

**PORTLAND ÇİMENTOSU KULLANIMININ HORASAN HARCİ
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

Cemal YILMAZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YAPI EĞİTİMİ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ŞUBAT 2010

ANKARA

Cemal YILMAZ tarafından hazırlanan PORTLAND ÇİMENTOSU KULLANIMININ HOTASAN HARCİ ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. H. Yılmaz ARUNTAŞ
Tez Danışmanı, Yapı Eğitimi Ana Bilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oyirliği ile Yapı Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. H. Yılmaz ARUNTAŞ
Yapı Eğitimi, Ana Bilim Dalı

Doç Dr. İ. Özgür YAMAN
İnşaat Mühendisliği, Orta Doğu Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Osman ŞİMŞEK
Yapı Eğitimi, Ana Bilim Dalı

28/02/2010

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Bilal TOKLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Cemal YILMAZ

**PORTLAND ÇİMENTOSU KULLANIMININ HORASAN HARCİ
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

Cemal YILMAZ

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Şubat 2010

ÖZET

Bu çalışmada, Portland çimentosu kullanımının Horasan harcı özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla Horasan harcı karışımlarında kireç, tuğla tozu, tuğla pirinci, Portland çimentosu ve odun külü kullanılmıştır.

Horasan harçlarının, fiziksel ve mekanik özellikleri üç aşamada incelenmiştir. Birinci aşamada, Horasan harcı içinde kullanılacak bağlayıcı oranları belirlenerek fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir. İkinci aşamada Horasan harç karışımı içinde ince agrega olarak standart kum ve tuğla pirinci (kum) kullanılmıştır. Üçüncü aşamada ise; elde edilen kontrol Horasan harç karışımına odun külü katılarak harcın fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Elde edilen Horasan harçları ile 40 x 40 x 160 mm boyutlu harç numuneleri üretilmiştir. Harç numunelerine 28 ve 90 gün yaşlarında eğilme ve basınç dayanımı deneyleri uygulanmıştır. En yüksek eğilme ve basınç dayanımları, tuğla tozu, çimento, kireç ve standart kumun bulunduğu Horasan harcından elde edilmiştir. Horasan harçları arasında en iyi performansı bağlayıcı olarak % 65 tuğla tozu, % 10 kireç ve % 25 çimento içeren Horasan harcı göstermiştir.

Bilim Kodu : 714.1.143

**Anahtar Kelimeler : Horasan harcı, Kireç, Portland çimentosu, Tuğla tozu,
Odun külü, Puzolan**

Sayfa Adedi : 85

Tez Yöneticisi : Prof. Dr. H. Yılmaz ARUNTAŞ

**THE EFFECT OF USING PORTLAND CEMENT OVER THE PROPERTIES
OF KHORASAN MORTAR**

(M.Sc. Thesis)

Cemal YILMAZ

GAZI UNIVERSITY

INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

February 2010

ABSTRACT

In this study, the effect of using Portland cement over the properties of Khorasan mortar is investigated. For this purpose lime, brick powder, brick fragment, Portland cement and wooden ash are used in Khorasan mortar mixture.

The physical and mechanical properties of Khorasan mortar were examined in three stages. In the first stage, the proportions of the binding substances to be used in Khorasan mortar were determined and their physical and mechanical properties were examined. In the second stage, standard sand and brick fragment are used in the mixture as small aggregate. And at the third stage wood ash were added to the obtained control Khorasan mortar and them the physical and mechanical properties of this mixture were examined. Mortar samples in the size of 40 x 40 x 160 mm have been produced by using the obtained mortars. On the 28th and 90th days, bending and pressure strength experiments were implemented to the mortar samples. The highest bending and pressure strength was obtained in the Khorasan mortar containing brick powder, cement, lime and standard sand. The best performance among the Khorasan mortars was obtained from the one containing 65 % brick powder, 10 % lime, 25 % Portland cement.

Science Code : 714.1.143

Key Words : Khorasan Mortar, Lime, Portland cement, Brick powder, Wooden ash, Pozzolan

Page Number : 85

Adviser : Prof. Dr. H. Yılmaz ARUNTAŞ

TEŞEKKÜR

Öncelikle ve özellikle danışman hocam olmayı kabul eden ve tezin başından sonuna kadar bilgi, tecrübe ve deneyimlerini benimle paylaşan, deneysel çalışmam boyunca önerileriyle yol gösteren, çok değerli hocam Prof. Dr. H. Yılmaz ARUNTAŞ'a,

Deney çalışmalarımı Yapı Malzemesi Laboratuvarında yapmama izin veren, Yapı Eğitimi Anabilim Dalı başkanı Prof. Dr. Metin ARSLAN'a,

Laboratuvar çalışmalarında, bilgi, tecrübe ve desteklerinden faydalandığım Yrd. Doç. Dr. Osman ŞİMŞEK, Araştırma görevlisi Dr. Gökhan DURMUŞ, Araştırma görevlisi Dr. Ömer CAN, Araştırma görevlisi Mustafa DAYI, Laboratuvar teknisyeni Eyyüp GÜRGİL ve diğer Anabilim Dalı hocalarıma,

Deney çalışmalarında kullandığım malzeme temininde, özellikle Avrasya Kiremit A.Ş.'nin yetkililerine, Bursa Çimento Fabrikası yetkililerine, Karayolları Genel Müdürlüğü fizik laboratuvarı yetkililerine ve Vakıflar Genel Müdürlüğü Sanat Eserleri ve Yapı İşleri Dairesi yetkililerine,

Kimyasal ve fiziksel deneylerimin yapılmasında yardımcı olan, SET Ankara Çimento Fabrikası yetkililerine ve laboratuvar çalışanlarına,

Ayrıca manevi desteklerinden dolayı ERTEKİN ve YILMAZ ailelerine,

En içten dileklerle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER**Sayfa**

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1.GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	5
2.1.Horasan Harcı.....	5
2.1.1. Horasan harcının tarihçesi.....	5
2.1.2. Horasan harcının özellikleri.....	7
2.1.3. Horasan harcında kullanılan katkı maddeleri.....	9
2.2.Hidrolik Harç.....	10
2.3.Puzolanlar.....	12
2.3.1. Doğal puzolanlar.....	14
2.3.2. Yapay puzolanlar.....	14
2.4. Çimento.....	17
2.4.1. Çimentonun tarihçesi.....	17
2.4.2. Çimento çeşitleri.....	19
2.4.3. Portland çimentosunun ana bileşenleri.....	21
2.4.4. Portland çimentosundaki oksitler ve özellikleri.....	23
2.4.5. Portland çimentosunun tarihi esere olası zararları.....	25
2.5. Agregası.....	26
2.6. Kireç.....	26

Sayfa

2.7. Horasan Harcı ile İlgili Örnek Çalışmalar	33
3. MATERYAL VE METOT	43
3.1. Materyal.....	43
3.1.1. Kireç.....	44
3.1.2. Standart kum.....	44
3.1.3. Tuğla tozu ve tuğla pirinci.....	44
3.1.4. Çimento.....	46
3.1.5. Kül.....	46
3.1.6. Su.....	46
3.2. Metot.....	46
3.2.1. Harç numunelerin hazırlanması.....	47
3.2.2. Tuğla tozu – çimento – kireç bağlayıcılarının Horasan harcı karışımına etkisi.....	48
3.2.3. İnce agrega olarak standart kum ve tuğla pirinci kullanılarak Horasan harcı karışımlarının belirlenmesi	49
3.2.4. Odun külü katkılı Horasan harcı karışımları	50
3.2.7. Taze çimento deneyleri ve numunelere ait deneyler.....	51
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	57
4.1. Horasan Hamuru Üzerine Bağlayıcıların Etkisi	57
4.1.1. Horasan hamurunun standart kıvam suyuna bağlayıcıların etkisi.....	58
4.1.2. Horasan hamurunun priz sürelerine bağlayıcıların etkisi.....	59
4.1.3. Horasan hamurunun hacim genişmesine bağlayıcıların etkisi.....	61
4.2. Horasan Harçlarının Eğilme Dayanımına Bağlayıcıların Etkisi	61

Sayfa

4.3. Horasan Harçlarının Basınç Dayanımına Harçların Etkisi.....	64
4.4. İnce Agrega Çeşidinin Mekanik Özelliklere Etkisi.....	66
4.4.1. İnce agrega çeşidinin eğilme dayanımı özelliklerine etkisi.....	66
4.4.2. İnce agrega çeşidinin basınç dayanımı özelliklerine etkisi.....	69
4.5. Odun Külünün Horasan Hamurunun Özelliklerine Etkisi.....	72
4.5.1. Horasan hamurunun standart kıvam suyuna odun külünün etkisi.....	72
4.5.2. Horasan hamurunun priz sürelerine odun külünün etkisi	73
4.5.3. Horasan hamurunun hacim genişmesine odun külünün etkisi.....	74
4.6. Odun Külünün Horasan Harçlarının Eğilme Dayanımına Etkisi.....	75
4.7. Odun Külünün Horasan Harçlarının Basınç Dayanımına Etkisi.....	76
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	78
5.1. Sonuçlar.....	78
5.2 Öneriler.....	79
KAYNAKLAR.....	80
ÖZGEÇMİŞ.....	85

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Tipik bir PÇ’nda bulunan bileşenlerin oranları.....	22
Çizelge 2.2. PÇ ana bileşenlerinin hidrasyon ısıları.....	23
Çizelge 2.3. PÇ ana bileşenlerinin özellikleri.....	23
Çizelge 2.4. Kirecin özellikleri.....	29
Çizelge 2.5. Sönmemiş kirecin özellikleri.....	31
Çizelge 2.6. Sönmüş kirecin özellikleri.....	31
Çizelge 2.7. Söndürme şartlarının sönmüş kireç yüzey alanına etkisi.....	33
Çizelge 2.8. Penelis’in Bizans yapılarındaki bulguları.....	35
Çizelge 2.9. Karaveziroğluna göre harç numunelerinin karışım oranları.....	36
Çizelge 2.10. Pusat’a göre Horasan harcı karışım oranları.....	36
Çizelge 2.11. Akbulut’a göre Horasan harcı karışım oranları.....	37
Çizelge 2.12. Birim Fiyat Kitabına göre V.0118 poz numaralı Horasan Harcı yapılması.....	39
Çizelge 2.13. Birim Fiyat Kitabına göre V.0131 poz numaralı Horasan sıva harcı (Üst tabaka)	39
Çizelge 2.14. Birim Fiyat Kitabına göre V.0130 poz numaralı Horasan sıva harcı (Alt tabaka ve dolgu için)	40
Çizelge 2.15. Birim Fiyat Kitabına göre V.0128 poz numaralı Horasan derz harcı hazırlanması (TT)	40
Çizelge 2.16. Birim Fiyat Kitabına göre V.0129 poz numaralı Horasan duvar harcı ...	40
Çizelge 2.17. Birim Fiyat Kitabına göre V.0127 poz numaralı Horasan derz harcı hazırlanması (Taş tozlu)	41
Çizelge 3.1. PÇ Cem I 42.5, TT, OK ve sönmüş kireç ‘e ait özellikler.....	43
Çizelge 3.2. Standart kum elek analizi.....	44

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.3. TP granülometri değerleri.....	45
Çizelge 3.4. Horasan harcı içinde kullanılan bağlayıcıların karışım oranları.....	49
Çizelge 3.5. İnce agregalı Horasan harcının karışım oranları.....	50
Çizelge 3.6. OK katkılı Horasan harcının karışım oranları.....	51
Çizelge 4.1. Bağlayıcı hamurun özellikleri.....	57
Çizelge 4.2. Horasan harçlarının eğilme dayanımı sonuçları.....	62
Çizelge 4.3. Horasan harçlarının basınç dayanımı sonuçları.....	64
Çizelge 4.4. İnce agrega değişkenli Horasan harçlarının eğilme dayanımı sonuçları.....	66
Çizelge 4.5. İnce agrega değişkenli Horasan harçlarının basınç dayanımı sonuçları.....	69
Çizelge 4.6. Bağlayıcı hamurun özellikleri.....	72
Çizelge 4.7. OK katkılı Horasan harçlarının eğilme dayanımları.....	75
Çizelge 4.8. OK katkılı Horasan harçlarının basınç dayanımları.....	76

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Puzolanların çeşitleri.....	13
Şekil 2.2. Silis'in sıcaklık etkisi ile oluşan çeşitleri.....	24
Şekil 2.3. Kireç döngüsü.....	27
Şekil 3.1. Standart kum ile TP'nin granülometri eğrileri.....	45
Şekil 4.1. Horasan hamurunun standart kıvam suyuna bağlayıcıların etkisi	58
Şekil 4.2. Horasan hamurunun priz sürelerine bağlayıcıların etkisi (1. grup)	59
Şekil 4.3. Horasan hamurunun priz sürelerine bağlayıcıların etkisi (2. grup).....	60
Şekil 4.4. Horasan hamurunun hacim genişlemesine bağlayıcıların etkisi	61
Şekil 4.5. Horasan harçlarının eğilme dayanımı – harç tipi ilişkisi (1. grup).....	62
Şekil 4.6. Horasan harçlarının eğilme dayanımı – harç tipi ilişkisi (2. grup).....	63
Şekil 4.7. Horasan harçlarının basınç dayanımı – harç tipi ilişkisi (1. grup).....	64
Şekil 4.8. Horasan harçlarının basınç dayanımı – harç tipi ilişkisi (2. grup).....	65
Şekil 4.9. TP'li ve standart kumlu Horasan harçlarının 28 günlük eğilme dayanımı harç tipi ilişkisi.....	67
Şekil 4.10. TP'li ve standart kumlu Horasan harçlarının 90 günlük eğilme dayanımı harç tipi ilişkisi.....	68
Şekil 4.11. TP'li ve standart kumlu Horasan harçlarının 28 günlük basınç dayanımı harç tipi ilişkisi.....	70
Şekil 4.12. TP'li ve standart kumlu Horasan harçlarının 90 günlük basınç dayanımı harç tipi ilişkisi.....	71
Şekil 4.13. Horasan hamurunun standart kıvam suyuna OK'nin etkisi.....	72
Şekil 4.14. Horasan hamurunun priz sürelerine OK'nin etkisi.....	73
Şekil 4.15. Horasan hamurunun hacim genişlemesine OK'nin etkisi.....	74
Şekil 4.16. OK katkılı Horasan harçlarının eğilme dayanımı-harç tipi ilişkisi.....	75
Şekil 4.17. OK katkılı Horasan harçlarının basınç dayanımı – harç tipi ilişkisi.....	77

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
K	Potasyum
P	Fosfor
Na	Sodyum
Mn	Manganez
C₃S	Trikalsiyum silikat
C₂S	Dikalsiyum silikat
C₃A	Trikalsiyum alüminat
C₄AF	Tetrakalsiyum alümina ferrit
Ca	Kalsiyum
CaO	Sönmemiş kireç
CaCO₃	Kalsiyum karbonat
Ca(OH)₂	Kalsiyum hidroksit
HCO₃	Bikarbonat
MgO₃	Magnezyum trioksit
C – S – H	Kalsiyum silikat hidrat
C – A – H	Kalsiyum alüminat hidrat
μ	Mikron

Kısaltmalar**TT****TP****OK****PÇ****Yy****XRD****DTA****Mak****Atm****KK****DK****SEM****K.K.****Ç.K.****GOK****Açıklama**

Tuğla tozu

Tuğla pirinci

Odun külü

Portland çimentosu

Yüzyıl

X ışınları difraksiyonu

Diferansiyel termal analiz

Maksimum

Atmosfer

Kalsiyum kireci

Dolomit kireci

Taramalı elektron mikroskop

Kızdırma kaybı

Çözünmeyen kalıntı

G tipi odun külü

1. GİRİŞ

Tarih, ataların anısını gelecek kuşaklara iletir; olayları unutturmaya çalışan zamana karşı dirençle karşı koyar [1]. İnsanlar, insani değerlerin bütünlüğünde gittikçe daha çok bilinçlenmekte ve tarihi anıtları ortak miras saymaktadır [2]. İnsanlığın ortak mirası olan kültür varlıklarının korunması evrensel bir konu kabul edilmektedir [3]. Dünya ülkelerinin sahip oldukları çeşitli kültür varlıklarını korumada gösterdikleri başarı, günümüzde o ülkelerin medenilik derecesinin bir göstergesi sayılmaktadır [4]. Bu nedenle tüm uygarlıklar, kendilerinden önceki uygarlıkların tarihi ve kültürleri ile ilgilenmişlerdir [5].

Geçmişten günümüze kadar bir çok tarihi yapıya/esere koruma amacıyla müdahale edilmiş, ancak genel bir koruma felsefesinin dünyada hakim olmaması ve onarımların fazla standardize olmayışı nedeniyle yapılan çalışmalar genellikle geçici olmuştur. Diğer taraftan yapılan bu çalışmaların çoğu onarılan yapıyı özgünlüğünden uzaklaştırmıştır. Bu nedenle 1964 yılında temel restorasyon ilkelerini ortaya koyan “Venedik Tüzüğü” İtalya, Belçika, İspanya, Portekiz, Yugoslavya, Hollanda, Danimarka, Fransa, Meksika, Çekoslovakya, Peru, Yunanistan, Avusturya, Polonya, Tunus kabul edilmiştir [2]. Venedik Tüzüğü’nde ortaya konulan ilkelere belirtildiği gibi;

- a. Restorasyonla ilgili bütün işlemlerde ayrıntılı bir arkeolojik araştırmalarının izlenmesi,
- b. Yapının onarım ve güçlendirilmesinde geleneksel yöntemlerin yetersiz kaldığı durumlarda yeterliliği bilimsel olarak kaydedilmiş çağdaş yöntemin kullanılması,
- c. Yapıda değişik dönemlere ait katkıların korunması,
- d. Eksik parçalar ve bölümlerin yapıya yanlış anlamaya neden olmayacak biçimde birleştirilmesi,
- e. Restorasyon sırasında yapılan tüm işlemlerin ayrıntılı olarak belgelenmesi,

Venedik Tüzüğü ile dünya genelinde var olan tarihi yapıların korunması için izlenecek adımların ana felsefesi oluşturulmuştur. Böylece tarihi yapılara yapılacak müdahaleler standartlaştırılmaya çalışılmıştır [2].

Venedik Tüzüğü'nün ortaya koyduğu ilkeler incelendiğinde, bir yapıya müdahale etmeden önce tarihi ve arkeolojik incelemelerden başlayıp, uygun müdahale tekniklerinin ve malzemelerinin belirlenmesinden, yapılan uygulamaların eksiksiz olarak kayıt altına alınmasına kadar devam eden sistematik bir sürecin varlığı anlaşılmaktadır [6].

Onarım bugünkü kavramsal içeriği ile, basit bir tamir etkinliği değil, çeşitli uzmanlık alanlarından yararlanan bilimsel bir disiplindir. Bunun gereği olarak, korunacak bir eserin durumunun incelenmesi, bozulma nedenlerinin araştırılması, tespit edilmesi ve buna göre müdahale yöntemlerinin geliştirilmesi gerekir [7]. Bütün bu tarihi zenginliğin korunması, ancak eserin oluşturulduğu dönemin ve eseri oluşturan malzemelerin özelliklerinin iyi bilinmesi ile olabilir.

Yüzyıllar boyunca çeşitli nedenlerle birçoğu yıkılmış olmasına rağmen, günümüzde halen ayakta kalan bir çok tarihi anıt ve yapı bulunmaktadır [8]. Tarihi yapılarda kullanılmış olan taş, tuğla, kerpiç, harç, sıva, ahşap, çini, metal, cam, v.b. özgün malzemeleri oluşturan hammaddeler, karışım oranları ve hazırlama yöntemleri ile, bu malzemelerin fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerinin, zaman içindeki bozulmalarının ve özgün inşaat tekniklerinin belirlenmesi yapılması gereken çalışmalardandır [9].

Tarihi yapıların günümüze ulaşmasındaki en büyük etken, kuşkusuz yapı taşlarını birbirine bağlayan bağlayıcı malzemelerdir. Yapılarda bağlayıcı malzemelerin en temel elemanı ise harç ve sıvalardır. Geçmişten günümüze ulaşan yapılar incelendiğinde, "Horasan" ismi ile anılan harç ve/veya sıvaların tarihi yapıların inşasında kullanılan en önemli bağlayıcı malzeme olduğu görülmektedir. Bilindiği gibi, Horasan harcı ve sıvaları kireç harçlar grubu içinde tanımlanmaktadır [10].

Tarihi niteliğe sahip yapılarda kullanılmış olan kireç harçlarının, uygulandıkları dönemden günümüze kadar asırlarca süren bir zaman diliminde varlıklarını sürdürebilmeleri, üstün niteliklere sahip olmalarının bir göstergesidir. Bu harçlarda kullanılan malzeme ve bunların harçlardaki karışım oranları, uzun yıllar süren tecrübe ve deney birikiminin sonucu olarak geliştirilmiş ve bu bağlayıcı malzeme dönemin yapılarında yaygın bir şekilde kullanılmıştır [11].

Türkiye'deki tarihi eserlerin, kışlaların ve köprülerin yapımında öğütülmüş tuğla ile kireç karışımından elde edilen ve Horasan denilen bu bağlayıcı maddenin oldukça geniş ölçüde kullanıldığı belirtilmektedir [12]. Horasan harcının tuğla yapıların ve çömlekçiliğin çok ileri düzeyde olduğu Ortadoğu ve Anadolu uygarlıklarında kullanıldığı görülmektedir. Bizans, Selçuklu ve Osmanlı yapılarında geniş ölçüde Horasan harcı kullanımına rastlanılmaktadır [13].

Osmanlılar, Horasan harcını geniş ölçüde ve bilinçli olarak kullandılar. Üstün niteliklere sahip olmaları dolayısıyla kireç harçları eski Mısır olmak üzere Roma, Bizans, Selçuklu ve Osmanlı gibi tarihteki çeşitli uygarlıkların anıtsal yapılarında kullanım alanı bulmuşlardır [11]. Nitekim çimento icat edilmeden önce 1786'da inşa edilen Cezayir limanında bağlayıcı olarak pişmiş kil ve kireç karışımı kullanıldığı belirtilmektedir [12]. 18. Yüzyıla (Yy) kadar devam eden süreç, çimentonun bulunması ile yerini yavaş yavaş yeni bağlayıcıya bırakmıştır [11]. 18. Yy'dan önce yaşamış insanlar daha ziyade doğrudan doğruya bina inşa etmeye yönelmişler, sonraki dönemde yaşayan insanlar ise harap olan binaları/yapıları tamire, mevcut olanları ise korumaya daha fazla önem vermişlerdir [14].

İnsanlar gibi, insanlar tarafından inşa edilen yapılar da zaman içinde yaşlanmaktadır [13]. Zamanla çeşitli nedenlerin sonucuna bağlı olarak tarihi yapılarda kullanılmış olan bu malzemelerde meydana gelen bozulma mekanizmaları sonucu koruma ve onarım gereksinimleri kendini göstermiştir. İşte bu gereksinimler ve geçmiş dönemlerde uygulanan malzeme tekniklerini araştırma arzuları, ilgilileri eski teknikleri öğrenmeye ve eskiden uygulanmış olan bu malzemelerin özelliklerini araştırmaya yöneltmiştir. Bunun sonucunda eski kaynaklara yönelerek bu malzemenin özelliklerini araştırmaya doğru bir yönelim başlamıştır.

Yazılı kaynaklar gözden geçirilmiş, eski ustalardan elde edilen sözlü bilgiler değerlendirilmiş ve eski harçlar üzerinde çeşitli laboratuvar araştırmaları yapılmaya başlanmıştır [11]. Horasan harcının içerdiği hammaddeler bilinmekle beraber, içerdiği malzemelerin oranlarının, katkı malzemelerinin niteliğinin ve günümüze kadar ulaşarak yüksek dayanım taşımasının nedeni sırrını hala korumaktadır. Bugüne kadar birçok araştırmacı, Horasan harcını farklı gruplandırmalar yaparak çeşitli isimlerle adlandırmış ve farklı tarifler sunmuştur. Buna karşın Horasan harcının özelliklerini bulma isteği ve arzusu, bu sırrı çözme gayretleri halen devam etmektedir. Birçok medeniyete ev sahipliği yapan ülkemizde, tarihi eserler için zaruri olan Horasan harcı henüz belirli kriterlere oturtulamamıştır.

Bu çalışmada, Portland çimentosu kullanımının Horasan harcı özelliklerine etkisi araştırılmıştır. PÇ Horasan harcı karışımında farklı oranlarda kullanılarak daha iyi özelliklere sahip bir Horasan harcı üretilmesi amaçlanmıştır.

2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Horasan Harcı

Horasan terimi, kırılmış ve öğütülerek toz haline getirilmiş, tuğla, kiremit, çömlek v.b. pişmiş kili ifade etmektedir. Horasan harcı ise, Horasan ve kirecin karıştırılması ile elde edilen harçtır [13, 15]. Tuğla, kiremit ve benzeri malzemelerin kireç ile karıştırılması ile elde edilen ve birçok tarihi yapının harç ve sıva malzemesinin hazırlanmasında kullanılan bu harç ve sıvalar, hidrolik özellikte olup ülkemizde “Horasan harcı” olarak bilinmektedir [10].

