

## HORASAN HARÇ VE BETONUNUN ÖZELİKLERİ

İlker Bekir Topçu, Mehmet Canbaz, Hüseyin Karanfil  
Osmangazi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir

### ÖZET

Bu çalışmada, bağlayıcı ve taşıyıcı özeliği ile tarihi yapıların eski dönemlerden günümüze kadar varlığını korumasını sağlayan horasan harcının, bileşimleri ve mühendislik özellikleri araştırılmıştır. Tuğla kırığı ve kireç ile yapılan horasan harcında kullanılan tuğlaların puzolanik özeliği ve gözenekli yapısı ile günümüz tuğlalarından farklı oluşu belirlenmiştir. Bu gözenekli yapının kireçle reaksiyonunda puzolanik özeliği artırdığı ve sıvaları daha dayanıklı hale getirdiği anlaşılmıştır. Bu nedenle onarım amaçlı kullanılacak yeni horasan harç ve sıvalarındaki tuğlaların özel olarak üretilmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Yapılan çalışmalarda kireç/tuğla oranlarının önemine, su/bağlayıcı değişimlerine ve kullanılan kirecin özelliklerine de değinilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Horasan harcı, puzolan, dayanıklılık.

### 1. GİRİŞ

Horasan; kırılmış, öğütülmüş kiremit, tuğla, çömlek vb. pişmiş killere verilen isimdir. Horasan harcı ise horasan, kireç, su ve bazı katkı maddelerinin eklenmesiyle üretilen bağlayıcı ve taşıyıcı özeliğe sahip bir malzemedir. Ayrıca tuğla ve kiremit kırıklarının nohut büyüklüğündeki taneler olarak katılması ile üretilen karışım Horasan Betonu olarak tanımlanmaktadır. Bu özel harç üretiminin kolaylığı, istenilen şeklin verilebilmesi ve dayanıklılığı sebebiyle çimentonun bulunmasına kadar geçen süredeki yapıların inşalarında kullanılmıştır. Tarihi eserlere yapılacak müdahalelerde bu özellikler dikkate alınarak malzemeler seçilmelidir. Fotoğraf 1'de tarihi hamamların soğukluk mekânından alınmış horasan harcı kesitleri görülmektedir [1, 2].



Fotoğraf 1. Tarihi hamamlardan alınmış horasan sıvaları [1]

Horasan kelimesi İran'ın doğusundaki Horasan bölgesinden gelmektedir. Roma döneminde "Cocciopesto", Hindistan'da "Surkhi", Arap ülkelerinde "Homra" adını almıştır [3]. Horasan harç ve betonuna Bizans, Roma, Selçuklu ve Osmanlı dönemindeki yapılarda rastlanmaktadır. Horasan harcının Mısır'da Gizeh piramitlerinde ve Asur şehirlerinde kullanıldığına dair bulgulara da ulaşılmıştır. Ayasofya Camii, Süleymaniye Camii, Rumeli Hisarı, Yeni Camii, Belgrad yolu köprüleri, Sultanahmet Külliyesi gibi tarihi yapılar dışında, sarnıç, su kemerleri ve hamam gibi yapılarda da kullanıldığı bilinmektedir [2]. Horasan harç ve sıvaları, kireç harç ve sıvaları içinde tanımlanmaktadır. Kireç harçları; kireç, agrega ve katkı maddelerinden oluşur. Kirecin hammaddesi,  $\text{CaCO}_3$  minerallerinden oluşan kireç taşlarıdır. Bu taşların ısı ile kalsine olması sonucu yapıdan  $\text{CO}_2$ 'nin ayrılması ile  $\text{CaO}$ 'ya dönüşürler. Elde edilen bu ürün sönmemiş kireç olarak adlandırılır. Elde edilen sönmemiş kireç, su veya havada bulunan nem ile reaksiyona girerek  $\text{Ca(OH)}_2$ 'ye (sönmüş kireç) dönüşmektedir. Kirecin sönmesi için havada % 15 relatif nemin olması yeterlidir. Sönmüş kireç elde edilmesinde kullanılacak en iyi yöntem, sönmemiş kireç üstüne suyun püskürtülmesidir. Sönmemiş kirecin açık havada bırakılarak, sönmemesinin sağlanması, kirecin bu süreçte aynı zamanda karbonatlaşmasından dolayı tercih edilmeyen bir yöntemdir [1].

