



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



KOYUN YÜNÜ KATKILI KERPİCİN BAZI
FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ

Ozan TİRYAKİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Mayıs-2022
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Ozan Tiryaki tarafından hazırlanan “Koyun Yünü Katkılı Kerpicin Bazı Fiziksel ve Mekanik Özellikleri” adlı tez çalışması 17/05/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Mahmud Sami DÖNDÜREN

Danışman

Prof. Dr. Ülkü Sultan KESKİN

Üye

Doç. Dr. Sadık Alper YİLDİZEL

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

31/05/2022

Ozan TİRYAKİ

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KOYUN YÜNÜ KATKILI KERPİCİN BAZI FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ

Ozan TİRYAKİ

Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ülkü Sultan KESKİN
II.Danışman: Prof. Dr. Kazım TÜRK

2022, 109 Sayfa

Jüri

Danışman: Prof. Dr. Ülkü Sultan KESKİN
Üye: Prof. Dr. Mahmud Sami DÖNDÜREN
Üye: Doç. Dr. Sadık Alper YILDIZEL

Yapı malzemesi olarak çamurun, insan tarafından kullanılma tarihi, kendi mevcudiyeti kadar eskidir. Mağaralardan kurtulan ilk insan, varlığını korumak için kendine bir barınak yapma ihtiyacı hissettiğinde taş, toprak, su ve ağaç gibi en tabi malzemeleri bulmuş ve bunları kullanmıştır.

Toprak ve suyun harmanlanıp, saman katılmasıyla elde edilen kerpiç malzemesi de yıllarca yapı malzemesi olarak kullanılmıştır. Hem ekonomik hem de rahat temin edilebilir olması başlıca avantajları arasındadır. Bununla birlikte, çağımızın hatta insanlık tarihi boyunca doğal olaylar ile içli dışlı olan yapılarımızın bu doğal olaylara dayanım göstermesi beklenmektedir. Gerekli olan bu dayanımı sağlamak için de yüz yıllardır yapı malzemesi olarak kullanılan kerpiç malzemesi farklı özellikteki malzemeler ile geliştirilmeye çalışılmıştır.

Bu çalışma kapsamında, kerpiç malzemesine toprak ağırlığının %10'u kadar alçı, saman ağırlığının %3, %6, %9 ve %12'si kadar koyun yünü ve samanın yerine cam elyaf katılarak hem dayanım hem de geçirimsizlik üzerindeki etkileri incelenmiştir. İnceleme neticesinde koyun yünlü katkı kerpicin hem kendi içerisinde hem de geleneksel ve cam elyaf katkı kerpice göre eğilme, basınç, ultra ses hızı ve radyasyon geçirimsizliği deneylerinde daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Yapılan bu deneylerin sonuçlarından hareketle koyun yünü katkı kerpicin daha dayanıklı ve geçirimsiz bir malzeme olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Kerpiç, Koyun Yünü, Alçı Kerpiç (Alker), Cam Elyaf, Dayanım, Radyasyon Yalıtımı

ABSTRACT

MS THESIS

SOME PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF SHEEP WOOL ADDED ADOBE

Ozan TİRYAKİ

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Construction Materials**

**Advisor: Prof. Dr. Ülkü Sultan KESKİN
II. Advisor: Prof. Dr. Kazım TÜRK
2022, 109 Pages**

Jury

**Advisor: Prof. Dr. Ülkü Sultan KESKİN
Member: Prof. Dr. Mahmud Sami DÖNDÜREN
Member: Assoc. Prof. Dr. Sadık Alper YİLDİZEL**

The history of human use of mud as a building material is as old as its own existence. When the first person to escape from the caves felt the need to build a shelter for himself in order to preserve his existence, he found and used the most natural materials such as stone, soil, water and wood.

The adobe material obtained by blending soil and water and adding straw has been used as a building material for years. Its main advantages are that it is both economical and easily available. However, it is expected that our structures, which are closely associated with natural events throughout our age and even human history, will show resistance to these natural events. In order to provide this required strength, adobe material, which has been used as a building material for centuries, has been tried to be developed with materials with different properties.

In this study, the effects on both strength and permeability were investigated by adding gypsum up to 10% of the soil weight, sheep wool up to %3, %6, %9 and %12 of the straw weight, and glass fiber instead of straw. As a result of the examination, it has been observed that adobe with sheep wool additives gives better results both in itself and in bending, pressure, ultra sound velocity and radiation impermeability tests compared to traditional and glass fiber added adobe. Based on the results of these experiments, it has been seen that adobe with sheep wool is a more durable and impermeable material.

Keywords: Adobe, Sheep Wool, Plastered Adobe (Alker), Glass Fiber, Strength, Radiation Insulation

ÖNSÖZ

Değerli hocam ve tez danışmanım Prof. Dr. Ülkü Sultan Keskin ve ikinci danışmanım Prof. Dr. Kazım Türk'e böyle bir çalışma yapılması önerisinde bulunmasından ve çalışmamın yapılması sırasında zaman, içerik bakımından son şeklinin almasına kadar katkı sağladıkları için çok teşekkür ederim.

Bu çalışma boyunca yardımlarını esirgemeyen ve zamanlarını bana bağışlayan, destek olan aileme çok teşekkür ederim.

Ozan TİRYAKİ
KONYA-2022

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	4
2.1. Toprak Yapılar.....	4
2.1.1. Tarihte Toprak Yapılar.....	4
2.1.2. Günümüzde Toprak Yapılar	27
2.2. Kerpicein özellikleri	31
2.2.1. Tarihçesi	32
2.2.2. Kerpice Bileşenlerinin Nitelikleri.....	37
2.2.3. Kerpice Üretim Aşamaları	45
2.2.4. Kerpicein Yapı Malzemesi Olarak Özellikleri.....	46
2.2.5. Kerpicein Niteliklerinin İyileştirilmesi	49
2.2.6. Kerpicein Olumlu Yönleri.....	57
2.2.7. Kerpicein Olumsuz Yönleri	61
2.2.8. Kerpice Yapıda Dikkat Edilmesi Gereken Detaylar.....	62
2.2.9. Geliştirilmiş Kerpice ve Yapılan Bazı Çalışmalar	65
2.2.10. Kerpice Yapı Sistemleri.....	68
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	71
3.1. Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri.....	72
3.1.1. Toprak	72
3.1.2. Saman.....	73
3.1.3. Karışım Suyu	73
3.1.4. Koyun Yünü	74
3.1.5. Alçı.....	74
3.1.6. Cam Lif	75
3.2. Numunelerin Deneye Hazırlanması.....	76
3.2.1. Toprak Seçimi.....	76
3.2.2. Kalıpların Hazırlanması	79
3.2.3. Karışımın Hazırlanması.....	80
3.2.4. Karışımın Kalıplara Dökülmesi.....	81
3.2.5. Kütleme.....	83
3.3. Numune Üzerinde Yapılan Deneyler.....	84
3.3.1. Eğilme Deneyi	84

3.3.2. Basınç Deneyi.....	85
3.3.3. Ultra Ses Hızı Deneyi.....	87
3.3.4. Radyasyon Geçirimsizliği Deneyi	89
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA	91
4.1. Eğilme Dayanımı Deneyi Sonuçları	91
4.2. Basınç Dayanımı Deneyi Sonuçları.....	92
4.3. Ultra Ses Hızı Deneyi Sonuçları.....	94
4.4. Radyasyon Geçirimsizliği Deneyi Sonuçları	95
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	98
5.1. Sonuçlar	98
5.2 Öneriler	102
KAYNAKLAR	103

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Kerpiç numune üretimi /Erbil- Irak, (Web 1, 2020).....	3
Şekil 1.2. Kerpiç numune üretimi /Erbil- Irak, (Web 2, 2020).....	3
Şekil 2.1. Kharanagh köyündeki eski kerpiç minare /İran (Web 3).....	5
Şekil 2.2. Eski Golpa Camisi/İran (Web 4, 2011).....	6
Şekil 2.3. Sarvestan/İran (Web 5, 2011).....	6
Şekil 2.4. Kerpiç kullanım alanları /Sibam-Hadramut, (Web 6, 2011).....	9
Şekil 2.5. Kerpiç kullanım alanları /Sibam, (Web 7, 2011)	9
Şekil 2.6. Toprak kulübe /Kassala-Sudan (Web 8)	10
Şekil 2.7. Djenne deki dünyanın en büyük kerpiç camisi ve binası /Djenne-Mali (Web 9, 2011).....	11
Şekil 2.8. Kerpiç kullanım alanları /Fas (Web 10, 2011).....	11
Şekil 2.9. Kerpiç kullanım alanları /Ghademas-Libya (Web 11, 2011).....	12
Şekil 2.10. Bem’de bulunan kerpiçten yapılmış sur /Bem-İran (Web 12, 2011).....	15
Şekil 2.11. 30 m yi aşan kerpiç binalar /-Şibam-Yemen (Web 13)	15
Şekil 2.12. Hattuşa kent suru (Web 14, 2010)	18
Şekil 2.13. Hacı İmam Konağı/Gümüşhane (Web 15, 2010)	22
Şekil 2.14. Acıkuyu köy evi/Ankara, (Web 16, 2010)	22
Şekil 2.15. Sansarak köyü/İznik, (Web 17, 2007).....	23
Şekil 2.16. 1935 yılından yapılmış köy evi/Bursa (Web 18, 2010)	23
Şekil 2.17. Köy evi/Harran (Web 19, 2010).....	24
Şekil 2.18. Kerpiç ev/Safranbolu, (Gürfidan, 2006)	24
Şekil 2.19. İlk yerleşim yerlerindeki kazılarda ortaya çıkan kerpiç duvarlar /Beycesultan-Denizli (Web 20, 2010)	25
Şekil 2.20. İlk yerleşim yerlerindeki kazılarda ortaya çıkan kerpiç duvarlar /Çatalhöyük-Konya (Web 21, 2010)	25
Şekil 2.21. İlk yerleşim yerlerindeki kazılarda ortaya çıkan kerpiç duvarlar /Çayönü-Diyarbakır (Web 22, 2010).....	26
Şekil 2.22. İlk yerleşim yerlerindeki kazılarda ortaya çıkan kerpiç duvarlar /Arslan tepesi-Malatya (Web 23, 2010).....	26
Şekil 2.23. Bitki işletme tesisi /İsviçre (Web 24, 2014).....	27
Şekil 2.24. Günümüzdeki toprak yapılar (Web 25)	28
Şekil 2.25. Günümüzdeki toprak yapılar /Batı Avustralya (Web 26)	28
Şekil 2.26. Günümüzdeki toprak yapıları /Batı Avustralya (Web 27)	29
Şekil 2.27. Kerpiç kullanım alanları (Web 28, 2012)	33
Şekil 2.28. Modern mimari ile yapılmış kerpiç yapısı/San Diego-ABD (Web 29)	34
Şekil 2.29. Spor ve sanat merkezi/İngiltere, (Kıvrak,2007)	34
Şekil 2.30. Modern mimari ile yapılmış kerpiç yapısı/Albuquerque-ABD (Web 30)	35
Şekil 2.31. Modern mimari ile yapılmış kerpiç yapısı/Albuquerque-ABD (Web 31)	35
Şekil 2.32. Farklı kerpiç blokları, (Minke, 2006)	42
Şekil 2.33. Kerpiç kalıbı, (TS 2514, 1977).....	43
Şekil 2.34. Kerpicin kalıplanması, (Web 32, 2020).....	43
Şekil 2.35. Günlük 20.000 adet kerpiç üretimi yapabilen makine/New Mexico, (Gül, 2011).....	43
Şekil 2.36. Kerpiç harcının üretimi öncesi yoğrulması, (Web 33, 2020).....	44
Şekil 2.37. Kerpiç kesilmesi, (Çakır, 2010).....	46
Şekil 2.38. Kerpiç duvar imalatı, (Minke, 2006)	63
Şekil 2.39. Modern kerpiç yapı/Albuquerque (Web 34)	64

Şekil 2.40. Kerpiç yapılar Santorini/Yunanistan (Web 35, 2010)	64
Şekil 2.41. Kerpiç kullanım alanları/Harran-Urfa, (Web 36, 2011)	67
Şekil 3.1. İdeal toprak numunesi elek analizi grafiği	72
Şekil 3.2. Saman	73
Şekil 3.3. Koyun yünü	74
Şekil 3.4. Alçı	75
Şekil 3.5. Cam lifi	76
Şekil 3.6. Toprak numunesi	77
Şekil 3.7. Elek analizinde kullanılan elekler	77
Şekil 3.8. Toprak numunesi elek analizi grafiği	78
Şekil 3.9. 40x40x160 mm boyutlarındaki prizmatik kalıplar	79
Şekil 3.10. 50x50x50 mm boyutlarındaki küp kalıplar	79
Şekil 3.11. Kalıpların numune yerleştirilmeden önce yağlanması	80
Şekil 3.12. 50x50x50 mm boyutlarındaki küp kalıplara yerleştirilen numuneler	82
Şekil 3.13. 40x40x160 mm boyutlarındaki prizmatik kalıplara yerleştirilen numuneler	82
Şekil 3.14. Kalıplara yerleştirilen numunelerin tokmaktama işlemi	83
Şekil 3.15. Kalıptan çıkarılan numunelerin kürleme işlemi	84
Şekil 3.16. Eğilme dayanımı presesi	84
Şekil 3.17. Basınç dayanımı presesi	86
Şekil 3.18. Ultra ses deneyi	87
Şekil 3.19. Işınları okumak için kullanılan dozimetre aleti	89
Şekil 3.20. Işınlardan numune etki alanına göre ayarlanması ve ışınlaması	90
Şekil 3.21. Eğilme çekme dayanımı analizi grafiği	92
Şekil 3.22. Basınç dayanımı analizi grafiği	93
Şekil 3.23. Ultra ses hızı analizi grafiği	95
Şekil 3.24. Dinamik elastisite modülü analizi grafiği	95
Şekil 3.25. Radyasyon geçirimsizliği analizi grafiği	97

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Türk dilini konuşan halklarda kerpicein tarihsel gelişimi (Altun, 2008)	17
Tablo 2.2. A.B.D. Arizona Üniversitesi kerpice granüloetri değeri (Gürdal ve Koçu, 1993).....	40
Tablo 2.3. 1 m ³ Toprak için gerekli lif miktarı (TS 2514, 1977).....	41
Tablo 2.4. Kerpice sınıflandırma tablosu (TS 2514, 1977).....	42
Tablo 2.5. Kerpicein çeşitli kagır malzemelerle mekanik ve fiziksel özelliklerinin kıyaslanması (Kafesçioğlu ve Gürdal, 1985).....	48
Tablo 2.6. Alçılı kerpicein (Alker) fiziksel ve mekanik özellikleri, (Çakır, 2010)	54
Tablo 2.7. Yapı malzemelerinin üretimi için sarf edilen enerji miktarı, (Gürbüz, 2005).....	59
Tablo 2.8. Yapı malzemelerinin enerji tüketimi ve CO2 salınımı,	59
Tablo 2.9. Malzeme ısı iletkenlik değeri, (Gürbüz, 2005)	60
Tablo 2.10. Kerpice yapıda ölçülen sıcaklık değeri, (Gürbüz, 2005)	61
Tablo 3.1. Deney numunelerinin özellikleri	71
Tablo 3.2. A.B.D. Arizona Üniversitesi kerpice granüloetri değeri (Gürdal ve ark., 1993).....	72
Tablo 3.3. Cam lifin özellikleri (Gül, 2011).....	76
Tablo 3.4. Toprak numunesi elek analizi	78
Tablo 3.5. Karışım oranları.....	81
Tablo 3.6. Numunelerin ortalama eğilmede çekme dayanım değeri	91
Tablo 3.7. Numunelerin ortalama basınç dayanım değeri.....	93
Tablo 3.8. Numunelerin ultra ses hızı ve dinamik elastisite değeri	94
Tablo 3.9. Numunelerin ortalama radyasyon soğurma değeri.....	96

1. GİRİŞ

Kerpiç, toprağın su ile yoğrulup, uygun kıvamının tayin edilerek kalıplanmasının ardından açık havada kurutulmasıyla elde edilen bir yapı malzemesidir. Ana malzemesi topraktır. Kerpiç, insan ve hayvan barınağı gibi birçok yapıda temel yapı malzemesi olarak kullanılır. Kerpicing imalatı sırasında toprağa bazı bağlayıcı maddeler ilave edilmesinin, kerpicing bazı mekanik özelliklerine olumlu etkide bulunduğu yapılan araştırmalar sonucu ortaya konulmuştur. Kerpicing içeriğinde bulunan ve ana malzemesi olan toprağa çeşitli bağlayıcı maddeler ilave edilmesi ile beklenen en önemli gelişme, kerpicing daha dayanıklı hale gelmesini sağlamak ve basınç dayanımını arttırmaktır (Durmuş, 1988).

Kerpiç malzemesi yüzyıllar boyunca farklı yapıların inşasında kullanılmıştır. Bunlardan bazıları merek, konut, ahır ve kümes gibi yapılardır. Birçok durumun kerpiç kullanımına etkisi vardır örneğin; ekolojik olarak baktığımızda kerpiç en gelişmiş ülkelerde kullanılmakla birlikte en geride kalmış ülkelerde de kullanılmaktadır. Kerpicing, toprak ile su malzemesinin karıştırılıp güneşte kurutulmasıyla elde edilen basit bir üretimi vardır. Toprağın içeriğindeki kil, bağlayıcı bir malzemedir. Bu özelliği ile toprak ve suyun şekillenebilmesi için toprağa plastik deformasyon kazandırır. İhtiyacı olan enerjiyi de güneşten temin ederek dayanım kazanmış olur.

Üstün özelliklere sahip olan kerpiç malzemesi, suya karşı hassastır. Ve düşük basınç dayanımı gösterir. Farklı çalışmalar ile basınç dayanımı arttırılmaya çalışılmıştır. Kerpice katkı maddesi olarak eklenen alçı, kireç, puzolan, çimento ve lif gibi malzemelerin dayanım değerine olumlu yönde etki ettiği belirtilmektedir. Bu çalışmalardaki ortak nokta ise, ilave edilen katkılar ile kerpicing geliştirilebildiğidir.

Dünya üzerindeki örneklere bakıldığında ise, Babil’de Etemaniki Ziggurat kulesi 90 m yüksekliğinde kerpiçten yapılmıştır. Ayrıca, bütün Urartu medeniyetindeki saray ve evler, Lidya kralı Croesus’un saray duvarları, Dünyanın yedi harikası olan, Karya kralı Mausolus’un Bodrum’daki anıt mezarı da kerpiçten yapılmıştır (Akman, 1997).

Hazırlanan ve kurutulan kerpiç homojen ve kompakt olmasından dolayı taşıyıcıdır. Bu sebeple duvarda taşıyıcı malzeme olarak kullanılabilir. Su ile temas

ettiğinde ise, taşıyıcılık özelliği azalır. Ve eğer plastik kıvama yaklaşırsa yapı yıkılır. İçine katılan katkı maddelerinin türüne ve miktarına bağlı olarak malzemenin dayanımları değişir. Eğilme, darbe ve aşınmaya karşı dayanıksızdır. Kerpiç malzemesine içerik olarak bakıldığında DIN 4102 ve DIN 18951 gibi ilgili standartlara göre içerisinde yanıcı olan bir katkı malzemesi olmadığı zaman yanmaz ve alevlenmez, duman ve koku çıkışı olmaz. Malzeme özelliğine göre ses tutucu ve geçirimsiz bir malzemedir. Bünye yapısı boşluklu yani gözenekli olduğundan rutubet almaya müsaittir. Kışın sıcak yazın serin olur. Briket, betonarme, tuğla yapılar ise dışarıdaki ısıyı içeriye aldıklarından dolayı kışın soğuk yazın sıcak olurlar (Sanchez ve ark., 2003).

Sanayileşmiş ülkelerde çevreye verilen zararın giderek insan hayatını tehlikeye attığı görülmektedir. Çevre kirliliği tehlikesi konut sektöründe çimento, tuğla vb. yapı malzemesi üretimi sırasında da aynı boyutta devam etmektedir. Böylelikle konut sektöründe ulaşılmaması istenen ve bu rahatsızlıkları iyileştiren, çevre yükünü en aza indiren “sağlıklı yapılar” kavramı ortaya çıkmıştır (Işık ve ark., 2003). Kerpiç malzemesi de bu sağlıklı yapıların oluşmasını sağlayan başlıca doğal malzemelerdendir.

Kerpiç içerisinde toprak önemli rol oynar. 20. Yüzyılda meydana gelen iki olay ile toprak yapıların önemi artmıştır. Bunlardan ilki, İkinci Dünya Savaşı’dır. Demir, tuğla gibi temel yapı malzemeleri savaş itibarıyla birçok ülkeden ithal edilemeyip, kullanılamamıştır. Bundan dolayı yereldeki malzemeleri kullanarak inşa etmeye çalışmışlardır. İkincisi ise, 1970 yıllarında maruz kalınan enerji krizidir. Bu kriz, hemen akabinde iki düşünce yapısını da kendisiyle birlikte getirmiştir. Bir tarafta akılcılık ilkesini benimseyen düşünce, diğer taraftan da yeşil (veya ekolojik) mimarlık yani doğa ile barışık bir şekilde yapılar oluşturmayı ileri sunan düşünce meydana gelmiştir. Ekolojik yani yeşil mimarlık, temelde üç ölçüt üzerinde durur. Bunlar; yeniden kullanma, geri dönüştürme ve azaltmadır. Bu üç temel ölçüt de toprak malzemesi tarafından sağlanmaktadır (Gürbüz, 2005).

Bu çalışmada, günümüzde kullanılmakta olan katkı maddelerinden farklı olarak; kerpiç harcına alçı, koyun yünü ve cam elyaf katkıları katılarak dayanım, ses ve radyasyon yalıtımı gibi özellikleri incelenmiştir. Bu kapsam da koyun yünlü kerpiç malzemesinin yapılan deneysel çalışmalarda daha yüksek dayanımlı ve bu dayanımı ile paralel olarak ses ve radyasyon konusunda da daha yüksek yalıtımlı bir kerpiç numune

üretilmesi hedeflenmektedir. Bu hedefler doğrultusunda yapılan deneysel çalışmalar ile, kerpiç üretimi hem diğer katkılı kıyas numunelerde hem de kendi katkı oranları içerisinde uygun olan oran saptanabilecektir. Kerpiciin doğal bir malzeme olması ve içerisine katkı olarak katılacak koyun yününün de doğal olması, netice olarak istenilen dayanım ve yalıtımlar da sağlandığı takdirde doğal bir malzeme ortaya çıkacaktır ve bu da çalışmanın önemini arttırmaktadır. Kerpiç numune üretimi Şekil 1.1 ve Şekil 1.2’de gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Kerpiç numune üretimi /Erbil- Irak, (Web 1, 2020)



Şekil 1.2. Kerpiç numune üretimi /Erbil- Irak, (Web 2, 2020)

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Toprak Yapılar

Toprak, insanoğlunun neredeyse dünyanın tümünde, günümüze kadar barınak ihtiyaçları ve çeşitli amaçlar için uyguladıkları en temel malzeme olmuştur (Tulaganov, 2005). Her alanda uygulanabilir ve kolaylıkla bulunabilir bir malzeme olması kullanımını arttıran en önemli etkenlerdendir. Çok eski zamanlarda hatta tarih öncesi dönemlerde insanın kendini koruyacağı ve yaşamını sürdüreceği bir barınak ihtiyacı ile başlayan mimarlık kavramında toprağın yeri çok önemlidir. Toprağın kullanım alanlarının artması ile çok daha kullanışlı ve konforlu malzemeler geliştirilmiş ve geniş yapı alanlarına yönelim olmuştur.