Horasan harcı karışımına bazı uygulamalarda kum, bazılarında ise nohut büyüklüğüne sahip parçalar halinde tuğla ve kiremit kırıkları katıldığı belirtilmektedir [16]. Bu harçlar, yapıda kullanılan yontulmuş taşları birleştiren/bağlayan klasik harçlardan farklıdır. Fonksiyonları bakımından günümüz betonuna eşdeğerdir. Tarihi eserlerin incelenmesinde bunlara da Horasan denilse de daha gerçekçi bir sınıflandırma yapıldığında “Horasan betonu” adını almalarının daha doğru olduğu ifade edilmektedir [16].

2.1.1. Horasan harcının tarihçesi

Günümüzdeki teknoloji, Horasan harcının ortaya çıktığı dönem ile kıyaslandığında, bilgi ve donanımdan ziyade geleneksel bir yapı tekniği ve ihtiyaca binaen ortaya çıkmış olabileceği ihtimali kuvvetli gözükmektedir. 18. Yy’da çimentonun özelliklerinin geliştirilmesi ve 19. Yy’da teknolojinin tarihinde görülmemiş bir biçimde ilerleme kaydetmesi geleneksel sistemlerin zamanla unutulmasına neden olmuştur. Horasan harcının ortaya çıktığı dönemlerden günümüze kadar geçen süre göstermiştir ki yazılı kaynağın yetersiz olması Horasan harcının tanınmasına engel teşkil etmiştir. Horasan harcını tanımak, ancak bu harcın ortaya çıktığı dönemi, coğrafi bölgeyi ve yapım tekniklerini bilmekle mümkün olabilir.

Horasan ismi eski Farsçada hur (güneş) ve asan (doğan) kelimelerinden meydana gelmiştir ve güneşin doğduğu yer anlamına gelir. Horasan tarihte İran'ın kuzeydoğusunda yer alan çok geniş bir coğrafi bölgenin adı idi. Günümüzde bölgenin toprakları üç parçaya ayrılmış olup, Merv, Nesa ve Serahs yöresi Türkmenistan'da; Belh ve Herat yöresi Afganistan'da; kalan kısımlar ise İran sınırları içinde bulunmaktadır. Karasal iklimin görüldüğü Horasan'da, genel olarak su çok kıttır. Tarım yapmaya elverişli olmayan bataklık ve çöllerin hakim olduğu bölgede, çöle özgü iklim görülür. Klasik İslam kaynaklarında Horasan'da imal edilen kâğıt, dokuma ve çömlek kadar bölgede çıkarılan madenler de dikkat çekicidir. Altın, gümüş, petrol, bakır, kurşun, kömür gibi madenlerin dışında Horasan harcının bileşiminde olduğu düşünülen ve bünyesinde kalsiyum ihtiva eden mermer ocakları bulunur. Yine Horasan harcının içeriğinde olduğu düşünülen katkı malzemeleri olan zambak, yün, kıl, deri gibi maddeler, o dönemdeki en önemli ihraç maddeleridir [17]. Bu maddelerin ihraç edilecek kadar fazla olması harçlarda da kullanılabilirdiği ihtimalini kuvvetlendirmektedir.

Horasan harcı, Roma döneminde "cociopesto", Hindistan'da "surkhi" olarak adlandırılmaktadır. Arap ülkelerinde "homra", Yunanistan'da "korassani" adı ile bilinmektedir [15]. Vitruvius yazmış olduğu kitapta, Napoli Pompei civarındaki Puzzuoli kasabasındaki toprağın hidrolik özelliğini vurgulamaktadır. Romalı yazar, kum ve kireçten oluşan harca 1/3 oranında öğütülmüş ve elenmiş pişmiş toprak veya tuğla katıldığı zaman, daha iyi bir harç elde edilebileceğini belirtmekte, ancak bunun hidrolik özelliğinden bahsetmemektedir. Buradan da anlaşılacağı gibi, hidrolik sertleşme olayı ilk önce volkanik artıklarının bol olduğu Roma'da ve onun etkisindeki Akdeniz ülkelerinde değerlendirilmiştir. Osmanlı döneminde inşaat ustaları sınıflandırması yapılırken, "horasancı" denilen bir usta grubunun da bulunduğu bilinmektedir. Tarihi kayıtlarda horasan harcının "keyl" adıyla hazır olarak satın alındığı da belirlenmiştir [15].

Horasan harcının dayanım açısından, kireç harçlarına göre teknik üstünlüğü eski ustalar tarafından bilinmekteydi. Ayrıca, harcın renginden dolayı tuğla yapılarda mükemmel bir ahenk oluşturması, mimaride estetik açıdan da diğer harçlardan daha özel bir yer almasına sebep olmuştur [16].

2.1.2. Horasan harcının özellikleri

Horasan harçlarının dokularının deneysel olarak incelendiği bir çalışmada kireç ile tuğla kırıklarının birbirine iyi bağlandıkları görülmüştür. Bu durum, kireç ile tuğla kırıklarının çok iyi karıştırıldıklarını göstermektedir [10]. Kireç – Horasan karışımı bir asit baz reaksiyonu sonucu suda erimeyen bir tuz oluşumuna dayandığı belirtilmektedir [13]. Kil, esaslı alüminyum silikat ($Al_2 \cdot (SiO_2)_3$) olan geçirimsiz, ince taneli bir topraktır [18]. Pişmiş kil, camlaşmış yani kimyasal etkinlik kazanmış silis (SiO_2) olup aynı zamanda zayıf bir asittir. Kireç ise kuvvetli bir bazdır [13]. Tuğla kırıkları içerisinde bulunan amorf yapılar kireç ile reaksiyona girerek kalsiyum silikat hidratları (C-S-H) ve kalsiyum alüminat hidratları (C-A-H) oluşturmaktadır. Bu bileşikler, harca dayanım ve suda sertleşebilme yani hidrolik bir özelliği kazandırmaktadır [10, 11]. Kireç harçları, hidrolik ve hidrolik olmayanlar olarak iki grupta tanımlanmaktadır. Hidrolik harçlar, hidrolik kireç kullanılarak veya saf kireç ile puzolanların karıştırılmasıyla elde edilmektedir. Hidrolik olmayanlar ise, kireç ile etkisiz agregaların karışımıyla elde edilmektedir. Bu harçlar; kirecin havanın karbondioksiti ile kalsiyum karbonata dönüşmesi sonucu sertleşmektedir [10].

Horasan harcı, sağlam bir kütle yapı oluşturmak amacı ile kullanılan bir malzeme olup, hidrolik harçlar grubu içerisinde yer alır. Hidrolik özellikleri nedeniyle Horasan harç ve sıvaları sarnıç, su kuyusu, su kemerleri ve hamam yapılarında kullanılmıştır. Hidrolik harçlarda kullanılan malzeme su ile kimyasal reaksiyona girerek katlaşır. Bu tür harçların suya, özellikle deniz suyuna karşı dirençleri oldukça yüksektir [16].

Hidrolik kireç kullanılarak elde edilen harçlar, kirecin kalsiyum karbonata dönüşmesi ve içinde bulundurduğu kalsiyum alüminat silikatların su ile C-S-H ve C-A-H oluşturması sonucu sertleşmektedir. Puzolan kullanılarak elde edilen hidrolik harçlarda ise kireç, puzolanlar ile reaksiyona girerek C-S-H, C-A-H v.b. ürünler oluşturur. Hidrolik harçların dayanımları oluşan bu ürünlerden dolayı hidrolik olmayanlardan daha büyüktür. Yüzey alanı büyük puzolan kullanımı, ortam sıcaklığının yüksek olması, karışıma alçı eklenmesi bu harçların sertleşme süresini hızlandırarak daha büyük basınç dayanımlarına sahip olmalarını sağlamaktadır [10].

Harcın içeriğinde bulunan kirecin, Romalılarda olduğu gibi Osmanlı döneminde de sönmüş halde yıllarca bekletildikten sonra kullanıldığı bilinmektedir [11]. Roma döneminde kirecin en az üç yıl bekletildikten sonra kullanılması gerektiği ileri sürülmüştür. Kirecin bekletilme süresi uzadıkça plastik özelliği ve su tutma kapasitesi artmaktadır. Bu süreçte kireç kristallerinin boyutları küçülmekte ve havanın karbondioksiti ile reaksiyona girecek yüzey alanı artarak karbonatlaşma daha hızlı gerçekleşmektedir [10].

Bunun yanında daha yakın zamanlara kadar günümüz inşaatlarında kullanılacak sönmemiş kirecin (CaO), şantiyede açılan kireç çukurunda söndürüldüğü ve kullanılmadan önce bir iki ay bekletildiği bilinmektedir [11].

XIV. ve XVI. Yy'larda Bursa ve Edirne'de inşa edilmiş bazı hamamlarda kullanılan ve günümüze kadar özelliklerini koruyan Horasan harç ve sıvaları üzerinde yapılan inceleme sonucunda, belirlenen özellikler aşağıda verilmiştir [19]:

- a. Horasan harç ve sıvalar kireç, tuğla kırıkları ve bazen de ince kumun çok iyi karıştırılmasıyla elde edilmektedir.
- b. Harçlar ağırlıkça yaklaşık 1 kireç, 3 tuğla kırığı karıştırılarak hazırlanmaktadır.
- c. Sıvalar ağırlıkça % 50'nin üzerinde kireç kullanılarak hazırlanmıştır.
- d. Sıvaların hazırlanmasında, harçlardan farklı olarak ince taneli tuğla agregalar kullanılmıştır.

- e. Horasan harç ve sıva karışımlarında protein içeren katkı malzemeleri (yumurta akı v.b.) tespit edilememiştir.
- f. Horasan harç ve sıvaları, çimento harç ve sıvalarından çok daha gözenekli bir yapı ve daha düşük yoğunluklara sahiptir.
- g. İncelenen bütün Horasan harç ve sıvaları hidrolik özelliğe sahiptir.

2.1.3. Horasan harcında kullanılan katkı maddeleri

Eski yapı ustaları tarafından harç ve sıvaların özelliklerini iyileştirmek/geliştirmek amacıyla çeşitli katkı malzemeleri kullanılmıştır. Doğal olan bu katkı malzemeleri, günümüzde yerini suni katkı malzemeleri olan kimyasal katkılara bırakmıştır. Teknolojinin gelişmesi ile malzemelerin özelliklerinin daha iyi bilinmesine karşılık, tarihi yapılarda kullanılan katkı malzemelerinin özellikleri hâlâ tam olarak belirlenememiştir. Bunun en önemli göstergesi günümüz yapılarının dayanım ve dayanıklılık bakımından tarihi yapılarla kıyaslanmasıdır.

Kireç harçlarının hazırlanmasında kirecin veya harcın fiziksel özelliklerini geliştirmek, karbonatlaşmayı hızlandırmak amacıyla kirece veya harca organik ve inorganik maddelerin katıldığı bilinmektedir. Horasan harcının tam olarak muhtevası bilinmemekle birlikte içerisinde çeşitlilik arz ettiği tarihi kayıtlardan anlaşılmaktadır [20]. Bunlardan bazıları kan, yumurta, peynir, gübre, arap zamkı, hayvan tutkalı, bitki suları, kazein gibi malzemelerdir. Katkı malzemelerinden arap zamkı, hayvan tutkalı ve incirin sütlü suyu yapışkan olarak kullanılmıştır. Çavdar hamuru, kesik süt, kan ve yumurta beyazı kirecin daha çabuk sertleşmesini sağlamaktadır. Arpa, idrar ve hayvan tüyleri ise dayanıklılığı arttırmaktadır. Şeker, suyun donma-erime periyotlarında meydana getirdiği bozulmaları yavaşlatmaktadır [10].

Balmumu, harçtaki büzülme önlemektedir. Yumurta akı, hayvan tutkalı, şeker, süt, mineral ve keten tohumu gibi yağlar ise, kirecin plastiklik özelliğini artırıp kırılabilirliği azaltarak harcın çalışabilirliğini arttırmaktadır [10]. Horasan harcı, taş duvar örülürken taş blokları birbirine bağlayabilmek için, eski Türk mimarisinde özellikle Osmanlı mimarisinde oldukça yaygın bir şekilde kullanılmıştır.

Bilindiği gibi kireç havadaki karbonik gazla (CO₂) reaksiyona girerek karbonatlaşmaya başlamaktadır. Bu karbonatlaşma süreci kireç yüzeyinden başlayarak iç bölgelere doğru bir gelişme göstermektedir. Bazı tarihi yapıların kireç sıva harçlarının iç bölgelerinde rastlanan hamurumsu yapılar, o bölgelerde karbonatlaşmanın henüz gerçekleşmemiş olduğunu gösterir [11]. Günümüz malzemelerinden ise polyaminophenoller adlı malzemede benzer şekilde kirecin karbonatlaşmasını hızlandırarak daha çabuk sertleşmesini sağlamaktadır [10].

Lauren Brook Sickels'in günümüz şartlarında harç yapımında kullanılmış olan organik katkı maddelerinin yerini sentetik maddelere bırakması gerektiği fikrini savunarak hazırlamış olduğu çalışma, restorasyon çalışmalarına ışık tutacak niteliktedir [21]. Organik katkı maddelerinin niteliği ve kullanıldığı tarihler hakkında yeterli kaynak ise halen bulunamamıştır [21].

2.2. Hidrolik Harç

Bağlayıcı malzeme, dolgu malzemesi ve suyun belirli oranlarda karışımı ile elde edilen, yapıda tuğla ve taş gibi blok biçimli elemanları birbirine bağlamak için kullanılan, katılaşma özelliğine sahip yapı hamurlarına “harç”; kâgir yüzeyleri biçimlendirmek ve korumak için duvar ve tavan yüzeylerini kaplamak için kullanılan harca da sıva harcı denir. Harç ve sıvaların doğal ve sentetik katkı maddeleri içeren ya da içermeyen türleri bulunmaktadır. Ancak harç ve sıvalar çoğunlukla üretimlerinde kullanılan bağlayıcıların niteliğine göre isimlendirilir. Örneğin; çimento harç ve sıvaları, kireç harç ve sıvaları, alçı harç ve sıvaları gibi [18].

Rivayete göre İsa'dan önce 4. Yy'da, bazı volkanik orijinli toprakları sönmüş kireçle karıştıran Grekler, suya dayanıklı olan ve güçlü nem koşullarında bile sertleşebilen harçlar geliştirdiler. Romalılar ise çok etkili bir hidrolik reaksiyona neden olan, Pouzzoles yakınlarındaki Napoli tüflerini bularak bu gelişmeye katkıda bulundular ve bu maddenin karıştırıldığı harca “Pouzzolone” adını verdiler. Nihayet Romalılar öğütülmüş pişmiş toprak ve kirecin bir karışımını kullanarak başka bir hidrolik harç keşfettiler [11].

Günümüzde “Cocciopesto” adı altında bilinen bu harç Romalılara, imparatorluklarının herhangi bir yerinde bu malzemeyi üretmeye olanak sağladı. Elde edilen bu hidrolik harçla Romalılar yeni bir inşaat tekniği ortaya koydular. Aynı zamanda harç karışımlarında Ponza taşını da kullanarak birim ağırlığı düşük beton (hafif beton) ürettiler. Bu malzeme aynı zamanda strüktüre daha az ağırlık yüklemekteydi [11].

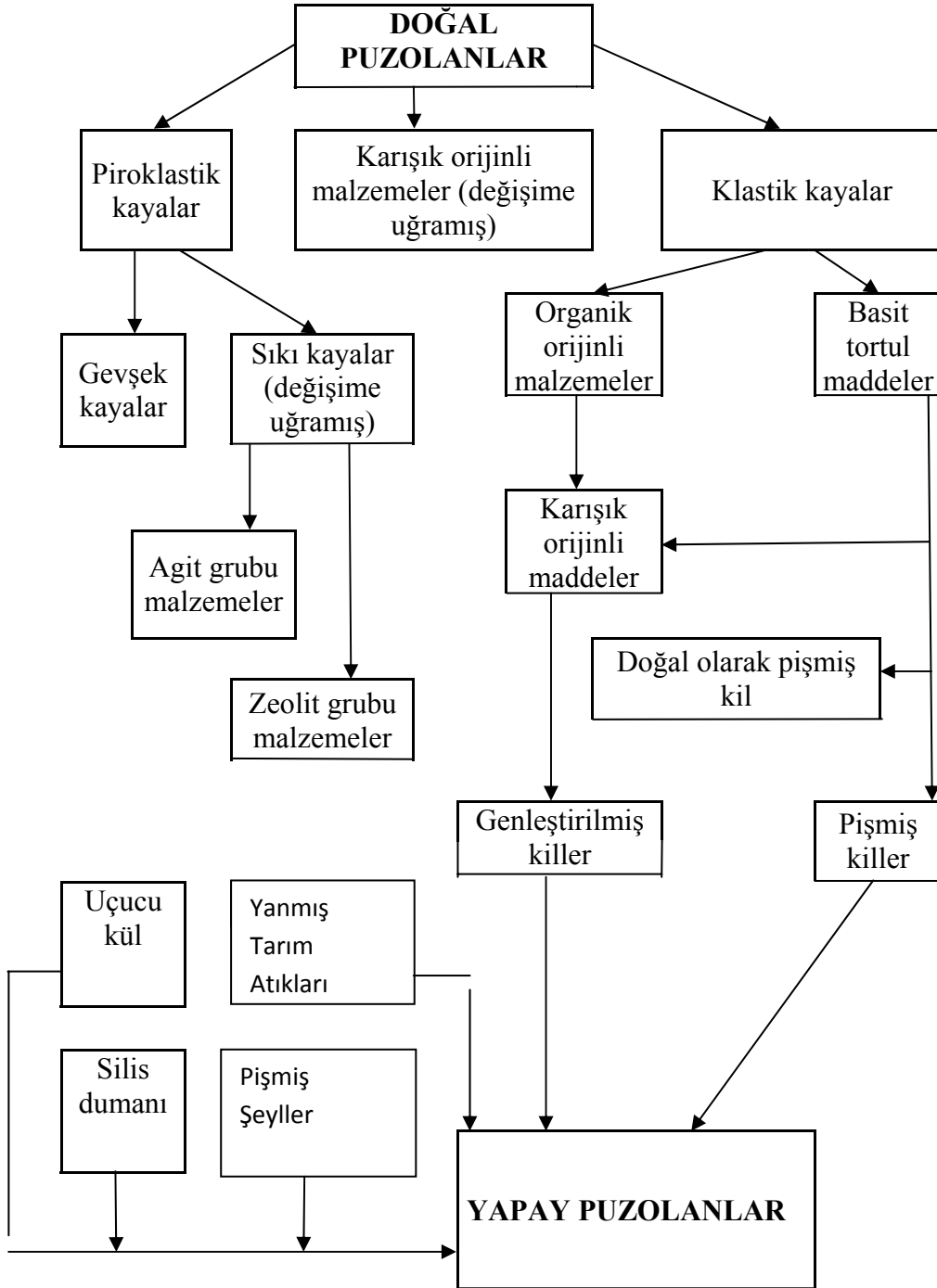
Kireç kullanılarak elde edilen harç ve sıvalar, eski Yunan, Roma ve onu izleyen dönemlerden çimentonun bulunmasına kadar geçen sürede yapıların inşasında kullanılmıştır. Kireç harç ve sıvaları, bağlayıcı olarak kireç, dolgu malzemesi olarak da agregaların karıştırılması ile elde edilir [10]. Çimento gibi malzeme ihtiva eden harç ve sıvalar, tarihi yapıların bozulmasına neden olacağı için, çimento harç ve sıvaları onarım için uygun değildir.

Horasan harcı ve sıvaları, hidrolik özelliklerinden dolayı suya karşı dayanıklıdır. Hamam yapılarındaki sıvalar, su ile doğrudan veya yüksek nemin duvarlarda yoğunlaşması sonucunda sürekli temas halindedir. Sıvanın yapısındaki kalkerleşmiş kireç (CaCO_3), gözenek suyunun içinde çözülmekte ve yeniden çökelmektedir. Bu süreçte, sıva tabakası bozulmaya uğrayarak tabakalara ayrışmasına karşın, çöken CaCO_3 sayesinde kopmamaktadır. Sıva yüzeylerinde tabakalara ayrılan ancak, çöken kalsiyum karbonatın tutmasıyla sıvanın yapısında kalan katmanlar görülmektedir. Yer yer çözünen kalsiyum karbonat, harç içindeki tuğlaların gözeneklerinde yeniden çökeliyor, sıvaların dağılmasını önleyerek onları dayanıklı hale getirmektedir. Bu gözlemler, Horasan harcı ve sıvalarının ıslak mekânlar için kullanılabilir en uygun malzemeler olduğunu göstermektedir [10].

2.3. Puzolanlar

Kendi başlarına bağlayıcı olmayan, bağlayıcı bir malzeme (kireç, çimento) ile karıştırılması ile bağlayıcılık özelliği kazanan yapı malzemeleridir. İçeriğini kimyasal olarak SiO_2 ve az miktarda Al_2O_3 'den oluşan maddeler oluşturur [22]. Puzolan, malzeme içindeki camlaşmış aktif silis kireçle karıştırıldığında, nemli ortamda bağlayıcılık özelliği kazanır ve suda erimeyen kalsiyum silikat tuzuna dönüşür. Çimentonun hidratasyon ürünü olan ve suda eriyen $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile de birleşerek suda erimeyen silikat tuzu oluşturur. Bu özelliği nedeni ile puzolanlar, çimentonun suya karşı dayanıklılığını olumlu yönde etkiler [23].

Puzolanlar, doğal ve yapay olmak üzere iki grupta incelenirler [12]. Puzolanların çeşitleri Şekil 2.1’de gösterilmiştir [24].



Şekil 2.1. Puzolanların çeşitleri [24]

2.3.1. Doğal puzolanlar

Doğal puzolanlar olarak bilinen maddeler tras, volkanik küller, killi şist, diyatomit veya diyatomit toprağı ve ponza taşıdır [25, 12]. Doğal puzolanlar genellikle volkanik orijinli maddelerdir. Diyatomit ise volkanik orijinli olmayan tek doğal puzolandır [26]. Doğal puzolanlar, yaygın olarak bilinen adıyla traslar, kendi başlarına bağlayıcılık özelliğine sahip olmasalar da çok ince öğütüldüklerinde, normal sıcaklıklarda, sulu ortamlarda kireçle birleşerek bağlayıcılık özelliği kazanabilen, silis ve alümin oksitlerince zengin tuf çeşidi malzemelerdir [27].

2.3.2. Yapay puzolanlar

Termik santral baca külleri (uçucu kül), silis dumanı, yüksek fırın cürufaları, tuğla (kiremit) tozu/pişmiş kil yapay puzolan olarak sınıflandırılır. Tuğla (kiremit) tozu / pişmiş kil puzolanları, diğer yapay puzolanlardan daha güçlü bağlayıcılardır [28].

Kil (tuğla tozu)

Genel olarak kil, tanecik büyüklüğü iki mikrondan küçük olan tanelerin çoğunlukta olduğu, ıslatıldığında plastik, pişirildiğinde ise sürekli sert kalan hidrate alüminyum silikat minerallerinden oluşan bir sistem olarak tanımlanabilir. Kil mineralleri temelde silika, alümina ve suyun oluşturduğu sulu silikatlardır [29]. Killer yapısındaki silis ve alümin'den dolayı ve tane yapısı ile bağlayıcılık özelliğinden dolayı, puzolanlar sınıfında yer alırlar [30]. Kil mineralleri yapı bakımından, amorf yapılı killer ve kristal yapılı killer olmak üzere iki grupta sınıflandırılmıştır;

1 - Amorf yapılı killer: Allofan ismiyle de kullanılan bu killer, tane yapısı düzensiz ve montmorillonite benzeyen kil grubudur.

2 - Kristal yapılı killer: Bu grubu oluşturan killer genel olarak üç başlık altında incelenir. Bunlar; kaolinit grubu, montmorillonit grubu ve illit grubudur [31].

Kaolinit grubu: Killer bir silis ve bir alüminde oluşmuş iki katlı, esas olarak demirce fakir ve çoğunlukla beyaz veya hemen hemen beyaz kil materyalinden oluşmuş kaya kütesidir [31]. Ergime dereceleri 1760 °C olup, refrakter tuğla yapımında kullanılmaktadır [29].

Montmorillonit grubu: İki silis ve bir alüminden oluşmuş üç katlı kil mineralidir [31].

İllit grubu : Killerin bu grubuna mika adı da verilir. Diğer kil minerallerinden ayrılan en önemli özelliği potasyum içermeleridir [29].

Çimento hammaddesi olarak kullanılacak killerde minerolojik ve kimyasal özellikler aranmasına karşılık, homojenite daha çok önemlidir. Fakat kil çeşidi ve kalitesinin saptanması ancak X ışınları difraksiyonu (XRD) ve Diferansiyel Termik Analiz (DTA) ile yapılabilir. Killerin kimyasal analizinde SiO₂, Al₂O₃, CaO, MgO, K₂O, Na₂O, SO₃ ve kızdırma kaybı (%) miktarının tespit edilmesi gerekir. Minerolojik analizlerde ise kil minerallerinin dışında bulunan safsızlıkları oluşturan unsurlar ve bunların (%) miktarları hesaplanır [32].