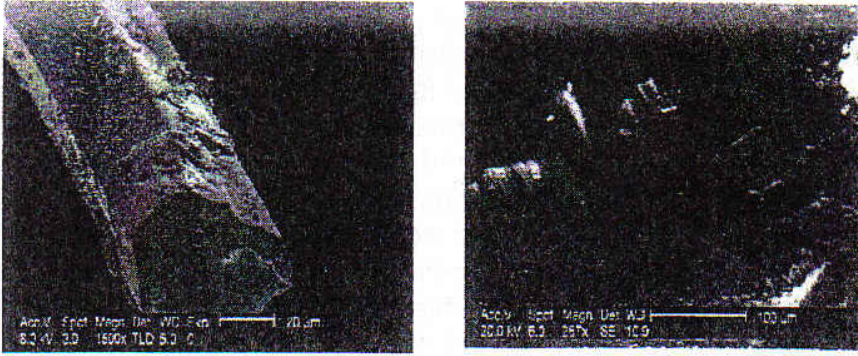
Agregalar, harç ve sıvalarda çatlak oluşmasını önleyerek basınç dayanımlarını artırırken, kısmının gözenekli bir yapıda olmasını sağlayarak karbonatlaşmayı da hızlandırır [6]. Agregalar, kireç ile reaksiyona girmeyenler (etkisiz) ve reaksiyona girenler (puzolan) olarak iki gruba ayrılır. Etkisiz agregalar, taş ocağı, dere ve denizlerden elde edilen agregalardır. Puzolanlar ise doğal ve yapay puzolanlar olarak sınıflandırılır. Doğal puzolanlar (tüf, tras, opal vb.) genelde volkanik küllerden oluşur. Tuğla, kiremit vb. pişirilmiş malzemeler ise yapay puzolan olarak tarihi yapıların harç ve sıvalarında kullanılmıştır [7,12]. Kireç harçlarının hazırlanmasında kirecin veya harcın özelliklerini geliştirmek, karbonatlaşmayı hızlandırmak amacıyla kirece veya harca organik ve inorganik maddelerin katıldığı bilinmektedir. Bunlardan bazıları; kan, yumurta, 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 sağlar. Arpa, idrar ve hayvan tüyleri dayanıklılığı artırırken, şekerde suyun donma-çözülme çevrimlerinde meydana gelen bozulmaları yavaşlatır. Balmumu, harçtaki büzülme önler ve keten tohumu gibi yağlar ise kirecin plastik özeliğini artırarak harcın çalışabilirliğini sağlar. Günümüzde bunların yerini polyaminophenoller almıştır [9]. Harç ve sıvaların sertleşmesi, kirecin havada bulunan  $\text{CO}_2$  gazı ile karbonatlaşması sonucu gerçekleşir. Karbonatlaşmayı etkileyen en önemli faktörler; su miktarı,  $\text{CO}_2$  gazının derişimi, bağıl nem ve sıva kalınlığıdır.  $\text{CO}_2$  gazının derişimi ve bağıl nem arttıkça karbonatlaşma artar [5]. Suyun yokluğu ile aşırı varlığında karbonatlaşma yavaş gerçekleşmektedir. Karbonatlaşma kirecin dış yüzeyinden iç yüzeyine doğru oluşması nedeniyle, kireç harçlarının ve sıvalarının kalınlığı, kireç/agrega oranları, agrega dağılımları, karıştırma ve bunların sonucunda oluşan gözenekli yapı karbonatlaşmaya etki etmektedir [10].