2.1.1. Tarihte Toprak Yapılar

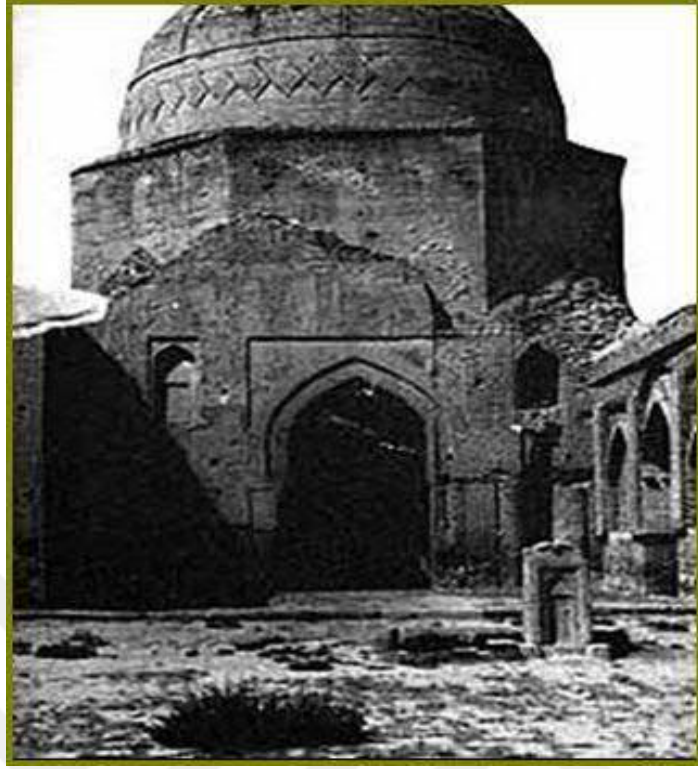
İlk zamanlarda sadece korunmak için barınak olarak yapılan yapılar, zaman ilerledikçe ve insanların becerilerinin artması ile yeni malzemeler keşfedilmiş, deneyim ve bilgileri gelişerek yuvaya yani eve dönüşmüşlerdir. Bu gelişim, ilerleyen yıllarda yeni malzeme ve teknolojiler ile insanlığın kullanımına yeni olanaklar sunmuş ve toprak malzemesi yerini diğer malzemelere bırakmıştır (Tulaganov, 2005).

Toprak, ormanlığın bulunmadığı ve kayalığın olduğu bölgelerde, elverişli olan tek yapı malzemesi olarak yaygın bir şekilde kullanılmıştır. Araştırmalar, en eski toprak yapıların, neolitik dönemin sonlarına doğru yapıldığını göstermektedir. Bazı bölgelerde kerpiç üretimi için kullanılan toprağın, suyla karıştırıp kalıplanması ve blok halinde kerpiç üretilmesi çok önceden bilinen bir yöntemdir. Toprak yapılarıdaki süregelen gelişmeler ile, güneşte kurutulmaya bırakılan kerpiç blokların mukavemet dayanımlarının ve suya olan dirençlerinin artması için hazırlanan çamur harcına, ot, saz gibi bitkisel malzemeler katılmıştır. Mezopotamya’da Asurlular’ın yapmış olduğu ve ilk stabilizasyon uygulaması olacak bir gelişme gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda hazırlanan çamur kıvamındaki harca katkı maddesi olarak bitüm ilave edip, yapıların suya olan hassaslığını azaltmak için çalışmalar yapmışlardır (Aghazadeh, 2011).

Geçmişte hem kıvam olarak hem de boyutsal olarak çeşitli kerpiç türleri kullanılırken, özellikle bina yapımında kullanılacak olan kerpiç için çeşitli teknik ve gözlemler geliştirilmiştir. Genellikle kerpiç bloklar, yapılan kıvamlı harç ile üretilirken, uygulanan bazı kerpiç yapılarda ise, harçsız yani harç kullanılmadan yapılan örneklerine rastlanılmaktadır. Aynı zamanda o dönemde kerpiç olarak hazırlanan bloklar tam kurumaması beklenmeyip rutubetli bir haldeyken, üst üste istif edilerek duvar yapımında kullanılmıştır. Şekil 2.1, Şekil 2.2 ve Şekil 2.3'te tarihteki toprak yapı örnekleri gösterilmektedir.



Şekil 2.1. Kharanagh köyündeki eski kerpiç minare /İran (Web 3)



Şekil 2.2. Eski Golpa Camisi/İran (Web 4, 2011)



Şekil 2.3. Sarvestan/İran (Web 5, 2011)

Aslantepe’de bulunan Sargon Sarayı kerpiç blokların kurumadan üst üste konması tekniğiyle yapılan bir örnektir. Temeli hariç olmak üzere toprak, temel malzeme olarak uygulanmıştır. Mezopotamya ve İran, kerpiç malzemesinin ilk kullanıldığı bölgelerdendir. Yapıların dam inşaatlarında malzeme olarak kullanılan toprak örtülerin, ilk uygulandığı yer de bu bölgelerdir. Bu bölgelerde 5-6 m’yi bulan kerpiç duvarları bulmak mümkündür. Anadolu, Suriye, Filistin, Girit ve Ege Adaları’nda toprak malzemesi fazlasıyla kullanılmaktadır. Kerpiç blokların boyutları genellikle 35x35x12-17 cm ebatlarındadır. Güneşte kurutulmasıyla elde edilen kerpiç blokların, duvar yapımında harç olarak kendi çamuru kullanılmıştır. Toprağın değişik yapılarda kullanılmasına bir başka örnek ise, kale veya şehir surlarında kullanılmasıdır. Yapılan bu yapılarda 4-5 metreyi bulan kalınlıktaki taşıyıcı duvarlara rastlamak mümkündür. Bu yapılar içerisinde en çok ilgi çeken örnekler ise, Çin Seddi ve Van Kalesi’dir. Afrika’nın birçok ülkesinde de toprak malzemesinin kullanımı görülmektedir. Afrika ülkelerinden olan Somali’de de yapılan birçok yapıda özellikle toprak konut, saray ve surların yapılmasında kerpiç malzemesi yapı malzemesi olarak kullanılmıştır. Kemerlerin kerpiç malzeme ile uygulanmasına dair ilk örnekler Mısır’da başlanıldığı düşünülmektedir. Mısır’da bulunan sadece saray, tapınak ve benzeri yapılarda kerpiç ile kamış malzemesi de katkı olarak kullanılmıştır. Yunanistan’da uygulanan çatı örneklerinde çatı dış duvarların üzerine oturmamaktadır. Taşıyıcı olarak baktığımızda, duvarların dışından binayı saran taşıyıcı kolonların yardımı ile taşındığı görülmektedir. Böylelikle dış duvarlar yağışa maruz kalmamaktadır. Afrika’nın kuzey kesiminde ve Akdeniz sahil kesiminde yayılan kerpiç malzemesi buradan İtalya’ya, İspanya’ya ve diğer Avrupa ülkelerine ulaşarak yayılmıştır. İtalya’da çok fazla kullanılan kerpiç malzemesi Roma İmparatorluğu’nun ekonomik olarak ilerlemesi ile yerini taş malzemesine bırakmıştır. Antik yazarlardan Plinius, Afrika ve İspanya’da bulunan toprak yapılardan övgüyle bahseder ve 250 yılı aşkın olan binaların halen ayakta olduğunu ve halen kullanıldığını belirtmiştir (Gaius Plinius Secundus 23-79). Hatta yaptığı gözlemler neticesinde kerpiçlerin, Roma çimentosuna nazaran daha dayanımlı olduğunu söylemiştir.

Jules Caesar’ın Marsilya’da bulunan ve 6 kattan oluşan bir kule yapısını toprak malzemesinin kullanılmasıyla inşa ettirdiği bilinmektedir. Toprakta yapılmış yapılarda dış sıvanın uygulanması Orta Çağ’ın sonlarına doğru görülmektedir. Amerika kıtasında, Meksika, Birleşik Devletlerin güneybatı bölgesi, Arizona’da “Sasa Grande” de bulunan

ve 4 katlı olan kalın duvarlardan inşa edilmiş yapılara rastlamak mümkündür. Aynı şekilde 1600’lerde New Mexico’da bulunan Hükümdar Sarayı toprak malzemesinin kullanılmasıyla yapılmış bir örneğidir. Peru’da yapılan gözlemler ile fazla sayıda toprak yapılardan kalan harabe yapılar gözlemlenmiştir.

19. yy’da yapılan gözlemler ile tuğla malzemesinin şehirlerde bulunan yapılarda ana malzeme olarak uygulanmaya başlandığı görülmektedir. Büyük şehirlerin dışında kalan kırsal alanlarda da toprak yapıların kullanımına devam edilmiştir. Toprak yapılarının incelenmesine yönelik ilgili çalışmalar ve araştırmalar, 19.yy’dan sonra başlamıştır. Toprak yapı araştırmaları birçok ülkede yapılmaktadır ama en fazla araştırma yapan ülkelerden biri Rusya’dır. 13. yy’ın başında Moskova’da çıkan büyük yangının sonrasında, ahşap yapıların uygulanması yasaklanmış. Ve böylelikle ana taşıyıcı olan duvarlar ahşap yerine toprak malzemesiyle yapılmıştır. 20. yy’da toprak, çok yaygın kullanılan bir malzeme olmasıyla birlikte, sürekli uygun malzemesi bulunmayan kısımlarda da kullanılmıştır (Aghazadeh, 2011). Ekonomi olarak baktığımızda, taşımacılık veya imalatların pahalı olduğu bölgelerde ve afetlerin ve büyük savaşların sonlarında da toprak yapılar ciddi önem kazanmıştır. Zor şartlar bitene kadar toprak yapı kullanımına devam edilmiştir.

Özbekistan, Taşkent’te kerpiçten elde edilmiş kerpiç blokların kullanımları, 100 yıl önceden başlamış, günümüzde de halen temel malzeme olarak kullanılmaktadır. 18.-19.yy’dan bu yana konut inşaatlarında, sıcak bölgelerde oluşan iklim koşullarına basit ve geleneksel bir çözüm ve öneri olarak, toprak yapılardan oluşturulan toprak duvarlar uygulanmıştır. Geceleri oluşan ısı transferi sayesinde, toprak duvarlara sahip olan yapıların içinde uygun hava koşullarının sağlandığı gözlemlenmiştir. Bu da sağlıklı ve konforlu bir yaşam alanı sunduğunu gösterir. Sykhandarya Bölgesi’nde bulunan Kyrkkyz Kalesi (M.S. VI.-VII yy) ve Khiva’daki Ichan-Kala Mezarı toprak yapılar grubuna örnektir (Tulaganov, 2005). Şekil 2.4 ve Şekil 2.5’te tarihi toprak yapı örnekleri gösterilmektedir.



Şekil 2.4. Kerpiç kullanım alanları /Sibam-Hadramut, (Web 6, 2011)



Şekil 2.5. Kerpiç kullanım alanları /Sibam, (Web 7, 2011)

2.1.1.1. Afrika

Afrika'ya bakıldığında, Mısır uygarlığında ilk olarak (M.Ö. 2900) elle belli bir şekle sokulmuş, güneşte kurutulmuş toprak tuğlaların kullanıldığı gözlemlenmiştir. İlk mastabalar (piramidin öncülü) yapı malzemesi olarak çamur bloklardan oluşturulmuştur. Dışa kademeli şekilde inşası yapılmıştır. Saqqarah ve Abydos'da malzeme olarak taşla kapaeğri (eğimli) tuğla duvarlardan oluşan yapılar bulunmaktadır. Duvarların kaplanma işlemi ise taşla yapılmıştır. Imhotep Tapınağı (Saqqarah) toprak yapı tekniğinden yararlanılarak, kireç taşı malzemesinden yapılmıştır.

Yeni Krallık Döneminde (M.Ö. 1552-1070) soylu ve aristokratlardan oluşan insanların yaşadığı Tel el-Amarna'da (Orta Mısır) saray ve tapınakların malzemesi ise, aynı şekilde güneşte kurutularak elde edilen toprak bloklardan inşa edilmiştir. Bu yapılarda bulunan toprak duvarların üzerinde bazı resimlerin olduğu gözlemlenmiştir. Doğu Afrika'da Kushite ve Kenya'da aynı tarzda toprak blokların kullanımına rastlanmaktadır.

11. yy'ın başlarında İslamiyet'in Afrika'ya yayılmasıyla birlikte yeni bir yapı çeşidi olan camilerin inşasına başlanmıştır. Bu zamanda cami yapılarının büyük bir çoğunluğu toprak malzemesinin temel yapı malzemesi olarak kullanılmasıyla inşa edilmiştir. Mali'deki, San Camisi ve Mopti Camisi toprak yapıli camilere örnektir. Bu yapılarda kullanılan malzemeler, elle belli şekillere sokulmuş, çamur halinde veya güneşte kurutulmasıyla oluşan kerpiç tip bloklardır. Ghana Krallığı (8- 11.yy), Malike Kralları (13.yy), Songhay Krallığı (14-16.yy) ve Hausa'da (10-19.yy) toprak blokların kullanıldığı gözlemlenmiştir (Tulaganov, 2005). Şekil 2.6, Şekil 2.7, Şekil 2.8 ve Şekil 2.9'da Afrika'da bulunan tarihi toprak yapı örnekleri gösterilmektedir.



Şekil 2.6. Toprak kulübe /Kassala-Sudan (Web 8)



Şekil 2.7. Djenne deki dünyanın en büyük kerpiç camisi ve binası /Djenne-Mali (Web 9, 2011)



Şekil 2.8. Kerpiç kullanım alanları /Fas (Web 10, 2011)



Şekil 2.9. Kerpiç kullanım alanları /Ghademas-Libya (Web 11, 2011)

2.1.1.2. Avrupa ve Akdeniz

Avrupa’da bulunan en eski yerleşme yeri M.Ö. 6.yy’da, Ege kıyısındaki Tesselya’da ahşap ve kil malzemelerinin kullanıldığı yapıların geliştirilmiş hali olan, yuvarlak planlı şemaya sahip, güneşte kurutulmasıyla elde edilen yapılardır (Aghazadeh, 2011). Şehir olarak Sesklo şehrinde bulunan evlerin üst katları, çamur ve kurutulmuş toprak blokların kullanılmasıyla inşa edilmiş ve plan olarak ise dikdörtgen planlı bir şemaya sahip, iki kattan oluşan yapılar yapılmıştır (M.Ö. 4600). Bu formda yapılan evler, benzerlik olarak Avrupa’nın iç bölgelerinde yapılan ağaç ve toprak malzemesinin kullanılmasıyla oluşturulan evlerle benzer özellik gösterirler. Köln-Lidenthal’de (Almanya) yapılan kazı araştırmalarında toprak ve ahşap malzemelerle oluşturulan bölmelerden 4 nefli yapıların olduğu gözlemlenmiştir (Aghazadeh, 2011).

Akdeniz bölgesine bakıldığında ise, özellikle Suriye ve Lübnan çevresinde konik tahıl silolarının (ambar) kubbe kısmı topraktan yapılmıştır. Bu kullanılan yapım tekniğini bu bölgelere Fenikeliler’in Kartaca tarafından getirdiği sanılmaktadır. Antik

bir yazar olan Plinius, (National History adlı kitabında) Barbary (Kartaca) ve İspanya’da kullanılan bu yapım tekniğini betimlemiştir. Bu betimlemesinde, bloklardan inşa edilen duvarların kalıplı bir duvar olarak isimlendirildiğini, toprağı yerleştirmek için iki kalıp arasına döküldüğünü, kenet veya harç malzemelerinin kullanılmadığını dile getirmiştir (Aghazadeh, 2011).

Diğer söylemlere bakıldığında, Antik coğrafyacı olan Strabon, M.Ö. 2.yy’da Kartaca’da Mengeneli (kalıplı) (rammed) toprak yapı bloklarından yapıldığını ve altı katlı yapılar olduğunu dile getirmiş ve bu yapıların bazılarında ön yüzeylerinin mermer veya kireç boyalı malzeme ile kaplama yapıldığını belirtmiştir. 7. yy’ın başlarına baktığımızda ise, Roma’da yapılmış tahta barakaların toprak malzemesiyle sıvama işlemi yapılmış ve üst kısımları saz kullanılarak oluşan çatıyla örtülmüştür. 7 tepeye yayılan bu dikdörtgen şemalı ev tiplerleri, toprak bloklardan yapılan duvar ile sarılmıştır. Kullanımına baktığımızda Roma Cumhuriyet Dönemi’nde yapılan (4. ve 3.yy) kamusal ve kutsal yapıların yapımında değerlendirilmiştir. Cumhuriyet döneminin sonlarına gelindiğinde yerini mermer ve tüf malzemesine bırakmıştır. Toprak malzemesinin yapımda kullanılmasına bir diğer örnek de Roma İmparatorluğu Dönemi’nin başlarında, Augustus’un hükümdarlığına kadar olan zaman diliminde gösterişten uzak ve fakir evlerin inşasında güneşte kurutularak elde edilen toprak malzemeli bloklar olmuştur. Antik mimar olan Vitruvius, yapılardaki yükün duvarlara uygulanmadığı sürece, toprak malzemesinin kullanıma elverişli bir malzeme olduğunu dile getirmiştir. Demir Çağına baktığımızda ise, (M.Ö. 750- M.S. 50) Gallerin (Keltler) yerleşmelerinde bulunan küçük ölçekli evlerin çamur ve ahşaptan yapıldığı gözlemlenmiştir. Galya’da Yunan ve Kartacalılar’ın etkisiyle pişmeden elde edilen toprak bloklar işlenmiştir. Lyon’daki kazı araştırmalarına baktığımız zaman da kurutularak elde edilen çamur halindeki harç blokların kullanıldığı ortaya çıkmıştır. Teknik olarak kullanıla gelen bindirme (rambing, tokmaklama) tekniği Romalılar tarafından bilinmektedir çünkü “pinsare” kelimesi, “bindirme (rambing, tokmaklama) toprak” anlamına gelmektedir. Bu teknik Geç Orta Çağ’da da uygulanmıştır. Pişmemiş haldeki toprak, kerpiç, bindirme (rambing, tokmaklama) toprak ve tuğla şeklindeki kullanımları Avrupa ülkelerinde 19.yy’a, 1900’lere kadar teknik olarak kullanılagelmiştir. Avrupa ülkelerinde Almanya’da toprak sistematik bir şekilde uygulanmaya başlanmıştır (Tungalov, 2005).

2.1.1.3. Ortadoğu

Kerpiç kullanımına bakıldığı zaman, Neolitik Devirde yerleşik hayata geçilmesiyle başlayarak süregelmiştir. Antik Jeriho şehrinde (M.Ö. 8000) taştan yapılmış temel üzerinde kerpiç duvar kalıntılı yapılara rastlanmıştır. Kerpiç bloklarına bakıldığında elle şekillendirildiği görülmüştür. Uruk döneminde (M.Ö. 3200-2008) Uruk'taki Eanna Tapınağı ve Eridu'daki Enki Tapınağı'nda malzeme olarak astarsız kerpiç blokların kullanıldığı gözlemlenmiştir.

Ur şehrinde bulunan evler de topraktan yapılmıştır. M.Ö. 6.yy'da Asurlular Yakın Doğu bölgesinde egemendi ve Nineveh'teki sur duvarları ile 15 kapı toprak malzemesi kullanılarak inşa edilmiştir. Khorsabad'taki II. Sargon'un Sarayı'ndaki malzemelerde ekseriyetle toprak blokların kullanıldığı görülmüştür. Bu bloklara sandal ağacı, fildişi, abanoz ağacı, bazalt, mermer, altın ve gümüş gibi materyallerle birlikte harmanlanmıştır. Babillilerse, toprak yapım tekniklerini geliştirerek elde ettikleri teknik ile İhtar Kapısı ve 90 m yüksekliğe sahip Etemenanki Zigguratı gibi yapıları yapmışlardır. Elam uygarlığı da toprak yapıların olduğu, İran'ın güneybatısında bulunan bir uygarlıktır. Susa şehride, yapılarında pişmemiş haldeki kerpiç blokların kullanılmasıyla ve Choga Zanbil zigguratı ile ilgi uyandırmaktadır.

M.Ö. 2000'de Med Krallığı'nda ise din ve yönetim yapıları kalın, biçimlendirilmiş olan pişmemiş toprak blokların kullanılmasıyla inşa edilmiştir. Med'lerin başkenti olan Ekbatana (Hamadan)'da kolon duvarlarında ve sütunlarında aynı şekilde malzeme olarak pişmemiş toprak bloklar kullanılmıştır. Parsagadae'de ise, (M.Ö. 546) pişmemiş kerpiç bloklar, taş malzemesiyle bir arada harmanlanıp kullanılarak, ilk kez tip olarak hypostyle tipi olan koridorların inşası yapılmıştır. Persepolis'te de benzer şekilde sütunlarla destekli çatısı olan, duvarları pişmemiş haldeki toprak bloklardan yapılmış yapılara rastlanmaktadır. Susa şehrinde çoğunluk olarak yapılar toprak malzemesinden inşa edilmiştir. Pers mimarisini incelediğimizde kubbe ve tonozlar topraktan oluşan bloklarla yapılmıştır. İsfahan, Bam, Tebriz gibi şehirlerde de Perslerin kullandığı benzer özellikteki toprak mimarisi örneklerine rastlamak mümkündür (Tungalov, 2005). Şekil 2.10 ve Şekil 2.11'de Ortadoğu'da bulunan tarihi toprak yapılara örnek olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.10. Bem’de bulunan kerpiçten yapılmış sur /Bem-İran (Web 12, 2011)



Şekil 2.11. 30 m yi aşan kerpiç binalar /-Şibam-Yemen (Web 13)

Tüm Mezopotamya'daki sivil mimarlığa egemen olan topraktan yapılmış kerpiç malzemesinin, Anadolu'da da etkili olduğu görülmüştür. Toprak malzemesinin yapıya dönüştürülmesinde şartların uygun olduğu ve bu durumun Hitit mimarisinde konutların özellik ve biçimlerine de aksettği gözlemlenmiştir. Anadolu'da temel yapı malzemesi olarak kerpiç malzemesinin kullanılarak üst katlara çıkılması ve çatı oluşumunda temel malzeme olarak uygulandığı bilinmektedir (Çelebi, 2008).

Diğer bölgelerde kullanımından bahsedilen kerpiç malzemesi tekrardan değinileceği gibi katkı malzemeleri ile geliştirilmiş kerpiç konumuna gelip daha verimli malzeme kategorisine girmektedir. Kırsal ve ormanlık alanların olmadığı yerlerde kerpiç kullanımı yüksektir. Ülkemizde de bu bölgelerde kerpiç kullanım oranı yüksektir. Ahşap malzemesinin kullanımı ise, orman olan yerleşimlerde daha yüksektir (Gül, 2011). Bu yerleşimlerde ahşap, yapı malzemesi olarak uygulanırken kerpiçte duvar imalatlarında dolgu malzemesi olarak uygulanmaktadır.

Ülkemizde kerpiç malzemesi çok eskiden beri kullanılmaktadır. Ülkemizin ilk dönemlerinde taşınan ve takılıp, sökülen konutlardan başka malzeme olarak kerpiçten oluşan konutlarında olduğu ileri sunulmaktadır. Yapı olarak incelediğimizde, bahsedilen konutlar; küçük bütçeli yerlerde, duvarlarının yüksek olduğu avlularda ve genellikle tek kattan oluşan yapılarda görülmektedir (Altun, 2008).

Türk Dili'ni konuşan halkların uygulamış oldukları yapı malzemelerinin tarihi gelişimi Tablo 2.1'de gösterilmiştir. Kerpici, her dönemde temel yapı malzemesi olarak kullanıldığı tablodan da anlaşılmaktadır.

Tablo 2.1. Türk dilini konuşan halklarda kerpicing tarihsel gelişimi (Altun, 2008)

Yıllar	Yapı Malzemesi
MÖ 4500-1500	Kerpiç Tuğlası
MÖ 4.- MS 3. yy	Kerpiç ve tuğla
600 - 965	Duvarlar ahşap, bazen kerpiç
500 - 700	Kerpiç, tuğla, bazen kesme taş ve ahşap sütunlar
969 -1187	Temel tuğla nadiren kerpiç, duvar tuğla, kerpiç ve yarım/tam silindir takviyeli
840 - 1211	Kerpiç
1040 - 1157	Derin temel kerpiç ve tuğla duvar, ahşap kirişler
1000-1100	Eğik yükselen duvarlar ve basamaklı piramidi anımsatan iki katlı kerpiç duvarlar
1400 - 1500	Kalın kerpiç duvarlar
1500 Yıllar Sonu	Taş, ahşap, kerpiç
1700	Ahşap iskelet yaygın, yer yer taş ve kerpiç evler

Anadolu’da kullanılan kerpiç malzemesinin sürekli değişim içerisinde olduğu tablodan görülmektedir. Anadolu’da bulunan ve en eski yerleşim yerlerinden biri olan Çatalhöyük’te uzunluğu 80-90 cm’ye kadar çıkan kerpiçler vardır. Böyle bir büyüklüğe sahip kerpicing taşınmasında iki kişiye ihtiyaç vardır. Aşıklıhöyük’teki kerpiç malzemelerinin 40x40 cm ölçülerinde olduğu görülmüştür. Boğazköy’de ise, 43-48x48x10 cm ölçülerine sahip kerpiç malzemeler yapılarda kullanılmıştır. Troya’da bulunan kerpiçlerde 40x60 cm ölçülerinden oluşmaktadır (Bektaş, 2005).