Çimento üretiminde kullanılacak kilin kimyasal bileşiminde Al₂O₃ / Fe₂O₃ oranının “2 / 1” civarında olması gerekir. SiO₂ miktarı (%) yüksek olan killerde kuvars veya kosedon halinde serbest silis vardır. Bu da üretim esnasında güçlükler çıkarır. Toprak alkali oksitlerin miktarının % 1’in altında olması istenir. Bu değer fazla ise, kil içerisinde anortit, montmorillonit, mika, feldispat ve alkali tuzu olduğunu gösterir. Killer genellikle minerolojik bakımdan plastik olan ve olmayan unsurlar içerir. Plastik olanlar, kaolinit ve montmorillonit kil mineralleridir. Plastik olmayanlar ise kalsit, kuvars, feldispat v.s. muhtelif kayaç ve minerallerdir [32].

Killerin plastisite özellikleri mineraller içindeki ayırt edici en önemli özellikleri olup, su ile şekillenmelerini sağlar. Bu özellik, kil minerallerinin yapısında bulunan kaolinit unsurların yüzdesine ve killerin tane inceliğine doğrudan bağlıdır. Killerde plastisite suyu, genellikle % 15 – 40 arasındadır. Kaolinitik killer az plastik, bağlayıcı killer ile beltonit ve montmorillonit killer az plastiktir. Çimento sanayisinde kullanılacak killerin plastisite sayıları % 15 – 20 arasında olmalıdır [32].

Pişmiş kil

Killer, insanoğlunun yaşamına ateşin bulunması ile girmiş önemli hammaddelerdir. Günümüzde killer çok geniş kullanım alanlarına sahiptirler. Yaşantımızda gereksinim duyduğumuz pek çok malzemenin seramik olduğunu düşünürsek, bu çok geniş yelpazenin ana malzemesinin kil olması bu hammaddenin önemini bir ölçüde ortaya koymaktadır. Seramik dışında çok çeşitli endüstri alanlarının önemli hammaddesi de olan killer ziraatta, jeolojide ve başka pek çok alanda da araştırmacıların dikkatini çekmiş ve geçmişten günümüze kadar farklı disiplinler tarafından hep araştırma konusu olmuşlardır [33].

Doğal puzolan olarak bilinen maddelerin en önemlilerinden biri pişmiş kildir. Bu amaçla kil bileşimine bağlı olarak 600 – 900 °C arasında pişirilir. Elde edilen madde çimento inceliğinde öğütüldükten sonra çimentoya belirli oranlarda karıştırılarak kullanılır. Tuğla ve kiremit tozunun bir bağlayıcı madde ile karıştırılması da aynı sonucu verir [12].

Yapı malzemeleri arasında tuğla en çok kullanılan ve sevilen malzeme olmuş, bazen yalnız olarak bazen de taşların aralarını tutturmak için kullanılmıştır. Tuğla koyu kırmızı rengi ve geometrik şekli ile zaten müsait bir malzemedir [34]. Horasan harç ve sıvalarında bağlayıcı olarak kireç, agrega olarak ise tuğla veya kiremit kırıkları gibi pişirilmiş toprak malzemeler kullanılmıştır [15]. Pişirmedeki amaç, tuğlanın hammaddesi olan kil mineralinin sinterlenmesi ve böylelikle sağlam ve stabil bir bünye elde edilmesidir [35].

Kilin 600-800 °C'de pişirilmesi ile kaolinit ($2\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) bünyesindeki suyu kaybederek silis ve alümine ayrışır. Elde edilen ürün kireç ile reaksiyona girer. Pişirme sıcaklığı, saf killer için 600-700 °C, marnlı killer için ise 800 °C olup, ürün öğütülerek puzolan halinde kullanıma hazır hale getirilir. Pişirme açık havada yapılmalıdır. Kil pişirme sonrası suda erimez halde olur. Tuğla topraklarından olan puzolanların kalitesi, toprağın kalitesine göre farklılık gösterir. Tuğla ve kiremit ürünleri ise, Hoffman veya tünel fırınlarda 800 – 1000 °C arasında pişirilir [22, 36].

Sıcaklık Horasan harcı için çok önemli bir faktördür. Osmanlı döneminde Horasan harcı hazırlamada kullanılacak tuğlaların yeni ve iyi pişirilmiş olması koşulu şartnamelerde belirtilmiştir [16]. Yeni pişirilmiş olması tuğlanın su ile temas etmeden kullanılarak reaktifliğini yitirmemesinin gerekliliği ile açıklanabilir. Çünkü su ile aktif hale gelen amorf silikalar, silisik asit üreterek tuğlada olması muhtemel karbonatlarla reaksiyona girerek reaktifliklerini yitirmektedir. Bu koşulların eski şartnamelerde yer alması, Horasan harcı ve sıvası hazırlanması ile ilgili oluşan yılların deneyimini ve birikimini ifade etmektedir. Bu birikim, çimentonun yapı malzemesi olarak kullanılmaya başlanması ile kaybolmuştur [10].

2.4. Çimento

Çimento; başlıca kalsiyum, silisyum, alüminyum ve demir oksitlerini ihtiva eden hammaddelerin karıştırılarak sinterleşme sıcaklığına kadar pişirilmesi ile elde edilen klinkerin (alçı ve bir veya daha fazla cins katkı maddesi ilavesiyle) öğütülmesi suretiyle elde edilen hidrolik bağlayıcıdır [37].

Diğer bağlayıcı maddeler gibi çimentolar da, CaO, MgO gibi alkalin öğeler ve SiO₂, Al₂O₃ ve Fe₂O₃ gibi hidrolik öğelerden oluşur. Alkalin ve hidrolik öğelerin oranları da bağlayıcı maddenin niteliğini belirler [38]. Genellikle çimento çeşitlerine veya tiplerine bağlı olarak çimentonun içinde az da olsa potasyum (K), fosfor (P), sodyum (Na) ve manganez (Mn) gibi maddeler de bulunmaktadır. Çimento içinde bulunan sodyum oksit (Na₂O) ve potasyum oksit (K₂O) miktarlarının yüksek olması beton ve harç için sakıncalıdır [39].

2.4.1. Çimentonun tarihçesi

"Çimento" kelimesi, yontulmuş taş kırıntısı anlamındaki Latince "caementum" kelimesinden türemiştir. Daha sonra bu kelime bağlayıcı anlamında kullanılmaya başlamıştır. İlk betonarme yapı 1852 yılında yapılmıştır, ancak bağlayıcı malzemelerin kullanımı çok eskilere dayanır, muhtemelen ateşin bulunmasından hemen sonra, kireç ve alçı ile başlamıştır. İlk olarak kireç bağlayıcı madde olarak kullanılmıştır [40].

Kirecin bağlayıcı özelliğinin ilk ne zaman anlaşıldığı konusunda bir çok spekülasyon yapıla gelmektedir. Ancak insanlık tarihinin erken dönemlerinde olduğunu söylemek mümkündür. Belki de kireçtaşı mağaralarda ısınmak veya yemek pişirmek için yakılan ateşle elde edilen kireç yağmur veya rutubetle temas ederek sönmüş kireç haline gelmiş ve kuruduktan sonra elde edilen tozun bağlayıcı özelliğinin farkına varılmıştır. Sönmüş kirecin ilk uygulamaları mağara duvarlarına yapılan resimlerde görülmüştür. Sönmüş kireç, yine mağaralarda iç ve dış dekorasyon kullanılmaya başlanmıştır [40].

Eski Mısır, Kıbrıs, Girit ve Mezopotamya'nın değişik yörelerinde kirecin bir yapı malzemesi olarak kullanıldığına dair örneklere rastlanılmıştır. Eski Yunanlılar ve Romalılar, kireci hidrolik bağlayıcı olarak kullanmışlardır. M.Ö. 70-25 yılları arasında yaşamış olan Mimar Vitruvius "On Architecture"(Mimarlık Üzerine) adlı 10 ciltlik kitabında puzolan ve kireç karışımlarının hidrolik özelliklerinden bahsetmiş, nehir ve deniz kıyısında yapılacak olan yapılarda kullanılacak harç için karışım oranı bile vermiştir: iki kısım puzolan (pulvis Puteolanus), bir kısım kireçle karıştırılır. Araştırma sonuçları Anadolu'da Çatalhöyük'teki evlerin yapımında kullanılan sıvanın 7000 yıl eski olduğunu ortaya çıkarmıştır. Tarihte, Mısır Piramitleri, Çin Seddi ve değişik zamanda yapılan kalelerde o dönemin medeniyetini simgeleyen birçok değişik bağlayıcı madde kullanılmıştır. Daha sonra yaklaşık 2000 yıl önce, Romalılar sönmüş kireci volkanik küllerle ve sonraları pişirilmiş tuğladan elde edilen tozlarla karıştırarak bugünkü çimentonun özelliklerine benzer bir hidrolik bağlayıcı kullanmaya başlamışlardır. Eski Yunanlılar ise Santorin Adası'ndaki volkanik tüfleri kireçle karıştırarak veya killi kireç taşından elde ettikleri bir tür hidrolik kireçle harç yapmışlardır [40]. Santorin adası, yüksek nitelikteki puzolanların bulunduğu önemli bir adadır [12].

Eski Yunanlılar ve Romalılar, kireç ve puzolan karışımlarının hidrolik özelliğinin farkına varmış ve bunları kullanmış olmalarına karşılık, ne kirecin elde edilişi ne de puzolanik reaksiyonları kimyasal olarak açıklayacak bilgiye sahip olamamışlardır. Örneğin Pliny (Romalı bilgin Gaius Plinius) "taşın ateşle yakılmasıyla elde edilen kirecin suyla temas edince neden yandığının" anlaşılmaz olduğunu yazmıştır [40].

Bağlayıcı malzemelerin kalitesi ve kullanımı konusunda ancak 18.yy.da kayda değer bir gelişme gösterilmiştir. 1756 yılında Eddystone Lighthouse'u yeniden inşa etmekle görevlendirilen John Smeaton kirecin kimyasal özelliklerini ilk anlayan kişi olarak bilinmektedir [40].

Daha sonraki gelişme ise "Roman Cement" (Roma Çimentosu), adı ile bilinen bağlayıcının Joseph Parker tarafından elde edilmesiyle olmuştur. 1824 yılında İngiltere'nin Leeds kentinde, Joseph Aspdin isimli bir duvarcı ustası hazırladığı ince taneli kil ve kalker karışımını pişirerek ve daha sonra öğütürerek bağlayıcı bir ürün elde etmiştir. Bu ürüne su ve kum katıldığında ve zamanla sertleşme olduğunda, ortaya çıkan malzemenin İngiltere'nin Portland adasından elde edilen yapı taşlarını andırdığını gören Joseph Aspdin, elde ettiği bu bağlayıcı için 21.10.1824 tarihinde "Portland Çimentosu (PÇ)" adı altında patent almıştır. Bu bağlayıcı daha sonraki yıllarda büyük gelişmeler gösterse de "Portland" ismi aynen korunmuştur. Aslında Joseph Aspdin tarafından üretilen bağlayıcı, üretim sırasında yeterince yüksek sıcaklıklarda pişirilmediği için bugünkü PÇ'nun özelliklerine tamamen sahip olamamıştır. Yine de İngiltere Kirkgate İstasyonunun yanındaki halen ayakta olan "Wakefield Arms" binasının Joseph Aspdin'in yaptığı bağlayıcı ile yapıldığı belirlenmiştir. Hammaddelerin yüksek sıcaklıklara kadar pişirilip öğütülmesi olayı daha sonra Isaac Johnson isimli bir İngiliz tarafından gerçekleştirilmiştir [40].

2.4.2. Çimento çeşitleri

Avrupa ülkelerinin çoğunluğu için geçerli olacak çimento standartlarının hazırlanmasına 1973 yılında Avrupa Standardizasyon Komitesi'nin teknik komitesi TC 51 ile başlanmıştır. Çeşitli Avrupa ülkelerinde çok sayıda çimento türünün yerel standartlara uygun olarak kullanılmakta olduğunu dikkate alan komite, genel çimentolar için hazırladığı TS EN 197-1 de [41] çok sayıda çimento türüne yer vermiştir. Doğrudan Türk standardı olarak kabul edilen bu Avrupa standardı da genel amaçlı Türk çimentolarının yerini almıştır.

Yeni genel çimentolar TS EN 197-1’de “CEM Çimentosu” olarak adlandırılır. Buna göre ;

CEM Çimentosu: Hidrolik sertleşmesi öncelikle kalsiyum silikatların hidratasyonu sonucu meydana gelen ve içindeki reaktif CaO ve reaktif SiO₂ toplamının kütlece en az %50 olması gereken çimentodur. Bileşimi Portland çimentosu (PÇ) klinkeri, kalsiyum sülfat ve çeşitli mineral katkılardır. Standarda göre CEM Çimentoları, 27 alt çeşidi kapsayan 5 ana tiptir [38] :

CEM I: Bu grupta klinkerin sadece kalsiyum sülfat ve minör bileşen olarak ağırlıkça en fazla % 0-5 arası mineral katkı ile öğütülmesi sonucunda PÇ elde edilir [38].

CEM II: Bu grupta mineral katkı miktarı % 6-35 arasındadır. Katkı türüne bağlı olarak bu gruptaki çimentolar Portland Cürüflü, Portland Puzolanlı gibi isimler de almaktadır [38].

CEM III: Bu grupta Yüksek Fırın Cürüflü Çimentolar bulunur. Katkı miktarı % 36 – 95 arasındadır [38].

CEM IV: Bu grupta Puzolanik Çimentolar yer alır. Bunlarda cüruf veya kalker katkı maddesi olarak kullanılmaz. Katkı madde oranı puzolan ve uçucu kül katkıları ile birlikte %11-55 arasında değişmektedir [38].

CEM V: Bu grupta kompoze çimentolar bulunur. Bunlara hem cüruf (%18-50) ve hem de puzolan ve uçucu kül (%18-50) miktarı belirlenen sınırlar içerisinde değiştirilerek birlikte katılır, miktarları klinker oranı %20-64 arasında kalacak şekilde ayarlanır. Bunların haricinde gerek klinker üretimi sırasında, gerekse sonradan ilave edilen mineral katkıları sayesinde özel kullanım amaçlı çimentolar da üretilmiştir [38]. Bu sayılan çimentolardan farklı olarak standartta yer almayan özel çimentolarda bulunmaktadır.

Sülfatlara Dayanıklı Çimentolar: Trikalsiyum alüminat miktarı sınırlanmış (maksimum % 5) olarak üretilen klinkerin kalsiyum sülfat ile birlikte öğütülmesi ile elde edilir [38].

Beyaz Portland Çimentosu: Özel nitelikli kil ile kireçtaşının birlikte pişirilmesiyle elde edilen beyaza yakın klinkerin bir miktar kalsiyum sülfat ile birlikte öğütülmesiyle elde edilir [38].

Harç Çimentosu: Dayanım gelişmesi için gerekli PÇ klinkeri içeren ince öğütülmüş hidrolük bağlayıcılarıdır. İlave bileşene ihtiyaç duyulmadan sadece kum ve su karıştırılarak duvar, sıva ve kaplama işlerinde kullanıma uygun harç yapımını sağlar [38].

Yüksek Fırın Cürufu Katkılı, Düşük Erken Dayanımlı Çimentolar: Sınırlandırılmış hidrasyon ısısına sahip, yüksek fırın cürufu katkı ve erken dayanımı düşük olan çimentodur [38].

Çok Düşük Hidrasyon Isılı Özel Çimentolar: Su ile karıştırıldığında hidrasyon reaksiyonları ve prosesler nedeniyle priz alan ve sertleşen bir hamur oluşturan, sertleşme sonrası suyun altında bile dayanımı ve kararlılığını koruyan ve geliştiren, genel çimentoların hidrasyon reaksiyonlarına sahip bir çimentodur [38].

2.4.3. Portland çimentosunun ana bileşenleri

Portland çimentosu (PÇ), çimentolar içinde en yaygın olarak bilinen çimentodur. PÇ, kalkerli ve killi hammaddelerin döner fırında pişirilmesi sonucunda elde edilen klinkere, belirli miktarda (% 4-6) alçı ilave edilerek 0.5 - 80 µm boyutlarında öğütülmesi suretiyle elde edilir. PÇ 4 ana bileşenden oluşur. Bunlar; Trikalsiyum silikat (C₃S), Dikalsiyum silikat (C₂S), Trikalsiyum silikat (C₃A) ve Tetrakalsiyum alüminoferrit (C₄AF)'dir [25]. Bileşenler sırasıyla Alit, Belit, Felit ve Celit ismiyle de tanınır [39]. Bu bileşenlerin PÇ içindeki oranları Çizelge 2.1'de verilmiştir [32].

Çizelge 2.1. Tipik bir PÇ’nda bulunan bileşenlerin oranları [32]

Ana Bileşenler	Miktar (%)	
	C ₃ S	Alit
C ₂ S	Belit	16.6
C ₃ A	Felit	10.8
C ₄ AF	Celit	9.1

PÇ’nin ana bileşenlerine karma oksit adı da verilir. Çimentonun ana bileşenleri su ile reaksiyona girdiğinde ekzotermik (ısı çıkaran) bir davranış gösterirler. Bu davranış kontrol edilmez ise uygulama bakımından olumsuz sonuçlara sebep olur.

C₃S : Hızla sertleşir, erken yaşlardaki dayanımına ve priz başlangıcına etki eder. Çimentoda bulunan C₃S yüzdesi arttıkça, çimentonun erken yaşlardaki dayanımı giderek yükselir ve yüksek ısı çıkarır (Çizelge 2.2).

C₂S : C₃S’in tersine bir davranış gösterir. Yani sertleşme hızı yavaştır, sonraki veya geç dayanımlar üzerinde etkilidir (Çizelge 2.3).

C₃A : Hızla katılaşmaya sebep olur. C₃A miktarı fazla olan çimentolar sülfata daha az dayanıklıdır. Hidratasyon ısısı çok yüksektir (Çizelge 2.2 – Çizelge 2.3). C₃A’nın prizi çimentoya katılan alçı vasıtası ile ayarlanır.

C₄AF : Reaksiyon hızı orta düzeydedir (Çizelge 2.3). Dayanım üzerindeki etkisi azdır [32].

Çizelge 2.2. PÇ ana bileşenlerinin hidratasyon ısıları [32]

Ana bileşen	İlk 48 saatte çıkan hidratasyon ısısı (cal/g)	Toplam Hidratasyon ısısı (cal/g)
C ₃ S	100	120
C ₂ S	10	62
C ₃ A	150	207
C ₄ AF	40	100

Çizelge 2.3. PÇ ana bileşenlerinin özellikleri [32]

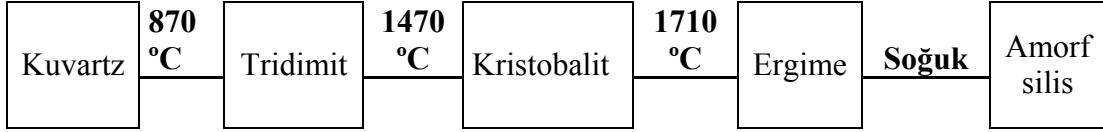
Çimento özelliği	Ana bileşenler			
	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
Reaksiyon hızı	Orta	Yavaş	Hızlı	Orta
Hidratasyon ısısı	Orta	Az	Çok	Orta
Erken yaşlardaki dayanım	Yüksek	Düşük	Düşük	Düşük
İleri yaşlardaki dayanım	Yüksek	Yüksek	Düşük	Düşük

2.4.4. Portland çimentosundaki oksitler ve özellikleri

Çimentodaki başlıca oksitler; kireç, silis, alüminyum ve demir oksit'tir.

CaO : Kireç, kalsiyum karbonatın yaklaşık 900 °C'nin üzerinde pişirilmesi ile elde edilir. Rengi beyaz, yapısı amorfür. 1690 °C'de buharlaşmaya, 2570 °C' ergimeye ve 2850 °C'de ise kaynamaya başlar. Kireç, baz bir malzemedir, silis ve alümin ile birleşebilir. Bağlayıcı maddenin en önemli elementidir. PÇ'nun yaklaşık % 60'ını meydana getirir. Silis ve alümin ile pişirilerek, silikatları ve alüminatları oluşturur. Bu silikat ve alüminatlar çimentonun bağlayıcılık özelliğini sağlarlar. Kirecin, bunların dışında çimentoda bulunması çeşitli zararlara neden olur [32].

Silis (SiO₂) : Tabiatta dört çeşit silis bulunur. Bunlar; kuvartz (quartz), tridimit (tridymite), kristobalit (cristobalite) ve amorf silis (fulgurite)'dir. Tabiatta bulunan silis'in sıcaklık etkisi ile dönüşümü Şekil 2.2'de verilmiştir.



Şekil 2.2. Silis'in sıcaklık etkisi ile oluşan çeşitleri

Silis bütün çimentolarda belirli oranlarda bulunur. Bu oran % 20 – 25 arasında değişir [32].

Alümin (Al₂O₃) : Doğada alümin renksiz korendon (corendon) olarak bulunur. Alümin saf ise saydam olur, içinde yabancı maddeler var ise mavimsi veya grimsi bir renk alır. Kıymetli bazı taşlar aslında korendon'dur. Örneğin yakut (saphir) içinde Fe₂O₃ ve titan oksit olan bir korendon'dur. Laboratuarda üretilen alümin ise, beyaz toz halinde olur. Korendon'un yoğunluğu 3,9 – 4,0 aralığındadır. Alümin 2000 °C dolayında erir. PÇ'lerde % 4 – 7 arasında bulunur. Alüminli çimentoda bu oran % 40 dolayındadır [32].

Demir Oksit (Fe₂O₃) : Çimentoda az miktarda bulunan maddelerden birisidir. Yapısı kristaldir ve çimentoya gri rengini verir. Bu yüzden beyaz çimentolarda bulunmaz. Fe₂ O₃ alümininden daha fazla ergime özelliğine sahiptir. Eş.2.1.'de verildiği gibi gösterilir.



Şeklinde ifade edilir [32].

Diğer Maddeler : Çimentolarda az miktarda da olsa MgO, Na₂O (Sodyum oksit) ve K₂O (Potasyum oksit) bulunmaktadır. Na₂O ve K₂O çimentonun alkali oksitleridir. Bu maddeler çimento içinde az miktarda olmasına rağmen, çimento özellikleri üzerinde yüksek etkileri vardır. Bunların belirli bir değeri aşması çimentoyu olumsuz etkilediğinden, çimento standartlarında maksimum sınırları belirtilmiştir [32].

2.4.5. Portland çimentosunun tarihi esere olası zararları

Tarihi yapılar aslına uygun malzeme ve elemanlar kullanılarak restore edildikleri zaman tarihi değerlerini korumak mümkün olmaktadır [20]. Tarihi eserlerin onarım çalışmalarında bağlayıcı olarak çimento kullanılmamasının sebepleri şöyle özetlenebilir:

- a. Eski ve yeni harçlar arasındaki renk ile doku farkı oluşur.
- b. PÇ yüksek basınç dayanımına sahip bir malzemedir. Yapı hareketleri sonucunda, çimento harcı üzerine gelen gerilmeyi, eski yapı malzemelerine ileterek onun yıpranmasına sebep olabilir.
- c. PÇ harç ve betonların termal genişleme katsayıları tarihi eserde kullanılan kireç harcı sıcaklık katsayısı ile uyumlu olmayabilir. Sıcaklık farkları dolayısı ile genişen yeni harç, uyum olmadığından dolyı eski malzeme üzerinde farklı bir basınç oluşturarak, tarihi eserin zarar görmesine neden olabilir.
- d. Çimentonun fırınlanması sırasında oluşan sodyum ile potasyum oksitler, kendi başlarına ve/veya toprak kaynaklı kimyasal tuzlarla reaksiyona girip suda çözünür karbonatları oluşturur ve duvar bölgesine fazladan suyun girmesine sebep olurlar. Ayrıca klorür, sodyum, potasyum sülfat ile nitrat oluşumuna da neden olurlar. Alınan tuzlar, malzeme bünyesine giren suyun kuruyup buharlaşması ile yüzeyde de çiçeklenme şeklinde görülen yüzey erozyonuna neden olarak, taş bozulmalarını hızlandırır.
- e. PÇ harçlarının porozitesi oldukça düşüktür. Bunun ilk bakışta faydalı olduğu düşünülse de aslında yapıya zararlıdır. Suyun buharlaşmasına izin vermeyen bu boşluklar, aynı zamanda malzemenin nefes almasını da engellemiş olurlar. Bu olaya bağlı olarak da, harç yapısında iç yoğuşmalar meydana gelir [22].