## 2. HORASAN HARCİ VE SIVALARININ MÜHENDİSLİK ÖZELİKLERİ

### Kimyasal Özellikler:

Kireç harçlarının kimyasal reaksiyonu yavaş gelişen, asit-baz reaksiyonu ile açıklanabilir. Pişmiş kilin zayıf asit, kirecin ise baz etkisi göstermesi sonucu oluşan

kalsiyum silikat tuzu, asit karbonik içeren sularda bile erimeyen jel yapılı hidrate tuzdur. Reaksiyonun başarı ile gerçekleşmesi için ortamın nemli, silisinde daha aktif ve ince taneli olmasına önem verilmelidir [1]. Kireç harçları, hidrolik ve hidrolik olmayanlar olarak iki grupta tanımlanır. Hidrolik olmayanlar, kireç ile etkisiz agregaların karışımıyla oluşurken; hidrolik harçlar ise hidrolik kireç kullanılarak veya saf kireç ile puzolanların karıştırılmasıyla elde edilir. Hidrolik harçların dayanımları, oluşan kalsiyum silikat hidrat ve kalsiyum alüminat hidrattan dolayı hidrolik olmayanlardan daha büyüktür [2]. Kirecin puzolanlarla olan reaksiyonu için ortamda suyun bulunması gerekir. Bu nedenle, hidrolik harçlar su altında da dayanım kazanırlar. Yüzey alanı büyük puzolan kullanımı, ortam sıcaklığının yüksek olması, karışıma alçı eklenmesi, bu harçların sertleşme sürecini hızlandırarak daha büyük basınç dayanımlarına sahip olmalarını sağlamaktadır [8]. Horasan harçlarının özellikleri birçok tarihi yapıdan alınan numunelerle incelenmiştir. Harç ve sıvaların XRD ile yapılan mineralojik analizlerinde; kalsit ve kuvars mineralleri gözlemlenirken, kullanılan tuğlalarda ise kuvars, feldspatlara ve amorf fazlara rastlanmıştır. Bu sonuçlar kullanılan tuğla kırıklarının puzolanik özeliğe sahip olduğunu göstermektedir. Tuğla örneklerinin taramalı elektron mikroskop görüntülerinde ise camsı yapının oluşmadığı saptanmıştır. Bu durum, tuğlaların düşük sıcaklıklarda pişirildiklerini açıklamaktadır [1].



Şekil 1. Etrenjit Kristallerinin Mikroyapı Görüntüleri [1]

#### Fiziksel ve Mekanik Özellikler:

Bu özelliklerin belirlenmesi için biri Fatih semtinde Bizans devrinden kalma bir sarnıca diğeri Kuruçeşme'deki bir yapıdan alınan numuneler alınmış ve incelenmiştir. Numunelerde tuğla kalınlıkları 2.5 cm, horasan harcı kalınlıkları ise 6 cm dir [2]. Yapılan deneyler sonuçları aşağıda Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Bazı horasan harçlarının fiziksel ve mekanik özellikleri [1]

Özellik	Kuruçeşme Tonozu	Fatih Tonozu
Basınç Dayanımı, MPa	4	7
Su Emme, %	32	33.2
Kuru Birim Ağırlık, kg/dm <sup>3</sup>	1.36	1.32
Emniyet Katsayısı	2.17	3.8

Yapılan bir deneysel çalışmada laboratuvarında horasan harçları ve betonları kullanılarak iki sıra harman tuğlası içeren bloklar üretilmiştir. Bu deneyler için hazırlanan numune

karışımlarının özellikleri ve deney sonuçları Tablo 2'de verilmiştir. Tablo 2'de C Horasan Betonunu, M Horasan harcını, H Nemli ortamı ve D' de Kuru ortamı göstermektedir.

**Tablo 2.** Bazı horasan harçlarının numune karışımlarının özellikleri [3]

Numune Tipi	Ağırlıkça Karışım Oranları					Sertleşmiş Harç Özellikleri		
	Kireç	Su	İnce Horasan	İri Horasan	İlave Su	Birim Ağır. kg/dm <sup>3</sup>	Eğilme D. MPa	Basınç D. MPa
C1H C1D	1	1.22	2.1	2.34	0.80	1.76 1.47	2.00 1.71	4.31 5.31
M1H M1D	1	1.22	2.1	0	0.35	1.68 1.36	2.13 1.87	4.50 7.59
C2H C2D	1	1.22	2.05	2.30	0.80	1.68 1.67	1.32 1.38	3.27 4.92

