**, 2019, Kesme Taş Duvarlarda Kullanılan Tarihi Horasan Harçlarının Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Sakarya.

- Çamlıbel, N.**, 1983, Geleneksel Yapılarda Stabilitenin İyileştirilmesi, Yıldız Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, İstanbul.
- Çamlıbel, N.**, 1998, Sinan Mimarlığında Yapı Strüktürünün Analitik İncelenmesi, YTÜ Basım Yayın Merkezi, İstanbul
- Erdoğan, S., Erdoğan, T.**, 2007, Puzolanik mineral katkıları ve tarihi geçmişleri. 2. Yapılarda Kimyasal Katkıları Sempozyumu ve Sergisi Bildiriler Kitabı, (s. 263-275). Ankara.
- Eriç, M.**, 2002, Yapı Fiziği ve Malzemesi 2. Literatür Yayınları. İstanbul.
- Ersen, A., Karagüler, M., Güleç, A.**, 1995. Possible substitutes for khrosan mortar in Byzantine and Ottoman monuments. Methods of Evaluating Products for the Conservation of Porous Building Materials in Monuments, s. 15-27. Rome: ICCROM.
- Gökbel, S.**, 2014, Genleştirilmiş Perlitin Horasan Harçlarında Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Güleç, A.**, 1992, Bazı Tarihi Anıt Harç ve Sıvalarının İncelenmesi, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Gürdal, E.**, 1976, Kuzey ve Orta Anadolu alçıları üzerine bir araştırma, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- 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.
- Holmes, S. ve Wingate, M.**, 1997, Building with Lime (A Practical Introduction). Intermediate Technology Publications. England.
- Kılıç, Ö. And Anıl, M.**, 2006, The effects of limestone characteristic properties and calcination temperature to the lime quality, Asian Journal of Chemistry, 655-666,
- Kılıç, İ.**, 2007, "Horasan harç ve sıvaları", Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu, Ankara, 277-283.
- Kozlu, H.H.**, 2010, Kayseri Yöresindeki Tarihi Harçların Karakterizasyonu ve Onarım Harçlarının Özellikleri, Doktora Tezi, İ.T.Ü., İstanbul.
- Kuban, D.**, 1998, Mimarlık Kavramları, Yapı Endüstri Merkezi Yayınları, İstanbul.
- Kurugöl, S.**, 2006, "Eski mimarilerde kullanılmış olan kireç harçlarının genel özellikleri", *Yapı Dünyası*, 19-24.
- Lea F.M.**, 1940, "Investigations on Pozzolanas", Building Research, Technical Paper, No.27, pp.1-63.
- Livingston, R.A., Wolde-Tinsae, A. ve Chaturbahai, A.**, 1991, The use of gypsum mortar in historic buildings. Structure and Maintenance of Historic Buildings II. Computational Mechanics Publications. Boston. S. 157-165
- 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

- Mahrabel, H.A.**, 2006, Tarihi Yapılarda Taşıyıcı Sistem Özellikleri, Hasarlar, Onarım ve Güçlendirme Teknikleri, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Mavi, Ö.**, 2000, *Kireç harç ve sıvaların fiziksel ve mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Mavioğlu, Ü.A.**, 2011, Farklı Puzolanik Katkılar ile Hazırlanan Horasan Harçlarının Değişen Parametrelerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- McClellan, G., Eades, J.**, 1970, The texture evolution of limestone calcines. ASTM Special technical publication 472 (s. 209-227), American society for testing and materials, Philadelphia.
- Mora, L., Mora, P. Ve Philippot, P.**, 1984, Technology of the principal constituents of renderings, Conservation of Wall Paintings, ICCROM, Butterworths, s. 35-56.
- Morehead, D., R.**, 1986, Cementation of hydrated lime, Cement and Concrete Research, 16, 700-708.
- Moropolou, A., Polikreti, K., A., Michailidis, P.**, 2002, “Correlation of Physicochemical By Multivaritive Statistics” [www.elsevier/locate/cement and concrete composites](http://www.elsevier/locate/cement-and-concrete-composites).
- Moropolou, A., Bakolas, A., Moundoulas, P., Aggelakopoulou, E., Anagnostopoulou, S.**, 2005, “Strength Development and Lime Reaction in Mortars for Repairing Historic Masonries” [www.elsevier/locate/cement and concrete composites](http://www.elsevier/locate/cement-and-concrete-composites).
- Oğuz C., Türker F., Koçkal N.U.**, Andriake Limanı’nda Roma, Bizans ve Selçuklu Dönemi Harçların Özellikleri, İMO Teknik Dergi, 2015, 429: 6993-7013.
- Özgen, Ö.**, 2012, Horasan Harcı Üzerine Deneysel Çalışmalar, Uzmanlık Tezi, T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı İstanbul Röleve ve Anıtlar Müdürlüğü, İstanbul.
- Özlem, A.Ö., Böke, H.**, 2009, “Properties of Roman bricks and mortars used in Serapis Temple in the city of Pergamon”, Materials Characterization 60, 995–1000.
- Pavia, S., Treacy, E.**, 2006, A comparative study of the durability and behaviour of fat lime and feebly-hydraulic lime mortars. Materials and Structures (39), 391-398.
- Postacioğlu, B.**, 1986, Beton, Cilt 2, Teknik Kitaplar Yayınevi, İstanbul.
- Pusat, S.E.**, 2002, Tarihi yapıların onarımında kullanılacak harç üretimi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 10-74.
- Sağın, E.U. ve Böke, H.**, 2010, “Koruma Amaçlı Üretilecek Horasan Harç ve Sıvalarda Kullanılacak Kirecin ve Tuğlaların Özellikleri”, 5. Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi ve Sergisi, 3-5 Kasım 2010, İstanbul, 385-396.
- Saraç, M.M.**, 2003, Tarihi Yığma Kargir Yapıların Güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi, İstanbul.