2.5. Agregas

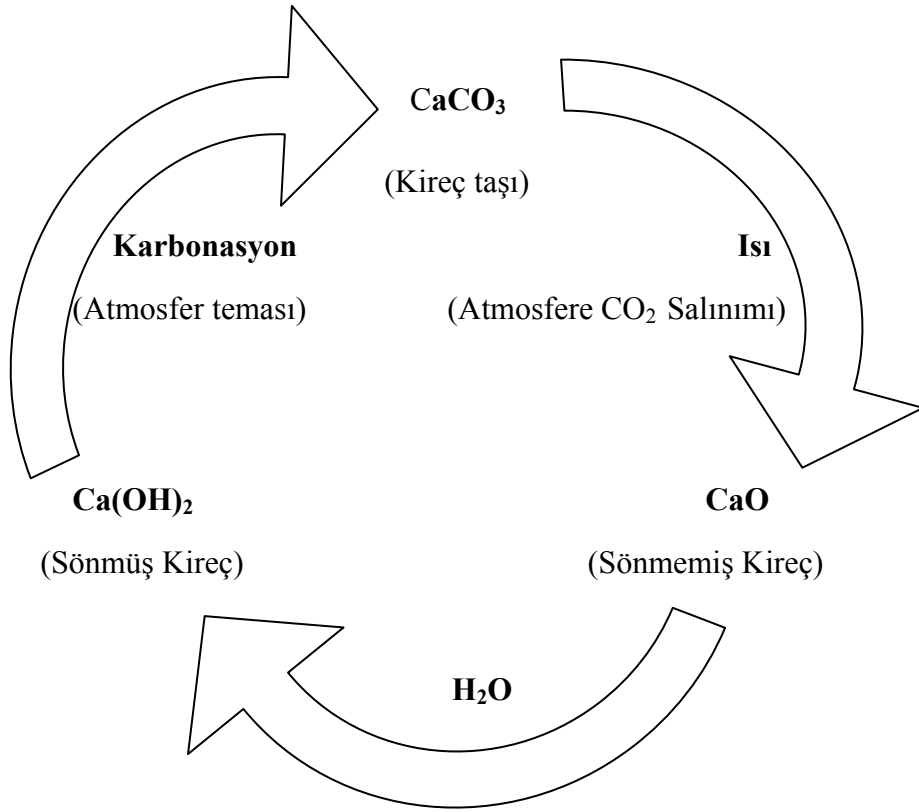
Mineral kökenli taneli malzemeye agrega denir [28]. ASTM D8'e göre agrega; "Harç veya beton oluşturmak amacıyla bir baēlayıcı madde ile veya temel tabakaları, demiryolu balastlarında, vb. işlerde tek başına kullanılan kum, çakıl, cüruf ya da kırma taş gibi mineral kompozisyonlu granüler (taneli) bir malzemedir" [42]. Fiziksel olarak doēal ve yapay agregalar olmak üzere iki grupta incelenirler. Denizlerden ve nehirlerden çıkarılan agregalar doēal agrega, konkasör kırıcı v.b. makine veya aletlerle işlenen agregalar ile endüstriyel atıklardan elde edilen agregalar ise yapay agrega adını alırlar [43].

Agregalar; 63 mm ile 4 mm arası çakıl, 4 mm ile 63 μ arası kum, 63 μ ile 2 μ silt, 2 μ 'dan küçük agregalar ise kil adını alır [43]. Agregalar imento ile genellikle kimyasal etkileşime girmezler. Çimento hamuru ile agrega arasındaki baēlantı fiziksel ve mekanik karakterlidir [28]. Agregalar, kireç ile reaksiyona girmeyen (etkisiz) ve kireç ile reaksiyona giren (puzolan) agregalar olarak sınıflandırılabilir. Etkisiz agregalar; taş ocaēı, dere ve denizlerden elde edilen agregalardır. Puzolanik agregalar ise, kireç ile reaksiyona girerek harç ve sıvaların nemli ortamlarda hatta su altında da sertleşmesini saēlayan amorf silikatlar ve alminatlardan oluşan agregalardır [25].

İyi nitelikte bir agrega temiz, sert ve saēlam olmalı, suyun etkisi ile yumuşamamalı, daēılmamalı, imento bileşenleri ile zararlı bileşikler meydana getirmemeli ve donatının korozyona karşı korunmasını tehlikeye düşürmemelidir [44].

2.6. Kireç

Yapı malzemesi olan kireç en eski baēlayıcıdır. İlk olarak neolitik aēda M.Ö. 1700 yıllarında Miken ile Minos uygarlıklarında kireçten elde edilen sıvalara rastlanılmaktadır. Mısırlılar ise M.Ö. 300'lerde kireci kullanmışlardır. Kireç, CaCO_3 'ın yani kireçtaşının $900\text{ }^\circ\text{C}$ 'nin üzerinde pişirilmesi yoluyla kalsiyum oksit (CaO) yani sönmemiş kireç elde edilir. CaO su ile karıştırılarak söndürülür ve sönmüş kireç yani kalsiyum hidroksit (Ca(OH)_2) elde edilir [45]. Bu durum Şekil 2.3' de gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Kireç döngüsü

Harç sıvaların sertleşmesi bu döngüde görüldüğü gibi, kirecin havada bulunan karbondioksit (CO₂) ile karbonatlaşması sonucu gerçekleşmektedir. Karbonatlaşma, gaz – sıvı – katı reaksiyonu ile açıklanabilir. Gaz halindeki CO₂, kirecin yüzeyindeki veya gözeneklerindeki yoğuşmuş su içinde çözünür. Bu çözünmede, hidrojen iyonu (H⁺), bikarbonat (HCO₃⁻) ve karbonat (CO₃⁻²) iyonları oluşarak su asidik hale gelir. Oluşan asidik suda Ca(OH)₂ çözünerek kalsiyum (Ca⁺²) iyonları oluşur. Ca⁺² iyonları ile CO₃⁼ iyonları ile birleşerek CaCO₃ oluşturur [10].

Kireç, çimentoya göre daha iyi deformasyon yapma yeteneğine sahip olması dolayısıyla ortaya çıkabilecek mekanik gerilmeleri karşılayabilmekte ve diğer malzemelerle iyi bir uyum sağlayabilmektedir. Eski kireç harcı yapımında kullanılan tuğla agregalarının birim hacim ağırlıklarının düşük olması yapıya aynı zamanda bir hafiflik de getirmektedir. Malzemenin hafiflik ve uygun deformasyon yapma yeteneği dolayısıyla tarihi yapılar, oluşabilecek hareketleri daha iyi karşılayabilmektedir [11].

Aderansı kuvvetli ve hidrolik bir harç olan ayrıca uzun yıllar çeşitli bölgelerde kullanılan Horasan harcının çekme gerilmesinin yüksek olmasından dolayı sarsıntılarda çatlammakta, bu yüklere daha iyi bir performans göstermektedir. Özellikle plastikliği ve aderansı açısından iç ve dış sıvada kullanılan hidrolik kireç harçları çok etkili ve iyi sonuçlar vermektedir. Farklı yüzeylerle kolaylıkla adapte olabilen bu kireçler özellikle anıtsal yapıların restorasyon çalışmalarında, bu yapılarda kullanılmış orijinal harç ve sıva malzemeleriyle daha uyumlu olabileceğinden kullanılmaları daha uygun bir malzemedir. Ayrıca esnekliği ve elastikliği açısından eski ve yeni tüm yapılarda meydana gelebilecek hareketleri ve oluşabilecek çatlakları da iyi tolere edebilmektedir [11]. Kirecin karakteristik özellikleri Çizelge 2.4’de verilmiştir.

Çizelge 2.4. Kirecin özellikleri [46]

Kirecin türleri	Tipik renkleri	Genleşme	Sönme zamanı- Hidratasyon	Suda katılma zamanı	Aktif kil maddesi
Yağlı Kireç (Saf yada yüksek Ca'lı)	Beyaz	Hayli çok	Çok hızlı	Katılaşmaz	< % 6 (tipik ol. <%2)
Yağsız Kireç	Beyaz Beyazımsı	Geniş	Hızlı	Katılaşmaz	< % 12 (tipik ol. <%6)
Magnezyumlu (Dolomitik)	Beyaz Beyazımsı	Zayıf - Önemsiz	Çok yavaş	Katılaşmaz	Tipik olarak <%10
Zayıf Dayanımlı Hidrolik Kireç	Beyazımsı Açık gri	Önemsiz	Yavaş	< 20 gün	<%12
Orta Dayanımlı Hidrolik Kireç	Açık gri Açık Sarı	Önemsiz	Yavaş	15 – 20 gün	<%12-18
Yüksek Dayanımlı Hidrolik Kireç	Gri, koyu gri	Önemsiz	Çok yavaş	2 – 4 gün	<%18-25

Kireçler özellikleri bakımından iki başlık altında incelenirler:

- a. Hidrolik olmayan kireçler (Havada sertleşebilen kireçler),
- b. Hidrolik olan kireçler (Suda sertleşen kireçler) [47].

Kalker, dolomit, kalsit, mermer tozu, manyezit, tebeşir gibi doğada bulunan taşların kırılarak fırınlarda pişirilmesi sonucu hava kireci elde edilir [45]. Dolomit taşlarının (CaCO_3 ve MgCO_3) sinterleşme sınırının altında pişirildikten sonra su veya buhar altında söndürülüp (içerdiği magnezyum miktarına göre çok ya da az şiddetli olarak söner) CO_2 olarak yalnız havada (su altında değil) sertleşen maddeye “dolomit kireci” denir. % 80’den yukarı CaCO_3 içeren kireçtaşları sinterleşme (erimeye yakın) sınırının altında pişirildikten sonra, su veya buhar altında söndürülüp CO_2 olarak yalnız havada (su altında değil) sertleşen maddeye “beyaz kireç “ denir [45].

Kireç, kireçtaşının fırınlarda 900 °C civarındaki sıcaklıklarda kalsine edilmesi ile elde edilmektedir.



Bu şekilde elde edilen kireç “sönmemiş kireç” adını alır. Sönmemiş kireç su ile reaksiyona girerse sönmüş kireç elde edilir.



Sönmemiş kireç suya karşı oldukça aktiftir. Sönmemiş kirecin ve sönmüş kirecin özellikleri sırasıyla Çizelge 2.5 ve Çizelge 2.6’da verilmiştir.

Çizelge 2.5. Sönmemiş kirecin özellikleri [45]

Bileşim ve Oranlar (Ağırlıkça %)	Kalsiyum Kireci			Dolomit	
	KK 90	KK80	KK70	DK 85	DK80
CaO, en az	90	80	70	85	80
MgO	≤5	≤5	≤5	≥30	>5
CO ₂ , en çok	4	7	12	7	7
Asitte çözünmeyen maddeler SiO ₂ dahil, en çok	2	2	2	2	2
Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ , TiO ₂ , metaloksitleri, en çok	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
SO ₃ , en çok	2	2	2	2	2

Çizelge 2.6. Sönmüş kirecin özellikleri [45]

Bileşim ve Oranlar (Ağırlıkça %)	Kalsiyum Kireci			Dolomit	
	KK 90	KK80	KK70	DK 85	DK80
CaO, en az	90	80	70	85	80
MgO	≤5	≤5	≤5	≥30	>5
CO ₂ , en çok	4	7	12	7	7
Asitte çözünmeyen maddeler SiO ₂ dahil, en çok	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ , TiO ₂ , metaloksitleri, en çok	1	1	1	1	1
SO ₃ , en çok	2	2	2	2	2

CaO veya CaO+MgO suyla karıştırılarak söndürülünce Ca(OH)_2 veya CaMg(OH)_4 ortaya çıkmaktadır; bunlar sönmüş kireçtir ve kireç olarak kullanılmaktadır. Sönmemiş kireç suyla reaksiyona girdiğinde ısı açığa çıkmakta ve önceleri çok hızlı yükselen sıcaklık sönmenin sonlarına doğru sabitleşmektedir. Bu ısı, kireç taneciklerinde büyük termal iç gerilimlere neden olarak sönmemiş kirecin tozlaşmaya kadar parçalanmasına yol açmaktadır. Sönme işlemi devam ederken su buharı oluşmakta ve hafif bir ses meydana gelmektedir. Sönme olayı CaO'nun pişme biçimine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Sönmemiş kireç fırın üretim şartlarına, fırın sıcaklığına ve fırında kalma süresine bağlı olarak yumuşak pişmiş, sert pişmiş ve çok sert pişmiş olarak isimler almaktadır [48].

Sönmemiş kireç (CaO veya CaO+MgO), kaba bloklar halinde veya öğütölmüş olarak piyasaya sürülebilmektedir, fakat suya karşı çok hassas oldukları için korunması zor ve paketlenmesi pahalıdır. Sadece kısa sürede kullanılacak sönmemiş kireçler ham haliyle tutulmakta ve piyasaya az miktarda sürülmektedir. Asıl yaygın kullanım tarzı, kireci söndürüp bazı teknik işlemlerle suyunu yarım moleküle kadar indirdikten sonra, öğütüp paketleyip piyasaya sunmaktır. Kullanıcılar torba kireci söndürme işlemi yapmaksızın suyla karıştırıp doğrudan kireç elde etmektedir. Sönmüş kalsiyum kireci, kalsiyum hidrattır (Ca(OH)_2).

Sönmüş dolomit kireci ise, kalsiyum/magnezyum hidrattır (CaMg(OH)_4). Her iki kirecin kurutulması ile sönmüş toz kireç elde edilmektedir [48]. Marnlı (başlıca silis, alüminyum, demir oksit içeren) kireç taşlarının sinterleşme sınırının altında pişirildikten sonra, su veya buharla (hava kirecinden daha az süratle dağılır) veya öğütme suretiyle toz haline getirilen ve su ile karıştırıldıktan sonra muayyen zaman zarfında havada ve su altında sertleşen maddeye su kireci denir. Su kirecinin gri veya kahverengiye kaçan açık sarı rengi vardır. Sönmüş kirecin en önemli özelliği yüzey alanıdır. Yüzey alanı kireçlerin aktivite tayini açısından en güvenilir ölçülerden birisidir. Kirecin m^2/g cinsinden ölçülen alanı ne kadar büyükse aktivitesi de o kadar fazla olmaktadır. Yüzey alanı büyük olan kirecin çökme hızı, plastisite, emme kapasitesi vb. fiziksel özellikleri oldukça iyidir. Çizelge 2.7'de söndürme şartlarının sönmüş kireç yüzey alanına etkisi verilmiştir [45].

Çizelge 2.7. Söndürme şartlarının sönmüş kireç yüzey alanına etkisi [45]

Söndürme Şekli	Yüzey alanı (m ² /g)
Soğukta söndürme (5 °C)	6.67
Buharla söndürme (113 °C)	8.05
Şeker-su karışımı ile söndürme	37-46
Etanol-su karışımı ile söndürme	36-46

Su kireçleri, hidrolik özellikleri nedeniyle, su basmanlar, temeller, döşemeler, mahzenler gibi nemli olan her yerde kullanıldığında büyük avantajlar sunmaktadır. Ayrıca hava sirkülasyonunun az olduğu yerlerde tercih sebebidir [11].

Kireçler ticari olarak, kraft kâğıdından veya yüksek yoğunluktaki polietilenden yapılan torbalar içine 25 kg olacak şekilde doldurularak piyasada satışa sunulmaktadır [48].

2.7. Horasan Harcı İle İlgili Önceki Çalışmalar

Horasan harçlarının bileşimlerine giren bütün malzemelerin karışım miktarları, bağlayıcı (kireç) / agrega (tuğla veya kiremit tozu ve parçaları) oranları zamanla unutulmuştur [11].

Horasan harcı ile ilgili her dönemde önerilen karışım oranları ve malzemeleri bulunmaktadır. Tarihten günümüze kadar olan süreçte araştırmacılar ve sundukları önerileri sıralamak gerekirse;

Vitruvius, Napoli Pompei civarındaki Puzzuoli kasabasındaki toprağın hidrolik özelliğini vurgulamaktadır. Romalı yazar, kum ve kireçten oluşan harca 1/3 oranında öğütülmüş ve elenmiş pişmiş toprak veya tuğla katıldığı zaman, daha iyi bir harç elde edilebileceğini belirtmektedir [15]. Rodos, Venedik ve Girit'teki bazı Bizans ve daha geç dönem yapıları ile İstanbul'da Ayasofya'da kullanılan Horasan harçlarındaki kireç / tuğla tozu (TT) oranlarının 1:4 ile 1:2 arasında değiştiği saptanmıştır [10].

14. Yy.'dan kalma Bursa'da bulunan Ördekli Hamamı'nda ise; Horasan harç ve sıvalarında kireç / tuğla kırıkları oranının 1:1 ile 1:2 arasında değiştiği saptanmıştır [10].

Eriç, Horasan harçlarını üç grupta incelemektedir [49]. Bunlar sırasıyla aşağıda verilmiştir:

1. Geleneksel Horasan harcı

- a) Dinlendirilmiş kireç + Yumurta akı + Horasan pirinci + Su
- b) 1 Kireç kaymağı + 1 Yıkanmış kavrulmuş kum + ½ Alçı + Su
- c) 2 Kireç + 1 Kil + Bir miktar dişli kum + Bir miktar meşe külü + Su

2. Kum Horasan harcı

- a) Dövülmüş kireç + Yumurta akı + Kum + Horasan pirinci + Su

3. Lökün

- a) Dövme kireç + Üç ay suda çürütülmüş pamuk + Su
- b) Dövme kireç + Zeytinyağı + Keten elyafı + Su
- c) Dövme kireç + Kızgın zeytinyağı + Koyun yünü elyafı + Su

Penelis, Selanik'teki Bizans yapılarında kullanılan harçların karışım oranları ile bazı özelliklerini incelemiştir. Harç karışımında kullanılan malzeme oranları Çizelge 2.8.'de verilmiştir. Deney sonuçlarına göre en yüksek eğilme ve basınç dayanımları ile dinamik elastisite modülü değerleri sırasıyla K4, K3 ve K8 harçlarında; en düşük eğilme ve basınç dayanımları ile dinamik elastisite modülü değerleri ise sırasıyla K19, K18 ve K1 harçlarında elde edilmiştir [22].

Çizelge 2.8. Penelis'in Bizans yapılarındaki bulguları [22]

Puzolan Katkısı	Harç Tipi	Ağırlığa göre Karışım Oranları						Su (kg)	Yoğunluk kg / dm ³
		Kireç	Puzolan	Kum		Tuğla Kırıntısı			
				Mak boyut (mm)		Mak boyut (mm)			
				2	6	2	6		
Santorin	K1	1	1	6	-	-	-	2.24	1.86
	K2	1	1	3	-	3	-	2.70	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	2.20	1.84
	K7	1	1	-	5	-	1	1.97	1.90
	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

Yine Penelis, Selanik'te bulunan 400 yıllık Osmanlılara ait bir tarihi eserde kullanılan harç üzerinde yapılan tahribatlı ve tahribatsız deneyler sonucunda harcın eğilme ve basınç dayanımları ile dinamik elastisite modülü değerlerini sırasıyla 0.36 MPa, 1.28 MPa ve 1150 MPa olarak belirlemiştir [22].

Diğer bir çalışmada, Horasan harç karışım oranları belirlenmiş ve bu oranlar Çizelge 2.9'da verilmiştir. Üretilen bu harcın 28 günlük eğilme ve basınç dayanımları ile elastisite modülleri sırasıyla 0.31 MPa, 1.10 MPa ve 1849 MPa olarak elde edilmiştir [22].

Çizelge 2.9. Karaveziroğlu'na göre harç numunelerinin karışım oranları [22]

Kireç	Puzolan	Tuğla Kırıntısı	Kum	Su
1	1	3	3	1.87

Baronio, Binda ve diğerlerine göre [10], Sıcaklık Horasan harcı için çok önemli bir faktördür. Bu nedenle karışım oranından ziyade kil sıcaklığına bakılmalıdır. Tuğla ve bunun gibi malzemeler, kil, kuvars ve feldspat minerallerinin karışımlarından oluşmaktadır. Bu karışım 600 °C ile 900 °C sıcaklıkta pişirilirse, killer sıcaklık derecelerine ve sahip oldukları mineralojik yapıya bağlı olarak değişik puzolanik yapıya sahip olmaktadır. Lee ve diğerlerine göre ise [10], bu sıcaklıklarda kil minerallerinin yapısı bozulmakta ve amorf alümina silikatlar oluşmaktadır. Bundan dolayı kalsine edilen killer puzolan özelliğine sahip olmaktadır. Kalsinasyon sıcaklığı 900 °C üzerinde olması durumunda mullit kristobalit v.b. kararlı minerallerin oluşması sonucu bu özellik kaybolmaktadır.

Pusat'ın yaptığı çalışmada [22], on farklı Horasan harcı karışımı belirlenmiştir. Bu karışım oranları Çizelge 2.10'da verilmiştir.

Çizelge 2.10. Pusat'a göre Horasan harcı karışım oranları [22]

Harç tipi	Su	Kireç	Standart kum	Pişmiş toprak kırıntısı	Yüksek fırın curufu	Pişmiş toprak tozu
A	0.76	1	3			
B	1.4	1		3		
C 10	0.76	0.9	3		0.1	
C 20	0.76	0.8	3		0.2	
C 30	0.76	0.7	3		0.3	
C 40	0.76	0.6	3		0.4	
D 10	0.76	0.9	3			0.1
D 20	0.76	0.8	3			0.2
D 30	0.76	0.7	3			0.3
D 40	0.76	0.6	3			0.4

Çizelge 2.10'daki harçların, 90 günlük eğilme dayanımları sırası ile; 0.3 MPa, 0.5 MPa, 0.3 MPa, 0.3 MPa, 0.4 MPa, 0.4 MPa, 0.2 MPa, 0.2 MPa, 0.1 MPa, 0.2 MPa olarak tespit edilmiştir. Aynı harçların 90 günlük basınç dayanımları ise sırayla; 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 [22].

Akbulut yaptığı çalışmada [8]; beşi lifsiz harç ve beşi lifli harç olmak üzere, agregası olarak silis esaslı kumun kullandığı on adet Horasan harcı ile beşi lifsiz harç ve beşi lifli harç olmak üzere, agregası olarak tuğla pirincinin kullandığı on adet Horasan harcı üretmiştir. Toplam yirmi adet üretilen Horasan harcı karışım oranları Çizelge 2.11' de gösterilmiştir.

Çizelge 2.11. Akbulut'a göre Horasan harcı karışım oranları [8]

Harç	Kodu	Malzeme Oranları (ağırlıkça)					
		Agrega	Kireç	Yüksek fırın curufu	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 kırığı 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, kullandığı lifli harç çalışmalarında, eğilme dayanımını artırmak ve rötreyi azaltmak amacı ile % 0.1 oranında, ticari kodu M12 olan 12 mm uzunluğunda ve 18 µ çapında polipropilen lif kullanmıştır. Üretilen harçlara 7 ve 28 gün laboratuvar şartlarında olmak üzere 2 kür süresi ile 365 gün laboratuvar şartlarında ve 365 gün atmosfer şartlarında olmak üzere toplam 4 kür süresi uygulamıştır. Bu çalışma sonucunda;

- * Horasan harcına puzolan katılmasının, eğilme ve basınç dayanımlarını arttırdığı,
- * Puzolan katkılı harca lif katılmasının, harcın mekanik özelliklerini arttırdığı fakat tuğla pirinci ile üretilen Horasan harçlarının mekanik özelliklerini azalttığı,
- * Lifin rötreyi azalttığı,
- * Atmosfer ve laboratuvar şartlarında küre tabi tutulan Horasan harçlarının, mekanik özelliklerinin çeşitlilik arz ettiği sonuçlarına ulaşmıştır.

Böke ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada; bazı Osmanlı hamamlarında kullanılan harç ve sıvalar incelenmiştir. Bu amaçla harç ve sıva numuneleri üzerinde XRD, SEM-EDS, AFM, TGA ve kimyasal analizleri yapılmış ve bu yapılarda kullanılan harçların hammadde bileşimleri, morfolojileri, puzolanitesi ile mineralojik yapıları belirlenmiştir. İncelenen harçlarda, TT, tuğla parçaları (pirinçleri) ve kireç'e rastlanılmıştır. TT'nin yüksek puzolaniteye sahip oldukları gözlenmiş ve harçlarda kullanılan kireç / tuğla agregasının ağırlıkça 1:3 olduğu sonucuna varılmıştır [50].

Özkaya ve Böke yaptıkları çalışmada; Roma dönemine ait İzmir Bergama'da bulunan, Serapis tapınağında kullanılan harcın fiziksel ve mekanik özelliklerini incelenmişlerdir. Serapis tapınağının yapımında kullanılan harçların içinde iri ve ince agregaların olduğu tespit edilmiştir. İncelenen harçlarda agrega ve kireç oranının ağırlıkça 1:4 oranında olduğu bulunmuştur. Harçlarda bulunan kireç ve agreganın ise çok güçlü ve sıkı bir bağ ile birbirlerine yapıştıkları sonucuna varılmıştır [51].

Uğurlu ve Bökenin yaptığı çalışmada ise; bazı Osmanlı hamamları incelenmiş ve incelenen bütün yapılarda kireç ve tuğla agregalarına rastlanılmıştır. Agregada olarak tuğla kullanılan sıvaların amorf yapıya sahip olduğu, iyi bir puzolanik özellik gösterdiği ve kullanılan toprağın kilce zengin olduğu sonuçlarına ulaşılmıştır [52].