Deneyler numune üretiminden 12 hafta sonra yapılmıştır. Camlaşmış, iyice pişerek aktivite kazanmış tuğla yerine harman tuğlasından yararlanılması da puzolanik etkinin yeterliliğini zedelemiştir. Tablodan da görülebileceği gibi horasan harcı içinde iri horasan bulunmamaktadır. Kuru numunelerde birim hacim ağırlığının düşük olduğu belirlenmiştir. Burada nemli ortamda bulunan numunenin eğilme dayanımı daha yüksektir. C1D ve C2D numuneleri arasındaki basınç dayanımı farkı ise kullanılan tuğla kalitelerinden kaynaklanmaktadır [3]. Yine hidrolik kireç üretimi çimento üretiminin ilk aşamasıdır. Hidrolik kireçler % 70–80 arası karbonat ve % 13–17 arasında silikat ve alüminat içeren kireç taşlarından elde edilir. Bu taşların kalsinasyon sıcaklıkları saf kireç taşlarından daha yüksektir. Yüksek sıcaklıklarda kalsine edilen kireçlerde kalsiyum silikatlar ve kalsiyum alüminatlar oluşur. Bu ürünler, kirecin hidrolik özellik kazanmasını ve su altında sertleşmesini sağlar. Hidrolik kireçler, Hidrolisite indisi ile sınıflandırılabilir. Hidrolisite indisi ( $H.I. = (\% \text{ silikat} + \% \text{ alüminat}) / (\% \text{ kalsiyum oksit})$ ) formülüyle bulunur. Hidrolisite indisi değerlerine göre kireçler Tablo 3'te gösterilmiştir [13]. Hidrolik kireç kullanılarak elde edilen harçların basınç dayanımları, saf kireç kullanılarak elde edilen harçlardan daha büyüktür [12].

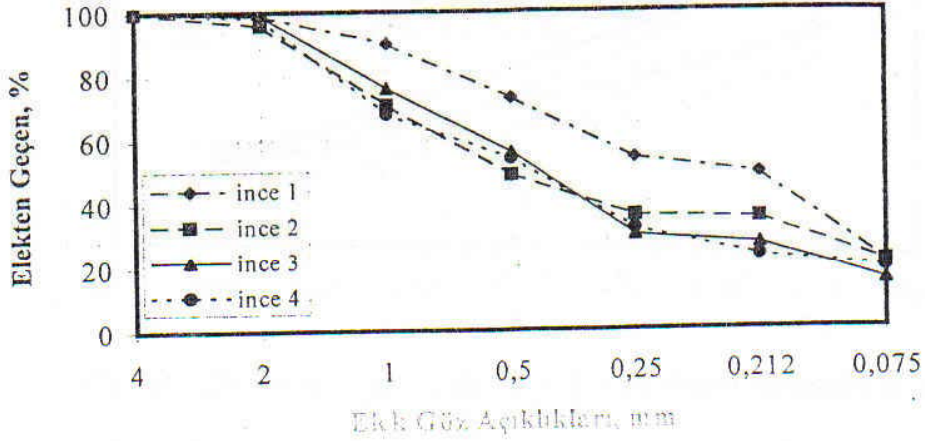
**Tablo 3.** Kireçlerin Hidrolisite İndisi değerleri [13]

H.I.	Ürün
0.1 den düşük	Hidrate kireç
0.1 - 0.2	Yarı Hidrolik
0.2 - 0.4	Hidrolik

### 3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Horasan harç ve sıvalarda agrega olarak kullanılan tuğla tozu ve kırıkları ile harçların yoğunlukları, tek eksenli basınç ve eğilme dayanımları, bağlayıcı/agrega oranları ve agrega dağılımları belirlenmiştir. Harç üretim standardına uygun olarak taze harç deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerde, su miktarındaki değişiklikler ile agrega özellikleri, harç karışım hesabında seçilen granülometri, bağlayıcı özellikler, mineral ve kimyasal katkıları ve değişik tipteki liflerin taze harcın işlenebilme özelliğini büyük ölçüde etkilediği görülmüştür. Taze harç deneyi olarak yayılma deneyi yapılmıştır. Çökme miktarının