Hattuşa, Hitit devletinin başkentidir. İç Anadolu’da bulunan bu kentin MÖ 13-14 yy. ’da inşası yapılmıştır. Hattuşa şehrinin korunması, uzunluk olarak 9 kilometreyi

bulan, yükseklik olarak ise 7-8 m'yi bulan kerpiç surlarla sağlanmaktadır. Kerpiçten oluşan bu surlar, 2005 yılında yapılan rekonstrüksiyon ile tekrardan işlev kazanmıştır. Kerpiç malzemesinin duvarlarda kullanıldığı ölçüleri 45x45x10 cm olup, ağırlığı ise 34 kg'dır (Anonymous, 2010). Şekil 2.16'da Hattuşa kentine ait sur gösterilmiştir.



Şekil 2.12. Hattuşa kent suru (Web 14, 2010)

Kerpiç malzemesinin ölçüleri ülkeden ülkeye değişirken aynı zamanda şehirler arasında da farklılık göstermektedir. Örneğin, Konya'daki kerpiçlerin anaları 27x27x10 cm iken, bu kerpiçlerin kuzu olanları 14x27x10 cm kadardır. Kayseri ve Eskişehir civarlarında kerpiçlerin ayrımı, ana ve kuzu olarak değil, hepsi benzer ölçülerde olan kerpiç bloklar olarak yapılır. Kerpiç ölçülerine baktığımızda ise 12x15x35–15x20x40 arasında değişiklik göstermektedir. Ankara İli içerisindeki köylerde, bu ebattakiler kuzu, iki katı büyüklüğünde olanlar ise ana olarak isimlendirilir. Elâzığ ilinde ise alt katlarda kerpici ölçüleri ana 27,5x27,5x10 cm, kuzu 13x27,5x10 cm, üst katlarda ana 30x30x10 cm, kuzu 15x30x10 cm'dir. Diyarbakır İli'nde ana kerpiçler 28x28x8, 30x30x10 cm iken kuzu kerpiçler bu ölçülerin yarısına eşittir. Divriği'de ise, 15x25x50 cm ölçülü kerpiç malzemeleri, ensiz bir şekilde üst kat ve ara kat duvarlarında kullanılmıştır ve 15x50x50 cm ölçülerinde çift kerpiç malzemesi kullanılarak kalın duvarlar elde edilmiştir.

İstanbul ve Edirne İli yakınlarında 40-32 cm boyunda, 20-15 cm eninde, 12-10 cm kalınlığında olan farklı ölçülerde kerpiçler görülmektedir. Safranbolu'da 27x27x10,

27x13x10, 27x22x10, 32x20x13, 25x16x10 gibi, Kütahya’da ise 9x12x30 ve 15x30x60 cm gibi farklı ölçüleri mevcuttur (Altun, 2008).

Ülkemizde geleneksel kerpiç yapıların damı inşa edilirken, taşıyıcı olan kirişlerinin üzerine sıkışık bir şekilde, yan yana bir sırayla kavak dizilir. Kavakların üzerine de bir kat şap atılarak veya ince dallar yerleştirilerek üzerine de bir kat çamur serilip iyice sıkılaştırılması sağlamak için ayakla ezilir. Son katman olarak da 10-20 cm kalınlığında çorak olarak adlandırılan su geçirmeyen bir çeşit toprak dolgu yerleştirilir. Damın mevcut yüzeyi hafif eğimli bir şekilde inşa edilerek yağmur suyunun birikmesi engellenmiş olur (Anonymous, 2010).

Deprem açısından ise, kerpiç malzemesine karşı ön yargı olduğu görülmektedir. Özellikle ülkemizde oluşan depremler ve neticelerindeki can kayıplarının kerpiçten kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Deprem sonrasında hazırlanan raporlar ile bu düşüncenin ön yargıdan ibaret olduğu anlaşılmaktadır. Son dönemlere gerçekleşen Sultandağ, Çankırı, Afyon-Akşehir, Elâzığ depremlerine ait raporların kerpiç yapılar ile ilgili değerlendirmeleri aşağıda verilmiştir;

6 Haziran 2000 tarihinde Çankırı Depremi’nde köylerde hasara maruz kalan yapıların çoğu moloz taş duvarlı, çamur harçlı ve kerpiç duvarlı yapılardan oluşmuştur. Bu yapıların neredeyse tamamı ahır ve samanlık gibi yapılardan oluşmaktadır.

Sultandağı Depremi 3 Şubat 2002 tarihinde 6 büyüklüğünde meydana gelmiştir. Deprem neticesinde yıkılan kerpiç yapılardaki hasarların sebepleri, Alkaya’nın (2005) yaptığı çalışmada şöyle belirtilmiştir;

- Yapıların çok eski olması
- Yapıların büyük bir kısmının depreme dayanıksız ahşap destekli kerpiç yığma yapılardan oluşması
- Mevsimsel olarak yağışın kerpice etkisi

Bu çalışmanın neticesinde kırsal yaşamdaki zorunluluklar ve ekonomik şartların elverişsiz olması bölgelerdeki insanları dayanıksız yapılarda hayatlarını sürdürmeye mecbur bırakmaktadır. Depremde meydana gelen bu problemlerden teknik olarak detay

uygulanmamasının da etkisi vardır. Bu probleme bir örnek, taş temel kullanılmadan yapının direk kerpiç ile inşa edilmesidir.

Afyon-Akşehir Depremi'nin Konya İli'ndeki kerpiç yapılar üzerinde olan etkisi araştırılmış ve Konya çevresinde inşası yapılan konutların %27'sinde malzeme olarak kerpiç malzemesi kullanılmıştır. Depremde zarar gören yapıların hatılsız bir şekilde olduğu, birbirini bağlayan köşe bağlantılarının iyi olmadığı ve ağırlığı olan toprak damlı yapılardan olduğu tespit edilmiştir (Koçu ve ark., 2004). Kerpiç malzemesinin kullanılması ile yapılan yapıların depreme karşı dayanımının az olması yalnız malzemeden kaynaklanan hatalardan değil, birleşim ve benzeri detayların doğru uygulanmamasından, su ve nem ile ilgili yalıtımın yetersiz olmasından en önemlisi ise yapının taşıyıcı duvarlarının yerleşimi ile ilgili sorunlarından kaynaklandığı belirtilmiştir. Araştırma sonunda yapım kurallarına uygun üretilmeyen kerpiç yapıların depremin yıkıcı etkisine dayanamadığı belirtilmiştir.

Sera Gazı Ulusal Envanteri 2008 yılında hazırlanmıştır. Bu envantere göre, enerji sektörünün %18'i ve ulusal CO₂ salınımının (270 milyon ton) %16'sı konut sektöründen kaynaklanmaktadır. Bu durumda konut sektörünün enerji sarfiyatı ve CO₂ salınımı konusunda çevreye ne kadar etki ettiğini göstermektedir. Mevcutta olan bu durum (BAU) senaryosuna göre; 28,3 milyon TEP enerji sarfiyatı 2020 yılına kadar 47,5 milyon TEP 'e çıkacağı öne sürülmektedir. Bu durum CO₂ salınımının neredeyse iki katına çıkacağını ve çevre kirliliğinin her geçen gün daha çok artacağını göstermektedir (Ghavami ve ark., 1999).

Uluslararası Enerji Ajansı'nın hazırlamış olduğu 2001 Türkiye raporunda geçen, enerji tüketimin azaltılabilmesine yönelik önerilerinin içerisinde yer alan, binaların m² başına tüketip harcadıkları enerjinin ortalama 250 kWh'den, 100-150 kWh civarına çekilmesi gerekliliği ifade edilmiştir. Diğer bir yapılan çalışmada 130-140 yıl öncesinin teknik, malzeme ve bileşenleri ile yapılan kerpiç yapıda yıllık enerji tüketimini 98,6 kWh/m² olarak hesap etmişlerdir (Gülsu ve Nihal, 2010).

8 Mart 2010'da gerçekleşen Elâzığ depreminde, hasarlı durumda olan kerpiç yapısına ait inceleme raporlarında, yapısı hakkında çeşitli açıklamalar yapılmıştır. Detaylı bir inceleme yapıldığında, kerpiç malzemesinin dağılıp ufalanarak parçalandığı

gözlemlenmiştir. Kerpiç malzemesinin yeterli saman sahip olmasının yanında karışımın uygun kıvamda olmadığı görülmüştür. Kerpiç bloklarının birbirine adeta kuvvetlenmesini sağlayan harcından, bloklar arasında uygulanmadığı anlaşılmıştır. Aynı şekilde yapılan inceleme raporunda taşıyıcı olarak önem arz eden lento ve hatıllara rastlanılmadığı belirtilmiştir. İnceleme raporunun sonuç bölümünde ise hasarlı veya göçmüş yapıların mühendislik olarak da hiçbir değer ifade etmediği vurgulanmıştır (Bakır ve diğ, 2010).

Genel olarak baktığımızda yıkımı gerçekleştiren kerpiç yapıların, mühendislik değer taşımadığı tüm raporların ortak noktası olarak anlaşılmaktadır. Meydana gelebilecek problemlerin sebebinde, teknik noksanlık olmakla birlikte, malzeme karışımlarının da uygun oranda olmaması veya uygun nitelikte olmayan toprak malzemesinin kullanılması etkilidir.

Katkı malzemesi katılarak elde edilen geliştirilmiş kerpiç malzemesi, 1 veya 2 kattan oluşan her konut için uygundur (Binici, 2010). Yapısal olarak mühendislik özelliklerini sağlayan kerpiç yapıların, deprem konusunda bir sakıncası yoktur. Kerpiç malzemesi aynı zamanda enerji tüketiminin ve CO₂ salınımının en aza indirgenmesi konusunda ülkemizdeki belli başlı malzemelerden önce gelmektedir. Ve bu özellikte en uygun malzemedir. Kırsal kesimdeki nüfusumuzun %36'sı konut sorunu ile karşılaşmaktadır (Quagliarini, 2009). Bütün bu çalışmalar ve gözlemler göz önüne getirildiğinde daha ucuz, daha hızlı, daha konforlu ve rahat yapı imkânı sunan kerpiç malzemesi, özellikle ülkemizde alternatif malzeme konumundadır. Fakat yapılan TUIK (2010) çalışmalarından, "Yapılan İlave Yapılar Sayısı" adındaki raporunda kerpiç yapı kullanımının çok azaldığı anlaşılmaktadır. Örnek olarak bakarsak, 1954 yılında ilave edilen yapıların %17,28'ini kerpiç yapı oluştururken, 2009'da bu orana kıyasla 92.342 adet yapıdan sadece 2 adedini kerpiç yapı oluşturmaktadır.

Kerpiç yapıların kullanımının azalması veya neredeyse yok olması, çok eskiden süregelen usta çırak ilişkisi beraberinde kerpiç ile gelen mimari kimliğinde yok olması, kaybolması anlamına gelmektedir. Tüm dünyada ihtiyaç olan ve mimari olarak da önemli bir yere sahip olan kerpiç malzemesi, özellikle ülkemizin de her bölgesinde yaşatılmasına özen gösterilmelidir. Ülkemizde kerpiç mimarisinin bölgelere göre farklılıklarının gösterildiği Gümüşhane İli'ndeki Hacı İmam Konağı Şekil 2.13'te,

Ankara İli'nde bulunan Acıkuyu Köy Evi Şekil 2.14'te, İznik'te yer alan Sansarak Köyü'nde yapılan kerpiçten ev yapıtlar Şekil 2.15'te, Bursa'da yapılan bir köy evi de Şekil 2.16'da, Harran'da bulunan ve mimari olarak ta farklı bir yere sahip olan kerpiç köy evleri Şekil 2.17'de ve Safranbolu'da yer alan ve ana maddelerinin kerpiç ve ahşap birleşimi ile oluşturulan kerpiç evleri Şekil 2.18'de verilmiştir.



Şekil 2.13. Hacı İmam Konağı/Gümüşhane (Web 15, 2010)



Şekil 2.14. Acıkuyu köy evi/Ankara, (Web 16, 2010)



Şekil 2.15. Sansarak köyü/İznik, (Web 17, 2007)



Şekil 2.16. 1935 yılından yapılmış köy evi/Bursa (Web 18, 2010)



Şekil 2.17. Köy evi/Harran (Web 19, 2010)



Şekil 2.18. Kerpiç ev/Safranbolu, (Gürfidan, 2006)

Orta Asya dışındaki uygarlıkların beşiği konumunda olan Anadolu'daki ilk yerleşimlerden bu zamana kadar konut yapımı süregelmiştir. M.Ö. 5700-5500 yıllarına kadar devam eden örneklerinin en güzel olanları arasında Burdur yöresindeki Hacılar, Konya, Karaman çevresindeki Can Hasan, Göller yöresindeki Beyce Sultan ve Çatalhöyük'teki yapılan kazısal araştırmaları ve bulguları ile gün yüzüne çıkarılmış ve belgelenmesi sağlanmıştır. Tarihin bu dönemindeki yapılarında malzeme olarak kerpiç malzemesi kullanılmıştır (Anonymous, 1972). Ortadoğu'daki tarihi toprak yapılar

sırasıyla, Şekil 2.19’da Denizli İli’ndeki Beyce Sultan’da ilk yerleşim yerlerindeki kazılardan ortaya çıkan kerpiç duvarlar, Şekil 2.20’de Konya İli’ndeki Çatalhöyük’te kazılarla ortaya çıkan kerpiç kalıntıları, Şekil 2.21’de Diyarbakır İli’ndeki Çayönü’nde bulunan kerpiç kalıntıları ve Şekil 2.22’de ise, Malatya İli’ndeki Arslan Tepe’de kazılarla bulunan kerpiç kalıntıları gösterilmiştir.



Şekil 2.19. İlk yerleşim yerlerindeki kazılarda ortaya çıkan kerpiç duvarlar /Beycesultan-Denizli (Web 20, 2010)



Şekil 2.20. İlk yerleşim yerlerindeki kazılarda ortaya çıkan kerpiç duvarlar /Çatalhöyük-Konya (Web 21, 2010)



Şekil 2.21. İlk yerleşim yerlerindeki kazılarda ortaya çıkan kerpiç duvarlar /Çayönü-Diyarbakır (Web 22, 2010)



Şekil 2.22. İlk yerleşim yerlerindeki kazılarda ortaya çıkan kerpiç duvarlar /Arslan tepe-Malatya (Web 23, 2010)

2.1.2. Günümüzde Toprak Yapılar

Dünya nüfusunun yaklaşık olarak %30'u kadarı kerpiç malzeme ile üretilen yapılarda yaşamaktadır. Gelişmekte olan ülkelerde bu durum, nüfusunun yaklaşık %50'sine kadarlık kısmı, kent nüfusunun %20'sine kadarlık kısmı ve kırsal alanda yaşayan nüfusun ise, büyük bir kısmı toprak malzemesiyle veya toprak malzemesiyle ilişkili olan malzemelerle yapılmış yapılarda yaşamlarını sürdürmektedir (Houben ve ark., 1994).

Son dönemlerde neredeyse bütün dünyada görülen ve özellikle inşaat sektöründeki malzemelerin seçiminde iki çeşit yönelimin olduğu gözlemlenmiştir. Bir taraftan üretim ve kullanımdaki ileri teknolojinin neticesi olan aşırı enerji gereksinimi oluşturan çağdaş malzemelere yönelirken, diğer taraftan ise az enerji gereksinim oluşturan ve geçmişten de kullanıla gelen geleneksel yapı malzemelerine yönelim sağlanmıştır (Anonim, 1977). Şekil 2.23, Şekil 2.24, Şekil 2.25 ve Şekil 2.26'da günümüzdeki toprak yapıların örnekleri gösterilmektedir.



Şekil 2.23. Bitki işletme tesisi /İsviçre (Web 24, 2014)



Şekil 2.24. Günümüzdeki toprak yapılar (Web 25)



Şekil 2.25. Günümüzdeki toprak yapılar /Batı Avustralya (Web 26)



Şekil 2.26. Günümüzdeki toprak yapıları /Batı Avustralya (Web 27)

Amerika Kıtası’nda, çevresel şartların uygun olması hasebiyle özellikle sıcak ve kurak iklimin egemen olduğu yerlerinde kerpiç malzemesi temel yapı malzemesi olarak kullanılmıştır. Günümüzde ise, Amerika Birleşik Devletleri’nde kerpiç malzemesi kullanılarak uygulanmış 200.000 adet modern konut yapıları mevcuttur (Helvacı, 2001). Bazı bölgelerinde ise, malzeme olarak kerpiç malzemesinin tek başına uygulanmasına izin vardır. Özellikle New Mexico eyaletinde, kerpiç malzemesi uygulanmış bölgelerin kendine has bir mimari yapısı olduğu görülmektedir. Burada mevcut olan 48 adet kerpiç blok firmasının bir yılda 4 milyonu aşkın blok üretmesi bölgede kerpiç malzemesine olan yatkınlığını belirtilmesi yönünden oldukça önemli olmaktadır (Işık, 1990).

Günümüzde etki alanı gittikçe genişleyen enerji kıtlığı, toprak türü malzemelerin daha ön plana çıkmasına ve özelliklerinin iyileşmesine fayda sağlamaktadır. Bu kapsamda gelişmişlik seviyesi ileride olan ülkelerdeki topraktan faydalanma imkanlarına yönelik yapılan araştırmalar ve çalışmalar değer kazanmaktadır. Bu çalışmalar içerisinde çevrenin korunmasına, hava, su ve toprakta oluşan kirliliğe engel olunmasına ve en önemlisi olan “sürdürülebilir kalkınma” kavramı üzerinde odaklanılmasına olanak sağlamaktadır (Işık, 2000). Yaygınlaşmış bir geleneği ortaya

koyan malzeme olmasından dolayı, gelişmiş ve gelişme durumunda olan ülkelerde kerpicing özelliklerinin geliştirilmesi için çok fazla araştırma ve gözlem yapılmaktadır (Işık, 2000).



2.2. Kerpicin özellikleri

Kerpiç genel ve basit olarak toprak ve saman karışımının su ile yoğrularak belli harç kıvamına getirilip kalıplanmasından sonra güneşte kurutulması ile ortaya çıkan doğal yapı malzemesidir. İmalat süreci basit olmakla birlikte en ilkel şartlarda bile üretilmektedir. Basit bir imalata sahip olması, maliyetini de düşürmektedir. İçeriğinde sadece doğal malzeme barındıran kerpiç doğaya zararlı olabilecek katkı malzemeleri içermemektedir. Hizmet ömrünü tamamladığında bile tekrardan geri dönüştürülerek kullanılabilir. Kerpiç aynı zamanda akustik ses özelliği olan ve ısı yalıtımını sağlayan bir nem düzenleyici olarak görev yapar (Tuna, 2011). Özellikle kırsal alanlarda alternatif malzeme olarak kullanılan kerpiç malzemesi, doğa dostu, çevreci, konforlu ve ekonomiktir.

Kerpicin bir diğer tanımına göre de killi ve uygun nitelikte toprağın içine saman veya diğer bazı bitkisel liflerin (saz türünden bitkiler, kaba ot, kenevir lifleri, kuru funda, çam iğneleri, ağaç dalları, testere ve rende talaşları) katılıp yeterli su ile yoğrularak, harç kıvamına geldikten sonra kalıplanıp ardından şekillenmesi sonucu açık havada kurutulmasıyla elde edilen doğal bir yapı malzemesidir (Eriç ve ark., 1980).

Kerpicin oluşumunda temel yapı malzemesi olarak karışıma katılan toprak malzemesi, çeşitli niteliklerdeki öğelerden oluşan bileşik bir malzemedir. Toprağın bünyesinde bulunan kum malzemesi toprağın iç iskeletini oluştururken, yapışkanlık özelliği olan kil malzemesi ise bağlayıcı olarak görev yapmaktadır. Kile yapışkanlığı sebebiyle kerpiç içerisinde maksimum oranda ihtiyaç olsa da kil su tutma özelliğinden kaynaklı hacim değişimine uğrayacaktır. Böylece kilin oranı fazla oldukça, malzeme içerisinde ciddi bozulmalar meydana gelecektir (Kafesçioğlu, 1985). Killi kerpiç toprağın kimyasal bileşimi alüminyum silikattır. Ayrıca bünyesinde demir, magnezyum, titanoksit gibi çeşitli metal oksitler de bulunmaktadır (Kafesçioğlu, 1980).

Dikkatlice hazırlanan ve kurutulan kerpiç homojen ve kompakt olmasından dolayı taşıyıcıdır. Bu nedenle duvar malzemesinde taşıyıcı olarak kullanılabilir. Su ile temas edince taşıyıcılık özelliği azalır. Plastik kıvama yaklaşırsa yapı yıkılır. İçine katılan katkı maddelerinin türüne ve miktarına bağlı olarak malzemenin dayanımları değişir (Işık ve ark, 1995).

Türkiye eski eserler konusunda ve tarihi değerler açısından oldukça zengin bir ülke konumundadır. Farklı medeniyetlere ait izler taşıyan Anadolu’da coğrafi özelliklere, mimari eserlerin niteliklerine ve yerel malzeme kullanım şekillerine göre taş, ahşap ve toprak malzemelerin tek tek veya karma bir şekilde kullanılarak oluşturulmuş çeşitli niteliklerdeki eski eserleri gözlemlemek mümkündür (Kafesçioğlu, 1980).

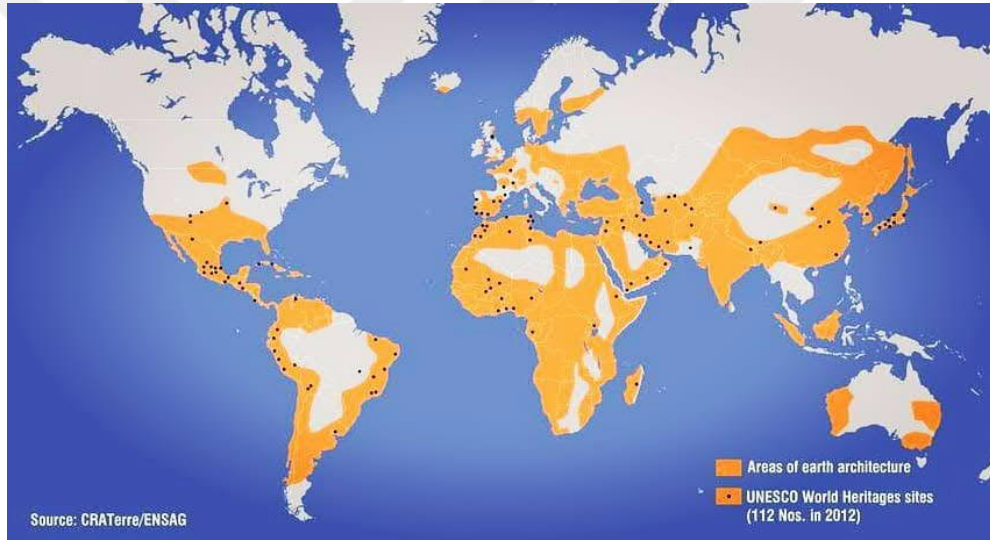
2.2.1. Tarihçesi

Kerpiç özellikle kırsal yörelerde çok kullanılan bir malzemedir. Ancak, sağlıklı ve konforlu bir yapıda bulunması gerekli birtakım koşul ve şartları sağlayamamaktadır. Kerpicein niteliklerinin iyileştirilmesi için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır.

İlk dönemlerin en sık kullanılan malzemelerinde olan kerpiç malzemesi sanayi çağının da ilerlemesi ile yerini çeşitli malzemelere bırakmıştır. Fakat kerpiç malzeme dünyanın her yerinde var olup kendini günümüze kadar az da olsa sürdürebilmiştir.

Kerpiç kullanımına ilk olarak M.Ö. X. yüzyıllarda Mezopotamya’da rastlanmaktadır (Quagliarini ve diğ, 2009). Avrupa kıtasına baktığımızda ise, ilk olarak M.Ö. VI. yüzyıllarda Almanya’da olduğu anlaşılmaktadır (Minke, 2005). Avrupa’dan sonra Anadolu’da ise, ilk olarak kerpiç malzemesi kullanımına M.Ö. 8500 yıllarında, Diyarbakır içerisindeki Çayönü yerleşmesinde başlanmıştır. Çayönü yerleşmesi kerpiç kullanılarak inşa edilmiş yapılara sahiptir. Aynı zamanlar da Yakındoğu’da da yayılmış ve M.Ö. 8000 yıllarında pise ve yığma teknikleriyle beraber dörtgen biçimindeki kerpiç blokların inşasına başlanmıştır. Orta Anadolu’nun bu dönemlerinde kerpiçler levha biçiminde kullanılmıştır. Kalıp kerpice ise sıklıkla Yakındoğu ve Anadolu’da M.Ö. 6000 yıllarında rastlanır. Yine aynı yıllardaki, ahşap iskelet sisteminden oluşan yapılarda kerpicein kaplama ve dolgu malzemesi olarak kullanımına rastlanır (Karul, 2008). Kerpiç malzemesinin ilk kullanımından bu yana yüzyıllarca süre gelen yapılarından, hala kalıntılarının olduğu ve bazı yapılarının hala günümüze kadar geldiği görülmektedir. Örnek verecek olursak, Mezopotamya’daki Babillilerin (M.Ö. 625-562) kerpiç malzemesini kullanarak yaptıkları “Etemenanki Ziggurat” diğer adıyla “Babil Kulesi” günümüze kadar gelmiştir.