Günümüzde tarihi yapıların korunmasının hangi düzeyde olduğu, hangi karışımların tarihi eserlere uygulandığı sorularının cevabını ise, Başbakanlığa bağlı olarak tarihi eserlerin kayıtlarını tutan, restorasyonu yapan ve bu eserlerin gelecek nesillere ulaştırmayı hedefleyen Vakıflar Genel Müdürlüğü vermektedir. Bayındırlık Bakanlığının 1999 yılında yaptırdığı Birim Fiyatlar kitabında sıva ve harç oranlarını şöyle belirlemiştir [53];

Çizelge 2.12. Birim Fiyat Kitabına göre V.0118 poz numaralı Horasan harcı yapılması [53]

Poz No	Cinsi	Birimi	Miktarı
04.018/A	Tuğla Pirinci	Adet	1.150
08.321	Kireç	m ³	0.600
04.031	Su	m ³	0.200

Çizelge 2.13. Birim Fiyat Kitabına göre V.0131 poz numaralı Horasan sıva harcı (Üst tabaka) [53]

Poz No	Cinsi	Birimi	Miktarı
08.321	Kireç Hamuru	m ³	0.700
04.405	Taş Pirinci	m ³	0.325
04.406	Taş Tozu	m ³	0.325
04.007	İnce Kum	m ³	0.300
04.458/B	Alçı	Kg	0.150
04.031	Su	m ³	0.180
04.459	Kıtlık	Kg	2.000

Çizelge 2.14. Birim Fiyat Kitabına göre V.0130 poz numaralı Horasan sıva harcı
(Alt tabaka ve dolgu için) [53]

Poz No	Cinsi	Birimi	Miktarı
04.018/D	Tuğla (%50 toz, %50 pirinç)	Adet	700.00
04.405	Taş Pirinci	m ³	0.150
04.406	Taş Tozu	m ³	0.150
04.407	İnce Kum	m ³	0.300
08.321	Kireç Hamuru	m ³	0.700
04.459	Kıtık	Kg	8.000
04.031	Su	m ³	0.250

Çizelge 2.15. Birim Fiyat Kitabına göre V.0128 poz numaralı Horasan derz harcı
hazırlanması (TT) [53]

Poz No	Cinsi	Birimi	Miktarı
04.007	İnce Kum	m ³	0.650
08.321	Kireç Hamuru	m ³	0.700
04.018/D	Tuğla (% 50 toz, %50 pirinç)	Adet	526.00
04.031	Su	m ³	0.180

Çizelge 2.16. Birim Fiyat Kitabına göre V.0129 poz numaralı Horasan duvar
harcı [53]

Poz No	Cinsi	Birimi	Miktarı
04.007	İnce Kum	m ³	0.600
04.018/D	Tuğla Pirinci	Adet	350.00
04.405	Taş Pirinci	m ³	0.100
04.406	Taş Tozu	m ³	0.100
08.321	Kireç Hamuru	m ³	0.700
04.031	Su	m ³	0.180

Çizelge 2.17. Birim Fiyat Kitabına göre V.0127 poz numaralı Horasan derz harcı hazırlanması (Taş tozlu) [53]

Poz No	Cinsi	Birimi	Miktarı
04.007	İnce Kum	m ³	0.650
04.405	Taş Pirinci	m ³	0.225
04.406	Taş Tozu	m ³	0.225
08.321	Kireç Hamuru	m ³	0.700
04.031	Su	m ³	0.180

Bayındırlık Bakanlığının önerdiği bu karışım oranları içerisinde çimento yer almamaktadır. Bununla birlikte aynı kitabın birim fiyat ödemeleri baz alınarak işçilere ödenen ücretler bölümünde 300 kg çimento takviyeli kireçli Horasan harcından söz edilmektedir. Bu durum bize göre büyük bir çelişkiyi ifade etmektedir.

Bayındırlık Bakanlığının bağlayıcı malzeme ile beraber; V.0118 poz numaralı [Çizelge 2.12.] harç karışımında TT kullanması, V.0127 poz numaralı [Çizelge 2.13.] harç karışımında TP – taş tozu – taş pirinci kullanması, V.0128 poz numaralı [Çizelge 2.14.] harç karışımında ince kum – TT – TP kullanması, V.0129 poz numaralı [Çizelge 2.15.] harç karışımında TP – taş pirinci – taş tozu kullanması, V.130 poz numaralı [Çizelge 2.16.] sıva karışımında TT – TP – taş pirinci – taş tozu kullanması, Horasan harcının hangi malzemeler ile daha iyi bir dayanım sağlayacağı sorusunu akla getirmektedir. Yukarıda verilen iddialara benzer olarak, Böke’ ye göre [10] “harçta TP’nin tespit edilmesi”, Eriç ‘e göre [49] “harçta Horasan pirincinin karışımında kullanıldığı”, Akman’a göre [16]“Bazı uygulamalarda harcın içerisine kum katılırken, bazılarında ise nohut büyüklüğünde parçalar halinde tuğla veya tuğla kırıkları gibi seramik malzemelere rastlanır” bilgileri; Horasan harcının en büyük özelliği olan kil ile kirecin birbirine çok iyi bağlanması ve aderansının hangi malzemelerde en iyi sonucu verdiğinin tesbiti ile mümkün olacaktır.

Eriç' e göre [49] “2 Kireç + 1 Kil + Bir miktar Dişli Kum + Bir miktar Meşe Külü + Su” biçiminde Horasan harcı tarifi, Pusat' a göre [22] “İran'da pek çok tarihi eser yapımında kullanılmış olan Horasan harcı, öğütülerek toz haline getirilmiş TT, kireç, saman v.b. lifsel yapıllı malzemeler yumurta akı, su ve kül karışımından oluşturulmuştur. Buradaki uygulamalarda, volkanik kül yerine odun külü (OK) kullanılmıştır” ile “İran'da bugün hala OK, yumurta akı, kireç, TT karışımına su katılmak suretiyle yapılan Horasan harcı niteliğindeki bir çeşit harç, bazı tarihi eserlerin, seramik eşyaların onarımında kullanılmaktadır [22]” iddiaları ise OK'nin harca olan etkisini araştırmaya yöneltmiştir.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Bu çalışmada, Horasan harcı üretiminde kireç, standart (Rilem) kumu, TT ve tuğla pirinci (TP), çimento, odun külü (OK) ve su kullanılmıştır. Horasan harcı içinde kullanılan malzemelere ait özellikler Çizelge 3.1.'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. PÇ Cem I 42.5, TT, OK ve sönmüş kireç 'e ait özellikler

	Kimyasal Kompozisyonlar			
	PÇ 42.5	TT	OK	Sönmüş kireç
Oksit (%)				
CaO	63.00	7.56	25.65	71.08
SiO ₂	19.96	55.25	6.58	0.47
Al ₂ O ₃	5.14	14.92	0.99	0.25
Fe ₂ O ₃	3.35	10.66	0.28	0.04
MgO	1.84	5.09	4.82	1.38
SO ₃	2.83	1.73	0.72	0.12
K ₂ O	0.75	2.23	11.67	0.02
Na ₂ O	0.34	1.83	1.22	-
K.K.	1.78	1.61	31.40	25.88
Ç.K.	0.35	-	-	-
Fiziksel ve Mekanik Özellikler				
Özgül ağırlık	3.17	2.84	2.66	2.74
Özgül yüzey (g/cm ²)	3133	5015	4075	-
40 µ üstü kalan (%)	6.95	39.75	15.90	-
90 µ üstü kalan (%)	0.30	13.47	0.20	-
200 µ üstü kalan(%)	-	0.25	-	-
Standart kıvam (%)	29.3	-	-	-
Priz başlangıcı (dk)	140	-	-	-
Priz sonu (dk)	210	-	-	-
Hacim genleşmesi (mm)	1	-	-	-
Basınç dayanımı (MPa)	2 gün	29.4	-	-
	7 gün	42.4	-	-

3.1.1. Kireç

Deneylede TS EN 459 - 1'e [54] uygun, özgül ağırlığı 2.74 g / cm^3 olan sönmüş kaymak kireci kullanılmıştır. Kaymak kireci, Şahin İnşaat' dan (Ankara) temin edilmiştir.

3.1.2. Standart kum

Deneylede Trakya Set Çimento'dan temin edilen, TS EN 196-1'e [55] uygun "Rilem Cembureau" standart kumu kullanılmıştır. Özgül ağırlığı 2.01 g / cm^3 olarak tespit edilen kumun elek analizi Çizelge 3.2.'de, gronülometri eğrisi ise Şekil 3.1.'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Standart kum elek analizi

Elek no (μ)	Elek üzerinden geçen (%)	Elek üzerinden geçen (g)
2	100.0	1350
1	63.0	848
0.5	32.0	431
0.25	17.4	234
0.125	10.7	144
0.075	0.8	11
Topl. kabı	0.0	0

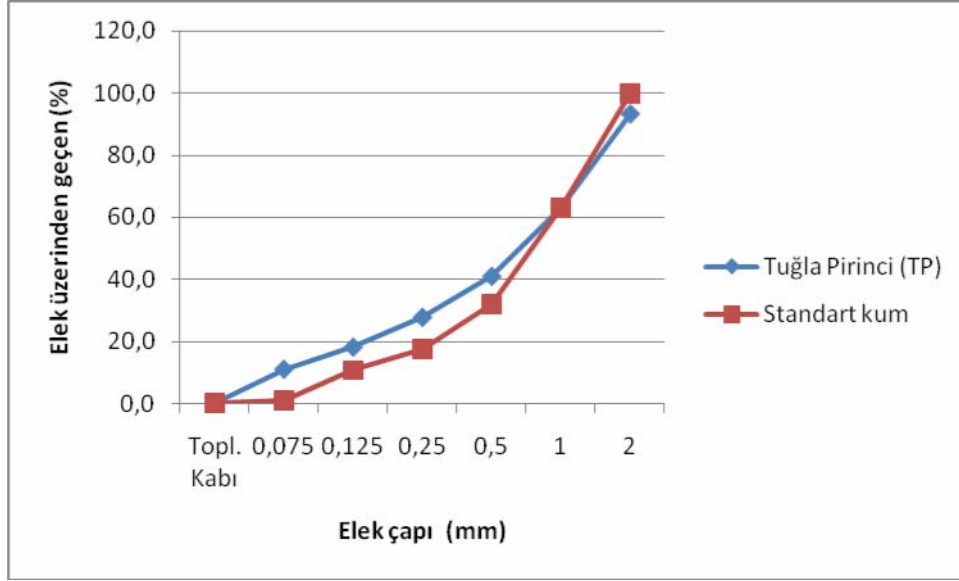
3.1.3. Tuğla tozu ve tuğla pirinci (kumu)

Deneylerde kullanılan TT ve TP Çorlu'da faaliyet gösteren Avrasya Kiremit A.Ş. ' den temin edilmiştir. Avrasya kiremit A.Ş. harçlar ve muhtelif işlerde kullanmak üzere iki çeşit TT ve TP üretimi yapmaktadır. Bunların tane çapları 0 – 2 mm ve 2 – 4 mm olmak üzere iki çeşittir. Deneylerde standart kum ile aynı granülometriye sahip olması gerektiği düşünülerek 0 – 2 mm tane çaplı TP kullanılmıştır. Elde edilen TP yığınının granülometrisi Çizelge 3.3'de çeyrekleme yöntemi ile verilmiştir [44].

Çizelge 3.3. TP granülometri değerleri

Elek No	Elek üzerinden geçen (%)	Elek üzerinden geçen (g)
2	93.1	1427
1	62.7	961
0.5	40.8	626
0.25	27.7	424
0.125	18.1	277
0.075	11.0	168
Topl. Kabı	0.0	0

TP'nin elek analizi sonuçları, standart kumun elek analizi sonuçlarından farklı olduğu ortaya çıkmıştır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Standart kum ile TP'nin granülometri eğrileri

Bağlayıcı malzeme yerine ikame edilecek TT tane çapının, harcın iyi yerleşmesi ve deney sonuçlarının sağlıklı olarak mukayese edilebilmesi için, bağlayıcı malzemelerin çimento inceliğine yakın tane çapına sahip olması gerekmektedir. Bu nedenle dolayı 0 – 2 mm tane çaplı yığın değirmende öğütülmüş ve öğütülen numune 90 mikronluk elek ile eleme yapılmıştır. Elek altında kalan malzeme, Horasan harcı karışımında bağlayıcı yerine ikame edilmiştir.

3.1.4. Çimento

Deneylerde kullanılan çimento Ankara Set Çimento A.Ş. fabrikasından temin edilmiştir. PÇ' ye ait özellikler Çizelge 3.1'de verilmiştir.

3.1.5. Odun külü

Deneylerde kullanılan OK, gürgen odunundan elde edilen küldür. Bu kül, odunun yakılması sureti ile bir pide fırınından temin edilmiştir. OK'nin yoğunluğu 2.66 g / cm³ olarak belirlenmiştir. OK' ye ait özellikler Çizelge 3.1'de verilmiştir.

3.1.6. Su

Deneylerde kullanılan su, Ankara şehir şebeke suyudur. Su herhangi bir işleme tabi tutulmaksızın ve bekletilmeden kullanılmıştır.

3.2. Metot

Tarihi eserlerin varlıklarını korumak bir başka ifade ile onarımlarını yapmak için eser üzerinde ön araştırma yapmak zorunludur. Bu ön araştırmada eserin hangi malzemelerden oluştuğu, eserle ilgili dokümanların gözden geçirilmesi, eserin analizlerinin yapılması, yapılacak işin teknik elemanlar vasıtası ile yapılması deneysel çalışmaların temelini oluşturmaktadır.

Günümüzdeki hammaddelerin kontrolünde kullanılan standartların ve deneylerin tamamını tarihi yapılara uygulamak mümkün değildir. Burada amaç tarihi yapıların kalite kontrolü değil, malzemelerin fiziksel ve kimyasal özelliklerini tespit etmektir. Pratikte de bunu gerçekleştirmek çok zordur. Söz konusu olan tarihi bir eser olduğundan çok sayıda numune almak mümkün olamamaktadır. Yeteri kadar numune alınması durumunda dahi, bu malzemeler zamanla bozulmuş ya da bazı özelliklerini yitirmiş olabilir.

Diğer taraftan; basınç dayanımı, eğilme ve çekme dayanımı gibi mekanik deneyler yapmak, malzeme hakkında istediğimiz bilgiyi vermediği gibi, yanlış bir kaniya sebep olabilir. Bundan dolayı bu tip çalışmalarda malzemenin fiziksel ve kimyasal özellikleri ön plana çıkmaktadır.

3.2.1. Harç numunelerin hazırlanması

Granülometrisi, Şekil 2.2'de verilen tuğla yığını etüv'e konulmuş ve $+105 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5 \text{ }^{\circ}$ de 24 saat kurutulmuştur. Bünyesindeki nemi kaybeden yığın, bağlayıcı malzeme yerine ikame edileceği için (TT) TS-EN 196 – 1' e [55] göre harç hazırlama işlemine başlanmıştır. Harç, $450 \pm 2 \text{ g}$ bağlayıcı, $1350 \pm 5 \text{ g}$ CEN kumu ve $225 \pm 1 \text{ g}$ su ile karıştırılmak suretiyle elde edilmiştir. Önce karıştırma kabına su konulmuş, ardından bağlayıcılar eklenmiştir. Toplam 1 dakika 30 saniye süren karıştırma işleminden sonra, sıyırıcı ile kabın tabanına ve/veya kabın çeperlerine yapışan harç

sıyırılmış ve kabın ortasına toplanmıştır. Ardından karıştırıcı yüksek hızda 60 sn daha çalıştırılmıştır.

Üretilen bu harç iç boyutları 40 x 40 x 160 mm olan üçlü dikdörtgen harç prizma kalıbına, iç kısmı yağlanarak sarsma tablasına yerleştirilmiştir. Taze harç iki kademedeki kalıba yerleştirilmiş ve her kademe sonrası harç, sarsma makinesinde 60 kez sarsılarak sıkıştırılmıştır. İşlemin ardından kalıp, sarsma makinesinden itina ile çıkartılmış ve metal masterla kalıp yüzeyindeki fazla harç sıyırılmıştır. Yüzeyi düzeltilen kalıbın, cam levha ile üzeri örtülmüş ve 20 ± 2 °C sıcaklıkta, % 90 bağıl neme sahip kür odasında 48 saat bekletilmiştir (Horasan harçları Pusat'ında ifade ettiği gibi [22], numunenin 24 saat bekletilmesinin Horasan harcı için uygun olmadığı tespit edilmiştir). Bu süreç sonunda harç numuneleri kalıptan çıkartılmış ve 20 ± 1 °C sıcaklıktaki su tankı içine konmuştur.

Yapılan deneysel çalışmalar, üç aşamada gerçekleştirilmiştir:

1. Aşama: Horasan harç karışımı içinde TT ve çimento sabit tutularak 2 grup harç üretilmesi,

2. Aşama : Her iki gruptan en yüksek dayanımı veren, iki harç karışımında iki farklı kum kullanılması,

3. Aşama : 2. Aşama sonunda en yüksek dayanımın elde edildiği harç içinde OK kullanılması.

3.2.2. TT – çimento – kireç bağlayıcılarının Horasan harcı karışımına etkisi

Horasan harcının iki temel malzemesi olan, TT ve kirecin kontrol harcı üretmek amacıyla, hangi oranlarda uygun bir karışımın olması gerektiği tespit edilmek

istenmiştir. Çimento kullanımı ise yapıya zarar vermesine rağmen, günümüzde tarihi eserlerde Vakıflar Genel Müdürlüğünün onarımlarda çimento kullanmasını referans olarak kabul etmiştir. Horasan harcı bağlayıcı karışımında kullanılan çimento oranı olarak Bayındırlık Bakanlığının 1999 birim fiyat analizleri kitabında belirtilen %25 oranı alınmıştır.

Birinci aşamada Horasan harç karışımı içinde kullanılacak bağlayıcı oranları, Çizelge 3.4'de görüldüğü gibi belirlenerek, 8 farklı karışıma sahip Horasan harçları üretilmiş ve elde edilen deney sonuçları bakımından birbirleri ile kıyaslanmıştır.

1. Grup olarak belirlenen A, B, C, D harçlarında TT % 50 oranında sabit alınmış olup, kireç ve çimento oranları değiştirilmiştir. 2. Grup olarak belirlenen E, F, G, H harçlarında ise, TT ile kireç oranları değiştirilirken çimento oranı % 25 olarak sabit alınmıştır. Çizelge 3.4'de Horasan harcı iki grupta incelenmiştir.

Çizelge 3.4. Horasan harcı içinde kullanılan bağlayıcıların karışım oranları

Horasan harcı tipi		Bağlayıcı (%)		
		TT	Kireç	Çimento
1. Grup (TT sabit)	A	50	25	25
	B	50	30	20
	C	50	35	15
	D	50	40	10
2. Grup (PÇ sabit)	E	55	20	25
	F	60	15	25
	G	65	10	25
	H	70	5	25

3.2.3. İnce agregaya olarak standart kum ve tuğla pirinci kullanılarak Horasan harcı karışımlarının belirlenmesi

İkinci aşamada, ince agregaya (kum olarak iki farklı malzeme kullanılmıştır. Çizelge 3.4’de verilen Horasan harcı bağlayıcı karışım oranlarından, 1. grubun ve 2. grubun en yüksek basınç dayanımını sağlayan ilk iki harç tipi, toplamda dört harç tipi kontrol harcı olarak alınmıştır. Bu dört harç esas alınarak standart kum ve TP’nin ince agregaya olarak kullanıldığı 40 x 40 x 160 mm boyutlarında 8 adet ve toplamda 16 adet harç prizma numuneleri üretilmiştir. Üretilen Horasan harçlarına ait bilgiler Çizelge 3.5’de verilmiştir.

Çizelge 3.5. İnce agregalı Horasan harcının karışım oranları

Horasan harcı tipi	Bağlayıcı (%)			İnce agregaya
	TT	Kireç	Çimento	
A	50	25	25	Standart Kum

	B	50	30	20	Standart Kum
2.grup	F	60	15	25	Standart Kum
	G	65	10	25	Standart Kum
1.grup	A	50	25	25	TP
	B	50	30	20	TP
2.grup	F	60	15	25	TP
	G	65	10	25	TP

3.2.4. Odun külü katkılı Horasan harcı karışımları

Üçüncü aşamada ise, ince agrega olarak standart kum ve TP kullanılan Horasan harçlarından en yüksek dayanım değerine sahip olan G Horasan harcı, kontrol harcı kabul edilmiş ve bu harç karışımı içinde OK kullanılmıştır. OK'nin TT yerine ikame edilmesi ile dört, toplamda ise beş Horasan harcı daha üretilmiştir. Horasan harcı içinde kullanılan OK diğer karışım elemanları ile birlikte Çizelge 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3.6. OK katkılı Horasan harcı karışım oranları

Horasan harcı tipi	Bağlayıcı (%)			
	TT	Kireç	Çimento	OK

GOK 0.0	65.0	10	25	0
GOK 2.5	62.5	10	25	2.5
GOK 5.0	60.0	10	25	5.0
GOK 7.5	57.5	10	25	7.5
GOK 10.0	55.0	10	25	10.0

3.2.5. Taze çimento deneyleri ve numunelere ait deneyler

Standart kıvam deneyi

TS – EN 196 -3 'e göre [56], 1 g doğruluktaki terazide tartılan 500 g bağlayıcı için tahmini olarak su miktarı belirlenmiştir. Karıştırıcıya uygun görülen miktardaki su ile 500 g çimento katılmış ve TS – EN 196 -3'e uygun olarak karıştırılmıştır. Karışım sonunda elde edilen çimento hamuru, daha önce hafifçe yağlanmış taban plakası üzerine yerleştirilmiş derinliği 40 mm, üst iç çapı 70 mm ve alt iç çapı 80 mm olan kesik koni biçimindeki Vicat kalıbına fazla miktarda olmak üzere sıkıştırma veya vibrasyon yapılmaksızın yerleştirilmiştir. Kalıbın üzerine taşan bağlayıcı hamuru fazlalığı düzgün kenarlı bir spatula ile sıyrılarak düzgün bir yüzey elde edilmiştir. Vicat aletine monte edilen Vicat sondası, taban plakasına kadar indirilmiş ve gösterge üzerinden sıfır okunacak şekilde ayarlanmıştır. Daha sonra sonda yukarı kaldırılmış ve sondanın bağlayıcı hamurun merkez noktasına batırılacak şekilde hamur yüzeyine kadar yavaşça indirilmiştir. Sondanın indirilmesi esnasında hareket eden parçaların durması için 1-2 saniye sonda tutulmuş ve sondanın hamura serbest düşmesi yaptırılarak, hamura girmesi sağlanmıştır [57].

Sondanın hamur içine bırakılmasından 30 sn sonra, sondanın alt yüzeyi ile taban plakası arasındaki değer okunmuştur. Sondanın alt yüzeyi ile taban plakası arasında 6

± 1 cm oluncaya kadar, su miktarı arttırılmak veya azaltılmak sureti ile deney tekrar edilmiştir [57].

Horasan harcı, bağlayıcı karışımları içinde TT tozunun farklı oranlarda olması, harcın içine katılacak su miktarını da değiştirecektir. Bu nedenle her karışım için Flow Table (Yayıllma tablası) deneyi yapılmıştır. Kontrol Horasan harcında, yayılma tablası ortalama çapı 17,5 cm olarak ölçülmüş ve bütün karışımlar için bu oran referans alınmıştır.

Priz başlama ve priz sona erme sürelerinin tayini

TS – EN 196 – 3'e göre [56], standart kıvam deneyi ile tespit edilen su miktarı esas alınarak, hazırlanan çimento hamuru Vicat kalıbına doldurulmuştur. Vicat cihazında bulunan sonda çıkarılarak yerine Vicat iğnesi takılmıştır. İğne bağlayıcı hamur ile temas edinceye kadar yavaşça indirilmiş ve iğnenin indirilmesi sırasında düzeneğin hareketli parçalarının durması 1-2 sn beklenmiştir. Sonra iğne bağlayıcı hamura serbest düşme ile batırılmıştır.

İğnenin hamura batırılmasından 30 sn sonra gösterge üzerinde okuma yapılmıştır. İğnenin ucu ile taban plakası arasındaki mesafeyi veren bu değer sıfır anından itibaren geçen süre ile birlikte kaydedilmiştir. İğnenin aynı hamura batırılma işlemi, iğnenin hamura batırıldığı noktalar arasındaki ve kalıp kenarından en az 10 mm mesafe olmasına ve 10 dakikalık zaman aralıkları ile yapılmasına özen gösterilmiştir. Her batırma işleminden sonra iğnenin ucu temizlenmiştir. Sıfır olarak kabul edilen başlangıç zamanından itibaren iğne ile taban plakası arasındaki mesafe 4 ± 1 mm oluncaya kadar geçen süre priz başlangıcı olarak kaydedilmiştir [44].

Taban plakası üzerinde bulunan dolu kap, priz süresi sonu tayini için ters çevrilmiştir. Priz başlama süresinin tayininde yapılan işlemler aynen uygulanmıştır. Pastaya iğnenin batırılmasında ki zaman aralıkları 30 dakikaya kadar arttırılmıştır [44]. İğnenin ilk 0,5 mm kadar battığı an sıfır olarak kabul edilen zaman, en yakın 15 dakikaya yuvarlatılarak priz süresi sonu olarak kaydedilmiştir [44].