- Saraylı, A.**, 1987, Yapı malzemeleri bilimi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Bölümü, İstanbul.
- Sotangar Laçinyurt, Ş.**, 1994, İstanbul şehir surları horasan harçları üzerine bir araştırma, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Şimşek, O.**, 2007, Yapı Malzemesi II. Seçkin Yayıncılık, Ankara.
- TS 25.**, 2008, Doğal puzolan (tras)-çimento ve betonda kullanılan tarifler, gerekler ve uygunluk kriterleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 196-1**, 2016, Çimento deney metodları- Bölüm 1: Dayanım, Türk Standartları Enstitüsü (TSE), Ankara.
- TS EN 459-1**, 2015, Yapı kireci- Bölüm 1: Tanımlar, özellikler ve uygunluk kriterleri, TSE, Ankara.
- TS EN 459-2**, 2012, Yapı kireci-Bölüm 2: Deney Yöntemleri, TSE, Ankara.
- TS EN 1015-3**, 2000, “Kagir Harcı-Deney Metotları-Bölüm3: Taze Harç Kıvamının Tayini (Yayılma Tablası ile)”, TSE, Ankara.
- TS EN 1936**, 2010, Doğal taşlar- Deney yöntemleri- Gerçek yoğunluk, görünür yoğunluk, toplam ve açık gözeneklilik tayini, TSE, Ankara.
- TS 706 EN 12620+A1**, 2009, Beton agregaları, TSE, Ankara.
- TS EN 13279-1, 2009**, Yapı ve sıva alçıları- Bölüm 1: Tarifler ve gerekler, TSE, Ankara.
- Torraca, G.**, 1982, Porous Building Materials. Rome.
- 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.
- Uğurlu, E.**, 2005, Characterization of horasan plasters from some ottoman baths in İzmir. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, İzmir.
- Uğurlu, E., Böke H.**, 2009, “The use of brick–lime plasters and their relevance to climatic conditions of historic bath buildings”, Construction and Building Materials 23: 2442–2450.
- Uğurlu, E., Böke, H.**, 2010, Koruma amaçlı üretilecek horasan harç ve sıvalarda kullanılacak kirecin ve tuğlaların özellikleri. 5. Ulusal yapı malzemesi kongresi ve sergisi (s. 385-396), TBMM Mimarlar Odası İstanbul Büyükkent Şubesi, İstanbul.
- Ulukaya, S.**, 2016, Tarihi Kireç Harcı Özelliklerine Uygun Yeni Malzemelerin Üretimi ve Sayısal Analiz İçin Malzeme Parametrelerinin Belirlenmesi, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Young, R.**, 2008, Lime-Based Plasters, Renders and Washes/ Materials & Skills for Historic Building Conservation, Ed. Forsyth, M., Blackwell, Publishing, Oxford.
- Vitruvius**, 1998, Mimarlık üzerine on kitap, Şevki Vanlı Mimarlık Vakfı, YEM Yayınevi, Üçüncü Baskı, İstanbul.
- Url-1** < <https://www.teknoyapi.com.tr/tr/urunler/restrasyon-urunleri/teknorep-550-doga-hidrolik-kirec> >, erişim tarihi 28.06.2021.