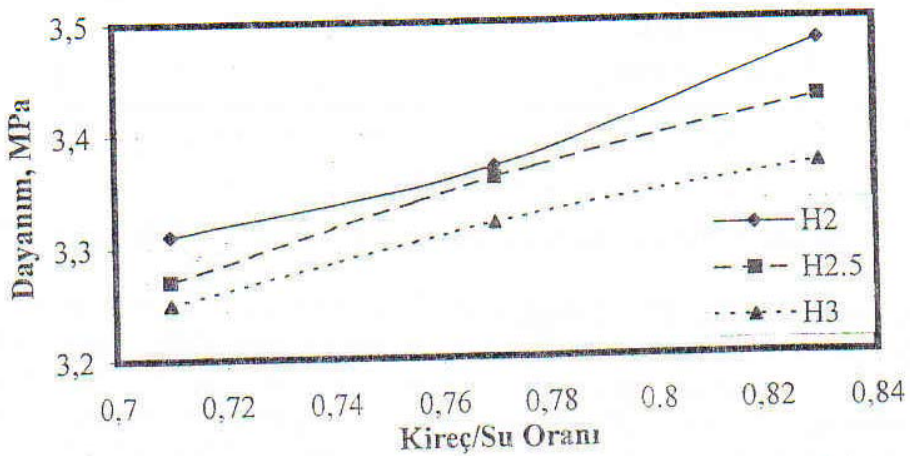
fazla olması kıvamın yüksek olduğunu ve betonun bünyesindeki suyun fazla olduğunu ifade eder. Bu deney TS EN 998 standartlarına göre yapılmaktadır. Sertleşmiş numuneler ile basınç dayanımı, eğilme ve çekme dayanımı deneyleri yapılmıştır. Hasarsız deneylerden rezonans frekansı ve Ultrases geçiş süresi deneyleri yapılmış ve geçiş süresi  $\mu\text{sn}$  cinsinden ölçülerek geçiş hızı (km/sn) hesaplanmıştır. Bu hız numunenin doluluğuna bağlıdır. Numunenin birim ağırlığı ile dayanımı arasında bir ilişki bulunmaktadır[14].



Şekil 2. Horasan malzemesinin granülometrisi

#### Kullanılan Malzeme Özellikleri:

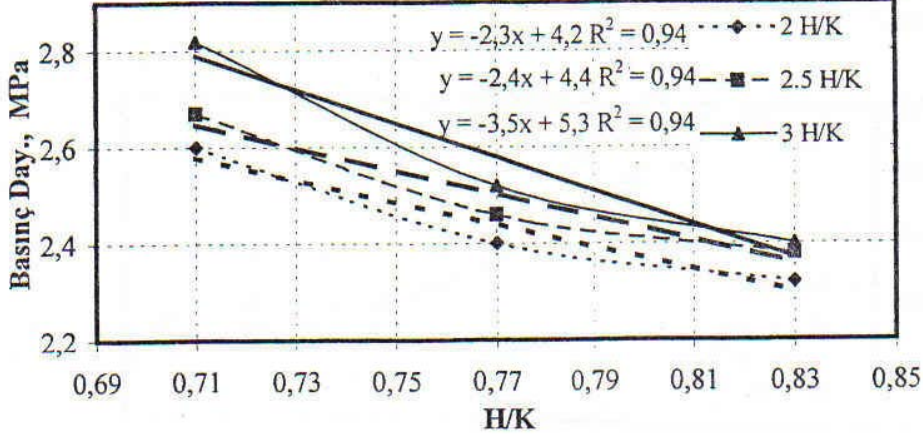
Horasan harcı yapımında kullanılan kireç, Öztaş kireçten temin edilen, toz halde kireç olup, yapılan deneyler sonucunda birim ağırlığı  $0.92 \text{ kg/dm}^3$ , özgül ağırlığı  $2.74 \text{ kg/dm}^3$  olarak saptanmıştır. Horasan olarak belirttiğimiz kiremit tozu ise Kılıçoğlu kiremit fabrikasından temin edilmiş olup, Şekil 2'de belirtilen granülometriye sahiptir. Birim ağırlığı  $1.21 \text{ kg/dm}^3$ , özgül ağırlığı  $2.63 \text{ kg/dm}^3$  olarak saptanmıştır, bu harcın priz süresi ise 8-18 saattir.