Kerpiç kullanımı ilk dönemlere kıyasla azalmış olsa bile hâlâ yüksek miktarda olan yapı stoğunu içermektedir. Yaklaşık olarak dünya nüfusunun %30'luk kısmı kerpiç yapımı olan evlerde yaşamlarını sürdürmektedir (Anonim, 2011). İngiltere'de çoğunluğu 20. yüzyıldan önce yapılmış olsa da yaklaşık olarak 500.000 adet tarihi nitelikteki yapılar mevcuttur. ABD'de ise, her yıl kerpiç malzeme ile yapılan yapı miktarına ortalama 1.500'e yakın yeni kerpiç yapılar ilave edilmektedir (Kıvrak, 2007). Yemen'e bakıldığında ise kerpiç yapılar ayrı bir öneme sahiptir. Diğer bölgelerde neredeyse hiç bulunmayan çok katlı kerpiç yapılara bu gibi ülkelerde rastlamak mümkündür. Yemen'de 9 katlı bir yapı kerpiç malzemesiyle inşa edilmiştir (Gürbüz, 2005). Günümüzde kerpiç malzemesinin dünya üzerinde kullanıldığı yerleri belirten harita Şekil 2.27'de verilmiştir.



Şekil 2.27. Kerpiç kullanım alanları (Web 28, 2012)

Sanayinin de gelişmesiyle insanlar kullandıkları malzemeleri geliştirerek yeni malzemeler kullanmaya başlamışlardır. Ve bu kapsamda daha geniş alanlara yönelmişlerdir. İnsanoğlunun hayatında olan bu gelişmeler farklı malzemeleri, sonrasında da farklı yapı türlerini beraberinde getirmiştir. Bu farklı malzemeler ve farklı mimarideki yapılar kerpiç kullanım alanını da daraltmıştır. Geliştirilen malzemelerde hem enerji ihtiyacını hem de çevre kirliliğini arttırmaktadır. Sonuç olarak enerji ihtiyacı ile çevre kirliliği birbirine bağlı olduğu için ne kadar fazla enerji kullanılırsa o kadar fazla çevre kirliliği olacaktır. Böyle bir durumda insan sağlığı için tehlike arz etmektedir. Sonuç olarak oluşan bu çevre kirliliğini engellemek için doğa ile iç içe

yapılar inşa etmek gerekmektedir. Bu doğal yapılar içinde doğal malzemelerin kullanılması gerekmektedir. Buda kerpiç malzemesini tekrardan gündeme getirmiştir. Ve kerpiç malzemesi geliştirilerek çağdaş yapı malzemesine çevrilip, çağdaş yapılarda kullanılabilir. Aşağıda modern kerpiç yapı örnekleri Şekil 2.28, Şekil 2.29, Şekil 2.30 ve Şekil 2.31’de gösterilmektedir (Gül, 2011).



Şekil 2.28. Modern mimari ile yapılmış kerpiç yapısı/San Diego-ABD (Web 29)



Şekil 2.29. Spor ve sanat merkezi/İngiltere, (Kıvrak,2007)



Şekil 2.30. Modern mimari ile yapılmış kerpiç yapısı/Albuquerque-ABD (Web 30)



Şekil 2.31. Modern mimari ile yapılmış kerpiç yapısı/Albuquerque-ABD (Web 31)

Bu süreç içinde toprak malzeme; ekonomikliği, elde etme ve işlenebilme kolaylığı gibi nedenlerle önemini yitirmeden günümüze kadar gelebilmiştir. Orta ve Ön Asya’da yapılan kazılarda çeşitli kerpiç yapı temelleri bulunmuş, Anadolu da yapılan kazılarda ise Van yöresinde Urartular’dan kalan son derece gelişmiş kerpiç yapı örneklerine rastlanmıştır. Bu yapılarda dış duvarlar 2 m, iç duvarlar ise 1-1,5 m arasındadır. Ayrıca, dış duvarlarda 2,5-3 cm kalınlığında saman katkılı bir sıva tabakasının uygulandığı görülmüştür. Anadolu da yaşamış olan kerpiç malzeme teknolojisini günümüz kırsal yapılarında kullanılan düzeyde geliştirdikleri bilinmektedir (Eriç ve ark., 1980). Aksaray ilinin 25 km güney doğusunda Ihlara Vadisi’nin yakınında Aşıklıhöyü’de son yıllarda yapılan kazılarında mimarlık tarihi açısından baktığımız

zaman ilk planlı yerleşimlere model olmuş, duvarları kerpiç malzemesiyle yapılmış, büyük bir yaşam merkezi gün yüzüne çıkarılmıştır (Başgelen, 1993).

Verilen bu eserlerin yanı sıra özellikle Karaman, Harput, Balaban, Urfa ve Van yörelerinde geçmişleri 200 seneyi bulmayan ancak halk mimarisinin bütün özelliklerini sergileyen kerpiç ve hıymış evlerde korunmaları gereken tarihi dokulardır. Tarihteki kilometre taşları mimari ve anonim mimari eserlerdir. Bu eserler dönemlerine ait gelişmeleri açık kütüphaneler gibi topluma aktarırlar. Bölgesel özellikleri ile bölgenin kişiliğini yansıtır. Bölgelerin yapısal özelliklerini korumak, kültür mirasının, bölge kimliğinin korunması demektir (Işık ve ark., 1995).

Kerpiç malzemesi toprak yüzeyinin yaklaşık olarak 60 cm altından alınarak üretilir. Kerpiç ve üretim aşamasındaki tanımı Türk Standartlarına göre şöyle belirtilmektedir; “Killi ve uygun nitelikte toprağın içine saman veya diğer bitkisel lifler vb. diğer katkı maddeleri karıştırılıp ve su ile yoğrulup kalıplara dökülerek şekillendirmek ve açık havada kurutulmak suretiyle elde edilen ve inşaatta kullanılabilecek hale gelen mamullerdir” (TS 2514, 1997).

Kerpiç malzemesinin üretiminde tesis ihtiyacı yoktur. Yaklaşık olarak bir kişi bir günde 300 adet kerpici harmanlayıp karıştırabilir, kalıplayabilir, depo edebilir ve taşıyabilir. Hindistan’a baktığımızda ise bir kişi günlük 500 adet kerpiç üretebilir (Minke, 2006). Farklı bir kaynağa göre de günlük kerpiç üretimi bir kişi için 500 adettir (Milani, 2005). Otomatik sistemde çalışan kerpiç makineleri de kerpiç üretimi için bir diğer seçenektir. Bu makinenin bir günde ürettiği kerpiç sayısı 1.500 ile 4.000 adet arasında değişiklik göstermektedir (Minke, 2006). Tam otomatik sistemlerde çalışan makinelerde ise kerpiç üretim adedi günlük 20.000 adettir (Anonim, 2010).

2.2.2. Kerpiç Bileşenlerinin Nitelikleri

Standartlara uygun kerpiçte bulunan toprak, saman, bitkisel lifler ve suyun gereken nitelikleri incelenmiştir.

Kerpiç Toprağının Nitelikleri;

Kerpici ana maddesi olan toprak, bağlayıcı özellikteki kil ve kolloidlerden oluşan ince bir kısım ile bu bağlayıcılar arasında dolgu maddesi olarak bulunan kum, çakıl gibi kaba kısımlardan oluşur. Kerpiç killeri çeşitli metal oksitler ile jips, kalsit ve benzeri toprak alkalilerden oluşmuş alüminyum silikatlı birleşimlerdir. Doğal taşlardan olan kuvars, feldspat ve mikanın içerisinde olan doğal alüminyum silikatlar, çeşitli kimyasal, hidrotermal ve atmosfer etkileri ile ayrılarak tortullaşmış ve kil tabakalarını meydana getirmiştir. Kil su ile yoğurulduğunda istenilen şekli alır ve suyun bünyeyi terk etmesi sonucu kohezyon özelliği sebebi ile kazanmış olduğu şekli aynen korur (Eriç ve ark., 1980). Kohezyon bağ kuvvetidir. Atom ve molekül üzerindeki uzaklıkları korumak isteyen kuvvetler kohezyon kuvvetleridir (Gürdal, 1995). Su kaybı neticesinde kilde meydana gelen rötire çatlağı, kil taneciklerinin hareket edemeyeceği hale geldiği zaman durur ve böylece kilin plastiklik özelliği de kaybolur.

Toprak içindeki kil parçacıklarının hacmi bünyesine aldığı su derecesine bağlı olarak büyür. Topraktaki killi malzemenin tipi ve bulunma oranları, toprak malzemesinin özelliklerinin ciddi bir ölçüde değişmesine sebep olur. Özellikler aynı zamanda farklı yapıdaki kil zerrelerinin karışmış veya tabakalar halinde olmasıyla da değişiklikler gösterirler. Killerin genel yapılarına baktığımızda kaolinit, montmorillonit ve illit olmak üzere üç gruba ayrılırlar. Kil miktarının fazla olduğu topraklarda kuruma sırasında çatlamlar daha fazla görülür (Eriç ve ark., 1980).

Killerin başlıca sayabileceğimiz dört özelliği bulunmaktadır. Bunlar plastisite, kohezyon, renk ve rötire özellikleridir;

Plastisite Özelliği; ufalanmış kile uygun miktar ve ölçüde su katıldığı zaman işlenebilme ve şekillenebilme özelliği verir. Böylelikle kil kolayca şekil alabilir.

Kohezyon Özelliği; kil hamuru kuruduğu zaman kendisinde oluşturulan şekli korur. Kilin kohezyon özelliğine sahip olması için su ile karıştırılıp yoğrulması gereklidir.

Renk Özelliği; killer metaloksitlerle karışık bir şekilde bulunduklarından doğal olarak renklenmiş durumdadır. Kilin saf olması durumunda rengi beyaz olur.

Rötre Özelliği; su ile yoğurulup şekillendirildikten sonra kurutulur ve mevcut ölçülerinde küçülme görülür. Yani hacminde küçülme meydana gelir. Bu olaya kilin rötre yapması denir. Rötre, kilin plastisiteden sonra en önemli özelliğidir (Toydemir, 1976).

Kerpiç yapılması için kullanılacak killi toprağın içeriğinde 3 cm'den büyük boyutlardaki taşlar bulunmaması gerekir. İyi ve kaliteli bir kerpiç toprağının yaklaşık olarak %40'ı 0,063 mm'lik elekten geçmelidir. Kerpiç toprakları içindeki kil oranı %20-70 arasında olabileceği kabul edilmekle birlikte en uygun oran %30-40 arasındaki değerdir. Aşırı killi topraklarda işlenebilmeyi kolaylaştırmak ve rötre çatlaklarını önlemek için kerpiç hamuruna kum ve benzeri taş kırıkları, tuğla kırıntıları ve cüruf eklenmektedir. Kerpiç yapılacak toprak en az 50 cm derinlikten alınmalı içinde organik maddeler bulunmamasına dikkat edilmelidir (TS 2514, 1997).

Sağlıklı ve istenilen nitelikte bir kerpiç malzeme elde etmek için kullanılacak toprak malzemesinin cinsi çok önemlidir. İyi ve kaliteli bir toprağın, yarı nemli durumdaki pozisyonu ile avuç içerisinde sıkıldığı vakit ele yapışmalıdır ve yuvarlak top haline gelmelidir, yere bırakıldığında dağılmaksızın yere yapışmalıdır ve bütün bir halde durmalıdır.

Bu durumla uyuşmayan toprak;

- İçeriğinde az miktar da kil bulunan toprak yağsız nitelikteki topraktır. Yere bırakıldığı vakit dağılır. Kuruduğu zaman çatlak oluşur ve parçalanır. Bu türdeki topraklara uygun miktarda kil ilave edilerek, kullanıma elverişli toprak malzemesi elde edilir.

- İçeriğinde fazla miktar da kil bulunan toprak ise ele yapışır. Kuruduğunda da rötre çatlağı oluşur ve parçalanır. Bu türdeki topraklara uygun miktarda kum ilave edilerek, kullanıma elverişli toprak malzemesi elde edilir

Uygun toprağın seçimi arazide başlar. Arazide uygun toprağın seçimi amacıyla ilk anda yapılabilecek tespitler görme, dokunma, parlaklık daha sonra ise küre ve basit mukavemet deneylerinden oluşur. Bu aşamalardan geçen toprak laboratuvar deneylerine alınır.

Görme Yoluyla Tespit: Gözümüz ince kumu tespit edebilecek kadar hassastır. Gözle yapılan tespit, toprak içindeki kaba sayılabilecek malzemelerin yani çakıl, kaba ve ince kum partiküllerinin oranı konusunda bize fikir verebilir.

Dokunma Yoluyla Tespit: Dokunma yoluyla elde edilen his, toprağın temel bileşimlerini yeterli doğrulukta tespit etmemizi sağlar. Kaba partiküllerinden arındırılmış toprak numunesi iki parmak arasında ya da avuç içinde ovalanır. akıl ve kum taneleri kuru olduklarında genellikle pürüzlü ve kaba bir his sağlarlar. Kil en ince tane boyutuna sahip olduğundan sürtünmeyi azaltır. Sürtünmenin azalması yağlanan maddelerde görüldüğünden killi toprağa yağlı toprakta denir. Silt ve kil hem kuru hem de nemli halleriyle ovalanmalıdır. Kuru silt aynı ince kumlarda olduğu gibi pürüzlü bir his, nemli silt ise hafif plastik kıvam hissini uyandırır. Kuru kil genellikle kaba taneler halindedir ve ezilmeye direnç gösterir. Nemli kil ise çok yapışkan ve plastik bir kıvamdadır (Anonymous, 1961).

Parlaklık tespiti: Kil varlığının tespiti amacıyla yapılan kısa bir testtir. Oluşturulan nemli toprak kütlesi bıçakla kesilir. Kesilen yüzün parlak olması yüksek miktarda kilin varlığını, mat olması ise toprağın siltli ve kumlu kilden meydana geldiğinin göstergesidir (Kömürcüoğlu, 1962).

Küre Denemesi: Toprak içindeki kil miktarı konusunda bilgi edinmemize yarar. Bunun için 5 cm çapında doğal nemliliğe sahip topraktan bir küre yapılır. Topun elimize yapışması ve şekil almaması topraktaki kil miktarının yüksekliğini, çatlaması, ufalanması ve dağılması ise toprak kil miktarının düşük olduğunu gösterir.

Mukavemet Tespiti: Kerpiç toprağının ne kadar dayanıklı olduğunu belirlemede çeşitli deneyler yapılabilir. Bu deneylerden biri; Avuç içerisinde yuvarlak top şekline getirilmiş çeşitli kerpiç toplarının kurumasından sonra bir masa yüksekliğinden (yaklaşık olarak 70 cm yükseklik) bırakılarak sert bir zemine düşüşü sağlanır. Tamamı parçalanan kerpiç topların topraklarının elverişli olmadığı anlaşılır. Dağılmayan veya

küçük parçacıklar haline gelince kopan toprak örneğinin de elverişli, uygun bir toprak olduğu anlaşılır (Kafesçioğlu, 1985).

Kerpiç için çeşitli araştırmacıların önerdikleri karışımlar şu şekildedir: (Gürdal ve Acun, 2001).

- Hamady: Kerpiç içinde %75 kum, %25 kil-silt bulunmalıdır.
- Prof. B. Postacioğlu: Kerpiçteki kil oranı %30'u aşmamalıdır.
- Fransız Ordu İnşaat Dairesi: Kerpiç içinde %40 kil, %30 çakıl, %30 kum önermektedir.
- TS 2514: Kerpiç toprağın %40'ı 0.063 mm elekten geçmeli ve toprağın içerisinde 3 cm'den iri boyutlardaki taşları içermemelidir.
- A.B.D 'de Arizona Üniversitesi Kerpiç araştırma Enstitüsü'nün kerpiç yapımı için uygun zemin granülometri eğrisi için değerler Tablo 2.2' de verilmiştir.

Tablo 2.2. A.B.D. Arizona Üniversitesi kerpiç granülometri değerleri (Gürdal ve Koçu, 1993)

Elek Çap: mm.	Elekten geçen %		
	Alt Sınır	İdeal Sınır	Üst Sınır
0.005	9	15	28
0.35	42	53	97
5.00	81	93	100
20.00	96	100	100

Saman ve Diğer Bitkisel Liflerin Nitelikleri:

Organik lifsel durumda olan bitki artıklarının ilave edilmesi ile dengelenmiş, homojen kuruma sağlanır. Büzülme ve çatlamaların azaldığı gözlenir. Anadolu'da da eskiden beri kerpicingin daha sağlam hale gelmesi ve çatlamaların azalması için saman kullanılmaktadır (Gürdal ve Kafesçioğlu, 1985). Kerpiçte kullanılacak saman gibi bitkisel malzemelerin kuru durumda, çürümemiş olması, harmanın işlenebilmesini bozacak kadar iri boyutta ve kalın olmaması önemlidir. Uzun boylu olan bitkisel malzemeler ise, 10-12 cm uzunluğunda biçilip kullanılmalıdır (TS 2514, 1977).

Kerpiç içerisinde bulunan saman malzemesinin görevi, kuruma çatlaklarının sınırlandırılması ve sadece sınırlandırma ile kalmayıp eğilme dayanımı konusunda daha mukavemetli hale getirilmesidir. Kerpici içerisindeki lif malzemesi temin edildiği yere göre farklılık gösterebilir. Ülkemizde lif malzemesi olarak genellikle saman kullanılır ama çam iğneleri, yün, testere, lifli bitkiler gibi çeşitli malzemelerde kullanılmaktadır.

Kerpiç üretmek için harca katılan 1 m³ toprağın içerisine eklenecek lifin miktarı, TS 2514 “Kerpiç Bloklar Yapım ve Kullanma” göre gösterilmiştir. TS 2514’te belirtilen lif miktarı Tabloda 2.3’te gösterilmiştir.

Tablo 2.3. 1 m³ Toprak için gerekli lif miktarı (TS 2514, 1977)

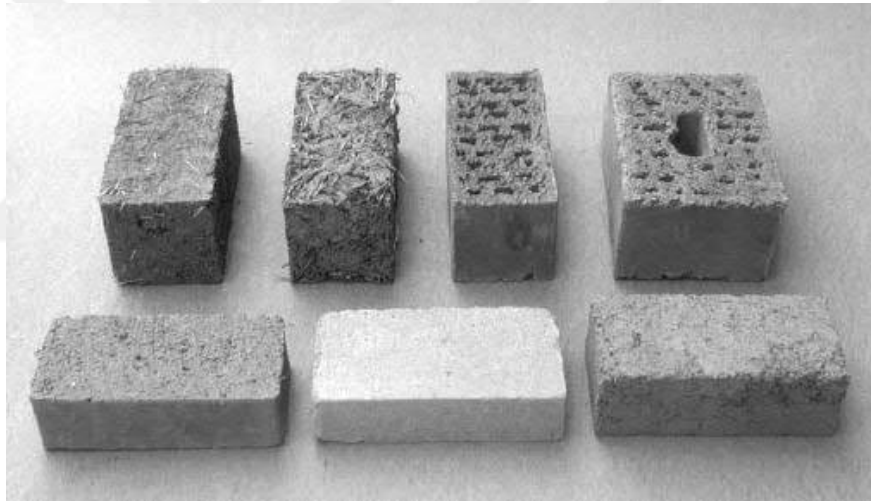
Toprak cinsi	1 m ³ toprak için gerekli bitkisel madde (kg)
Yağsız toprak [Yaklaşık %20 kil içeren]	5-7
Orta yağlı toprak [Yaklaşık %35 kil içeren]	7-10
Yağlı toprak [Yaklaşık %50 kil içeren]	10-15
Çok yağlı toprak [Yaklaşık %70 kil içeren]	15-20

Coğrafyanın kerpiç üzerinde etkisi vardır. Bununla birlikte yaşanan çevre de kerpiciin şeklini, ölçüsünü ve yapısını etkilemektedir. Avustralya’da uygulanan kerpiciin ölçüleri 250×375×125 mm iken, bu ölçülerin İran’da 200×250×50 mm olduğu, Güney ve Orta Amerika’da ise 400×400×90 mm ve 250×350×100 mm ölçülerinde kare formunda olduğu bilinmektedir (Işık ve ark., 2003), (Gül, 2011). TS 2514’e göre kerpiciin ülkemizdeki kullanım ölçüleri ve adları Tablo 2.4’te gösterilmiştir.

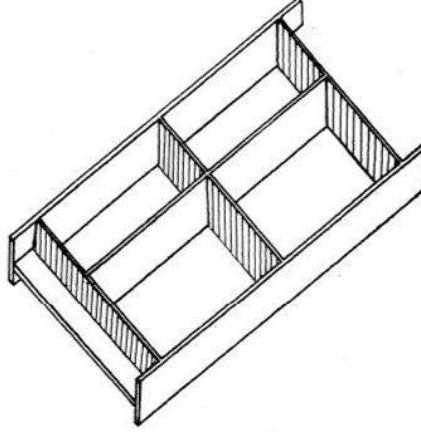
Tablo 2.4. Kerpiç sınıflandırma tablosu (TS 2514, 1977)

Sınıf	Boyutlar (cm)	Hacim (dm ³)	Yaklaşık Ağırlık (kg)	Adı
I	12x19x40	9,12	10-12	Kuzu
II	12x30x40	14,40	15-25	Ana
III	12x18x30	6,48	7-11	Kuzu
IV	12x25x30	9,00	10-15	Ana

Kerpiç bloklar kullanılma amaçlarına göre çeşitlenmektedir. Şekil 2.32’de kerpicein kullanılma amacına göre farklı ölçü ve karışımlardaki örnekleri gösterilmiştir.

**Şekil 2.32.** Farklı kerpiç blokları, (Minke, 2006)

Kerpiç üretiminde kalıp olarak basit ahşap kalıp kullanılmaktadır. Kerpiç kalıplanmadan önce kalıbın içi güzelce yağlanmalıdır. Kalıplara yerleştirilen kerpiç malzemesi sonrasında kaldırılarak kurumanın yapılacağı yere götürülür. Şekil 2.33’te özellikle Anadolu’dan bu yana kullanılan geleneksel kerpiç kalıbı gösterilmektedir.



Şekil 2.33. Kerpiç kalıbı, (TS 2514, 1977)

Kerpiç kalıpları Şekil 2.34 ile sınırlı olmayarak farklılıklar da gösterebilmektedir. Kerpiç üretimi yapan makine de Şekil 2.35’te gösterilmiştir.



Şekil 2.34. Kerpiciin kalıplanması, (Web 32, 2020)



Şekil 2.35. Günlük 20.000 adet kerpiç üretimi yapabilen makine/New Mexico, (Gül, 2011)

Toprağın çukurda su ve saman ile karıştırılarak yoğrulmasıyla oluşturulan harçtan kerpiç üretilir. Bu çok ilkel bir yöntemdir. Yoğrulan kerpiç harcı Şekil 2.36’da gösterilmektedir.



Şekil 2.36. Kerpiç harcının üretimi öncesi yoğrulması, (Web 33, 2020)

Kerpici en önemli aşamalarından birisi de kurutma aşamasıdır. Kerpiç içeriğindeki su, malzeme dayanımını düşüren etkenlerdendir. Hızlı bir şekilde yapılan kurutma işleminde kerpici bünyesinde istenmeyen çatlaklar ve yarılmalar meydana gelmektedir. Bu çatlak ve yarılmalarda, kerpici basınç ve suya olan dayanımını daha da azaltmaktadır. Kerpiç numuneler direk güneşte kurutulmamalı, etkili olacak rüzgârdan da korunmalıdır. Yapılacak kurutma işlemi yavaş bir şekilde ve serin ortamda yapılmalıdır. Kerpiç numunesine kurutma işlemi süresince su serpilerek nemlendirilmesine dikkat edilmelidir. Kurutma işleminde kerpici yerleri değiştirilerek her yüzeyinin ve her numunenin eşit kuruma yapması sağlanır. Kerpici geliştirilmesiyle elde edilen malzeme ile çeşitli uygulamalar yapılabilir. Örnek olarak kerpiç harcının içerisine alçı katılarak geliştirilmiş (Alker) elde edilir. Bu kerpici sertleşme ve kuruma süresi çok hızlı bir şekilde olmaktadır. Ve alker kerpici kalıptan çıkarılarak kısa bir süre içerisinde kullanıma hazır hale gelir. Bu tip kerpiçlerde iş ve enerji gücünden tasarruf sağlanmış olur (Vargas ve ark., 2006).