EKLER

EK A

Çizelge A.1. 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 (µs)			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


TEKNO

yapı kimyasalları

www.teknoyapi.com.tr

Teknorep 550

Doğal Hidrolik Kireç



TS EN 459-1 NHL 3,5

Ürün Tanımı	Çimento içermeyen, tarihi yapılar için hazırlanmış özel bir ÜrÜndür. Horasan harcı imalatında bağlayıcı olarak kullanılmak üzere Üretilmiş doğal hidrolik kireçtir.
Kullanım Alanları	<ul style="list-style-type: none"> • Tarihi kâgir yapıların onarımı ya da güçlendirilmesinde, • Kâgir kubbelerin ve tonozların çatlaklarının onarımında, • Mevcut tarihi yapıların taş, tuğla ve duvar örme işlerinde, • Yüksek su buharı geçirgenliği istenen yapılarda sıva yapımında, • Restorasyon uygulamaları ve yeşil binalarda harç, derz ve tamir uygulamalarında, • Derz imalatlarında, kullanılacak horasan harcı hazırlanmasında bağlayıcı olarak kullanılır.
Özellikleri ve Avantajları	<ul style="list-style-type: none"> • Tarihi yapılarla uyumludur. • Farklı özelliklerde harç imalatına imkan verir. • Su buharı geçirgenliği yüksektir. • Yüksek mukavemetlidir. • Çimento içermez.
Uygulama Talimatları	<p>Harç analizinde belirtilen malzemeler ölçülerek gerekli miktarlarda karıştırılırlar. Karşıma yine horasan harcı formülünde belirtilen miktarda su ve TEKNOREP 550, eklenerek homojen bir kıvam elde edilene kadar karıştırmaya devam edilir. Tarihi kâgir yapıların onarılabacak ve sıvanacak yüzeylerinin sağlam, tozsuz ve temiz olmasına dikkat edilmelidir. Aderansı zayıflatılacak her türlü yağ, gres, pas vb. maddeler yüzeyden iyice temizlenmelidir. Uygulama yapılacak duvar yüzeyinin harcın yapışma ve priz süresini iyileştirmek için önceden nemlendirilmesi gerekmektedir. Eğer yüzeyde su akıntısı varsa uygun bir tıkaç yardımı ile kapatılmalı ve su drene edilmelidir. Yüzeyde yapışmayı engelleyecek serbest su bulunmamalıdır. Uygulama yapılırken harcın suyunu çekmesi beklenir ve sıvacı fırçası ile suyunu çekmiş harcın üzerine su serpilerek çelik veya ahşap mala ile yüzey istenilen şekilde bitirilir. Birden fazla kat uygulamaları, bir önceki kat sertleştikten sonra yapılmalıdır. Açık alan ve geniş yüzey uygulamalarında hızlı kurumaya karşı önlem alınmalıdır. 1 - 2 gün süre ile ıslak çuval ya da su ile hızlı su kaybı tolere edilmelidir.</p> <p>Yüzey ve Çevre Sıcaklığı: +5°C - +35°C</p> <p>Uygulama Metodu / Ekipmanlar: Malzemenin prizini tamamlaması için, ortam ve zemin ısısı, izin verilen minimum sıcaklığın altına düşmemelidir. Dış yüzey uygulamalarında, yüzeyin uygulamadan sonra ilk 24-48 saat arasında güneşten, rüzgardan, yağmurdan ve dondan korunması gerekir.</p> <p>Sarfiyat: Yoğunluk 1,65 ± 0,1 kg/lt.</p>

Şekil B.1. Hidrolik kireç döküman verileri (Url-1)

Temizlik: Uygulamadan sonra direk güneş ışığı, şiddetli rüzgâr, yüksek hava sıcaklığı (+35°C Üzeri) yağmur ve don gibi olumsuz hava koşullarına karşı korunmalıdır. Ürün tam kûrünü alıp sertleşmeden, eller su ve deterjan ile temizlenmelidir.

Ekipmanların Temizliği: Uygulamadan hemen sonra, henüz sertleşmeden, ekipmanlar su ile temizlenmelidir. Ürün sertleştikten sonra mekanik yöntemler ile temizlenmelidir.

Pota Ömrü (Potlife): 20 °C sıcaklıkta yaklaşık 30 dakika

Temizlenebilme Süresi: 20 °C sıcaklıkta yaklaşık 30 dakika

Teknik Bilgi

Genel Bilgiler	
Görünüm	Doğal Beyaz ve Bej / White and beige
Raf ömrü	12 ay / months
Ambalaj	16 kg kraft torba / bags
Uygulama Bilgileri	
Karşım Oranı	Horasan harcı formülüne göre değişkendir.
Uygulama Sıcaklığı	(+5°C) – (+3 5°C)
Sarfiyat	Horasan harcı formülüne göre değişkendir.
Performans Bilgileri	
Eğilme Dayanımı	Min. 1,0 Mpa
Basınç Dayanımı	Min. 4,0 Mpa
Tehlikeli Maddeler	Güvenlik Bilgi Formuna bakınız
Yangına Tepki	A1 Sınıfı

Teknik bilgiler, +20°C hava sıcaklığında ve %50 rölatif hava nemli oranına göre elde edilen bitmiş ürünlerin, 28 gün sonraki performansı için geçerli olan ve Tekno Yapı Kimyasalları Laboratuvar çalışmasında elde edilen yaklaşık değerlerdir.