Şekil 3. Kireç/su oranı ile 7 Günlük Dayanımlar arası ilişki

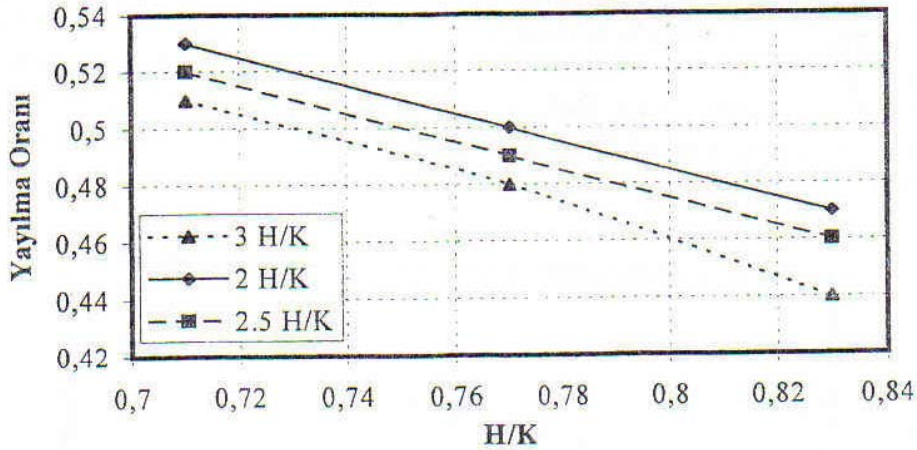
#### 4. DENEYSEL ÇALIŞMALARIN SONUÇLARI

Yapmış olduğumuz çalışmada kireç/su oranlarının değişimiyle üretilen harçların 7 günlük dayanımlarının değiştiği Şekil 3'te gösterilmektedir. Kireç/su oranı artışı ile numunelerin dayanımlarının da artışı gözlenmektedir.



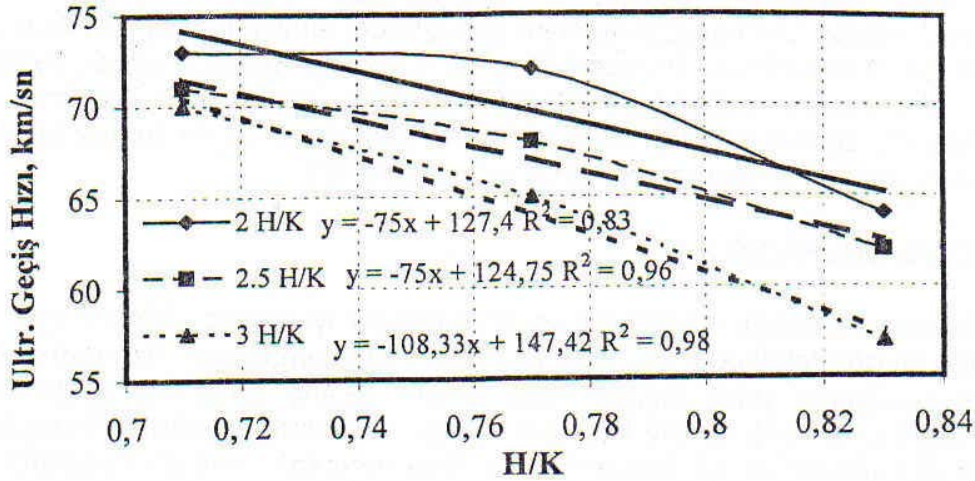
Şekil 4. Horasan harçlarında basınç dayanımının H/K ile değişimi

Şekilde görüleceği gibi harç hamurunun, bağlayıcı miktarı sabit iken, horasan, yani puzolanik etkinin artması basınç dayanımını artırmakla birlikte, kireci % 50'den fazla tutmak etkili olabilir, buna yönelik yeni çalışmalara ihtiyaç duyulmasıyla birlikte katkı maddeleri katılması özellikleri değiştirebilir.