Hacim genleşmesi deneyi

TS – EN 196 -3 'e göre [56], standart kıvam için hazırlanan çimento hamuru Le Chatelier aletine vibrasyon ve sıkıştırma yapılmaksızın doldurulmuştur. Le Chatelier aletinin yarık kısmının açılmaması için bağlanarak alt ve üst yüzeyi cam plaka ile örtülmüştür. Cihaz rutubet dolabına konmuş ve burada (24 ± 0.5) saat $(20 \pm 1)^\circ \text{C}$ 'da ve % 98'den az olmayan bağıl nemde muhafaza edilmiştir.

Cam plâkaların arasına yerleştirilmiş kalıbın üzerini örten plâkanın üzerine istenirse ilâve kütle konmak suretiyle hepsi birlikte su banyosuna bırakılıp, burada (24 ± 0.5) saat $(20 \pm 1)^\circ \text{C}$ 'da muhafaza edilebilir. Ancak bu işlemin referans metoda göre doğrulanmış olması gerekir. (24 ± 0.5) saatlik süre sonunda gösterge uçları arasındaki mesafe (A) en yakın 0.5 mm'ye yuvarlatılarak ölçülmüştür. Sonra kalıp (30 ± 5) dakika içinde kaynama sıcaklığına kadar ısıtılmış ve su banyosu kaynama sıcaklığında $(3 \text{ saat} \pm 5 \text{ dakika})$ bekletilmiştir.

2 - 3 saat sonra meydana gelen genleşme ile aynı değer görülebildiği takdirde, kaynama süresi daha kısa olabilir. Kaynama süresi sonunda gösterge uçları arasındaki mesafe (B), en yakın 0.5 mm'ye yuvarlatılarak ölçülmüştür.

Kalıbın $(20 \pm 2)^\circ \text{C}$ 'a kadar soğuması beklenmiş ve gösterge uçları arasındaki mesafe (C), en yakın 0.5 mm'ye yuvarlatılarak ölçülmüştür. Her numune için (A) ve (C) ölçümleri kaydedilmiş ve (C-A) farkı hesaplanmıştır. (C-A)'nın iki değerinin ortalaması en yakın 0.5 mm'ye yuvarlatılarak hesaplanmıştır [57].

Özgül ağırlık deneyi

Deney, helyum gazı ile çalışan piknometre aleti ile yapılmıştır. Çimento, TT, OK ve kireç malzemelerinden 20 g'dan (m) az olacak şekilde örnekler alınmıştır. Alınan örnekler piknometre aletine yerleştirilmiş ve Helyum gazı ile hacimleri (V) bulunmuştur. Deney, Eş.3.1'e göre malzemelerin yoğunlukları tespit edilmiştir.

$$d = \frac{m}{V} \quad (3.1)$$

Bu eşitlikte;

d = Yoğunluk

V = Hacim

m = Numune Kütlesi

ifade etmektedir [57].

Özgül yüzey deneyi

Özgül yüzey deneyi, Blaine aleti kullanılarak yapılmıştır. Blaine aleti, içinde sıvı bulunan cam boru, piston ve geçirimsizlik hücrelerinden oluşmaktadır. Özgül ağırlıkları bilinen numune Eş.3.2.'de yerine konarak, m_1 kütlesi bulunmuştur. m_1 , geçirimsizlik hücrelerine konmuş, üstünden ve altından havayı kolaylıkla geçirmeye elverişli birer filtre kâğıdı alt ve üst yüzeye yerleştirilmiştir. Geçirimsizlik hücreleri piston ile sıkıştırılmış ve Blaine aleti çalıştırılmıştır. Aletin açılması geçirimsizlik hücrelerinden hava geçişi başlatılmıştır.

Blaine aleti işlemine son verdiğinde, malzemenin özgül yüzeyi dijital ekrandan okunarak kaydedilmiştir. TS EN 196 – 6'da [58] belirtilen esaslara göre, özgül yüzeyleri hesaplanmıştır.

$$m_1 = 0.5 \times 74.215 \times d \quad (3.2)$$

Bu eşitlikte;

m_1 = Numune Kütlesi,

d = Özgül Ağırlık,

74.215 = Katsayı,

ifade etmektedir.

İncelik tayini deneyi

İncelik tayini deneyi, PÇ, kül ve TT bağlayıcıları için yapılmıştır. İri taneli olduğu için önce, TT' dan yeteri kadar numune alınmış ve bilyeli değirmende 60 dakika öğütülmüştür. Öğütülen numune, 105 ± 5 °C sıcaklığa sahip etüvde 24 saat süreyle kurutulmuştur. Daha sonra kireç haricindeki her bağlayıcıdan 20 g numune alınmıştır. İlk olarak 20 g'lık numune 40 µ göz açıklığı bulunan elek içine konmuş ve 2500 Watt emme gücüne sahip motor ile 3 dk boyunca elenmiştir. Elekte kalan numune, ilk numune ağırlığından çıkartılmış ve 40 µ elekten geçen malzeme olarak kaydedilmiştir. İkinci işlem olarak, kalan numune 90 µ göz açıklığı bulunan elek içine konmuş ve aynı emme gücü ile 3 dk boyunca elenmiştir. Eleme sonrası kalan numune 20 g'dan çıkartılmış ve 90 µ elekten geçen malzeme olarak kaydedilmiştir. Son işlem olarak kalan numune 200 µ göz açıklığı bulunan elek içine konmuş ve aynı emme gücü ile 3 dk boyunca elenmiştir. Eleme sonrası kalan numune 20 g'dan çıkartılmış ve 200 µ elekten geçen malzeme olarak kaydedilmiştir. Bulunan bütün sonuçlar beş ile çarpılarak yüzde oranları bulunmuştur (20 g malzeme = $1/5 = \% 20$). Deney 3 defa tekrar edilerek, ortalama değerleri alınmıştır [57].

Eğilme dayanımı deneyi

Prizma şeklinde olan harç numuneleri açıklığı 100 mm olan iki mesnet üzerine, yan yüzlerden biri mesnetler üzerine oturtulacak şekilde yerleştirilmiştir. Açıklığın tam ortasından numunenin bütün genişliği boyunca etkileyen çizgisel F yükü hızı saniyede 50 ± 10 N olacak şekilde uygulanmıştır. Eğilme dayanımı Eş.3.3 ile hesaplanmıştır. Bu eşitlikte;

$$R_f = 1,5 (F_f l / b^3) \quad (3.3)$$

R_f = Eğilmede çekme dayanımı (N/mm²),

b = Prizmanın kare kesitinin kenar uzunluğu (40 mm),

F = Prizmanın ortasına uygulanmış olan kuvvet (N),

l = Destek silindir eksenleri arasındaki uzaklık (100 mm), ifade etmektedir [57].

Basınç dayanımı deneyi

Eğilme deneyi sonunda iki parçaya ayrılmış olan G numune üzerinde yarım harç prizmaları üzerinde basınç dayanımı deneyi yapılmıştır. Yarım prizmalar, cihazın plakaları arasına $\pm 0,5$ mm'den fazla taşmayacak şekilde merkezlenerek ve numunenin arka yüzü plakadan 10 mm taşacak şekilde uzunlamasına yerleştirilmiştir. Yükleme işlemi $10-20$ N/mm² arttırılarak yapılmıştır. Basınç dayanımı Eş.3.4 ile hesaplanır.

$$R_C = F_C / b^2 \quad (3.4)$$

Bu eşitlikte;

R_C = Basınç dayanımı (N/mm²),

b = Basınç plakasının kenar uzunluğu (40 mm),

F_C = Kırılmadaki en büyük kuvvet (N),

ifade etmektedir [57].

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Horasan Hamuru Üzerine Bağlayıcıların Etkisi

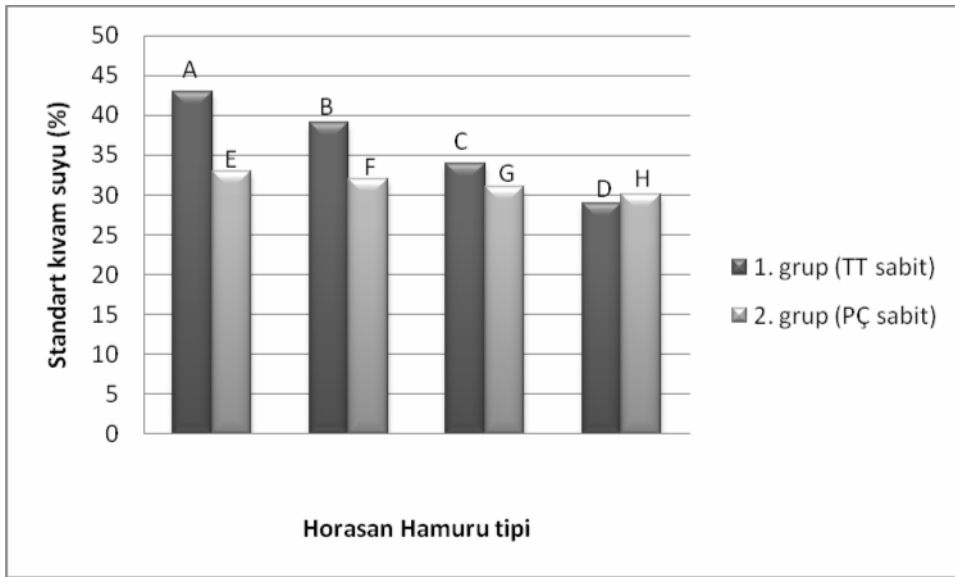
TT, PÇ 42.5 ve sönmüş kireç kullanılarak üretilen Horasan hamurunun fiziksel özellikleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Bağlayıcı hamurun özellikleri

Horasan hamuru tipi		Standart kıvam suyu (%)	Priz başlangıcı (dk)	Priz sonu (dk)	Hacim genleşmesi (mm)
1.grup (TT sabit)	A	43	75	225	1
	B	39	45	185	1
	C	34	40	195	1
	D	29	80	210	2
2.grup (PÇ sabit)	E	33	110	320	0
	F	32	120	340	0
	G	31	115	315	0
	H	30	107	285	0

4.1.1. Horasan hamurunun standart kıvam suyuna bağlayıcıların etkisi

Horasan hamurlarında hamur tipi ile standart kıvam suyu ilişkisi Şekil 4.1.'de gösterilmiştir.



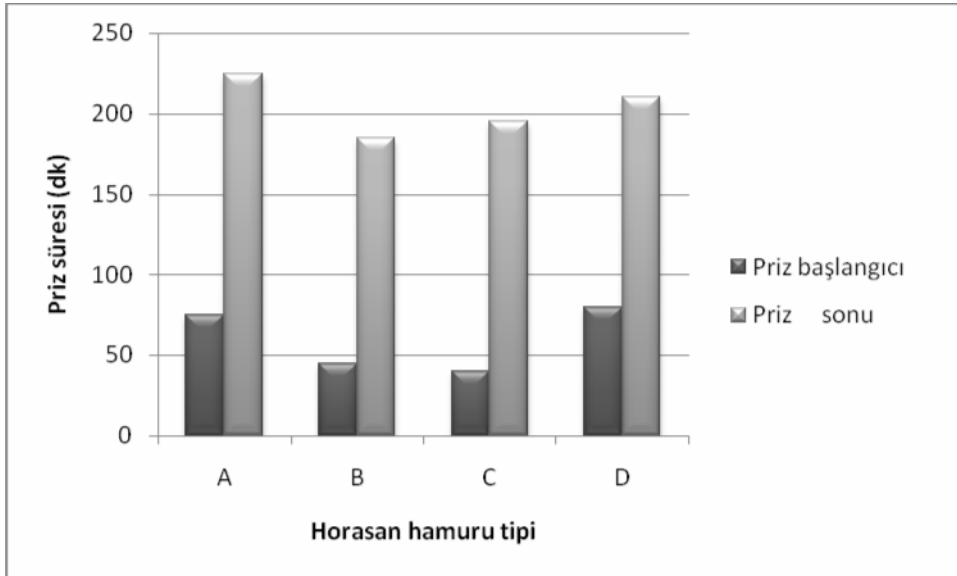
Şekil 4.1. Horasan hamurunun standart kıvam suyuna bağlayıcıların etkisi

Şekil 4.1.'de görüldüğü gibi standart kıvam suyu, 1. grupta en düşük D Horasan hamurunda, en yüksek A Horasan hamurunda elde edilmiştir. Standart kıvam suyu A'dan D'ye doğru azalma göstermiştir. Bunun nedeni bağlayıcı hamur içindeki kireç oranının A'dan D'ye doğru artmasıdır. Çünkü sönmüş kireç içindeki su yüzdesi de aynı oranda artmaktadır.

Şekil 4.1.'de görüldüğü gibi 2. grupta, en düşük standart kıvam suyu E Horasan hamurunda, en yüksek standart kıvam suyu H Horasan hamurunda elde edilmiştir. Standart kıvam suyu H'den E'ye doğru azalma göstermiştir. Bunun nedeni de, Horasan hamuru içindeki TT miktarı artışına paralel olarak standart kıvam suyu da artış göstermiştir. Buna neden olarak TT'nin yüzey alanının büyük olması gösterilebilir.

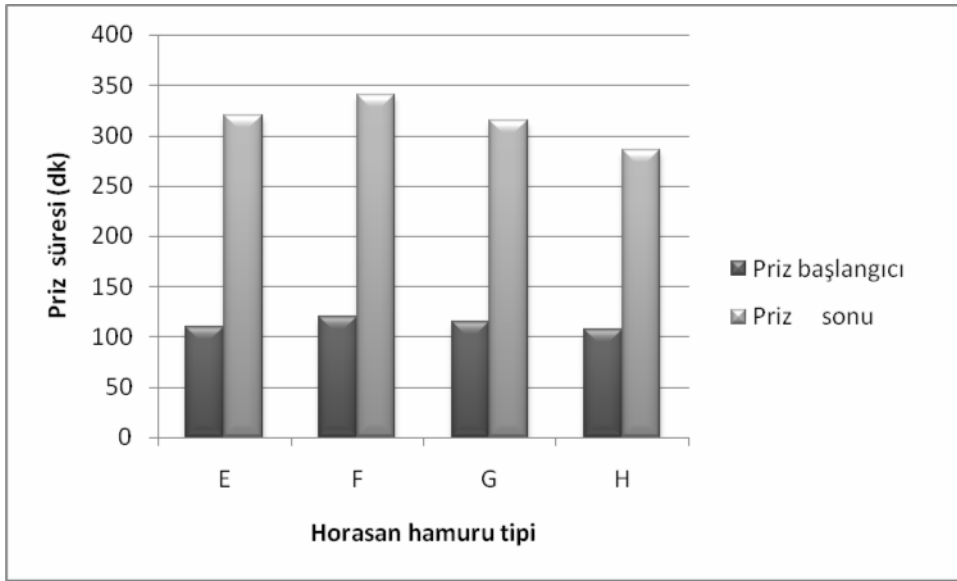
4.1.2. Horasan hamurunun priz sürelerine bağlayıcıların etkisi

Horasan hamurlarında hamur tipi ile priz başlangıcı ve priz sonu ilişkisi Şekil 4.2.ve Şekil 4.3.'te gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Horasan hamurunun priz sürelerine bağlayıcıların etkisi (1. grup)

Priz başlangıcı 1. grupta en az C Horasan hamurunda, en fazla D Horasan hamurunda elde edilmiştir. Priz sonu ise, 1. Grupta en az B Horasan hamurunda, en fazla A Horasan hamurunda tespit edilmiştir. A Horasan hamurunda elde edilen priz başlangıcı ve priz sonu değerlerinin yüksek olması, yüksek standart kıvam suyu ile açıklanabilir. D Horasan hamurunda ise karışım içinde bulunan çimento miktarı azaldığı için, su ihtiyacı da azalmaktadır. Diğer taraftan Horasan hamuru karışımında bulunan çimento miktarı azalırken, kireç miktarı artmaktadır. Deneylerde kaymak kireç kullanıldığından, kireç içinde su yer almakta ve bundan dolayı da priz sürelerinde gecikmeler meydana gelmektedir.



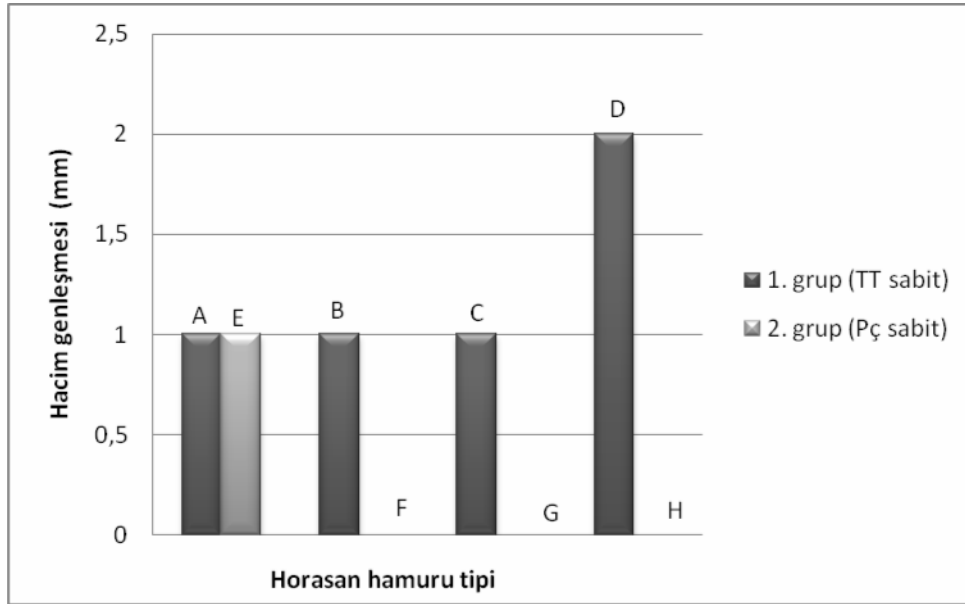
Şekil 4.3. Horasan hamurunun priz sürelerine bağlayıcıların etkisi (2. grup)

2. grupta, priz başlangıcı ve priz sonu değerleri en az H Horasan hamurunda, en fazla F Horasan hamurunda elde edilmiştir. 1. Grup Horasan hamurlarına kıyasla tersi bir durumun görüldüğü söylenebilir. Horasan hamuru karışımlarında TT miktarı artarken, kireç miktarı azaldığından ve kireç içinde bir miktar su olduğundan, bu suyun TT'nin yüzey alanının ihtiyaç duyduğu suyu karşılaması dolayısıyla priz başlangıç değerlerinin pek değişmediği görülmüştür. Diğer taraftan hamurların priz

sonu değerleri priz başlangıcı ile benzer bir eğilim göstermekle birlikte hamurların priz sonu değerleri arasındaki fark artış göstermiştir.

4.1.3. Horasan hamurunun hacim genleşmesine bağlayıcıların etkisi

Horasan hamurlarında hamur tipi ile hacim genleşmesi ilişkisi Şekil 4.4.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Horasan hamurunun hacim genişlemesine bağlayıcıların etkisi

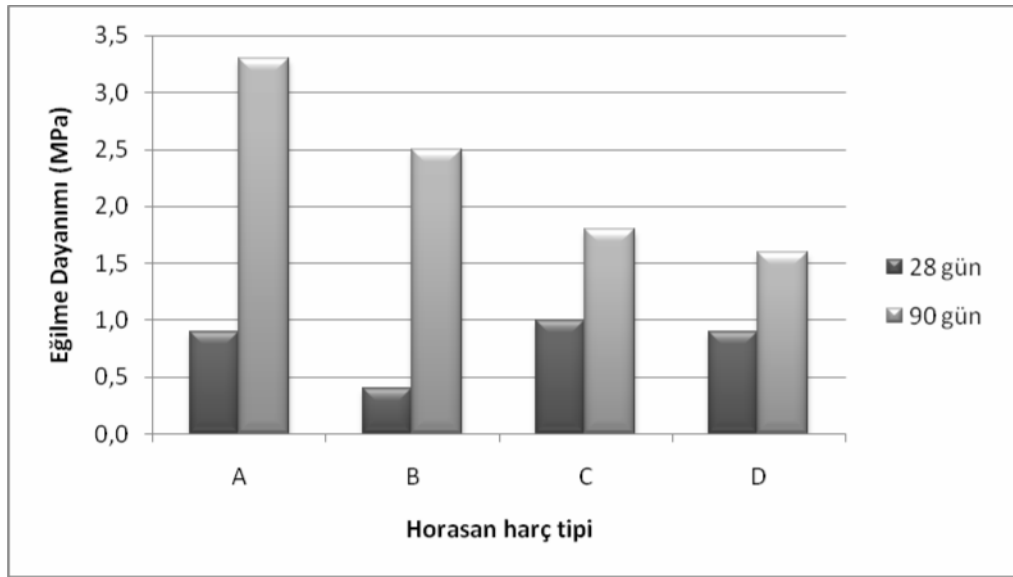
Hacim genişmesi 1. grupta A, B, C Horasan hamurunda 1 mm, D Horasan hamurunda ise 2 mm olarak tespit edilmiştir. 2. grupta ise F, G, H Horasan hamurunda hacim genişmesi meydana gelmemiş olup, E Horasan hamurunda ise 1 mm olarak tespit edilmiştir. Hacim genişmeleri düşük ve aralarında belirgin bir fark yoktur.

4.2. Horasan Harçlarının Eğilme Dayanımına Bağlayıcıların Etkisi

Horasan harçlarının 28 ve 90 günlük eğilme dayanımı sonuçları Çizelge 4.2.'de verilmiştir. TT'nin sabit tutulduğu 1. grup Horasan harçlarının eğilme dayanımı-harç tipi ilişkisi Şekil 4.5'de, PÇ'nin sabit tutulduğu 2. grup Horasan harçlarının eğilme dayanımı – harç tipi ilişkisi ise Şekil 4.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. Horasan harçlarının eğilme dayanımı sonuçları

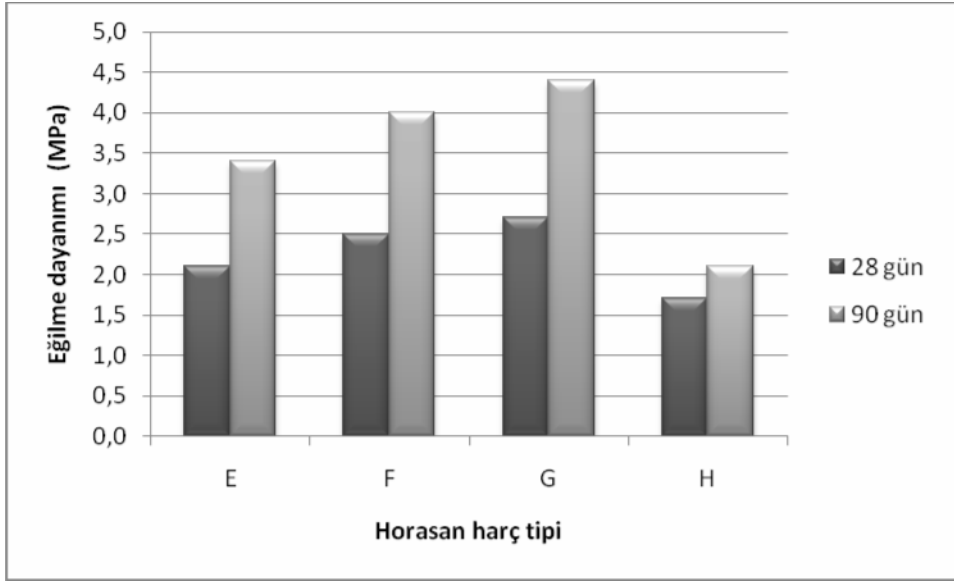
Horasan harç tipi		Eğilme dayanımı (MPa)	
		28 gün	90 gün
1. grup (TT sabit)	A	0.9	3.3
	B	0.4	2.5
	C	1.0	1.8
	D	0.9	1.6
2. grup (PÇ sabit)	E	2.1	3.4
	F	2.5	4.0
	G	2.7	4.4
	H	1.7	2.1



Şekil 4.5. Horasan harçlarının eğilme dayanımı – harç tipi ilişkisi (1. grup)

1. grup Horasan harçlarının 28 günlük deney sonuçlarına göre; en yüksek eğilme dayanımı C tipi Horasan harcında (1 MPa) tespit edilmiştir. Bu harç; A ve D tipi

harçtan % 11.1; B tipi harçtan ise % 150 daha yüksek dayanıma sahiptir. 90 günlük deney sonuçlarına göre; en yüksek eğilme dayanımı A tipi Horasan harcında (3.3 MPa) tespit edilmiştir. Bu harç; B tipi harçtan % 32; C tipi harçtan % 83.3; D tipi harçtan ise % 106.3 daha yüksek dayanıma sahiptir.



Şekil 4.6. Horasan harçlarının eğilme dayanımı – harç tipi ilişkisi (2. grup)

2. grup Horasan harçlarının, 28 günlük deney sonuçlarına göre; en yüksek eğilme dayanımı G tipi Horasan harcında (2.7 MPa) tespit edilmiştir. Bu harç; E tipi harçtan % 28.6; F tipi harçtan % 8; H tipi harçtan ise % 58.9 daha yüksek dayanıma sahiptir. 90 günlük deney sonuçlarına göre; en yüksek eğilme dayanımı yine G tipi Horasan harcında (4.4 MPa) tespit edilmiştir. Bu harç; E tipi harçtan % 29.4; F tipi harçtan % 10; H tipi harçtan ise % 109.6 daha yüksek dayanıma sahiptir.