Kerpiç Karışımında Kullanılan Suyun Nitelikleri;

Kullanılacak suda yağ, çürümüş organik maddeler, tuz bulunmamalıdır. Ayrıca fabrika artığı ve içerisinde insan sağlığına zararlı olan içerikler bulunan ve kilin kolloit haline gelmesine neden oluşturacak malzemeler bulunmamalıdır (TS 2514, 1977). Karma suyunun özelliği ve miktarının mukavemete etkisi çok büyüktür. İşlenebilmenin

sağlanması için gerekli olan su miktarından daha fazla su katılması durumunda mukavemette o nispette azalma görülür.

2.2.3. Kerpiç Üretim Aşamaları

Kerpiç üretiminin belli bir standardı yakalayabilmesi için malzeme kadar işçilikte önem taşımaktadır. Bu bölümde kerpicing üretim evreleri ve dikkat edilmesi gereken konular incelenmiştir (Çakır, 2010).

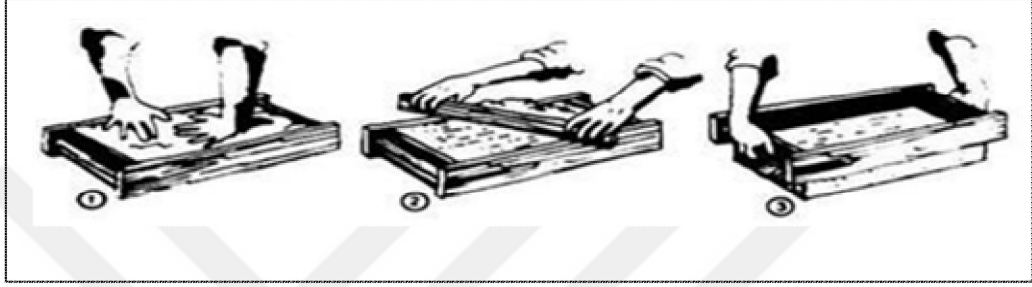
2.2.3.1. Kerpiç Karışımın Hazırlanması

Daha önce özelliklerinden bahsedilen kerpiç toprağı 3-5 m çapındaki bir alanda ve 1 m kadar derinlikteki çukurun içerisine konulmalıdır. İçinde bulunacak büyük boyutlu taşlar ve çakıllar ayıklanmalıdır. İki taşıyıcı olan biri kalıpcı olmak üzere üç kişiden meydana gelen ekibin, bir günde dökebilecekleri miktar kadar (yaklaşık 10cm) tabakalar halindeki toprak hazır hale getirildikten sonra hazırlanmış çukura 1 m³ toprak için toprağın özelliğine göre 500 litre su akıtılmalıdır. Toprağın iyice karışım suyunu alıp ıslanması ve homojen kıvamda bir karışım elde edilmesi için gelberi veya kürek gibi karıştırma gereçleri ile güzelce karıştırılmalıdır. Hazırlanmış olan bu karışım en az bir gece (12 saat) dinlenmeye bırakılmalıdır (TS 2514, 1977).

2.2.3.2. Kerpiç Kesilmesi

Kerpiç kesilecek yer hazırlanırken mümkün olduğu kadar düzgün yatay ve sert olmasına dikkat edilmelidir. Gerektiğinde bu alanlar kürekle düzeltilmeli, sulanıp tokmaklanmalıdır. Kerpiç kesilmesinde kalıp, tahta mala, kova veya teneke, el arabası ve testere gibi aletler kullanılır. Bir gece bekletilen çamur harcı tekrar iyice karıştırılır ve kerpiç kesme alanına taşınır. Taşıma, çamurun el arabasına yapışmaması için zemine ince saman tabakası serpilerek yapılır. Usta iyice ıslattığı kalıp tahtalarının tabanına ve kenarlarına yapışmayı önlemek için ince bir şekilde saman serpiştirir. İşçilerin hazırladığı çamur harcı direk kalıpların içerisine boşaltılır. Usta kullandığı mala ile çamuru kalıbın içerisine iyice yerleştirir. Mala kalıpların üst yüzeyinde gezdirilerek kerpiç yüzeyinin düz çıkması sağlanır. Kalıplar sıkıca doldurulduktan sonra kenarlarında bulunan tutamaklardan tutularak eğilmeden düşey olarak yukarıya

kaldırılır. Kalıp eğilirse kerpiçlerde eğik ve bozuk çıkar. Kerpiç harçları döküldükten sonra ikinci sıra ile aralarında 10-15 cm kadar boşluk bırakılır. Bu işleme kerpiç kesilmesi denir. Genellikle mayıs-eylül ayları arasında yapılmalıdır. Uygun iklimlerde nisan-ekim arasında da yapılabilir. Kerpiçler mümkün oldukça gölgede kesilmelidir (TS 2514, 1977). Kerpiç numunelerin güzelce kalıplanmasının ardından kalıp içerisinde kesilme işlemi yapılır. Böylelikle kerpiç numunesini kalıplanıp kesilmesi ile istenilen ebatlarda kerpiç numunesi elde edilmiş olur (Şekil 2.37).



Şekil 2.37. Kerpiç kesilmesi, (Çakır, 2010)

2.2.3.3. Kerpiç Kurutulması ve Korunması

Kuruma süresi boyunca kerpiçlerin üzerlerini ot, saz, saman gibi malzemeler ile örtüp muhafaza etmekte fayda vardır. Dökülen kerpiç numuneler iki gün ara ile çevrilip, dar ve uzun olan yüzleri üzerine gelmek suretiyle her yüzeyinin kuruması sağlanmalıdır. Bir hafta sonra dikine bir vaziyette istif edilerek piramitleri andıracak şekil verilerek kuruması sağlanır. Fazla bekleme ihtimali söz konusu ise yağmura karşı üzeri örtülmeli ve zeminde de yağmur hendeği açılmalıdır. Kuruma süresi kerpiç blokların büyüklüğüne ve hava durumuna göre 1 ile 8 haftadır (TS 2514, 1977).

2.2.4. Kerpiciin Yapı Malzemesi Olarak Özellikleri

Yapı malzemesi olarak kerpiç, kilin bağlayıcı özelliğinden yararlanılarak şekillendirilen, açık havada kurutularak sınırlı seviyede basınç mukavemeti elde eden ve suya karşı her zaman hassas olan bir yapı malzemesi olarak tanımlanabilir. Bu kapsamda kerpici yapı malzemesi olarak irdelediğimizde mekanik ve fiziksel özellikleri aşağıda belirtilmektedir.

2.2.4.1. Mekanik Özellikleri

Kerpiç malzemenin yatay ve düşey yükler altında göstermiş olduğu davranışlara "kerpicin mekanik özellikleri" denir. Kerpiç malzemesinin mekanik özelliğinin önemli göstergesi basınç mukavemetidir.

Kerpicin Basınç Mukavemeti: TS 2514'te katkısız kerpicin en küçük basınç dayanımı 8 kgf/cm^2 'den az, ölçülen numunelerin ortalama basınç dayanımı 10 kgf/cm^2 den az olmamalıdır. TS 537'de çimento katkılı kerpicin basınç dayanımı ise, $10-21 \text{ kgf/cm}^2$ olması gerektiği belirlenmiştir. İ.T.Ü.'nde yapılan alçılı kerpiçte ise, $30-50 \text{ kgf/cm}^2$ 'lik basınç dayanımı elde edilmiştir.

Genelde kerpiç malzemesinin basınç dayanımını değiştiren etkenler; (Gürdal ve Koçu, 1993).

- Kerpiç toprağın tipi
- Su miktarı
- Bitkisel katkı oranları
- Kalıplama yöntemleri (normal, sıkıştırma)
- Kurutma süresi ve yöntemi
- Stabilize kerpiçte kullanılan bağlayıcı madde tipi ve miktarı olarak belirlenir.

2.2.4.2. Fiziksel Özellikleri

Kerpicin ana malzemesi olan kil, en ufak kum danelerinden büyük taş kırıntılarına kadar ufalanmış sert maddeleri, bir hamur halinde birbirine bağlar. İyi hazırlanıp kurutulmuş olan kerpiç, oldukça homojen ve kompakt olmasından dolayı yapılarda taşıyıcılık özelliği olan duvar olarak uygulanmaktadır. Bünye yapısının boşluklu (gözenekli) olmasından dolayı da rutubete maruz kalabilir. Isı tutuculuk özelliği de iyi olan bir malzemedir. Yaz ve kış mevsimlerinde iç mekanlarda iyi bir bioklimatik konfor sağlar. Ağır kitleli ve gözenek bünyeli olması hasebi ile ses tutuculuk yönünden yeterli düzeydedir. Nem aldığı zaman ısı tutuculuk özelliğinde azalma olur, ses tutuculuğunda ise bir miktar artma gerçekleşir. Islanınca, taşıyıcılık özelliği azalır. Eğer plastik kıvama yaklaşırsa, yapı yıkılır. Birim ağırlıkları $1,60 \text{ g/cm}^3$ civarındadır

(Anonymous, 1988). Geleneksel kerpiç malzemenin plastisite-rötre özellikleri de fiziksel özellik olup aşağıda açıklanmıştır.

Kerpiç Malzemenin Plastisite-Rötre Özellikleri: Bir malzemenin elastik geri dönüş olmadan ve çatlayıp kırılmadan deformasyon yapma özelliğine "plastisite" denir. Kilin, akışkan halden plastik hale geçtiği su muhtevasına plastik limit, yani katı halden tam katı hale geçtiği andaki su muhtevasına ise "rötre limiti" adı verilir (Çakır, 2010).

Plastik durumda kalıplanmış olan kerpicingin mukavemet kazanması, içindeki suyun buharlaşması ile meydana gelir. Karışım suyu azaltılırsa, kuruma sırasında meydana gelebilecek hacim değişimi de azalmış olur. İyi bir kerpiç karışımında diğer özellikler aynı kalmak şartıyla, kuruma sırasındaki hacim değişimi az olmalıdır. Kerpicingin çeşitli kagir malzemelere nazaran fiziksel özelliklerini belirleyecek olursak, ısı yalıtımı ve hafiflik yönünden ileride olduğu, su etkisi altındaki çözülme bakımından biraz geride sonuçlar verdiği gözlemlenir. TS 2514'te suda çözülme için 45 dakikalık bir süre yeterli görülmektedir. Malzemelerin fiziksel ve mekanik özellikleri aşağıdaki Tablo 2.5'te verilmiştir

Tablo 2.5. Kerpicingin çeşitli kagir malzemelerle mekanik ve fiziksel özelliklerinin kıyaslanması (Kafesçioğlu ve Gürdal, 1985)

MALZEMELER		Mekanik ve Fiziksel Özellikler			
		Birim Hacim Kütlesi (g/cm ³)	Isı İletkenlik Katsayısı (kcal/mhC ⁰)	Suda çözülme (dakika)	Basınç Dayanımı (kgf/cm ²)
DOĞAL TAŞ		2,5-3	2-2,5	Yok	300-3000
TUĞLA	DOLU	1,8	0,68	Yok	30-200
	DELİKLİ	1,2	0,45	Yok	50-200
BETON		2,4	1,1-1,4	Yok	120-300
BİRİKET		1,2-1,4	0,5-0,6	Yok	3-75
KERPİÇ	KATKISIZ	1,2	0,4	45	2-10
	ÇİMENTO KATKILI	1,7-1,95	0,8	120	10-21

2.2.5. Kerpiğin Niteliklerinin İyileştirilmesi

Toprak yapıların, diğer yapı çeşitlerine kıyasla gözlemlendiği zaman bazı sakınca oluşturan yönlerinin olduğu görülmüştür. Bu sakıncalar çeşitli tedbirler alınarak ve ön görülen şartlara uygun hareket edilerek ya tamamen giderilmiş olur ya da en asgari düzeye indirilir. Her çeşit iyileştirme işlemi, uygun olan toprak seçiminden daha iyi netice verir. Kullanıma elverişli olmayan toprağın ise farklı katkıları katılarak iyileştirilmeye çalışılması çok zordur. İyileştirme işlemi, normal bir kerpiçten daha iyi kalite ve nitelikte kerpiç üretimi hedefleniyorsa yapılmalıdır.

İyileştirilmiş kerpiç numunesinin sağladığı yararlar,

- Daha mukavemetli olur,
- Su ve rutubete karşı hassasiyeti azalır,
- Toz ve kir üretmez,
- Kalıplanması ve kurutulması daha kolay olur,
- Kuruma sırasında çatlaklar olmaz veya çok az olur.

Ülkemizin çoğu bölgesinde, iyi kalite ve nitelikte toprak bulmak mümkündür. Daha iyi yani basınca daha dayanıklı, daha fazla mukavemet gösteren, rutubete karşı hassaslığı daha az düzeyde olan, suda parçalanmayan, yüzeyleri düzgün şekilde ve toz üretmeyen kerpiç meydana getirmek amacıyla, toprağa çimento, kireç, alçı ve diğer bazı katkı malzemeleri ilave edilir. Ayrıca saman ve benzeri lifsel olan katkıların ilave edilmesi neticesi ile de kerpicingin eğilme dayanımını artırılırken, hızlı kurumması sebebiyle gözlemlenecek rötire çatlağı problemini de azaltmak mümkün olmaktadır. Bugün uygarlık düzeyindeki her çeşit konforu, en kolay, en ucuz ve en asgari enerji ihtiyacı ile sağlayabilecek; özellikleri iyileştirilmiş olan kerpiç malzemelerinin özellikle kırsal yörelerdeki yapılaşmalara ciddi bir şekilde fayda sağlayacağı düşünülmektedir (Gürdal ve Acun, 2003).

2.2.5.1. Toprağın Granülometrisinin İyileştirilmesi

Kerpiç yapılarda iyi sonuç almak için toprağı oluşturan tanelerin büyüklüklerinin ayarlanması yani uygun granülometrinin sağlanması, plastisite ve rötire özelliklerinin

istenilen nitelikte kerpiç elde etmede önemli rolü vardır. Plastik indeksi küçük olan toprakların bünyesindeki kum miktarı, büyük olan toprakların bünyesinde, kil ve silt miktarı fazladır. İhtiyaçtan fazla miktarda ince malzemenin kullanılması, büzülme ve çatlaklara sebep olacağından dolayı istenmez. Kerpiç toprağında kaba kumun yanında bir miktar ince kum da bulunması arzu edilir. İdeal kerpiç toprağı kum, silt ve kil karışımıdır. TS 537'ye göre çimentolu kerpiç yapımında kullanılan killi toprak %20-40 arasında kil ihtiva etmeli göz açıklığı 5 mm olan kare gözlü elek üzerinde kalan miktar %3'ten fazla olmamalıdır. Kullanılacak toprağa, farklı toprakların ilave edilmesi veya toprağın granülometrisinde yapılabilecek farklılıklar, kerpicingin porozite ve dayanımını etkilemektedir. Tane büyüklükleri ayarlanarak yoğurulmuş toprak içindeki boşluk oranları azaldığından basınç dayanımı, suyun olumsuz etkilerine karşı dayanımı artacaktır (Şimşek ve ark., 2001).

Agreganın harç içindeki asıl görevi, rötre ve çatlak oluşumunu engellemektir. Agregalar genellikle taş ocaklarından, nehir kenarlarından elde edilir. Denizden getirilen agregalar mutlaka yıkanarak tuzdan arındırılmalıdır. Çünkü tuzun harç içerisinde olumsuz kimyasal etkileri vardır (Tunçoku, 2001).

2.2.5.2. Toprağın Dinlendirilmesi

Toprağın dinlendirilip, geliştirilerek daha iyi nitelikte toprak elde edilmesi bazı durumlarda muhtemel olmaktadır. İçeriğinde demir bileşenleri bulunduran toprak malzemesi, organik toprak ile harmanlanarak belli bir süre nemli ortamda bekletildikten sonra oluşan humus asidinin kimyasal reaksiyonu sonucu toprağın bünyesindeki bağlayıcılık özelliği artmaktadır (Tanrıverdi, 1984).

2.2.5.3. Karışım ve Su Oranının Ayarlanması

Kerpiç toprağının iyi bir şekilde şekillendirilmesi yani belli boyutlardaki kalıpla biçime sokulması için, toprak kıvamının dengeli olması ve uygun bir şekilde ayarlanması gereklidir. Toprağın kıvamı, ilave edilecek suyun miktarı ile değişkenlik gösterir. Toprak su karışımında su oranı yükseldikçe, kerpiç çok su alacağından mukavemeti azalır, zor kurur. Ve kuruma aşamasında fazla çatlama ve büzülme yaptığı gibi, kerpicingin biçiminde de bozulmalar olabilir, çarpılabilir.

Karma suyunun mümkün olduğunca az ilave edilmesi bu sakıncaların önüne geçer, yani büzülmesi az olur, dayanıklılığı artar, biçimi bozulmaz. Bunlara karşılık, kalıplanması zorlaşabilir. Ayrıca katılan karma suyunun fazlalığı kerpicingin boşluk oranını arttırarak su emmesini arttıracak basınç değerlerini ve mukavemetini önemli ölçüde azaltacaktır. TS 2514'te her m³ toprak için toprağın niteliğine göre 500 lt su eklenmesi gerektiği belirtilmiştir.

Hazırlanmış olan kerpiç çamurunu kalıba güzelce dökmek için, tokmaklama veya sıkıştırma işlemlerine ihtiyaç vardır. Bu işlemler, zahmetli olsa da güzel neticeler almak için önem arz etmektedir. Çamur harcının kıvamı, kalıplama ve sıkıştırma yöntemlerine göre deneme yanılma yapılarak belirlenir. Toprağın nemlilik oranının değişmesiyle ilave edilecek su miktarının da değişeceği unutulmamalıdır.

2.2.5.4. Yoğrulma ve Sıkıştırma

Toprağın iyice ıslanıp homojen bir karışım oluşması için gelberi veya kürek kullanılarak güzelce harmanlanmalı, insan veya hayvan ayağıyla iyice çiğnenmelidir. Homojen hale getirilen bu harç karışımı en az bir gece dinlenmesi için bekletilmelidir.

Toprak malzemenin sıkıştırılarak yoğunluğunun yükseltilmesinde toprak içinde bulunan su miktarının büyük etkisi vardır. Toprağa ilave edilen su, belirli bir katkı oranına kadar, sıkıştırılma sırasında toprak zerreciklerinin birbiri üzerinden kolayca kayarak, hava boşluklarının doldurulmasına ve böylece yoğunluğun artmasına yardım eder. Fakat belirli bir sınırdan sonra, katılmaya devam edilen fazla su, toprak zerrecikleri tarafından doldurulması arzu edilen boşluğu işgal eder. Böylece fazla su kerpiç yoğunluğunun azalmasına sebep olur. Sıkıştırmada tatbik edilen basıncın fazlalığı, sıkıştırılan harç kitlesinin yoğunluğunun artmasına yardım eder (Alkan, 1969). Mekanik olarak kerpiç çamurunun kalıp içinde sıkıştırılması, içindeki havanın çıkmasını ve kerpicingin doluluk oranının artmasını sağlar. Sıkıştırılarak elde edilen kerpiç malzemenin yoğunluğunun artması, bu kitlenin su geçirgenliğini ve su emme kapasitesini azaltır (Lambe, 1962).

2.2.5.5. İyileştirici Maddeler Katılması

Her çeşit iyileştirme, elverişli nitelikte olan toprak malzemesi ile daha olumlu netice verir. Elverişli olmayan toprak malzemesinin ise farklı katkılarla da niteliğinin geliştirilmesi çok zordur. İyileştirilme işlemi, normal bir kerpiç malzemesinde daha iyi kalite ve nitelikte kerpiç elde edilmesi hedefleniyorsa, uygulanmalıdır. Kerpiç üretimi geleneksel ve ekolojik özellikleri nedeniyle önemlidir. Kerpice katılan büyük enerji, maliyet gerektiren doğal olmayan katkılar kerpice özelliklerini iyileştirse de kerpiç yapının üretim felsefesine uygun olmadığı için kullanım alanı bulamamaktadırlar. Kerpice fiziksel ve mekanik özelliklerini iyileştiren bazı maddeler aşağıda incelenmiştir.

Çimento Katılması:

Çimentoya baktığımızda, toprak malzemesinin içerisinde bir iskelet oluşturup bağlayıcılık sağlar. Hidratasyonun neticesinde oluşan iskelet karışımı bir yandan malzemenin mukavemetini olumlu yönden yükseltirken diğer yandan boşluk oranını düşürmektedir. Kil oranı düşük olan ve yapışmayan topraklarda kullanıldığı takdirde en iyi sonucu verir (Anonymous, 1988).

Dayanımı arttırmak için çimentoyu gereğinden fazla katarak maliyeti arttırmaktan kaçınılmalıdır. TS 537'ye göre çimentonun kütlece toprak oranı maksimum %10 olarak kabul edilmiştir (TS 537, 1985).

Çimentonun karışım içinde homojen şekilde dağılması sağlanmalıdır. Çimento toprak karışımı katılaşması sonlanmadan kalıplama işleri bitirilmiş olmalıdır. Çimento katkılı kerpiç malzeme normal dayanımını alana kadar sarsılmadan, güneşe karşı muhafaza edilerek bekletilmeli bir hafta süreyle her gün çatlamaları önlemek için sulanmalıdır (Eriç, 1980).

Kireç Katılması:

Kireç taşının (CaCO_3 - $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) farklı derecelerde ($850-1400^\circ\text{C}$) pişirilmesi ile oluşan, su ile karıştırıldığı zaman tipine göre havada veya suda sertleşme özelliği gösteren beyaz bir renkte inorganik esaslı olan bağlayıcı türlerinden biridir (Eriç, 1980). Kireç malzemesinin genel kullanımı, kil oranının fazla olduğu plastik özellikteki

topraklarla kullanılmasıdır. Toprağa kireç katkısının ilave edilmesi iki çeşit davranışın oluşmasını sağlar. Birincisi, toprağın plastik ve likit limitlerini düşürerek kompaksiyon için daha uygun hale getirmesidir. Diğer etkisi ise uzun vadede kirecin bir takım kil mineralleriyle kimyasal reaksiyonlar sonucunda birleşerek silikatlar oluşturmalarıdır. Bunun sonucunda toprağa çimento katıldığında olduğu gibi, dayanımlar yükselir, porozite düşer. Kireç toprak içine toz veya hamur halinde katılabilse de hamur halindeki karışımların kil ile kimyasal reaksiyona daha hızlı tepki verdiği bilinmektedir (Anonymous, 1988).

Alçı Katılması:

Alçı taşının (jips: $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) farklı derecelerde pişirilmesiyle oluşan, su ile harmanlanarak az bir sürede sertleşebilen beyaz renkte inorganik esaslı bağlayıcı çeşitlerinden birisidir. Alçının hammaddesi jips, alçıtaşının sulu türüdür.

Alçıtaşı bir kalsiyum sülfat mineralidir. Çift sulu bileşiğine jips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), susuz türüne ise anhidrit (CaSO_4) adı verilir (Eriç, 1994). Alçı, jipsin yaklaşık olarak yarım molekül suyu kalacak şekilde kızdırılarak suyunun uçurulması ve öğütülmesi ile meydana gelen ve su ile harmanlanarak tekrar sertleşip ve tekrar bağlayıcılık kazanabilen yapı malzemelerinden biridir (Gürdal, 1980).

Ülkemizdeki alçı kullanımının fazla olmasıyla birlikte Anadolu’da sıva harcı olarak toprak-alçı-kireç karışımının biliniyor ve kullanılıyor olması, toprağın alçı ile stabilize edilebilir düşüncesini oluşturmuştur. 1980 yılında İTÜ Mimarlık Fakültesi’nde TÜBİTAK MAG 505 projesi olarak yapılan çalışma ve araştırmalarda alçı ilave edilen kerpiç malzemesinin nitelikleri üzerinde çalışma yapılmış, örnek olarak da bir deneme evi inşa edilmiştir. Deneme evi, bugün İTÜ’nün Ayazağa kampüsü içerisinde hizmet vermeye devam etmektedir (Şimşek ve ark., 2001).