Şekil 5. Horasan harçlarında üst çapa oranla yayılmanın H/K ile değişimi

Yayılma deneyi sonuçlarına göre üst çapa oranla yayılma miktarının artması yayılmanın az olduğuna, işlenebilirliğin iyi olmadığına işaret etmektedir. Aynı H/K oranında geçiş hızının artıyor oluşu, harcın gözenekli olduğunu ve dayanıklılığının iyi olmadığını gösterir. Ortamdaki nemin değişmesi ya da harcın kurumması sırasında, suyun veya su buharının harca difüzyonu söz konusudur. Tuz iyonları gibi su içinde erimiş maddeler, boşluk yüzeylerinde oluşan su filmi veya su ile dolu boşluklarda birikir. Sürekli ıslanan ve kuruyan yapı elemanında başlangıçta tehlikeli olmayan bu birikim zamanla harca zarar verebilecek boyutlara ulaşabilir.



Şekil 6. Horasan harçlarında ultrases geçiş hızının H/K ile değişimi

## 5. DENEY SONUÇLARININ İRDELENMESİ

Horasan harç ve sıvaları kireç, tuğla kırıkları ve bazen de ince kum karışımı ile elde edilmektedir. Bu harç ve sıvalar, çimento harç ve sıvalardan çok daha gözenekli bir yapıya ve daha düşük yoğunluklara sahiptir. Horasan harç ve sıvalar kireç ve etkisiz agrega kullanılarak hazırlanan kireç harçlarından (hidrolik olmayan) daha büyük basınç dayanımlarına sahiptir. Bu durum, onların hidrolik özelliğe sahip olduklarını göstermektedir. Horasan sıvaların hazırlanmasında fazla oranda kireç ve harçlardan farklı olarak ince taneli agregalar kullanılmıştır. Ağırlıkça % 50'nin üzerinde kireç kullanılarak hazırlandığı söylenebilir. Harç ve sıvalarda agrega olarak kullanılan tuğlaların, kireç ile ara yüzeylerinde ve gözeneklerinde kalsiyum silikat hidrat ve kalsiyum alüminat hidrat oluşumlarının gözlenmesi, bu harç ve sıvaların hidrolik özelliğe sahip olduğunu göstermektedir [8].

Tablo 4. Yapılan Deneysel Çalışmalar ve Oranları, Sonuçları

Grup	K/S	Kireç	Su	Horasan	YBA, kg/dm <sup>3</sup>	Alt Çapa Oranla Yayılma	Üst Çapa Oranla Yayılma	Basınç Dayanımı MPa	Ultrases Geçiş Hızı $\mu$ sn
A	0.83	1.0	1.2	2.0	1.23	0.37	0.53	2.6	73
B	0.83	1.0	1.2	2.5	1.18	0.36	0.52	2.67	71
C	0.83	1.0	1.2	3.0	1.12	0.32	0.51	2.82	70
D	0.77	1.0	1.3	2.0	1.32	0.35	0.5	2.4	72
E	0.77	1.0	1.3	2.5	1.30	0.34	0.49	2.46	68
F	0.77	1.0	1.3	3.0	1.28	0.32	0.48	2.52	65
G	0.71	1.0	1.4	2.0	1.42	0.33	0.47	2.32	64
H	0.71	1.0	1.4	2.5	1.38	0.31	0.46	2.38	62
I	0.71	1.0	1.4	3.0	1.34	0.28	0.44	2.4	57

Horasan harç ve sıvalarında agrega olarak kullanılan tuğlaların günümüzde kullanılan tuğlalar ile karşılaştırılması ile harç ve sıva içinde kullanılan tuğlaların gözenekli yapılarından dolayı suyu tuttuğu belirlenmiştir. Bu durum, kirecin tuğlalar ile olan puzolanik reaksiyonu için uygun ortam sağlamaktadır. Suyun yanı sıra sıcaklığın da

yüksek olması puzolanik reaksiyonları artırmaktadır. Hidrolik harç ve sıvaların dayanımlarını artıran bu koşullar hamam yapılarında mevcuttur [8]. Bu sonuçlardan onarım amaçlı hazırlanacak horasan harç ve sıvalarda agrega olarak kullanılacak tuğlaların; kilce zengin doğal ham madde kaynakları kullanılarak üretilmiş, yüksek gözenekliliğe (% 30'dan büyük) sahip, kullanılmadan önce su ile temas etmemiş ve suda çözünen tuzları içermemesi gerektiği anlaşılmıştır [8].