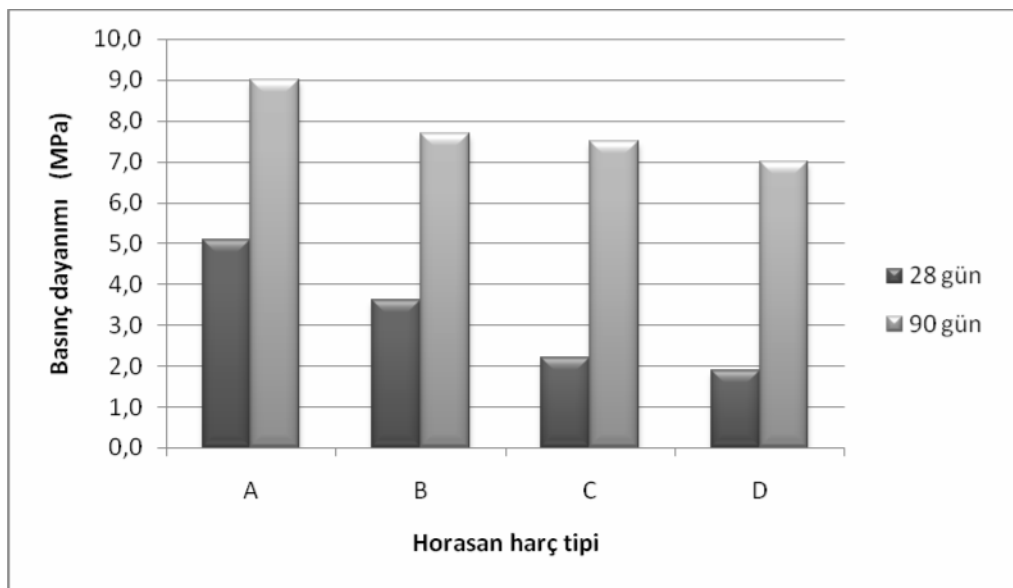
28 ve 90 günlük eğilme dayanımları karşılaştırıldığında, 1. grup Horasan harçları içindeki PÇ oranı arttıkça dayanım artmaktadır. 2. grup Horasan harçlarında ise bağlayıcı içindeki TT ve kirecin en uygun karışım oranına (% 65 TT + % 10 Kireç) sahip G harcından maksimum eğilme dayanımına ulaşılmıştır.

4.3. Horasan Harçlarının Basınç Dayanımına Bağlayıcıların Etkisi

Horasan harçlarının 28 ve 90 günlük basınç dayanımı sonuçları Çizelge 4.3'te verilmiştir. TT'nin sabit tutulduğu 1. grup Horasan harçlarının basınç dayanımı-harç tipi ilişkisi Şekil 4.7'de, PÇ'nin sabit tutulduğu 2. grup Horasan harçlarının basınç dayanımı – harç tipi ilişkisi ise Şekil 4.8'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. Horasan harçlarının basınç dayanımı sonuçları

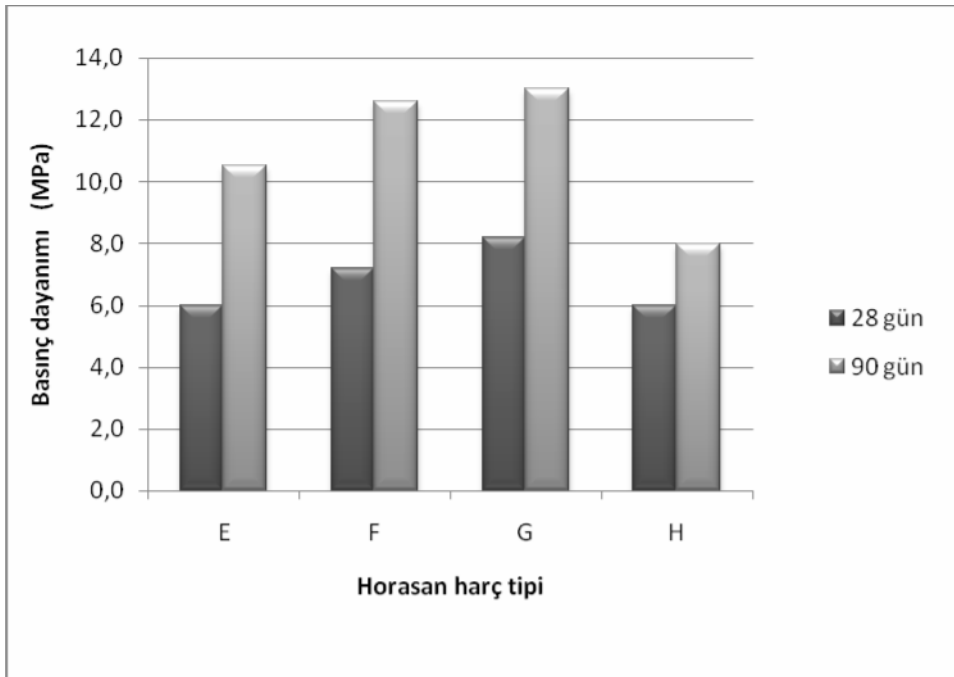
Horasan harç tipi		Basınç dayanımı (MPa)	
		28 gün	90 gün
1. grup (TT sabit)	A	5.1	9.0
	B	3.6	7.7
	C	2.2	7.5
	D	1.9	7.0
2. grup (PÇ sabit)	E	6.0	10.5
	F	7.2	12.6
	G	8.2	13.0
	H	6.0	8.0



Şekil 4.7. Horasan harçlarının basınç dayanımı – harç tipi ilişkisi (1. grup)

Şekil 4.7’de görüldüğü gibi, 1. grup Horasan harçlarının, 28 günlük deney sonuçlarına göre; en yüksek basınç dayanımı A tipi Horasan harcında (5.1 MPa) tespit edilmiştir. Bu harç; B tipi harçtan % 41.7; C tipi harçtan %131.8; D tipi harçtan ise % 168.4 daha yüksek dayanıma sahiptir. 90 günlük deney sonuçlarına göre; en yüksek basınç dayanımı A tipi Horasan harcında (9.0 MPa) tespit edilmiştir. Bu harç; B tipi harçtan % 16.9; C tipi harçtan % 20; D tipi harçtan ise % 28.6 daha yüksek dayanıma sahiptir.

Deney sonuçlarına göre, 1. grup Horasan harçlarında en yüksek eğilme ve basınç dayanımları dikkate alındığında her iki dayanımda da en yüksek değerler A tipi Horasan harcında tespit edilmiştir. Bu harç tipinin, B, C ve D harç tiplerinden daha yüksek dayanıma sahip olmasının nedeni; Horasan harçları arasında, harç içindeki en yüksek çimento oranının (% 25) A Horasan harcında olmasıdır.



Şekil 4.8. Horasan harçlarının basınç dayanımı – harç tipi ilişkisi (2. grup)

Şekil 4.8’de görüldüğü gibi 2. grup Horasan harçlarının 28 günlük deney sonuçlarına göre; en yüksek basınç dayanımı G tipi Horasan harcında (8.2 MPa) tespit edilmiştir. Bu harç; E tipi harçtan % 36.7; F tipi harçtan %13.9; H tipi harçtan ise % 36.7 daha yüksek dayanıma sahiptir.

90 günlük deney sonuçlarına göre; en yüksek basınç dayanımı, yine aynı harçta yani G tipi Horasan harcında (13 MPa) tespit edilmiştir. Bu harç; E tipi harçtan % 23.8; F tipi harçtan % 3.2; H tipi harçtan ise % 62.5 daha yüksek dayanıma sahiptir.

2. grupta G tipi Horasan harcının diğer harç tiplerinden daha yüksek basınç dayanımına sahip olmasının nedeni, TT ve kirecin en uygun karışım oranının (% 65 TT ve %10 kireç) bulunması ile açıklanabilir.

1. ve 2. Grup Horasan harçlarının dayanımlarının, 28 gün yaşında kararsız, ileri yaşlarda (90 gün) ise daha kararlı bir yapıya sahip olduğu gözlenmiştir. Bu durumda Horasan harcının ileri yaşlarda daha yüksek dayanım değerine sahip olacağı söylenebilir.

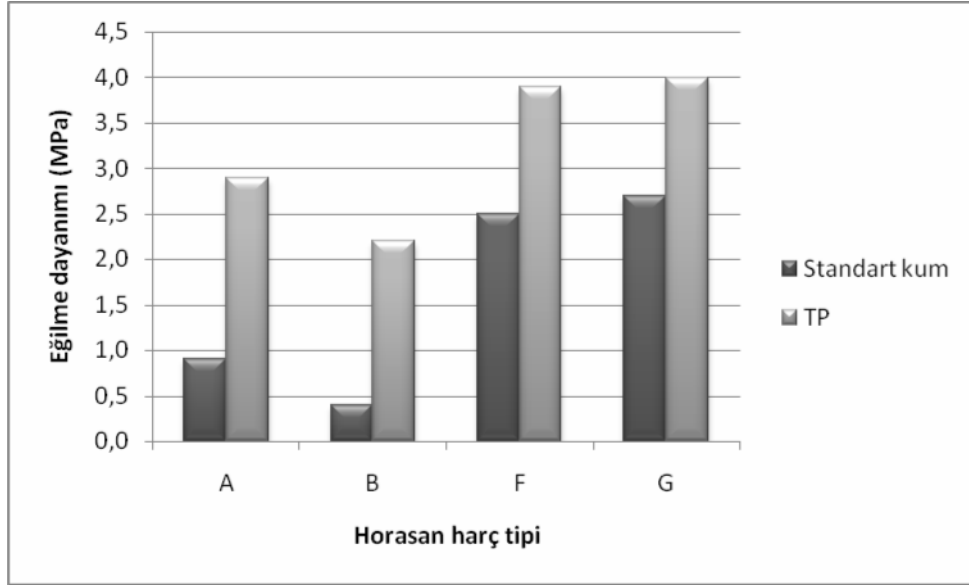
4.4. İnce Agrega Çeşidinin Mekanik Özelliklere Etkisi

4.4.1. İnce agreganın eğilme dayanımına etkisi

Horasan harçlarının 28 ve 90 günlük eğilme dayanımı sonuçları Çizelge 4.4'te verilmiştir. 1. ve 2. grup Horasan harçlarında en yüksek eğilme dayanımını veren ilk iki Horasan harcına ait 28 günlük eğilme dayanımı-harç tipi ilişkisi Şekil 4.9'da verilmiştir. 90 günlük eğilme dayanımı-harç tipi ilişkisi ise Şekil 4.10'da verilmiştir.

Çizelge 4.4. İnce agregası farklı Horasan harçlarının eğilme dayanımı sonuçları

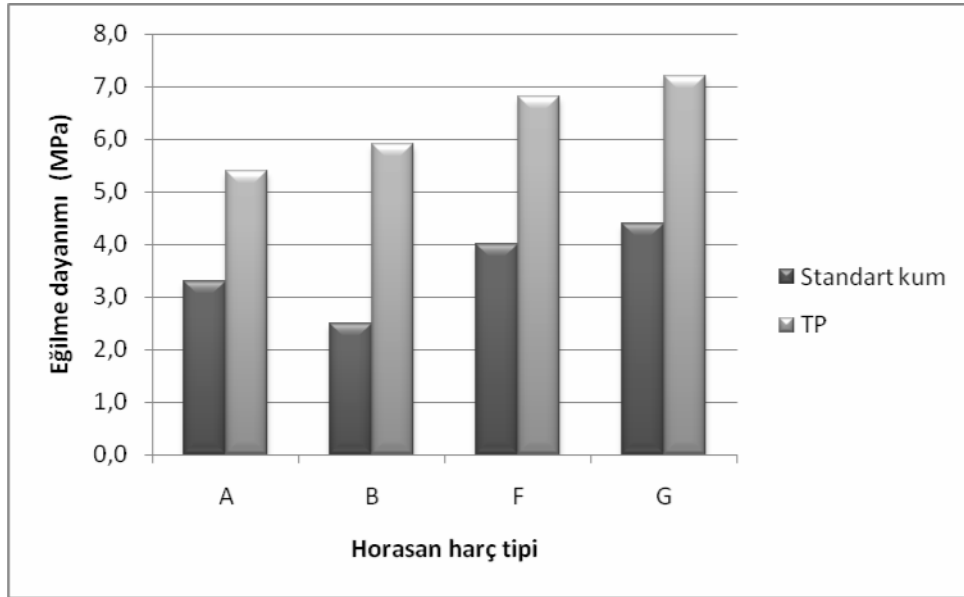
Horasan harç tipi		Eğilme dayanımı (MPa)		İnce agregası
		28 gün	90 gün	
1. Grup	A	0.9	3.3	Standart kum
	B	0.4	2.5	Standart kum
2. grup	F	2.5	4.0	Standart kum
	G	2.7	4.4	Standart kum
1. grup	A	2.9	5.4	TP
	B	2.2	5.9	TP
2. grup	F	3.9	6.8	TP
	G	4.0	7.2	TP



Şekil 4.9. TP'li ve standart kumlu Horasan harçlarının 28 günlük eğilme dayanımı – harç tipi ilişkisi

Şekil 4.9'da görüldüğü gibi TP'li A, B, F ve G tipi Horasan harçlarının 28 günlük en yüksek eğilme dayanımı G tipi Horasan harcında (4 MPa) tespit edilmiştir. Bu harç; A tipi harçtan % 38; B tipi harçtan % 81.8; F tipi harçtan ise % 2.6 daha yüksek dayanıma sahiptir.

Standart kumlu A, B, F ve G tipi Horasan harçlarının 28 günlük en yüksek eğilme dayanımı ise G tipi Horasan harcında (2.7 MPa) tespit edilmiştir. Bu harç; A tipi harçtan % 200; B tipi harçtan % 575; F tipi harçtan ise % 8 daha yüksek dayanıma sahiptir.



Şekil 4.10. TP'li ve standart kumlu Horasan harçlarının 90 günlük eğilme dayanımı – harç tipi ilişkisi

Şekil 4.10'da görüldüğü gibi TP'li A, B, F ve G tipi Horasan harçlarının 90 günlük en yüksek eğilme dayanımı G tipi Horasan harcında (7.2 MPa) tespit edilmiştir. Bu harç; A tipi harçtan % 33.3; B tipi harçtan % 22; F tipi harçtan % 5.9 daha yüksek dayanıma sahiptir. Standart kumlu A, B, F ve G tipi Horasan harçlarının 90 günlük en yüksek eğilme dayanımında ise G tipi Horasan harcında (4.4 MPa) tespit edilmiştir. Bu harç; A tipi harçtan % 33.3; B tipi harçtan % 76; F tipi harçtan % 10 daha yüksek dayanıma sahiptir.

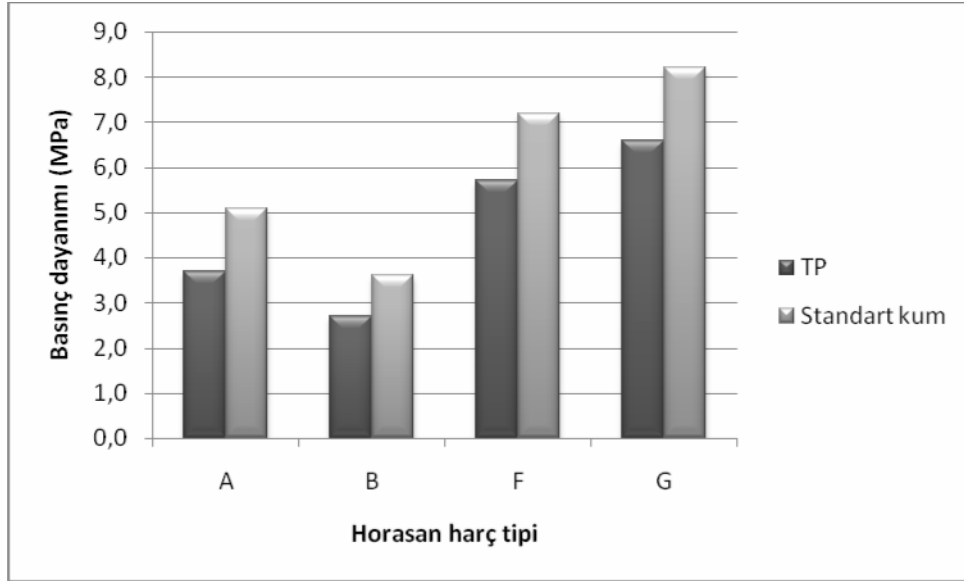
TP'li Horasan harcının eğilme dayanımının standart kumlu Horasan harcının eğilme dayanımından daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Harç içerisinde bağlayıcı malzeme olarak yer alan TT'nin bulunması, ince agrega ile girdiği reaksiyon sonucuna bağlı olarak dayanımları artırmıştır. Deneyde, TP'li ince agrega + bağlayıcı ile standart kumlu ince agrega + bağlayıcı reaksiyonları kıyaslandığında, bağlayıcı içerisindeki TT ile TP'nin aderansının daha iyi olması beklenir. Deney sonuçları bu beklentiyi doğrulamakta olup, eğilme dayanımları Horasan harç karışımında TT'nin artışına paralel olarak artmaktadır. Diğer bir ifade ile TT harç karışımında puzolan olması nedeniyle ilave bağlayıcı bileşiklerinin oluşmasını sağlamaktadır.

4.4.2. İnce agrega çeşidinin basınç dayanımına etkisi

Horasan harçlarının 28 ve 90 günlük basınç dayanımı sonuçları Çizelge 4.5'te verilmiştir. TT'nin sabit tutulduğu, 1. grubun en yüksek basınç dayanımını veren ilk iki Horasan harç tiplerinin basınç dayanımı-harç tipi ilişkisi Şekil 4.11'de verilmiştir. PÇ'nin sabit tutulduğu 2. Grupta ise en yüksek basınç dayanımını veren ilk iki Horasan harç tiplerinin basınç dayanımı-harç tipi ilişkisi Şekil 4.12'de verilmiştir.

Çizelge 4.5. İnce agregası farklı Horasan harçlarının basınç dayanımı sonuçları

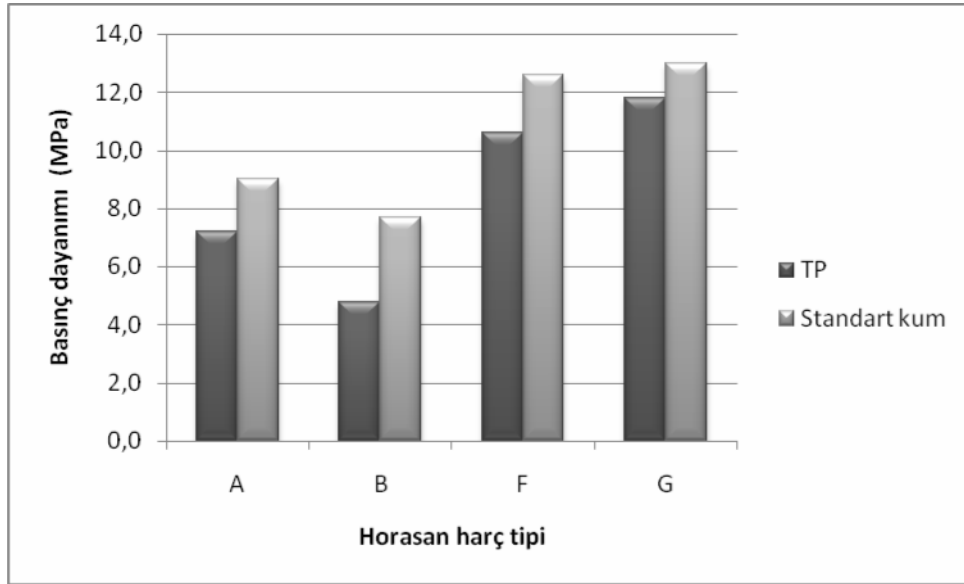
Horasan harç tipi		Basınç dayanımı (MPa)		İnce agrega
		28 gün	90 gün	
1. grup (TT sabit)	A	5.1	9.0	Standart kum
	B	3.6	7.7	Standart kum
2. grup (PÇ sabit)	F	7.2	12.6	Standart kum
	G	8.2	13.0	Standart kum
1. grup (TT sabit)	A	3.7	7,2	TP
	B	2.7	4,8	TP
2. grup (PÇ sabit)	F	5.7	10.6	TP
	G	6.6	11.8	TP



Şekil 4.11. TP'li ve standart kumlu Horasan harçlarının 28 günlük basınç dayanımı – harç tipi ilişkisi

Şekil 4.11'de görüldüğü gibi TP'li A, B, F ve G tipi Horasan harçlarının 28 günlük en yüksek basınç dayanımı G tipi Horasan harcında (6.6 MPa) tespit edilmiştir. Bu harç; A tipi harçtan %78.4; B tipi harçtan % 144.4; F tipi harçtan ise % 15.8 daha yüksek dayanıma sahiptir.

Standart kumlu A, B, F ve G tipi Horasan harçlarının 28 günlük en yüksek basınç dayanımında ise G tipi Horasan harcında (8.2 MPa) tespit edilmiştir. Bu harç; A tipi harçtan % 60.8; B tipi harçtan % 127.8; F tipi harçtan ise % 13.9 daha yüksek dayanıma sahiptir.



Şekil 4.12. TP'li ve standart kumlu Horasan harçlarının 90 günlük basınç dayanımı – harç tipi ilişkisi

Şekil 4.12'de görüldüğü gibi TP'li A, B, F ve G tipi Horasan harçlarının 90 günlük en yüksek basınç dayanımı G tipi Horasan harcında (11.8 MPa) tespit edilmiştir. Bu harç; A tipi harçtan %63.9; B tipi harçtan % 145.9; F tipi harçtan % 11.3 daha yüksek dayanıma sahiptir.

Standart kumlu A, B, F ve G tipi Horasan harçlarının 90 günlük en en yüksek basınç dayanımında ise yine G tipi Horasan harcında (13 MPa) tespit edilmiştir. Bu harç; A tipi harçtan % 44.4; B tipi harçtan % 68.9; F tipi harçtan % 3.2 daha yüksek dayanıma sahiptir.

Standart kumlu Horasan harcının basınç dayanımı, TP'li Horasan harcının basınç dayanımından daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Basınç dayanımında standart kumun yüksek dayanımlı çıkması, Standart kumun taş tozu esaslı ve TP'nin ise kil esaslı malzeme olmasına bağlanabilir. Taş tozunun sertlik derecesi, kilin sertlik derecesinden daha yüksek olması ve kilin bünyesine su alması ile şişmesi, dolayısıyla dayanımının düşmesi ile açıklanabilir.

4.5. Odun Külünün Horasan Hamurunun Özelliklerine Etkisi

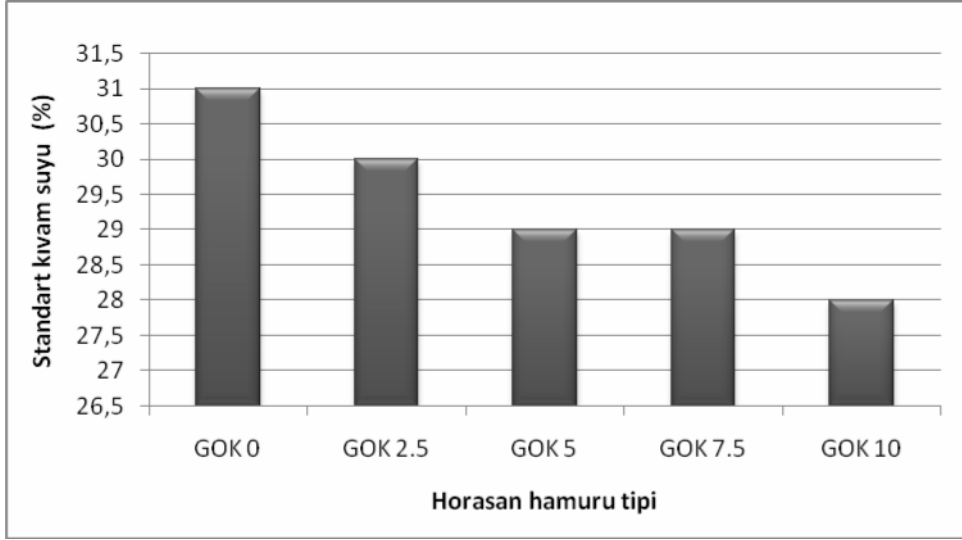
OK kullanılarak üretilen Horasan hamurunun fiziksel özellikleri Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Bağlayıcı hamurun özellikleri

Horasan hamuru tipi	Standart kıvam suyu (%)	Priz başlangıcı (dk)	Priz sonu (dk)	Hacim genişmesi (mm)
GOK 0.0	31	115	315	0
GOK 2.5	30	50	200	1
GOK 5.0	29	40	195	1
GOK 7.5	29	25	180	0
GOK 10.0	28	10	160	0

4.5.1. Horasan hamurunun standart kıvam suyuna odun külünün etkisi

Horasan hamurlarında hamur tipi ile standart kıvam suyu ilişkisi Şekil 4.13.'de gösterilmiştir.