Bu araştırma kapsamında; geleneksel kerpiç şeklinde oluşturulacak duvar malzemesi için, içerik bakımından elverişli bir toprak çeşidine (uygun kil oranına sahip, uygun granülometrideki toprak) %10 oranında alçı ilave edildiğin de karışımın en sağlıklı ve olumlu netice verdiği gözlemlenmiştir. Yapılan çalışmaların ve deneylerin neticelerine göre; normal yani katıksız kerpicing birim ağırlığı 1,70-1,80 kg/lt iken alçı ilaveli kerpicing birim ağırlığı 1,45 kg/lt, normal yani katıksız kerpiçte rötire çatlağı %5

iken alçı ilaveli olan kerpişte %1,8'e kadar düştüğü görülmüş. Zamana bağlı olarak su emme katkısız kerpiç örneklerinde 2,7 cm iken alçı ilaveli kerpiç örneklerinde 3 cm olmuştur (Tunçoku, 2001).

Alker, uygun nitelikteki kerpiç toprağına %10-20 arasında alçı katılması ile elde edilmiş bir kerpiç türüdür. Fiziksel ve mekanik özellikleri, normal yani katkısız kerpice kıyasla yapı için gerekli olan yönde, ciddi ölçüde iyileştirilmiştir. Buna ilişkin değerleri gösteren tablo Tablo 2.6'da gösterilmiştir. Alker'e ilave edilen alçı malzemesinin hızlı priz alması, kalıplardan çıkarıldığı sırada yeterli düzeyde dayanımının olmasını sağlar. Uygulamalarda, kurutmadan kaynaklanan işçilik ve zaman kaybına ve kurutmanın yapılacağı alana ihtiyaç duyulmaz. Ve netice olarak kerpiç karışımında kullanılan alçı ile kerpiç numunelerin çatlaklarında azalma gözlemlenmiştir.

Tablo 2.6. Alçılı kerpicingin (Alker) fiziksel ve mekanik özellikleri, (Çakır, 2010)

Fiziksel Özellikler				Mekanik Özellikler	
Birim Hacim Kütlesi (g/cm ³)	Isı İletkenlik Katsayısı (kcal/mh0C)	Özgül Isı (kcal/kg0C)	Buhar Difüzyon Direnç Faktörü	Basınç Dayanımı (kgf/cm ²)	Çekme Dayanımı (kgf/cm ²)
1,55	0,4	0,3	13	35-50	0,14-0,16

Alçının hızlı priz alması (sertleşmesi) kil malzemesinin kuruma zamanındaki yapacağı büzülmeleri engeller. Ve kurumasının dengeli bir şekilde olmadığı zamanlarda bünyesinde meydana gelecek çatlak ve şekil değişimlerini önler. Bu durumlar, kerpicingin mukavemetinin artmasına ve suda parçalanmamasına neden olurlar (Kafesçioğlu ve Gürdal, 1985).

Alçılı kerpicingin maliyeti (Alker), çimento katkılı kerpiç ve diğer katkılarla elde edilen kerpiçlere göre oldukça düşüktür. Hem maliyetinin düşük olması hem de alçı taşının bulunduğu her yerde kolaylıkla üretilebilmesinden dolayı kırsal yörelerde rahatlıkla kullanılabilir. Yapılan deneyler ve çalışmalarda alçılı kerpicingin geleneksel kerpice kıyasla kuruduğu zaman büzülme ve suda dağılmasının düşük ölçüde olduğu, taşıma gücünün ise daha yüksek miktarda olduğu görülmüştür. Yüzeylerine

bakıldığında çok daha düzgün bir yüzeye sahip olduğu ve toz üretmediği gözlemlenmiştir (Gürdal ve Acun, 2003).

Bitüm Katılması:

Bitüm malzemesi, kullanılacak toprağa çözelti halinde eklenir. Toprağa karıştırıldıktan sonraki durumda çözücü madde buharlaşır. Sonuç olarak bitüm damlaları, güçlü ve ince bir tabaka ile toprağı sarar ve toprağa yapışır. Kilin su emme oranını düşürecek şekilde toprağın su geçirimsizliğini iyileştirir. Ayrıca, yapışkanlık özelliği bulunmayan toprakla kullanıldığı zaman da bağlayıcı olarak görev yapar (Hauben ve Guillard, 1989).

Su geçirimsizlik sağlayan maddelerin en tanınmış bitümdür. Bitüm, petrol, yağlar, katran gibi maddelerle stabilizasyonda iki ilke vardır. İç sürtünmeyi bozmayacak kalınlıkta bir bitümlü madde filmi ile taneleri sararak kohezyonu arttırmak ve kapiler boşlukları tıkayarak rutubete karşı korumak. Bitüm belirli düzeylerde katıldığında toprak daha mukavemetli olmaktadır. Ayrıca, toprağın suya karşı stabilizasyonunu arttırmaktadır (Kafesçioğlu ve Gürdal, 1985).

Puzolan Katılması:

Puzolanlar, tek başlarına bağlayıcılık özelliği bulunmayan veya düşük seviyede bağlayıcılık gösteren, fakat ince taneli hallerinde ve sulu ortamlarda kalsiyum hidroksit ile birleşik oluşturdıklarında hidrolik bağlayıcılık özelliğine sahip, silisli veya silisli ve alüminli malzemeler olarak belirtilmektedir (Erdoğan, 2003).

Puzolanlar kimyasal olarak SiO_2 ve az miktarda Al_2O_3 'ten meydana gelen maddelerdir. Su ile bir araya getirildiklerinde çamur halini alır, kuruduktan sonra ise tekrardan eski hallerine dönerler (Almaç, 2002). Puzolanlar, kendi başlarına bağlayıcı olmadıkları halde kireçle karıştırılırsa bağlayıcılık kazanır. Bu olay kireç içerisindeki Ca(OH)_2 ile birleşmesiyle gerçekleşir ve C-S-H yapısı oluşur. Kireç harcının üzerinde etkili olarak, onları suya karşı dayanıklı ve dirençli hale gelmesine sebep olduğu için yıllarca kullanılmıştır. İçerisinde SiO_2 olan her bir toprağın puzolan olamayacağı aşîkardır. Hangi türdeki toprakların bu özelliğe sahip oldukları, testler ve denemeler yapılarak belirlenir. Puzolanlar kirecin içerisinde ilave olarak kullanıldığı gibi çimentoya da üretim aşamasında ilave edilerek kullanılır (Almaç, 2002).

Puzolanlar doğal ve suni olmak üzere ikiye ayrılırlar. Doğal puzolanlar; temelde az çok değişikliklere uğramış, volkanik kaynaklı tortul kayalardan meydana gelmelerine rağmen, farklı kaynaklardan türemiş maddeleri de içerirler.

Suni puzolanlara baktığımızda ise ya kil veya şist gibi saf maddelerin belli bir seviyede ısıtılması ile meydana gelebilirler ya da farklı farklı sanayiye ait ürünlerin atıkları da olabilirler. Belli başlı suni puzolanlardan olan silis dumanı, metal silis ve silis temelli alaşımlarının oluşmasından ortaya çıkarken; uçucu kül de, termik elektrik santrallerinde yakıt olarak kullanılan linyit kömürünün artan maddelerinden elde edilir.

Saman ve Benzeri Lifler Katılması:

Organik lifsel yapıdaki bitki artıklarının ilave edilmesi ile dengeli ve homojen olarak kuruma sağlanmış olur. Bununla birlikte lifin katılmasıyla büzülme ve çatlamalar da azalır. Eskiden beri Anadolu'da kerpicingin dayanımını arttırmak ve çatlamalarının önüne geçmek için, içerisine saman katılmaktadır. Saman bünyesindeki borucukları sayesinde kerpicingin içindeki nemin kolayca dışarı atılması sağlanır ve bu da kerpicingin çatlamasını önler. Saman dışında her çeşit saz, kamış artığı, ot ve bitki sapları ahşap elyafı, testere talaşı gibi bitkisel katkılarda ilave malzeme olarak kullanılabilir (Kafesçioğlu ve Gürdal, 1985).

Çeşitli Endüstri Atıkları Katılması:

Kimyasal özellikteki bazı maddeler ilave ederek kil tanelerinin suya karşı olan afinitelerini ortadan kaldırmak, onların flokülasyonunu sağlamak veya taneleri birbirine yapıştırmak işlemleri kimyasal stabilizasyondur. Reçineler, elektrolitler (kalsiyum klorür, sodyum klorür, sodyum silikat) organik katyonlar (selüloz) bu amaçlar için kullanılan kimyasal malzemeler olarak sayılabilirler (TS 2514, 1977).

Geogrid Kullanılması:

Geogrid malzeme esas olarak plastik kökenli bir malzeme olup, piyasada değişik kalınlıklarda ve değişik grid açıklıklarında bulunmaktadır. Geogridin sektörde esas kullanım alanları, yol yapım inşaatları ve toprak düzenlemeleridir. Toprağın çekme kuvvetlerine karşı uygun bir malzeme olmamasından dolayı, geogrid çekme kuvvetlerini karşılaması amacıyla değişik şekillerde kullanılmaktadır. Yol inşaatlarında geogrid, toprağın üzerine serilerek, inşa edilen yolun zaman ile kaymasını, üzerinden

geçen yük sebebiyle dağılmasını engellemektedir. Ayrıca, şevli toprak alanlarda, geogrid malzeme toprağı düşey olarak bohçalayacak şekilde kullanılır ki, çekme kuvvetlerini karşılasın. Geogrid malzeme, daha önce yapılmış olan deneylerde yükü dağıtması ve malzemeyi bütün olarak tutması özelliklerinden faydalanılarak, alker numunelerinin içine donatı olarak kullanılmıştır. Yol inşaatlarında kullanıldığı gibi duvar numunelerinin içine yatay olarak serilmiştir (Aydınay, 2002).

2.2.6. Kerpicing Olumlu Yönleri

Kerpicing tanımından yine bahsedecek olursak, yapı malzemesi olarak kerpiç, kilin bağlayıcı özelliğinden faydalanılarak şekillendirilebilen, havada kurutulmasından sonra belli bir basınç dayanımı elde eden ve suya karşı her zaman hassas bir malzeme olan yapı malzemesi olarak tanımlanabilir.

Yapı malzemesi olarak kerpicing tercih edilme nedenleri şöyle sıralanabilir;

- Maliyeti en az, üretimi tesis ve enerji gereksinimi olmayan tek malzemedir.
- Malzemenin üretiminde ve nakliye işinde enerji yönünden tasarruf sağlarken, binanın toplam kullanım süresi boyunca yakıttan tasarruf sağlanmış olur.
- Kırsal kesimlerde bilinen yapı mirasından faydalanma ve onun geliştirilmesi olanağını sunar.
- Atölye, kümes, besi ahırları gibi binalar yapılabilir.
- Hem üretimde hem de malzemenin kullanım ömrünü doldurduğunda çevreye olumsuz etkileri olmaz.
- Isı ve rutubet geçişine karşı gösterdiği dengeli direnç ve ısı depolama kapasitesinin ve ses yutuculuğunun yüksek olmasından dolayı inşa edilen binalar da yaşam konfor düzeyi yüksektir.
- Her mevsimde iyi bir bioklimatik konfor sağlar.
- Yanmaz, alev almaz, duman ve koku çıkarmaz.

Kerpicing en önemli maddesi olan toprak yapısının, diğer yapı çeşitlerinde olduğu gibi bazı dikkat edilmesi gereken yanları vardır. Bunlar gerekli tedbirler alınarak ve ön görülen koşul ve şartlara uygun hareket edilerek ya tamamen giderilebilir ya da en asgari seviyeye indirilebilir. Her çeşit iyileştirilmesi işlemi, uygun nitelikteki toprak

malzemesi ile daha olumlu netice verir. Elverişli nitelikte olmayan toprağın farklı ilave katkılarla iyileştirilmeye çalışılması çok zordur. Bahsettiğimiz geliştirme işlemi, normal yani katkısız nitelikteki bir kerpiçten daha iyi özellikte kerpiç elde edilmesi hedefleniyorsa uygulanmalıdır.

Kerpicing iyi etkileri oldukça çoktur ve bu iyi etkiler yıllarca kerpici kullanıma sunmuştur ve fayda sağlanmıştır. Genel olarak ise kerpiç yapının dış ısını emerek yapı içinde ısıyı tutmaktadır. Bu da yapının iç kısmının soğuk olmasını sağlar. Bu durum kerpicing yüksek ısı kapasitesine sahip olduğunu gösterir. Gün boyunca yapı içinde olan ısı, yapı dışındaki ısının düşmesi ile kendi ısını dışarı verir. Kerpicing bu ısı değişkenlik özelliğini etkileyen en önemli etken de kendi içerisinde sahip olduğu su miktarı ile olur. Bundan dolayı ısı kapasitesi ve ısı iletimi açısından kerpiç kurutma işlemi önem arz etmektedir. Kerpiç bünyesindeki su miktarının artması ile ısı iletkenliği değeri de artmaktadır. Bundan dolayı kerpiç içerisinde var olan su ne kadar buharlaştırılırsa o kadar ısı iletimi de azalmış olur. Sonuç olarak kerpiç malzemesinin ker koşulda su ile teması kesilmelidir (Parra ve ark., 2006), (Raimondo ve Diğ, 2007), (Dondi ve Diğ, 2003).

Kerpiç bünyesinde boşluklara sahip olduğu için nem konusunda dengeleyici olarak görev yapar. Genellikle kerpiç malzemesi yapı içindeki nemi %40 oranında tutarak yapının sabit nemde kalmasını sağlamaktadır. Kerpicing tuğla ile kıyasında ise tuğlaya göre 30 kat daha fazla nem dengeleyici olarak görev yapar. Bu da kerpici üstün bir malzeme kılmaktadır (Parra ve ark., 2006), (Gürbüz, 2005).

Kerpiç malzemesinin tükettiği enerji diğer malzemelere kıyasla oldukça az orandadır. Enerji tüketimi, malzeme üretiminden bina inşaatının aşamalarına ve sonrasında yapının kullanıldığı süre boyunca da harcanmakta olan enerjilerin tümünü kapsamaktadır. Bu üç aşamanın her birinde, toprak malzemesinden yapılan yapıların daha az enerji tüketerek üstünlük kurduğu görülmektedir. Makine kullanılarak üretimi yapılan kerpiç blokların diğer yapı malzemeleriyle enerji miktarı olarak kıyası Tablo 2,7’de belirtilmiştir (Gürbüz, 2005).

Tablo 2.7. Yapı malzemelerinin üretimi için sarf edilen enerji miktarı, (Gürbüz, 2005)

Malzeme	Miktar	Tüketilen Enerji (kcal/saat)
Portland çimentosu	42,64 kg	96,232
Söndürülmüş kireç	45,36 kg	111,109
Tuğla	1 blok	3,422
Beton blok	1 blok	7,317
Makine ile üretilmiş Kerpiç blok	1 blok 254×101,6×355,6 mm	0,63

Kerpiç üretimi tuğlanın üretim aşamasındaki enerji kullanımına göre daha iyi çevreci özelliğe sahiptir (Oti ve ark., 2003). Hindistan'daki CO₂ emisyonunun %22'sine inşaat sektörü neden olmaktadır. Kerpiç yapının enerji geri dönüşüm süresi 1,54 yıldır ve ayrıca CO₂ salınımını ise, 101 ton/yıl daha azaltır (Shukla ve Diğ, 2009). Kerpiç, tuğlaya nazaran 15,1 kat daha az enerji tüketimi sağlar ve 7,9 kat daha az kirliliğe sebep olur. Kerpici diğer yapı malzemeleri ile enerji tüketimi ve CO₂ salım analizini gösteren Tablo 2.8 aşağıda verilmiştir (Zami ve Lee, 2009).

Tablo 2.8. Yapı malzemelerinin enerji tüketimi ve CO₂ salınımı, (Zami ve Lee, 2009)

Ürün ve Kalınlık	Malzeme Sayısı (1/m²)	Enerji Tüketimi (MJ/ m²)	CO₂ Salımı (kg/m²)
Sıkıştırılarak geliştirilmiş kerpiç -24 cm	40	110	16
Pres tuğla - 22 cm	87	539	39
Tuğla - 22 cm	112	1657	126
Beton blok – 20 cm	20	235	26

Isı iletkenlik katsayısı malzemenin ısıyı ne kadar iletmediğini ifade eden değerdir. Isı iletkenlik katsayısı değeri ne kadar düşük ise malzeme de ısıyı o kadar düşük oranda iletir. Kerpiç ısı iletkenlik katsayısı düşük olan ve iyi bir ısı yalıtımı sağlayan malzemedir. Bazı yapı malzemelerinin birim hacim kütlelerine göre ısı iletkenlik hesap değerleri Tablo 2.9’da verilmiştir (Gürbüz, 2005).

Tablo 2.9. Malzeme ısı iletkenlik değerleri, (Gürbüz, 2005)

TS 825'deki sıra no	Malzeme veya bileşenin çeşidi	Birim hacim kütlesi (kg/m ³)	Isı iletkenlik hesap değeri (W/(m·K))
5.10	Donatılı beton	2400	2,10
	Donatısız beton	2200	1,74
7.1.1	TS 704, TS 705'e uygun tuğlalarla	1800	0,81
	yapılan kârgir duvarlar, dolu	2000	0,94
	klinker, düşey delikli klinker, (TS 4562) seramik klinker (TS 2902)	2200	1,20
7.1.2	TS 704, TS705'e uygun dolu veya düşey delikli tuğlalarla duvarlar	1200	0,50
		1400	0,58
		1600	0,68
		1800	0,81
		2000	0,96
	295×140×90 mm ebadında sıkıştırılmış toprak blok	1700-2200	0,81-1,04
	400×200×100 mm ebadında kerpiç	1200-1700	0,4-0,8

Sıcak bir iklimde olan Kıbrıs'ın geleneksel yapım teknikleri ile inşa edilen kerpiç yapıda ölçülen sıcaklıklar ve dış ortam sıcaklığını gösteren Tablo 2.10 aşağıda verilmiştir (Gürbüz, 2005).

Tablo 2.10. Kerpiç yapıda ölçülen sıcaklık değerleri, (Gürbüz, 2005)

Ay	Dış Ortam Hava Sıcaklığı (°C)			Bina İçi Sıcaklık (°C)
	En Yüksek	En Düşük	Ortalama	
Mayıs	33,24	13,94	~23,59	20-25
Temmuz	>40	25	~33	30
Aralık	21,28	2,94	~24,22	10-15

2.2.7. Kerpici Olumsuz Yönleri

Katkı maddesi kullanılmadan üretilen kerpiç malzemeden oluşan yapıların dezavantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Yapının inşası iklimsel koşullara bağlıdır.
- Suya karşı oldukça hassastırlar. Bu nedenle suyla teması engelleyecek tedbirler alınmalıdır.
- Eğilme, darbe ve aşınma gibi etkilere karşı dayanıksız durumdadır.
- Devamlı bakım ve onarım gerektirirler.

İnşaattaki diğer malzemelere kıyasla daha düşük dayanımlı, insan gücüne endeksli, deprem etkisine karşı zayıf dayanımda, yapısallığının belli bir sınırı bulunan imalatçılar için ekonomik düzeyde olmayan ve yüksek duvar kalınlığı gereksinimi olmayan yapı malzemesidir (Zami ve Lee, 2009). Fakat bu olumsuz etkiler sürekli olmayıp giderilebilecek niteliktedirler.

Kerpici diğer bir yanından baktığımızda ucuz ve kolay bir şekilde elde edilebilen, işçiliği düşük ve köy koşullarında uygun durumda olan bir yapı

malzemesidir. Diğer taraftan, ısıyı ve sesi az geçirmesi, yangından az zarar görmesi gibi faydaları bulunmaktadır. Buna karşılık, suya karşı dirençsizliği, mekanik etkenlere karşı az dayanıklı olması gibi sakıncaları vardır. Bu nedenle, taşkın yataklarda, su taşma tehlikesi olan yerlerdeki yapılarda ve deprem bölgelerinde kullanılması istenmez.

İnşaat yerine mümkün olduğu kadar yakın bir yerde bulunabilen, ucuz, maliyeti artırmadan yerli işçilerin kolaylıkla öğrenip uygulayabileceği bir yapı malzemesi olarak tanımlanan kerpicingin sayılan özelliklerinden dolayı çok kullanıldığı bilinmektedir. Malzeme seçimine dikkat edilmesi ve hidrolik bağlayıcılar katmadan istenilen nitelikte kerpiç elde etme yollarının aranması ve kerpiçle yapı yapma metotlarının geliştirilmesi gerekir. Kerpicingin şekillendirilip kurutulması ve bunun duvar örgü malzemesi olarak kullanılmasının; kerpiç harcının kalıplar arasına dökülerek bütün bir duvar olarak kurumaya bırakılmasına tercih edilecek bir seçenek olduğu görülür.

Kerpicingin dayanımını düşüren en önemli etken sudur. Fakat kerpice katılan ilave katkıları ile suya karşı dayanıklılık (veya direnç) artırılabilir. İlave katkıları ile birçok mühendislik özellikleri de geliştirilebilir (Oti ve ark., 2003). İlave katkılarıyla kerpicingin birçok sakıncalı yönü ortadan kaldırılabilir.

Kerpicingin hammaddesi olan toprak, suya karşı herhangi bir mukavemete sahip olmadığı için bundan yapılan kerpiçlerden de bu yönde bir mukavemet beklenmemelidir. Su ile temasta bulunan veya su içinde kalan kerpiçler oldukça kısa bir zamanda dağılmaya ve bünyesini değiştirmeye mahkumdurlar. Esasen kerpiçlerin en belli başlı kusurları arasına giren suya karşı dirençsizliğini azaltmak veya kısmen ortadan kaldırmak amacıyla kerpiçlerin, asfalt, katran gibi malzemelerle stabilize edilmesi mümkün ise de bu gibi malzemelerin pahalı oluşları ve özellikle kerpiç yapıların kullanıldığı bölgelerde zor bulunmasından dolayı kerpicingin bu gibi maddelerle suya karşı dayanıklılığını artırmak ekonomik olmamaktadır. Bu bakımdan, kerpiçlerin, suya karşı dayanıksız oluşlarının her an göz önünde bulundurulması gerekir.

2.2.8. Kerpiç Yapıda Dikkat Edilmesi Gereken Detaylar

Kerpiç yapıları genellikle tek katlı, 3m yükseklikte ve duvar kalınlıkları 0,25 m ile 0,80 m arasında değişmektedir (Anonim, 2010). Daha yüksek ve ince duvar

kalınlığında yapıların yapılabilmesi için kerpiç bloklar desteklenmelidir. Bu destekleme kerpiç duvarlar içine destekleyici yapı malzemeleri eklenerek veya kerpiç harcına farklı malzemeler katılarak yapılmaktadır. Şekil 2.38’de kerpiç duvarların iki farklı yöntem ile kuvvetlendirilmesi gösterilmiştir.



Şekil 2.38. Kerpiç duvar imalatı, (Minke, 2006)

Kerpiç malzemesinin yapılarda uygulanabilmesi daha yalın şekillerle olmalıdır. Kerpiç yapı sistemiyle uygulanacak olan yapıların sadece kare veya dikdörtgen planlı bir şemaya sahip olması için çalışılmalıdır. Yapıdaki girinti ve çıkıntının en az düzeyde olması sağlanmalıdır. Taşıyıcı durumda olan dış duvarlarının en az 500 mm, taşıyıcı iç bölme duvarlarının ise 300 mm, taşıyıcı olmayan bölme duvarlarının ise 150 mm’den ince olmaması gerekmektedir. Planda enine ve boyuna olan taşıyıcı duvarların sürekli bir şekilde devam etmesi gerekir. Tek açıklıktaki taşıyıcı durumdaki duvar uzunluğunun 4,5 m’yi aşması istenmez. Dış duvarın yapımında bırakılacak boşlukların yeri, köşeden itibaren 1.ve 2. derecede bulunan deprem bölgelerinde 1,50 m, 3. ve 4. derecede olan deprem bölgelerinde 1,00 m’den başlamalıdır. Kapı ve pencere genişliği ise betonarme hatıl kullanılıyor olsa bile 1,00 m’yi geçmemelidir. Kapı ve pencerelerin üstlerine yerleştirilen lentoların duvara olan oturma payları en az 500 mm olmalıdır. Boşluklar arasındaki dolu kısımların en az 600 mm olması gerekir. Saçağın geniş şekilde uygulanması, duvarların yağmura karşı muhafaza edilmesi yönünden faydalıdır. Eğer düz bir çatı örtüsü yapılacaksa, tavanda yer alan kirişlerin duvardan en az 400 mm taşırılarak yapılması sağlanmalıdır. Kerpiç yapı deprem bölgesinde inşa edilecek ise yürürlükte geçerli olan deprem yönetmeliğine uygun olmalı ve şartlara karşı değişim gösterebilmelidir. Kerpiç bloklar su basman seviyesinden sonra kullanılmaya

başlanmalıdır. Zeminde kerpiç bloklarına olabilecek suyun geçişi önlenmelidir. Tasarım ve yapımla ilgili olacak diğer kurallar ve şartlar kerpiç yapı standartları olan TS 2514, TS 2515 ve Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkındaki yönetmeliğe uygun olmalıdır (Işık ve ark., 2003), (Alkaya, 2005). Modern kerpiç yapıları Şekil 2.39 ve Şekil 2.40'ta gösterilmiştir.