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Horasan harcının başarılı olabilmesi ve onarımlarda iyi sonuç vermesi için yapılan deneylerden de görülebileceği gibi tuğla kalitesi önem taşımaktadır. Hazırlanan horasan harcının beklediğimiz yükü taşıyabilmesi, yeterli basınç dayanımı göstermesi için kullanılan tuğla iyi pişmiş, yeterli kimyasal aktivite kazanmış olmalıdır. Pişmiş toprağın miktarı ve granülometrisi iyi belirlenmelidir. İnce horasan taneleri puzolanik özeliği etkilediğinden olabildiğince ince öğütülmesi gerekmektedir. Alçı içeren horasan sıvaları yüksek sıcaklık ve nemde etrenjit kristalleri oluşumuna katkı sağladığından hamam gibi yerlerde kullanılmamalıdır. Buradan da anlaşılacağı gibi onarım amaçlı hazırlanacak horasan harç ve sıvalarının özelliklerini tuğla agregaların yanı sıra birçok faktörün etkileyebileceği görülmektedir. Bu faktörler, organik veya inorganik katkı malzemeleri, su miktarı, kullanım yerleri (duvar, kubbe vb.) ve bunların kalınlıkları olarak sıralanabilir. Belirtilen veriler dikkate alındığında onarımlarda kullanılacak horasan harcı başarılı bir şekilde görev yapmaktadır.

## KAYNAKLAR

1. Böke, H., Akkurt, S., İpekoğlu, B., "Tarihi Yapılarda Kullanılan Horasan Harcı ve Sıvalarının Özellikleri", Yapı Dergisi, 2004, Sayı 269, ss. 90-95.
2. Akman, M. S., Güner, A., Aksoy, İ. H., "Horasan Harcı ve Betonunun Tarihi ve Teknik Özellikleri", Türk- İslam Bilim ve Teknoloji Tarihi Kong., İTÜ, 1986, ss. 1-18.
3. Erdoğan, T.Y., Beton, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yay. ve İlet. A.Ş. Yay., 2003, ss. 173.
4. Baradan, B., Yazıcı, H., Ün, H., Betonarme Yapılarda Kalıcılık, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, Nisan 2002.
5. Cowper, A., "Lime and Lime Mortars", Donhead Publishing Ltd., London, 1998.
6. Holmes S., Wingate M. Building with Lime, Intermediate Tec. Publ., London, 1997.
7. Lea F.M., "Investigations on Puzolanas", Building Res., Tec. Pap., 27, p. 1-63 1940.
8. Böke, H., Akkurt, S., İpekoğlu, B., Uğurlu, E., "Tarihi Yapıların Onarımında Kullanılacak Horasan Harç ve Sıvalardaki Puzolanik Malzemelerin Özelliklerinin Araştırılması", TÜBİTAK Projesi, Kod: İÇTAG-1674, 2002.
9. Sickels, L. B., "Organics and Synthetics: Their Use as Additives in Mortars, Mortars, Cements and Grouts Used in the Conservation of Historic Buildings", Proceedings of Symposium in Rome, Roma, İtalya, 1981, pp. 25-52.
10. Van Balen K., Van Gemert, D., "Modelling Lime Mortar Carbonation" Materials and Structures, Volume 27, pp. 393-398, 1994
11. Aköz, F., Pusat, S.E., "Tarihi Yapıların Onarımında Kullanılacak Harç Üretimi", YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Müh. ABD, YL Tezi , s. 24, 2002.
12. James, J., Rao, M. S., "Reactivity of Rice Husk Ash", Cement and Concrete Research, 16, pp. 296-302, 1986.
13. Edwin, C., Eckel, C.E., Cements, Limes and Plasters, John Wiley Inc., NY, 1928.
14. Karanfil, H., "Horasan Harç ve Betonunun Özellikleri", Bitirme ödevi, Osmangazi Üniversitesi, Müh.- Mim. Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 2005, Eskişehir.