Şekil B.2. Hidrolik kireç doküman verileri (Url-1)

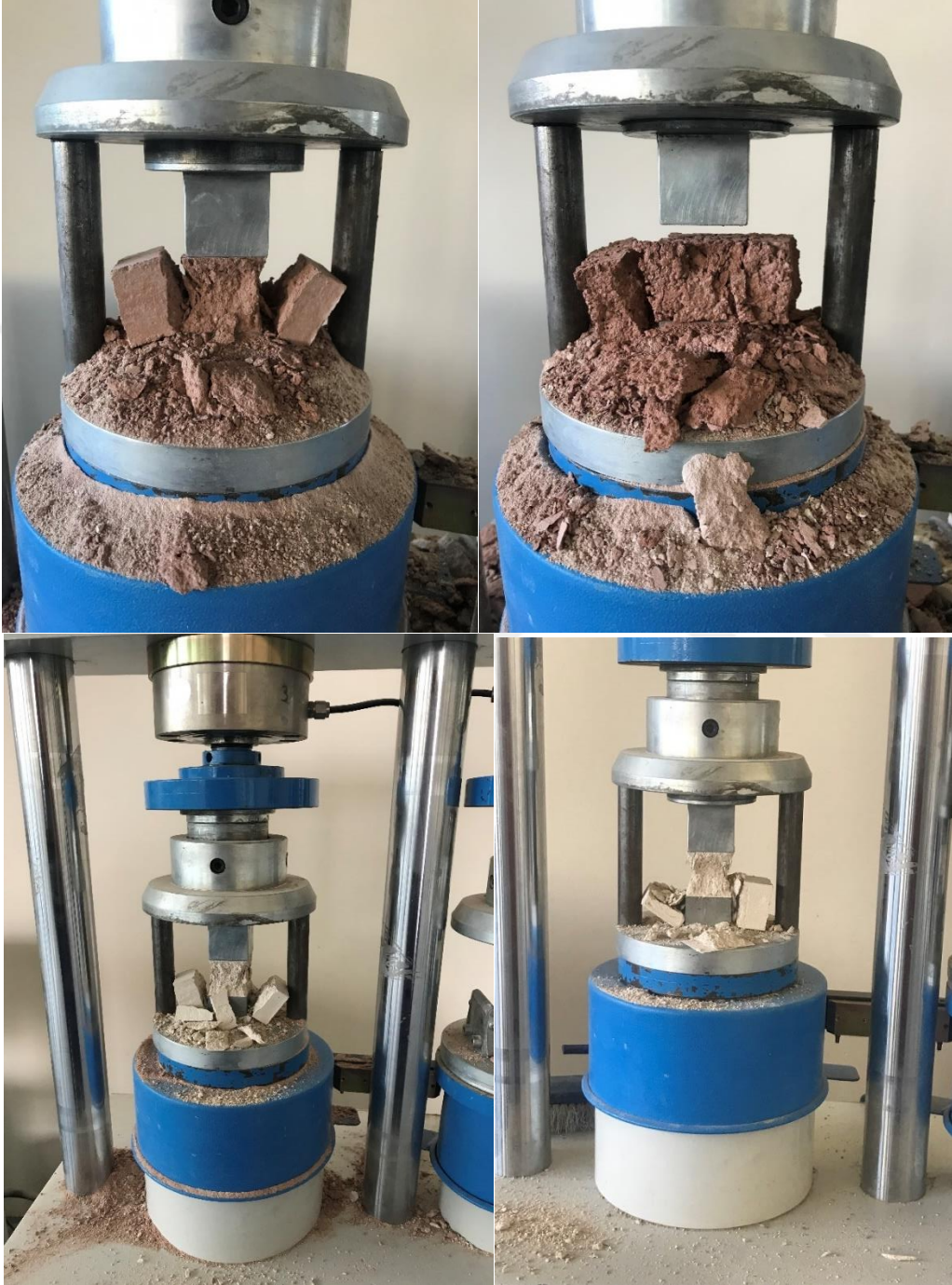
EK C



Şekil C.1. Deney fotoğrafları



Şekil C.2. Deney fotoğrafları



Şekil C.3. Deney fotoğrafları



Şekil C.4. Deney fotoğrafları



Şekil C.5. Deney fotoğrafları