Şekil 2.39. Modern kerpiç yapı/Albuquerque (Web 34)



Şekil 2.40. Kerpiç yapılar Santorini/Yunanistan (Web 35, 2010)

2.2.9. Geliştirilmiş Kerpiç ve Yapılan Bazı Çalışmalar

İlk dönemlerden bu yana yaygın olarak kullanılagelen kerpiç malzemesinin, sanayi çağı ile yerini çeşitli malzemelere bıraktığından bahsetmiştik. Fakat yine de tarihin neredeyse her dönemindeki tüm coğrafyalarında kullanımını sürdürmüştür. Anadolu’da olan kerpice baktığımız zaman ise;

Kerpiçten daha iyi özellik elde edilmesi için katkı maddesi olarak saman ilave edilir. Bu durumda da kerpiç her ne kadar saman kullanılsa da dayanım değerinde ciddi bir artış gözlenmez. Kerpice iyileştirilmesi için harca katılan diğer katkılar ise alçı, çimento, kireç, yüksek fırın cürufu, asfalt gibi malzemelerdir. Böyle elde edilen ve özellikleri iyileştirilen kerpice “geliştirilmiş kerpiç” denir. Harca katılan bu katkılar en azından geleneksel olarak elde edilen kerpice göre daha mukavemetli olmasını sağlar. Ve daha kullanışlı olmaktadır. Kerpice iyileştirilmesinde bahsetmiştik. Genel olarak tekrar edecek olursak başlıca üç yol aşağıda gösterilmiştir; (Çakır, 2010).

Kerpiç malzemesini iyileştirmek için başlıca üç yol şöyle sıralanabilir,

- a. Mekanik iyileştirme: Toprak sıkıştırılır. Neticesinde mekanik özellikleri, porozitesi, yoğunluğu ve permeabilitesi etkilenmektedir.
- b. Fiziksel İyileştirme: Kurutma. Isıtma ve granülometri gibi yöntemler toprağın özelliklerini iyileştirmektedir.
- c. Kimyasal İyileştirme: Toprak içerisine eklenen katkı maddeleri ile iyileştirme sağlanır.

Bu yöntemler birlikte veya birbirinden ayrı olarak uygulanabilir. Kerpice geliştirilmesi için yapılan inceleme ve çalışmalar aşağıda gösterilmiştir;

Kerpiç üretiminde kullanılan toprak malzemesi, kiremit ve tuğla artıklarının değirmen ile ufalanıp öğütülmesiyle elde edilmiştir. Bu toprak tozuna da uçucu kül ve sönmüş kireç ilave edilmiştir. Bu çalışma neticesinde yüksek mühendislik özelliklerine sahip kerpiç blok üretilmiştir (Bülent, 1995).

Diğer bir çalışmada ise uçucu kül malzemesi ilave edilmiştir. Uçucu kül malzemesi çevre kirliliğine sebep olan bir malzemedir. %10 oranında kullanılan uçucu kül katkılı kerpice diğer kerpice kıyasla en yüksek basınç dayanımına ulaştığı gözlemlenmiştir. Ayrıca kullanılan basınç makinesi de dayanımda etkili olmuştur (Osman ve diğ., 2001).

Uçucu kül ile fosfoalçı malzemelerinin harmanlanarak kullanılmış ve kerpiç malzemesinin stabilize edilmesinden sonra uçucu kül ile fosfoalçı kullanımının, basınç dayanımı yönünden pozitif sonuçlar ortaya koyduğu ve ayrıca suya karşı da direncinin belli bir miktar azaldığı gözlemlenmiştir (Değirmenci, 2005).

Yapılan bir çalışmada da silis dumanı katkılı kerpiç üretilmiştir. Araştırma sonunda %10 oranında silis dumanı katkısının, basınç dayanımını en yüksek seviyeye ulaştırdığını belirtilmiştir. Suya karşı dayanıma ise en iyi sonuç %15 oranında silis dumanı katkısı ile sağlanmıştır (Jülide, 2007).

Kerpice kireç katkısı ilave edilerek sonuçları irdelenmiştir. Ardından kireç katkılı kerpiçler 4 gün süreyle yağmura maruz bırakılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar ile standartlara uygun sonuçların alındığı gözlemlenmiştir. Yapılan bu çalışmanın neticesinde kireç katkılı numunelerin basınç ve eğilme dayanımlarının arttığı, su emmesinin de azaldığı belirtilmiştir (Younoussa ve diğ., 2008).

Lif katkısının etkisi araştırılmıştır. Çalışma sonucunda fazla miktarda lif artışı basınç dayanımının azalmasına neden olduğunu belirtmişlerdir. Çalışma sonucu olarak lif oranının ağırlığın %0,5'ten fazla olmaması gerektiği belirtilmiştir. Çalışmada liflerin oranının artması ile çekme çatlaklarının azaldığı dile getirilmiştir (Şükrü ve diğ., 2008).

Yapılan diğer bir çalışma da ferrokrom cürufu kullanılmıştır. Yapılan çalışma ile kerpice mukavemetinde artış olduğu gözlemlenmiştir. İlave edilen cüruf ile basınç dayanımında 1,74 kat artış, suya karşı dayanıklılığında 94 dk süre ile %10'luk artış olmuştur. Çevre kirliliğine neden olan ferrokrom cürufunun kullanılmasında gerekli olan ortam sağlanmıştır (Can, 2008). Eski yerleşimde kerpiç kullanımı Şekil 2.41'de gösterilmiştir.



Şekil 2.41. Kerpiç kullanım alanları/Harran-Urfa, (Web 36, 2011)

Diğer bir araştırmada kerpiç harcına katkı olarak yüksek fırın cürufu, kireç ve portland çimentosu katmışlardır. Yaptıkları deneyler sonucunda kireç ve cüruf katkısının çimento ve yüksek fırın cürufu katkısından daha iyi sonuç verdiğini görmüşlerdir (Oti ve ark., 2009). Yapılan çalışmalarda yüksek fırın cürufunun kerpice mühendislik özelliklerini iyileştirici katkıları olmuş, doğaya zararlı madde olan yüksek fırın cürufunun da çevreye zarar vermeden tüketilmesi sağlanmıştır (Gürfidan, 2006).

Kerpiç malzemelerinin yüzeylerine TiO_2 sol-jel yöntemiyle kaplama yapılmıştır. Elektron mikroskobu gibi çeşitli deneyler ile incelemeler uygulanmıştır. Yapılan bu deney neticesinde alternatif olan gelişmiş bir malzeme elde edilmiştir (Juliana ve diğ., 2010).

Kerpice iyileştirilmesi için yapılan diğer bir çalışmada kerpice katılan yün ve aljinat katkısının kerpice basınç dayanımını 4,44 MPa değerine çıkardığıdır. Basınç dayanımındaki bu artışın %10'u çimento katkısından dolayı olduğu ve yüksek dozdaki alçı katkısının basınç dayanım değeri olan 3,6 MPa'dan daha iyi sonuç verdiği belirtilmiştir (Galan-Marin ve diğ., 2010).

Lifler kullanılarak yaptıkları çalışmada fiber kullanılarak üretilen kerpiçlerin diğer kerpiçlere göre daha elastik davrandığı belirtilmiştir. Elastik davranış gösteren lif katkılı kerpiçlerin enerjiyi sönümleme özellikleri sayesinde depreme karşı da daha dayanıklı olduğu gözlemlenmiştir (Hanifi ve diğ., 2010).

Toprak yapı elemanlarının kireç ve alçı katılmasıyla harmanlanarak oluşturulan karışımdan numuneler elde ederek, fiziksel ve mekanik gözlemler yapmışlardır. Bu gözlemler neticesinde %10 oranında alçı katılan karışımların dayanımının geleneksel kerpice ve kireç malzemesiyle harmanlanan karışımlara kıyasla daha dayanımlı olduğu gözlemlenmiştir (Ebrahim, 2011).

Alçı katkısı ile nitelikleri iyileştirilmiş kerpice “alke” denmektedir. Alke, uygun nitelikteki kerpiç toprağına %10-20 arasında alçı ilave edilmesiyle elde edilir. Alke çabuk katılaştığından dolayı normal kerpiç ve diğer ilave katkılı kerpiçler gibi uygulanabilir durumda oluncaya kadar yapılacak gölgede serme, çevirme, kurutma işine ihtiyaç duyulmayacaktır. Bu da kerpiç malzemesinin seri üretiminde çabukluk ve ucuzluk sağlayacaktır. Alke’in suya olan hassaslığının azalmasıyla, normal kerpiç malzemesinin su içerisinde çok kısa süre de dağılıp parçalandığı durumlarda bile bütünlüğünü koruduğı ve yağmura karşı zarar görmesinin engellendiğı gözlemlenmiştir.

Kerpiç blokların basınç altında kalıplanmasıyla da geliştirilmiş kerpiç elde edilmiştir. Basıncında etkisiyle kerpicein içeriğindeki boşluklar azalmış ve sonuç olarak dayanımı yüksek, porozitesi düşük malzemeler üretilmiş olur. Böylelikle su malzemesinin bünyedeki nüfusu engellenir.

2.2.10. Kerpiç Yapı Sistemleri

Kerpiç numunelerinin üretim ve deney aşamasında TS2514/Şubat1977 “Kerpiç Bloklar Yapım ve Kullanma” Türk standardı kullanılmıştır. Kerpiç yapım sistemleri de aşağıda belirtilmiştir.

1)Masif Kerpiç Yapım Sistemleri

1. Kerpiç bloklar ile
2. Dövme kerpiç ile
3. Yığma kerpiç ile
4. Omurgalı kerpiç

2)Hafif kerpiç Yapım sistemleri

1. Kerpiç blok dolgulu
2. Kerpiç dökme dolgulu

2.2.10.1. Masif Kerpiç Yapım Sistemi

2.2.10.1.1. Kerpiç Blokları ile Yapım Sistemi

Kerpiç bloklar ile yapım sistemi ülkemizde hatta dünya çapında bilinen en eski kerpiç yapım sistemlerindendir. Anadolu’da uygulanan sıkıştırılmış toprak tekniği ise çok fazla uygulanmamıştır ve bugün de bu teknik halen uygulanmamaktadır (Anonim, 2012).

2.2.10.1.2. Dövme Kerpiç ile Yapım Sistemi

Dövme kerpiç sistemine baktığımızda ise, kerpiç harcı belli boyutlarda duvar elde edilecek şekilde yapılmış kalıpların içine yerleştirilir ve dövülerek kalıp içerisinde sıkıştırılması sağlanır. Dövme kerpiç yapım sistemleri için taşlı ve iri kumlu killi toprakların kullanılması idealdir. Sıkıştırma sırasında sorun oluşturmaması için kalıplar sağlam malzemeye yapılmış olmalıdır. Neme karşı da empenye edilmiş ve düzenli olarak kuşak ve gergi ile dayanıklılığının artırılmış olması gerekir. Kalıp levhaları kullanımda sağladığı kolaylık yönünden en çok 75 cm olmalıdır. Teknik kontroller ve yüksek kalıp masrafları da göz önüne alındığı taktirde küçük ölçekli yapılarda tercih edilmesi gereksiz görülmektedir. Ülkemizdeki kullanımı sadece bahçe duvarlarının yapımında mevcuttur.

2.2.10.1.3. Yığma Kerpiç ile Yapım Sistemi

Yığma kerpiç yapım sisteminde adından da anlaşılacağı gibi, elle hazırlanan şekilli topakların ya da gelişi güzel bir şekilde yığından alınan kümelerin üst üste atılıp, biriktirilmesiyle istiflenen sistemin adıdır.

2.2.10.1.4.Omurgalı Kerpiç ile Yapım Sistemi

Omurgalı kerpiç yapım sistemleri, omurgaları ahşaptan olan dövme kerpiç yapıdır. Toprak yağlı bir kıvamda olduğunda içine gömülmüş olan ahşap omurgalarla ortak şekilde çalışmakta ve malzemeler arasında sürekliliği sağlanmaktadır.

2.2.10.2. Hafif Kerpiç Yapım Sistemi

Hafif kerpiç yapım sistemi ise, ahşap karkas şeklinde düzenlenen sistemin içine kerpiç bloklar yerleştirilerek oluşturulan sistemdir. Kerpiç dolgusu kerpiç bloklarla veya dökme kerpiç dolgulu bloklarla olabilir.

Kerpiç malzeme ile duvar yapımına baktığımızda ise, kerpiç duvarların kalınlıkları yerleşim yerlerine göre farklılık oluştursa da dış duvarların kalınlığı en az 38cm, yük taşıyan iç duvarların kalınlığı ise en az 25 cm olmalıdır.

Kerpiç Bahçe Duvarı: Kerpiç bloklarla yapılan duvar tipidir.

Künde Duvar; Duvar kalınlığı kadar aralıklarla tutulan iki tahta kalıp arasına çamur yerleştirilir. Sıkıştırılıp, dondukça kalıp malzemeleri yukarılara ve yanlara taşınarak devam edilir.

Mühre Duvar; Yağmurdan dahi ıslanıp çamur haline gelen toprak bir kürek yardımıyla iri boyuttaki parçalar halinde kazılarak üst üste yerleştirilir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez çalışması kapsamında, geleneksel kerpiç numunesi üretilirken içerisine katkı maddesi olarak belli oranlarda koyun yünü katılmıştır. Kıyas numunesi olarak geleneksel kerpiç (saman katkılı) ve cam elyaf katkılı kerpiç numuneleri ile radyasyon geçirimsizliği, basınç, eğilme ve ultra ses hızı vb. testlerini ve karşılaştırmalarını kapsamaktadır. Çalışmada geleneksel kerpiç, kıyas numunesi olarak üretilip; %3, %6, %9 ve %12 oranlarında koyun yünü katkılı ve samanın yerine bağlayıcı olarak cam elyaf katkılı numunelerle karşılaştırılmıştır. Her bir grup için 3'er adet 40x40x160 mm boyutlarında ve 6'şar adet 50x50x50 mm boyutlarında numuneler üretilmiştir. Numune kodlaması ise; Geleneksel kerpiç (GK), %3 koyun yünlü kerpiç (3KK), %6 koyun yünlü kerpiç (6KK), %9 koyun yünlü kerpiç (9KK), %12 koyun yünlü kerpiç (12KK), Cam elyafli kerpiç (CK) şeklindedir. Koyun yünlü numunelerin kendi içerisinde dayanım ve geçirimsizliklerine bakılıp uygun oranı saptanmış ve cam elyaf, geleneksel kerpiç numuneleriyle olan sonuçları kıyaslanmıştır. Tablo 3.1'de deney numunelerinin özelliklerinden bahsedilmiştir.

Tablo 3.1. Deney numunelerinin özellikleri

Deney Numunelerinin Özellikleri				
Numuneler	Numune Kodları	40x40x160 mm boyutunda prizmatik numuneler	50x50x50 mm boyutunda küp numuneler	Toplam Numune Adetleri
Geleneksel Kerpiç	GK	3	6	9
%3 Koyun Yün K. Kerpiç	3KK	3	6	9
%6 Koyun Yün K. Kerpiç	6KK	3	6	9
%9 Koyun Yün K. Kerpiç	9KK	3	6	9
%12 Koyun Yün K. Kerpiç	12KK	3	6	9
Cam Elyaf K. Kerpiç	CK	3	6	9

Deneyisel çalışmalar İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi bünyesindeki Yapı Malzemesi Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Deney çalışmalarında Türk Standartlarından TS 2514, TS-EN 1015-11'de uygun deney metotları ve aletleri kullanılmıştır.

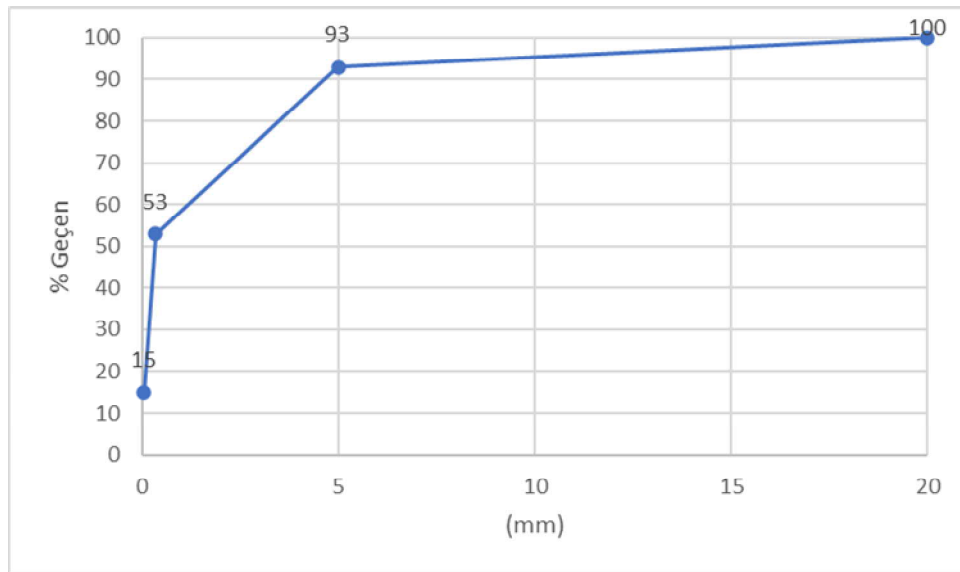
3.1. Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

3.1.1. Toprak

Toprak olarak Malatya ili Yeşilyurt ilçesinde, Arslantepe Höyüğü'nden bu yana yıllarca süre gelen kerpiç yapıların yapılmasında da kullanılan Yeşilyurt yolu üzerindeki yol güzergahında bulunan bölgeden temin edilen malzeme kullanılmıştır. Standartlarda belirtilen şartlara uygun olarak alınan numunenin, laboratuvar ortamında elek analizi yapıp, kullanılabilirliğine bakılmıştır. A.B.D'de Arizona Üniversitesi Kerpiç araştırma Enstitüsü'nün kerpiç yapımı için uygun zemin granülometri eğrisi için elde edilen değerler Tablo 3.2'de ve grafiği de Şekil 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.2. A.B.D. Arizona Üniversitesi kerpiç granülometri değerleri (Gürdal ve ark., 1993)

Elek Çap: mm.	Elekten geçen %		
	Alt Sınır	İdeal Sınır	Üst Sınır
0.005	9	15	28
0.35	42	53	97
5.00	81	93	100
20.00	96	100	100



Şekil 3.1. İdeal toprak numunesi elek analizi grafiği

3.1.2. Saman

Organik lifli bitkisel artıkların çamur harcına katılması ile dengeli ve homojen kuruma sağlanır. Bu lifler sayesinde büzülme ve çatlamlar azalır. Anadolu’da önceden beri kerpicing dayanımını arttırmak ve çatlamlarını önleyebilmek için saman kullanılmaktadır (Kafeşcioğlu ve Gürdal, 1985). Kerpiçte kullanılacak saman ve bitkisel malzemeler kuru, çürümemiş, harmanın işlenebilme özelliğini bozacak kadar iri ve kalın olmamalıdır. Uzun bitkisel maddeler 10-12 cm boyunda biçilmelidir (TS 2514, 1977). Belirtilen uygunluktaki saman malzemesi Malatya İlinde temin edilmektedir. Saman malzemesi karışım içinde kullanılmadan 1 gün önce suda bekletilmektedir. Bunun nedeni, karışım sırasında karışım suyunun etkisini azaltmamaktır. Bu kapsamda karışımın hem doygun hale gelmesi hem de su emme oranının azaltılması hedeflenip numuneler üretilmiştir. Numuneler, 1 gün suda bekletildikten sonra, karışım hazırlanacağı gün kurutulup, yaklaşık olarak 1 saat güneşte dinlendirilmesi sağlanmıştır. Şekil 3.2’de saman malzemesi gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Saman

3.1.3. Karışım Suyu

Kullanılacak suda yağ, çürümüş organik maddeler, tuz bulunmamalıdır. Ayrıca, fabrika artığı, içerisinde insan sağlığına zararlı maddeler ve kilin kolloit haline gelmesine neden olacak maddeler bulunmamalıdır (TS 2514, 1977). Karma suyunun özelliği ve miktarının mukavemete etkisi çok büyüktür. Bu tez kapsamın da şebeke suyu kullanılmıştır. İşlenebilmenin sağlanması için gerekli olan su miktarından daha fazla su

katılması durumunda mukavemet de o nispette azalma görülür. Malzemelerin yoğunluk değerlerinden hareketle birim hacim endeksli, değişen miktarın, bütün numune karışımlarında ortak karışım malzemesi olan toprak malzemesi ile kıvamı ayarlanmıştır. Gerekli olan kıvam, standartlarda belirtilen şekilde yapılarak kalıplara yerleştirilmiştir.

3.1.4. Koyun Yünü

Kullanılacak koyun yünü, yün ticaretinin yapıldığı yerlerden (Cihan yün) temin edilip, gerekli olan ölçüleri de saman yerine belli yüzde oranlarda kullanılacağı için saman malzemesi ile aynı uygunlukta hazırlanıp karışıma ilave edilmiştir. Koyun yünü malzemesi Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Koyun yünü

3.1.5. Alçı

Yapılan çalışmalarda, maliyeti en düşük olan alçı malzemesinin, kerpiç harcına çimentodan daha kolay ilave edildiği ve kolay bir şekilde matris oluşturduğu gözlemlenmiş ve ayrıca alçının, alçıtaşının olduğu her yerde bulunmasının ve üretilmesinin kolay olmasından dolayı katkı malzemesi olarak kullanılmıştır (Kafesçioğlu ve Gürdal, 1985). Duvar yapımında kullanılabilen alçılı kerpiç (alker) yapı

klimatolojisi ve yapı fiziği yönünden istenilenleri gerekli olan düzeyde karşılarken ilave bir izolasyon malzemesine gerek kalmadan tek başına sağlıklı yapı yapma ve verim elde etme açısından bu olanağını sağlayabilen bir malzemedir. Yapılacak numune karışımlarımızda alçının kerpiç üzerindeki önemli artıları olduğundan, her numune karışımına %10 alçı katılacaktır. Kullanılan Alçı malzemesi Malatya ilinde inşaat malzemeleri satış noktalarından temin edilip Şekil 3.4’de gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Alçı

3.1.6. Cam Lif

Çalışmada kırılmış cam lifi kullanılmıştır. Cam lifi çekme mukavemeti yüksek ve yanmaz fakat yüksek sıcaklıkta eriyen bir malzemedir. Cam lifi kerpiç dayanımını olumsuz etkileyen en önemli faktör olan suya karşıda yüksek dayanıma sahiptir. Life ait özellikleri içeren Tablo 3.3 ve cam life ait Şekil 3.5 aşağıda verilmiştir. Numune karışımlarında cam elyaf, saman yerine kullanılarak, bağlayıcı olarak görev yapacak ve gerekli testler ile numune kıyasları yapılacaktır.

Tablo 3.3. Cam lifin özellikleri (Gül, 2011)

Elyaf çapı (μm)	6,5
Nem miktarı (%)	Max 0,1
Kırılma boyu (mm)	12
Özgül ağırlık (gr/cm^3)	2,54
Elastisite modül (GPa)	72,4
Çekme mukavemeti (MPa)	3448,0
Yumuşama sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	841,0

**Şekil 3.5.** Cam lifi

Cam lifi kullanılırken, saman seçiminde belirtilen şartların aynısı kullanılmıştır.

3.2. Numunelerin Deneye Hazırlanması

3.2.1. Toprak Seçimi

Toprak seçimi için, Malatya ili Yeşilyurt ilçesindeki, Yeşilyurt yolu üzerindeki yol güzergahında bulunan, genellikle kerpiç yapıların toprak seçiminde kullanılan bölgeden tedarik edilen topraktan, standartlarda da belirtilen şartlara uygun olarak numune alınmıştır. Toprak öncelikle tam olarak kuru hale gelmesi için 15 gün süre boyunca dinlendirildikten sonra 20 mm delik çapında olan elekten elenerek, büyük

çakıl, bitki, çöplerden temizlenmiştir. Şekil 3.6'da alınan toprak numunesi gösterilmektedir. Şekil 3.7'de ise kullanılan elekler gösterilmektedir.