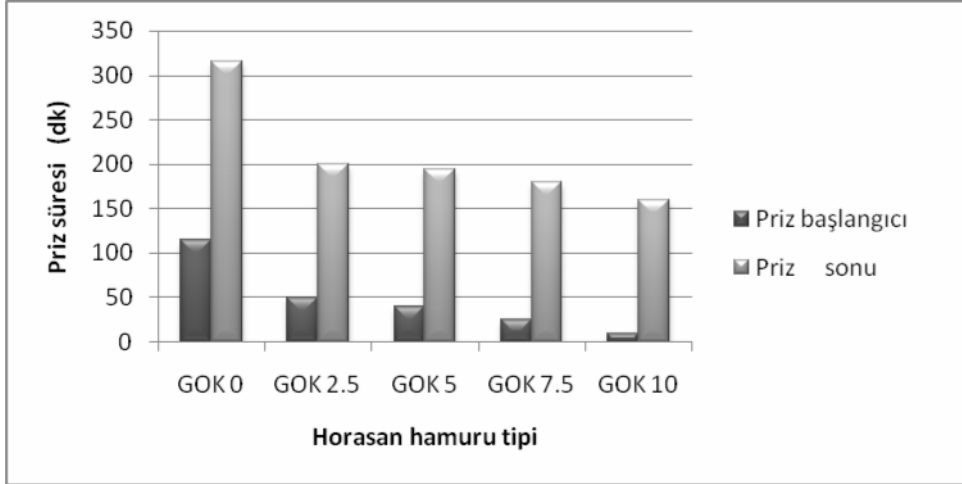


Şekil 4.13. Horasan hamurunun standart kıvam suyuna OK'nin etkisi

Şekil 4.13'de görüldüğü gibi standart kıvam suyu en fazla kontrol Horasan hamurunda bulunmaktadır. Horasan içine TT yerine ikame edilen kül miktarı arttıkça kıvam suyu miktarları da azalmaktadır. Bunun sebebi Horasan hamuru içindeki TT oranının azalmasıdır. TT kil esaslı olduğundan, TT oranı azaldıkça, TT'nin su emme oranı da azalacaktır.

4.5.2. Horasan hamurunun priz sürelerine odun külünün etkisi

Horasan hamurlarında hamur tipi ile priz başlangıcı ve priz sonu ilişkisi Şekil 4.14.'de gösterilmiştir.

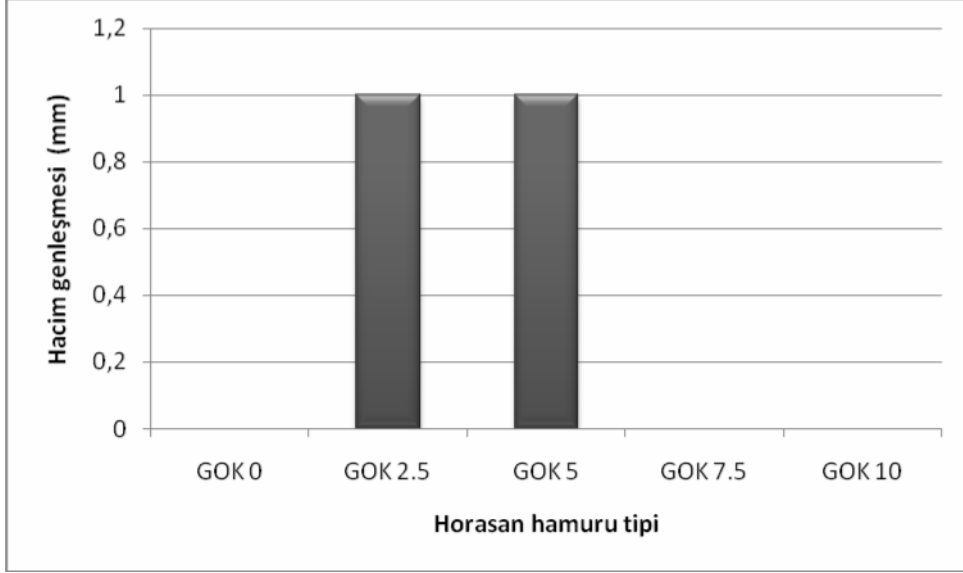


Şekil 4.14. Horasan hamurunun priz sürelerine OK'nin etkisi

Horasan hamuru içindeki OK katkı oranı arttıkça, priz başlangıcı ve priz sonu süreleri de azalmaktadır. Şekil 4.14'de görüldüğü gibi, priz başlangıcı ve priz sonu sürelerinin en fazla olduğu Horasan hamuru kontrol Horasan harcıdır. Bu durum OK katkısının priz sürelerini azalttığı sonucunu vermektedir.

4.5.3. Horasan hamurunun hacim genişmesine odun külünün etkisi

Horasan hamurlarında hamur tipi ile hacim genişmesi ilişkisi Şekil 4.15.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.15. Horasan hamurunun hacim genişmesine OK'nin etkisi

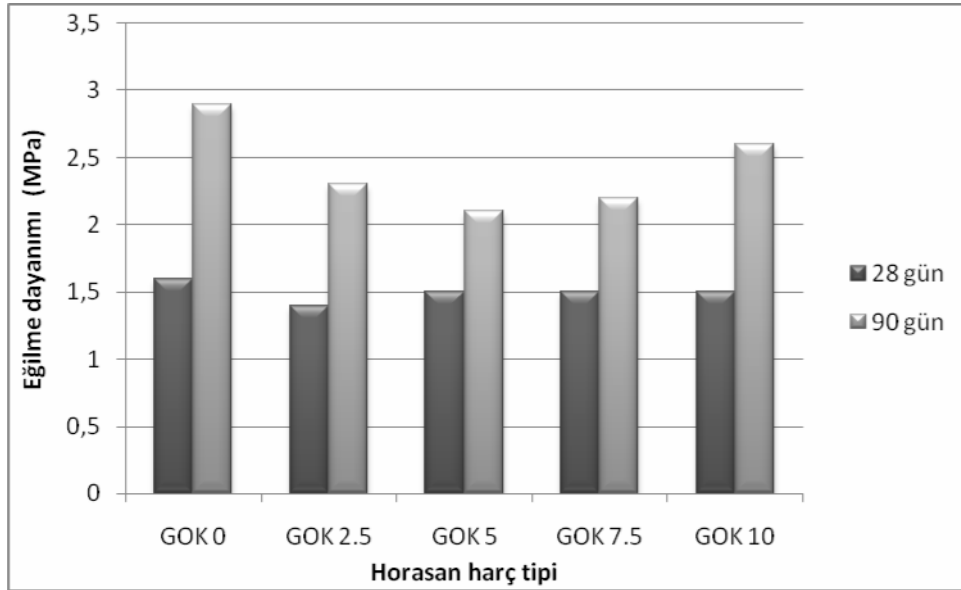
GOK 0, GOK 7.5 ve GOK 10 Horasan hamurlarında hacim genişmesi, meydana gelmemiştir. GOK 2.5 ve GOK 5 Horasan hamurlarında ise 1 mm olarak tespit edilmiştir. OK katkısının Horasan hamurlarının hacim genişmesi üzerine etkisi yoktur.

4.6. Odun Külünün Horasan Harçlarının Eğilme Dayanımına Etkisi

Horasan harçlarının 28 ve 90 günlük eğilme dayanımı sonuçları Çizelge 4.7’de verilmiştir. Horasan harç tiplerinin eğilme dayanımı-harç tipi ilişkisi ise Şekil 4.16’da verilmiştir.

Çizelge 4.7. OK katkılı Horasan harçlarının eğilme dayanımları

Horasan harç tipi	Eğilme dayanımı (MPa)	
	28 gün	90 gün
GOK 0.0	1.6	2.9
GOK 2.5	1.4	2.3
GOK 5.0	1.5	2.1
GOK 7.5	1.5	2.2
GOK 10.0	1.5	2.6



Şekil 4.16. OK katkılı Horasan harçlarının eğilme dayanımı – harç tipi ilişkisi

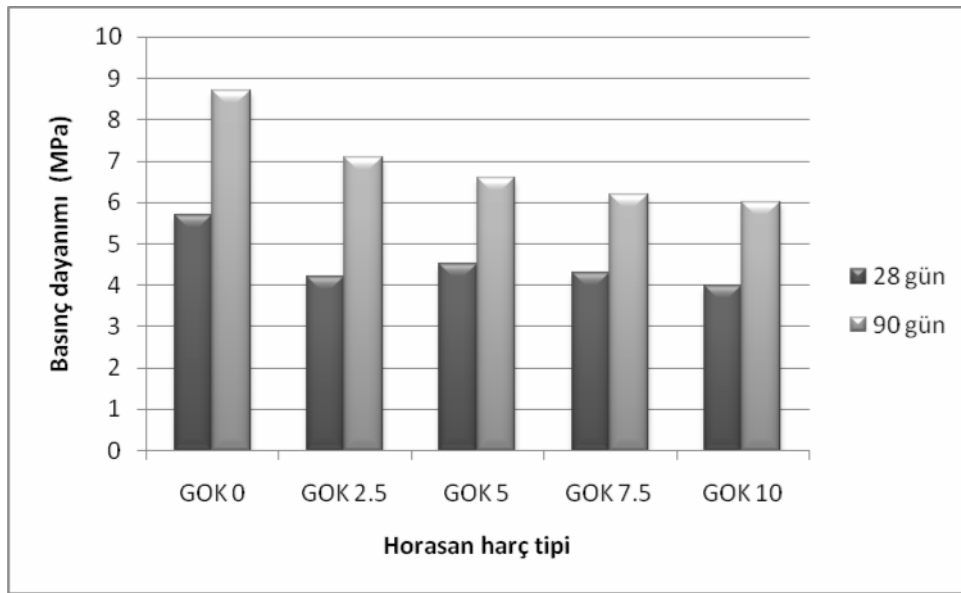
Şekil 4.16’da görüldüğü gibi Horasan harçlarının, 28 günlük deney sonuçlarına göre en yüksek eğilme dayanımı GOK 0 Horasan harcında (1.6 MPa) tespit edilmiştir. GOK 0 harcı, GOK 2.5 harcından % 14.3; diğer harç tiplerinden % 6.7 daha yüksek eğilme dayanımına sahiptir. 90 günlük deney sonuçları esas alındığında yine en yüksek eğilme dayanımı GOK 0 harcında (2.9 MPa) tespit edilmiştir. GOK 0 harcı; GOK 2.5 harcından % 26, GOK 5 harcından % 38.1, GOK 7.5 harcından % 31.8 ve GOK 10 harcından ise % 11.5 daha yüksek eğilme dayanımına sahiptir.

4.7. Odun Külünün Horasan Harçlarının Basınç Dayanımına Etkisi

Horasan harçlarının 28 ve 90 günlük basınç dayanımı sonuçları Çizelge 4.8’de verilmiştir. Horasan harç tiplerinin eğilme dayanımı-harç tipi ilişkisi ise Şekil 4.17’de verilmiştir.

Çizelge 4.8. OK katkılı Horasan harçlarının basınç dayanımları

Horasan harç tipi	Basınç dayanımı (MPa)	
	28 gün	90 gün
GOK 0.0	5.7	8.7
GOK 2.5	4.2	7.1
GOK 5.0	4.5	6.6
GOK 7.5	4.3	6.2
GOK 10.0	4.0	6.0



Şekil 4.17. OK katkılı Horasan harçlarının basınç dayanımı – harç tipi ilişkisi

Şekil 4.17’de görüldüğü gibi Horasan harçlarının, 28 günlük deney sonuçlarına göre en yüksek basınç dayanımı GOK 0 Horasan harcında (5.7 MPa) tespit edilmiştir. GOK 0 harcı, GOK 2.5 harcından % 35.7; GOK 5 harcından % 26.7; GOK 7.5 harcından % 32.6 ve GOK 10 harcından ise % 42.5 daha yüksek basınç dayanımına sahiptir. 90 günlük deney sonuçları esas alındığında yine en yüksek basınç dayanımı GOK 0 harcında (8.7 MPa) tespit edilmiştir. GOK 0 harcı; GOK 2.5 harcından %

22.5; GOK 5 harcından % 31.8; GOK 7.5 harcından % 40.3 ve GOK 10 harcından ise % 45 daha yüksek basınç dayanımına sahiptir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tarihi eserlerde kullanılacak olan Horasan harcının, özelliklerinin geliştirilmesi amacıyla yapılan bu çalışmada; TT, TP, standart kum, PÇ 42.5, kireç ve OK'nin Horasan harcına etkileri incelenmiş ve aşağıda özetlenen sonuçlara ve önerilere ulaşılmıştır.

5.1. Sonuçlar

- * Horasan hamuru içindeki sönmüş kireç miktarı arttıkça, standart kıvam suyu miktarı da artmaktadır.
- * Horasan hamuruna OK katılması priz başlangıcı ve priz sonu sürelerini kısaltmaktadır.
- * Horasan harcına bağlayıcı olarak çimento katılması, eğilme ve basınç dayanımlarını arttırmaktadır.
- * Standart kumlu Horasan harçları, TP'li Horasan harçlarına kıyasla daha yüksek basınç dayanımı göstermiştir.
- * Eğilme dayanımı kıyaslamasında ise TP'li Horasan harçlarının, standart kumlu

Horasan harcından daha yüksek eğilme dayanımı göstermektedir.

- * Horasan harcındaki en iyi bağlayıcı karışım oranının, çimentonun % 25 sabit alınması kaydıyla, % 65 TT ve % 10 kireç olduğu tespit edilmiştir.
- * Horasan harcında OK kullanılması durumunda harcın eğilme ve basınç dayanımları azalmaktadır.

5.2 Öneriler

- * Çimentonun tarihi eserde oluşturduğu tahribat istenmeyen bir durum olduğundan, Bayındırlık Bakanlığının Birim Fiyat Analizi kitabındaki oranın üzerinde çimento kullanılmamalıdır.
- * Günümüzde kullanılan şartnameler de gösteriyor ki çimento bileşeni katılmaksızın restorasyon ve/veya onarım işlemleri yapılamamaktadır. Araştırmacılar Horasanın en büyük özelliği olan kireç ve kilin birbirine çok iyi bağlanması olayını henüz açıklayamamıştır. Bu bakımdan tarihi eserlerin tahrip olmaması için, çimento kullanılmaksızın en iyi harcı oluşturma yönünde çalışmalar devam etmelidir.

KAYNAKLAR

1. Prokopios, “İstanbul’da Iustinianus Döneminde Yapılar, 1”, Çev. Erendiz Özbayoğlu, *Arkeoloji ve Sanat Yayınları*, İstanbul, 16 (1994).
2. Erder, C., “Venedik tüzüğü uluslararası tarihi anıtları onarım kuralları” *Vakıflar Dergisi*, 7: 111-114 (1968).
3. Eskici B., “Mimari onarımlarda malzeme kullanımı ve yöntem sorunları”, *Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu*, Ankara, 257-267 (2007).
4. Önge, Y., “Vakıf eski eserlerinin onarımı”, *II. Vakıf Haftası – Konuşmalar ve Tebliğler*, Ankara, 47-48 (1984).
5. Madran, E., “Osmanlı devletinde eski eser ve onarım üzerine gözlemler”, *Bellekten*, XLIX, *Türk Tarih Kurumu Basımevi*, Ankara, 193-195 (1986).
6. Seyhan, E.C., “Tarihi yapıların onarımında hazır harçların kullanımı”, *Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu*, Ankara, 287-290 (2007).
7. Eskici, B., “Mimari onarımlarda malzeme kullanımı ve yöntem sorunları”, *Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu*, Ankara, 257-267 (2007).
8. Akbulut, D.E., “Tarihi yapıların onarımında kullanılacak harçların seçimine Yönelik bir öneri”, Doktora Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 10-21-22 (2006).
9. Tunçoku, S.S., “Günümüzde koruma / restorasyon çıkmazı”, *Mimarlık Dergisi*, 315, 57-59 (2004).
10. Böke, H., Akkurt, S., İpekoğlu, B., “Tarihi yapılarda kullanılan horasan harcı ve sıvalarının özellikleri”, *Yapı Dergisi*, 269: 90-93 (2004).
11. Kurugöl, S., “Eski mimarilerde kullanılmış olan kireç harçlarının genel özellikleri”, *Yapı Dünyası*, 19-24 (2006).
12. Postacıoğlu, B., “Beton, 1”, *Matbaa Teknisyenleri Basımevi*, İstanbul, 23-124 (1986).
13. Çamlıbel, N., “Sinan mimarlığında yapı strüktürünün analitik incelenmesi”, *Yıldız Teknik Üniversitesi Basım Yayın Merkezi*, İstanbul, 63-65 (1998).

14. Erdoğan, M., “Osmanlı devrinde Anadolu camilerinde restorasyon faaliyetleri”, *Vakıflar Dergisi*, 7: 149-168 (1968).
15. Kılıç, İ., “Horasan harç ve sıvaları”, *Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu*, Ankara, 277-283 (2007).
16. Akman, M.S., Güner, A., Aksoy, İ.H., “The history and properties of Khorasan mortar and concrete”, *Turkish and Islamic Science and Technology in the 16th Century*, I: 101- 112 (1986).
17. Lamekani, H., “İslam Ansiklopedisi, 18”, *Türkiye Diyanet Vakfı*, İstanbul, 234-235 (1998).
18. Hasol, D., “Ansiklopedik Mimarlık Sözlüğü”, *Yem Yayınları*, İstanbul, 296 (1988).
19. Böke, H., Akkurt, S., İpekoğlu, B., Uğurlu, E., “Onarım amaçlı horasan harç ve sıvaların hazırlanması”, *Mimarlıkta Malzeme Dergisi*, 3: 68-72 (2007).
20. Kanıt, R., Işık, N.S., “Horasan harcı kullanılarak yapılan model kemerin Performansının deneysel ve sayısal olarak belirlenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 7 (2): 179-181 (2004).
21. Satongar, Ş., “İstanbul şehir surları Horasan harçları üzerine bir araştırma”, Yüksek Lisans Tezi, *Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-35 (1994).
22. Pusat., S.E., “Tarihi yapıların onarımında kullanılacak harç üretimi”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 10-74 (2002).
23. Biricik, H., “Su geçirimsizliğinin puzolan malzeme ile azaltılması”, *Yapıda Yalıtım Konferansı*, İstanbul (1999).
24. Aruntaş, H.Y., “Diatomitlerin çimentolu sistemlerde puzolanik malzeme olarak kullanılabilirliği”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 6-7 (1996).
25. Lea, F.M., “Investigations on Pozzolans”, *Building Research*, 27: 1-63 (1940).
26. Aruntaş, Y. ve Tokyay, M.; “Katkılı çimento üretiminde diatomitin puzolanik malzeme olarak kullanılabilirliği”, *Çimento ve Beton Dünyası*, 4: 33-41 (1996).
27. Yetgin, Ş., Çavdar, A., “Doğal puzolan katkı oranının çimentonun dayanım, işlenebilirlik, katılaşma ve hacim genleşmesi özelliklerine etkisi”, *Fırat Üniversitesi, Fen ve Mühendislik Dergisi*, 17 (4), 687-692 (2005).

28. Akman, M.S., “Yapı Malzemeleri”, *İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası*, İstanbul, 6-7 (1987).
29. DPT, “Madencilik Özel İhtisas Komisyon Raporu”, *Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı*, Ankara, 2-4 (2001).
30. Erdoğan, T.Y., “Beton”, *Odtü Yayıncılık*, Ankara, 173-175 (2007).
31. Holeman, J.N., “Kil Mineralleri”, Çev. Dizdar M.Y., *Topraksu Yayınları*, Ankara, 16-18 (1979).
32. Aruntaş, H.Y., “Mineral Esaslı Bağlayıcılar Notları”, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Eğitimi A.B.D.* (2007).
33. İnternet: Dokuz Eylül Üniversitesi, “Yayınlar”
<http://www.eng.deu.edu.tr/yayin/JEO323.pdf,12.03>. (2009).
34. Akın, L., “Bizans mimarisinde tuğla tezyinat”, *Ayasofya Müzesi Yıllığı*, İstanbul, 5, 70 (1964).
35. Görhan, G., Demir, İ., Başpınar, S., Kahraman, E., “Borik asit katkılı cephe kaplama tuğla özelliklerine pişirme sıcaklığının etkisi”, *4. Ulusal Çatı & Cephe Kaplamalarında Çağdaş Malzeme ve Teknolojiler Sempozyumu*, İstanbul (2008).
36. İnternet: Tuğla ve Kiremit Üreticileri Derneği, “Tanıtım”
<http://www.tukder.orgfiles20080623155233> (2009).
37. “Çimento Sanayii Ön Raporu”, *Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı*, 28-29 (2006).
38. İnternet: Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, “İndex”
<http://www.tcma.org.tr/index.php?page=icerikgoster&menuID=50> (2009).
39. Şimşek, O., “Beton ve Beton Teknolojisi”, *Seçkin Yayıncılık*, Ankara, 75-77 (2007).
40. İnternet : Dokuz Eylül Üniversitesi, “Ders Notları”
http://www.gidb.itu.edu.tr/staff/akman/dersler_2008.htm (2009).
41. TS EN 197 – 1, “Çimento Bölüm 1: Genel Çimentolar – Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri”, *TSE*, Ankara (2002).
42. ASTM D 8, “Standard terminology relating to materials for roads and pavements”, *Annual Book of ASTM Standards*, 4-16 (1998).

43. Ün, H., “Bağlayıcı Maddeler”, *Pamukkale Üniversitesi Ders Notları*, Denizli, 2- 15 (2007).
44. Aköz, F., Yüzer, N., Çakır, Ö., Kabay, N., Kızıllkanat, A.B., Özçiftçi, N., “Temel Yapı Malzemesi Deneyleri”, *Yıldız Teknik Üniversitesi Basım Yayın Merkezi*, İstanbul, 31-61 (2005).
45. İnşaat Kireçleri–Types of lime in Construction, *Türk Standartları Enstitüsü* (1974).
46. Ashurst., J., “Practical building conservation”, *Mortars Plasters and Renders*, 3 (1988).
47. Küçükkılıç, H., “Kültür varlıklarının onarımlarında kullanılan hidrolik kireç Harçlarının özellikleri ve Kapadokya kaya oyma kiliselerinin konsolidasyonunda Hidrolik kireç uygulamaları”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 5-54 (2002).
48. Kılıç, Ö., Anıl, M., “Kireç söndürme şartlarının söndürülmüş kireç kalitesine etkisi”, *Madencilik Dergisi*, 45 (1): 15-22 (2006).
49. Eriç, M., Ünver A., Ersoy, Y.H., “Horasan harcının günümüzde kullanımını sağlamak amacı ile yapılan bir araştırma”, *Yapı Dergisi*, 7 (1990).
50. Böke, H., Akkurt, S., İpekoğlu, B., Uğurlu E., “Characteristics of brick used as aggregate in historic brick-lime mortars and plasters”, *Cement and Concrete Research* 36: 1115–1122 (2006).
51. Özlem, A.Ö., Böke, H., “Properties of Roman bricks and mortars used in Serapis Temple in the city of Pergamon”, *Materials Characterization* 60, 995–1000 (2009).
52. Uğurlu, E., Böke H., “The use of brick–lime plasters and their relevance to climatic conditions of historic bath buildings”, *Construction and Building Materials* 23: 2442–2450 (2009).
53. Komisyon, “1999 yılı Birim Fiyat Analiz Kitabı”, *Bayındırlık Bakanlığı*, Ankara, 25-30 (1999).
54. TS EN 459 – 1, “Yapı kireci – bölüm 1: tarifler, özellikler ve uygunluk kriterleri”, *TSE*, Ankara (2005).
55. TS EN 196 – 1, “Çimento deney metotları – bölüm 1 : dayanım”, *TSE*, Ankara (2002).
56. TS EN 196 – 3, “Çimento - deney metotları – bölüm 3: priz süresi ve genleşme tayini”, *TSE*, Ankara (2002).

57. Şimşek, O., “Beton Bileşenleri ve Beton Deneyleri”, **TÇMB**, Ankara, 6-22 (2004).
58. TS EN 196 – 6, “Çimento deney metotları – bölüm 6 : incelik tayini”, **TSE**, Ankara (2000).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı : YILMAZ, Cemal
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi-yeri : 10.04.1980, Konya
 Medeni hali : Bekar
 Telefon : 537 222 73 73
 e-mail : f.cemalyilmaz@hotmail.com.

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Lisans	Fırat Üniversitesi/Yapı Ress.Öğr.	2006
Önlisans	Akdeniz Üniversitesi/İnşaat	2001
Lise	Endüstri ve Meslek Lisesi/Yapı	1997

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görevi
1997 – 1998	Konya	Statik ve mimari proje teknikeri
2000 – 2002	Konya	Şantiye şefi yardımcısı Keşif ve hakediş işlemleri
2007 – 2008	Ankara	AB Mesleki eğitim projesi yürütücülüğü

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. Durmuş, G., Yılmaz, C., “Farklı oranlardaki yapay puzolan katkılı betonların su işleme derinliğinin ultrases geçiş hızı ile değerlendirilmesi”, *New World Science Academy Dergisi*, 4, 1 (2009).