Şekil 3.6. Toprak numunesi



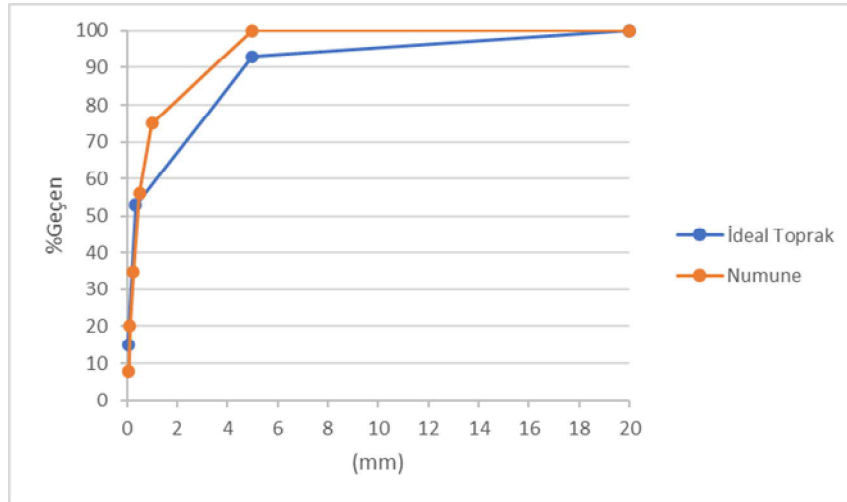
Şekil 3.7. Elek analizinde kullanılan elekler

Elek analizi, kerpiç harcı içine giren malzemelerin dane boyutları dağılımının belirlendiği deneydir. Kuru ve yaş eleme olmak üzere iki yöntemi vardır. Taze harçlarda yaş eleme yöntemi, kuru eleme yöntemi ise hafif agrega ihtiva eden kuru karışımlarda

uygulanır. Numune tavalar içerisinde ince bir tabaka halinde serilir ve $(100 \pm 5) ^\circ\text{C}$ sıcaklığa ayarlı etüvde kurutulur. Kurutma işlemine 2 saat ara ile yapılan tartımda, numune kütleğinde 0,2 g'dan fazla sapma meydana gelmeyinceye kadar devam edilir. En altta toplama kabı (pan) bulunmak üzere, göz açıklığı alttan yukarı doğru artar şekilde eleklerin birbiri üzerine yerleştirilmesiyle elek takımı oluşturulur. Numunenin en üstteki elek üzerine dökülerek elenmeye başlanır, eleme işlemine, herhangi bir elek üzerinde kalan numune kısmında, elle bir dakika süreyle yapılan eleme esnasında üzerinde kaldığı elekten, toplam malzeme kütleğine oranla %0,2'den daha az geçme meydana gelinceye kadar devam edilir. Malzemenin elekten geçmesi için herhangi bir zorlama yapılmaz. Ve alınan numune toprak malzemesi ile ideal olan toprak numune grafik üzerinden uyumuna bakılarak uygun olduğu gözlemlenir. Toprak numunesinin elek analizi Tablo 3.4'te ve grafiği Şekil 3.8'de verilmiştir.

Tablo 3.4. Toprak numunesi elek analizi

Elek Çapı Mm	20	5	1	0,5	0,25	0,125	0,075
Geçen %	100	100	75	56	35	20	8



Şekil 3.8. Toprak numunesi elek analizi grafiği

3.2.2. Kalıpların Hazırlanması

Temizlenerek tozdan arındırılmış olan 40 x 40 mm x 160 mm boyutunda 3 adet prizmatik kalıp, 50 mm x 50 mm x 50 mm boyutunda 3 adet küp şeklinde çelik kalıp kullanılmıştır. Kullanılan kalıpların karışım numunesi yapışmaması ve kolaylıkla kalıptan ayrılması için çamur harcı yerleştirilmeden önce tüm yüzeyler yağlanmıştır. Şekil 3.9, Şekil 3.10, Şekil 3.11’de kalıplar ve yağlanması gösterilmektedir.



Şekil 3.9. 40x40x160 mm boyutlarındaki prizmatik kalıplar



Şekil 3.10. 50x50x50 mm boyutlarındaki küp kalıplar



Şekil 3.11. Kalıpların numune yerleştirilmeden önce yağlanması

3.2.3. Karışımın Hazırlanması

Çalışmada geleneksel (katkısız) kerpiç üretimi kıyas numunesi olarak üretilip, %3, %6, %9 ve %12 oranlarında koyun yünü katkılı ve samanın yerine bağlayıcı olarak cam elyaf katkılı her bir grup için 3'er adet 40x40x160 mm boyutunda ve 6'şar adet 50x50x50 mm boyutunda numuneler üretilecektir. Gerekli testlere tabi tutularak hem koyun yünü kendi içerisinde dayanım ve geçirgenlik konusunda uygun oranının saptanması hem de cam elyaf ve katkısız (geleneksel kerpiç) numunesiyle olan durumuna bakılıp sonuçların kıyaslanarak gerekli çıkarımlar yapılacaktır. Karışım oranları Tablo 3.5'te gösterilmektedir.

Tablo 3.5. Karışım oranları

Karışım Oranları (kg/m ³)						
Karışımlar	Toprak	Alçı % (Toprak Ağırlığının %10)	Su	Saman	Koyun Yünü % (Saman Ağırlığının)	Cam Elyaf
Geleneksel Kerpiç	1000	100	500	20	0	0
%3 Koyun Yün K. Kerpiç	1000	100	500	19,4	0,6	0
%6 Koyun Yün K. Kerpiç	1000	100	500	18,8	1,2	0
%9 Koyun Yün K. Kerpiç	1000	100	500	18,2	1,8	0
%12 Koyun Yün K. Kerpiç	1000	100	500	17,6	2,4	0
Cam Elyaf K. Kerpiç	1000	100	500	0	0	5

Karışım hazırlanmasında geleneksel kerpiç üretiminde 1000 kg'lık toprağa 500 litre su kullanıldığı yapılan çalışmalar ile belirtilmiştir. Karışımın ilk hazırlanmasında bu oran kullanılsa da yapılan kıvam analizinde, uygun kıvam (TS 2514, 1977) yakalandığında karışımdan oluşan harç dinlendirilip sonra da yağlanan kalıplara düzenli bir şekilde tokmak yardımı ile sıkıştırılarak yerleştirilir, kıvamın tutmaması halinde ise karışım uygun kıvama gelinceye kadar su ilave edilir, veya su miktarı azaltılır, değişen su miktarına göre de ağırlıkça toprak miktarı değişmiş olur, Uygun kıvam yakalanıncaya kadar bu döngüye böyle devam edilerek, birim hacim denkliğinde toplam karışımın 1000 dm³ olması sağlanır.

3.2.4. Karışımın Kalıplara Dökülmesi

Kuru karışıma su ilave edildikten sonra 5 dakika boyunca eşit şekilde karıştırılması sağlanır. Karıştırılan karışım dinlendirilir, dinlenmiş karışım kıvam testine tabi tutulur. Uygun kıvamın yakalanması halinde dinlendirilmiş karışım kalıplara tokmak yardımı ile yerleştirilir. Yerleştirme işleminde öncelikle ilk katman yağlanmış kalıba yerleştirilir. Ardından ikinci katmanın yerleştirilmesi ile 15 adet tokmaklama işlemi uygulanır.

Bu tokmaklama uygulaması üçüncü yani son katman için de devam ettirilir. İyiye sıkışması sağlanan kalıp içindeki numunenin, karışımın içinde bulunan hava kabarcıklarının dışarıya çıkması sağlanır. Şekil 3.12 ve Şekil 3.13'te kalıba konulmuş numuneler gösterilmektedir. Şekil 3.14'de ise tokmaklama işlemi yapılmaktadır.



Şekil 3.12. 50x50x50 mm boyutlarındaki küp kalıplara yerleştirilen numuneler



Şekil 3.13. 40:x40x160 mm boyutlarındaki prizmatik kalıplara yerleştirilen numuneler



Şekil 3.14. Kalıplara yerleştirilen numunelerin tokmaklama işlemi

3.2.5. Kürleme

Kalıplanan numuneler laboratuvar ortamında bir süre bırakıldı. Yaklaşık olarak 2 gün kalıpta bekletilen numuneler, 2. Günü sonun da kalıptan çıkarılıp ters çevrilerek kuruması az olan yüzeylerinin kuruması sağlandı. Daha önce yapılan kür analizinde 2 hafta gibi bir sürenin numunenin kuruması için yeterli olduğu görüldü. Ancak yapılan çalışmalar da incelendiğinde, dayanım ve bağlayıcılığının eksiksiz olması için 4 hafta boyunca kuruması daha sağlıklı olacağı gözlemlendi. Ve numune 2 hafta bekletildikten sonra, yönleri değiştirilerek 2 hafta daha bekletilerek toplamda 28 gün numunelerin kuruması için bekletilip, gerekli testlere tabi tutulması sağlanmıştır. Şekil 3.15'te kalıptan çıkarılan numunelerin kür işlemi gösterilmiştir.

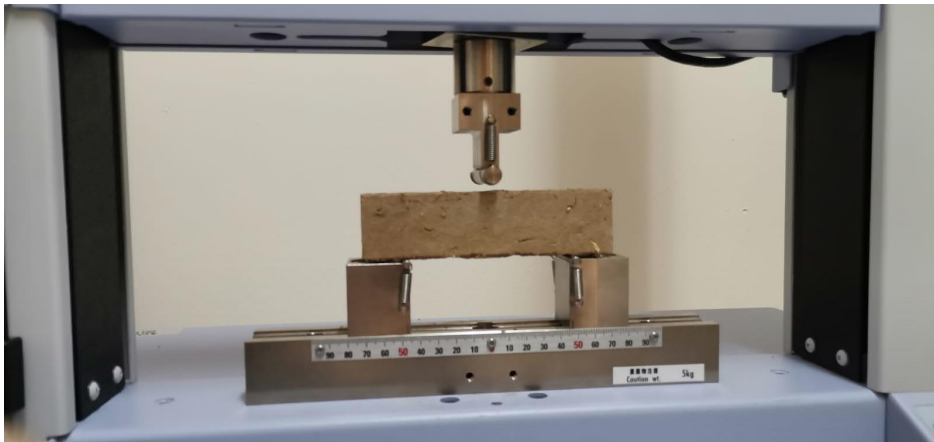


Şekil 3.15. Kalıptan çıkarılan numunelerin kürleme işlemi

3.3. Numune Üzerinde Yapılan Deneyler

3.3.1. Eğilme Deneyi

Eğilme dayanım deneyi, kalıba dökülerek hazırlanmış, sertleşmiş harç prizma numunelerinin üç noktadan, kırılıncaya kadar yüklemesiyle belirlenen deneydir. Harç basınç dayanımı ise, eğilme deneyi sonucunda elde edilen iki prizma parçası üzerinden tayin edilerek yapılır. Numuneler, aksi belirtilmedikçe normal olarak dökümden itibaren 28 gün, harçta geciktirici katkı maddesi kullanılmışsa daha geç sürede, muhafaza edildikleri ortamdan alındıktan hemen sonra deneye tabi tutulur. Mesnet ve harç numune yüzeyleri, temiz bir bezle, yapışmış gevşek malzemenin uzaklaştırılması için temizlenir. Numuneler, yüzeyleri (kalıbın çelik mesnet kısmına temas eden yüzlerden) iki mesnete temas edecek şekilde yerleştirilir (Şekil 3.16).



Şekil 3.16. Eğilme dayanımı presi

Numuneye, yükte ani sıçrama olmaksızın, 30 saniye ile 90 saniye süre içerisinde kırılma meydana gelecek şekilde, 10 N/s yükleme hızı sağlanarak, kırılıncaya kadar sabit hızda yükleme uygulanır.

Uygulanan en yüksek yük Newton olarak kaydedilir. Basınç dayanımı da belirlenecekse, deney sonucunda ortaya çıkan eğilme deneyinden kalan kırılmış prizma parçaları korunup tekrar muhafaza odasına konularak deney anına kadar orada tutulur (TS-EN 1015-11, 2000).

Eğilmede çekme dayanımı, (f), aşağıda verilen eşitlik kullanılarak N/mm^2 olarak hesaplanır:

$$f = 1,5x \left(\frac{F_{max} \cdot xL}{bx d^2} \right) (N/mm^2) \quad (3.1)$$

Burada;

f : Eğilmede çekme dayanımı (N/mm^2),

F_{max} : Kırılmadan önce numuneye uygulanan en büyük yük (N),

L : Mesnet silindirlerinin eksenleri arasındaki mesafe (mm),

b : Numune Genişliği (mm),

d : Numune Yüksekliği (mm) dir.

3.3.2. Basınç Deneyi

Basınç deneyinde, aksi belirtilmediği takdirde numuneler, normal olarak dökümden itibaren 28 gün, harçta geciktirici ilave katkı kullanılmışsa daha geç sürede, muhafaza edildikleri ortamdan alındıktan hemen sonra veya eğilme deneyinden hemen sonra deneye tâbi tutulur. Harç numunenin kalıba temas eden yüzeylerinde yapışmış herhangi gevşek malzemeler varsa temizlenir. Deney makinası (pres) yükleme başlıkları ve yükleme parçası basınç başlıkları temiz bir bezle silinir ve numune, yükleme parçası içerisine, yüklemenin kalıbın çelik yüzeyine temas eden numune yüzeylerinden birisine

yapılması temin edilecek şekilde yerleştirilir. Basınç dayanımı için kullanılan, basınç aleti Şekil 3.17’de gösterilmiştir.



Şekil 3.17. Basınç dayanımı presi

Numuneye, yükte ani sıçrama olmaksızın, 30 saniye ile 90 saniye süre içerisinde kırılma meydana gelecek şekilde, 100 N/s yükleme hızı sağlanarak, kırılıncaya kadar sabit hızda düzgün olarak artan yük uygulanır.

Deneyde uygulanan en yüksek yük Newton olarak kaydedilir.

Basınç dayanımında, numunenin taşıyabildiği en fazla yükün, numunenin yük uygulanan kesit alanına bölünmesiyle hesaplanır. Her numunenin basınç dayanımı, en yakın $0,05 \text{ N/mm}^2$ 'ye yuvarlatılarak kaydedilir. Ortalama dayanım $0,1 \text{ N/mm}^2$ yaklaşımla hesaplanır. (TS-EN 1015-11, 2000).

$$\sigma_k = \frac{P_{max}}{A} \quad (3.2)$$

formülü ile basınç dayanımı hesaplanır. (N/mm^2)

Burada;

σ_k : Basınç dayanımı (N/mm^2)

$P_{\max}$: Kırılma Yüğü (N)

A: Numunenin basınç uygulanan alanı (mm^2) dır.

3.3.3. Ultra Ses Hızı Deneyi

Frekansı 16.000'in üzerinde olan ve insan kulağı tarafından işitilmeyen ultra ses dalgaları katı, sıvı ve gaz içinde belirli bir hız ile yayılır. Ultra ses dalgaları da ışık dalgaları gibi yayılır, yansır, kırılır ve difraksiyona uğrar. Ultra ses deney tekniğinde, ses dalgaları cisme, boşluk bırakılmaksızın temas ettirilen piezoelektrik transduser ile gönderilir ve aynı transduser yardımı ile alınır. Alıcı ve verici probalar arasındaki ses dalgalarının iletim süresi ve hızı zaman ölçer devre ile ölçülür. Cismin yoğunluğu düşük veya bünyesinde çatlaklar var ise ses dalgalarının yayılımı ve dolayısıyla ses geçiş hızı düşük olur. Ultra ses geçiş hızını ölçeceğimiz numunenin karşılık iki yüzeyi arasına veya dolaylı ölçüm yapılacak ise doğrudan aynı yüze yerleştirilen probalar yardımıyla ses geçiş süresi ($t:\mu\text{s}$) ölçülür ve ses geçiş hızı ($V: \text{km/s}$) hesaplanır (Postacıoğlu, 1981).



Şekil 3.18. Ultra ses deneyi

Ses geçiş hızının yüksek olması, boşlukların az dolayısı ile dayanımın yüksek olduğu anlamına gelir. Ancak bu deney, dayanımın belirlenmesi için tek başına yeterli değildir. Diğer ölçümlerle birlikte değerlendirilmelidir. Bu deney yapılırken dikkat edilecek hususlardan birisi, numunede boşluğun kalmasını önlemektir. Yüzeylerde

boşluğu önlemek için alıcı ve verici proplar ile malzemenin arasına ince bir katman halinde vazelin gibi bir jel sürülmelidir (Çankıran, 2000).

$$V = \frac{S}{t} \times 10^3 \quad (3.3)$$

formülü ile ses dalga hızı hesaplanır. (km/sn)

Burada;

V : Ultra ses dalga hızı (km/s)

S : Numunenin ses dalgası gönderilen ve alınan iki yüzeyi arasındaki mesafe (m)

t : Ultra ses dalgası geçiş süresi (µs) dir.

Bir malzemenin dinamik elastisite modülü; birim ağırlık ve ultra ses hızının bilinmesiyle hesaplanır. Ultra ses hızı ile elde edilen elastisite modülü yüksekse, malzeme korozyonda o denli yüksek mukavemet gösterir (Benavente ve ark., 2004). Numunenin ultra ses hızı ve birim ağırlığından yararlanılarak elastisite modülü aşağıdaki bağıntıyla hesaplanır.

$$E_d = 10^5 \times V^2 \times \frac{\Delta}{9,81} \quad (kgf / cm^2) \quad (3.4)$$

Burada;

Ed : Dinamik Elastisite Modülü (kgf/cm²),

V : Ultrases Hızı (km/sn),

Δ : Numunenin Birim Hacim Kütlesi (kg/dm³)'dir.

Dinamik elastisite modülü (Ed), gerilme deformasyon eğrisinden yararlanılarak belirlenen elastisite modülünden (Eg) daima büyük değerler gösterir. Bunun sebebi ultrases ölçümü sırasında çok küçük gerilmeler altında malzemenin boşluklarında sıkışmış halde duran suyun malzemenin deformasyonuna karşı koymakta ve böylece elastisite modülünün artmasına sebep olmaktadır (Kocataşkın, 1984).

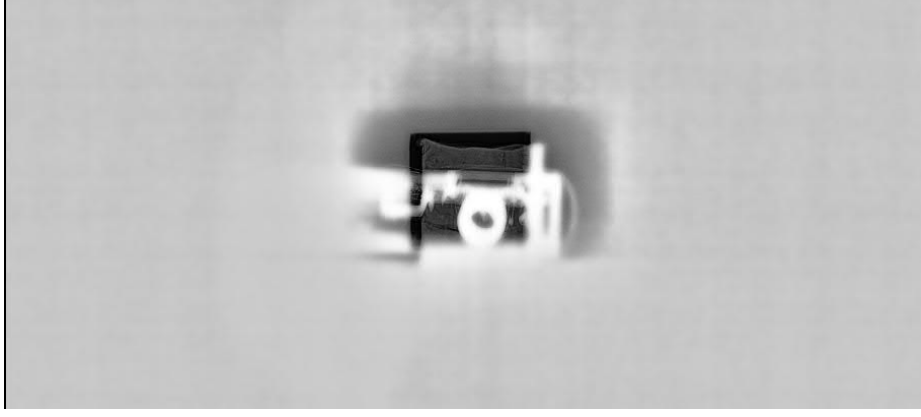
3.3.4. Radyasyon Geçirimsizliği Deneyi

Geleneksel kerpiç numunesi üretilirken içerisine katkı maddesi olarak belli oranlarda koyun yünü katılarak, kıyas numunesi olarak da geleneksel kerpiç (saman katkılı) ve cam elyaf katkılı kerpiç numuneleri ile radyasyon geçirimsizliği kıyaslanacaktır. Çalışmada geleneksel kerpiç üretimi kıyas numunesi olarak üretilip, %3, %6, %9 ve %12 oranlarında koyun yünü katkılı ve samanın yerine bağlayıcı olarak cam elyaf katkılı her bir grup için 3'er adet 50x50x50 mm boyutunda numuneler yapılmıştır. Radyasyon testine tabi tutularak hem koyun yünü kendi içerisinde geçirgenlik konusunda uygun oranının saptanması hem de cam elyaf ve saman katkılı (geleneksel kerpiç) numunesiyle olan durumuna bakılıp sonuçların kıyaslanarak gerekli çıkarımlar yapılması planlanmaktadır.

Tasarlanan karışımlar, kür işlemi bittikten sonra radyasyon geçirimsizliği deneyine tabi tutulmuştur. 28 günün sonunda küründen çıkarılan numuneler, radyasyon geçirimsizliği için, ışınların gönderilebileceği şekilde yerleştirilmiştir. Radyasyon geçirimsizliği testlerini yapabilmek üzere İnönü Üniversitesi Tıp Fakültesi Radyoloji A.B.D'de bulunan röntgen cihazının bulunduğu odaya taşınıp, koruyucu kıyafetler giyilmiştir. Daha sonra üretilen numuneler üzerine ışınların etki alanı ayarlanarak, taşınabilir bir el dedektörü (dozimetre-PCE- RAM10) konulup röntgen cihazından numunelerin üzerlerine 3'er kez x ışını atımları yapılmıştır. Bu atımlar sonucu numune üzerinden geçen x ışını miktarları dedektör ile tespit edilmiş ve sonuçlar kontrol numunesinden elde edilen sonuçlarla kıyaslanmıştır. Şekil 3.19 de kullanılan dozimetre ve x ışınlarının gönderilme anı Şekil 3.20'de gösterilmiştir.



Şekil 3.19. Işınları okumak için kullanılan dozimetre aleti



Şekil 3.20. Işınlrın, numune etki alanına göre ayarlanması ve ışınlması



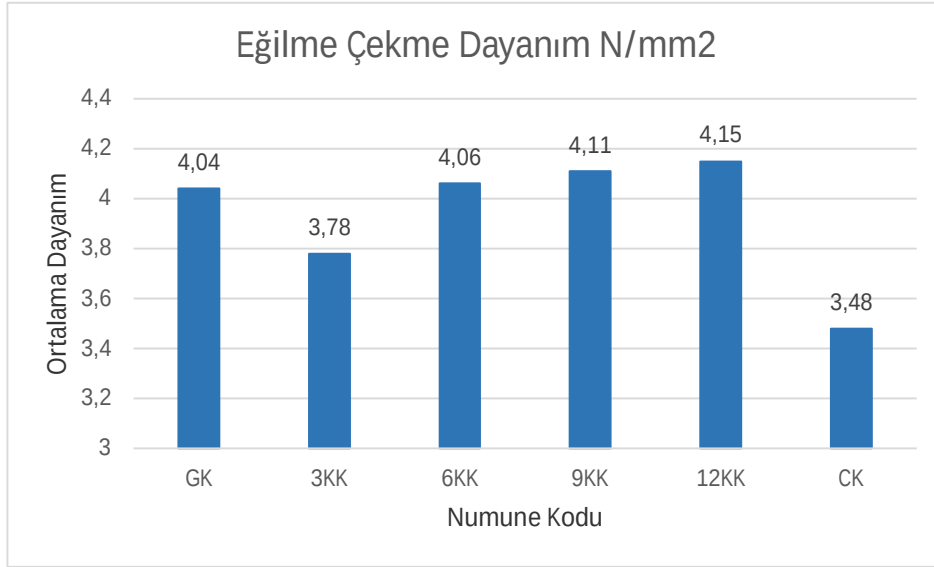
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Eğilme Dayanımı Deneyi Sonuçları

28 gün süreyle standardına uygun şekilde muhafaza edilen numuneler silindir mesnet dışından 2,5 cm bırakılarak mesnet üzerine yerleştirilmiştir. İki silindir mesnet üzerine 10 N/s hızla yük uygulanıp kırılmıştır. Kırılma sırasında uygulanan en yüksek yük newton cinsinden kaydedilip Bölüm 3.3.1'deki formülde yerine konularak eğilme çekme dayanımı değerleri elde edilmiştir (f : N/mm²). Standart kürünü tamamlayan her bir harç numunesinden 3'er adet kırılmış, en yüksek kırılma yüklerinden eğilme çekme dayanımları bulunmuştur. Çekme dayanım ortalamaları alınarak çekme dayanım değerleri tespit edilmiş ve prizmatik numunelerde gerçekleştirilen deneyler neticesinde elde edilen eğilme dayanımları Tablo 3.6'da gösterilmiştir. Analiz grafikleri ise, Şekil 3.21'de gösterilmiştir.

Tablo 3.6. Numunelerin ortalama eğilme çekme dayanım değerleri

28 Günlük Standard Kür Uygulanmış Numuneler				
Numune Kodu		Max.Yük (F_{max}) N	Eğilmede Çekme Dayanımı N/mm ²	Ortalama Dayanım N/mm ²
GK	GK1	1283	4,04	4,04
	GK2	1279	4,03	
	GK3	1285	4,05	
3KK	3KK1	1228	3,87	3,78
	3KK2	1205	3,79	
	3KK3	1167	3,67	
6KK	6KK1	1279	4,03	4,06
	6KK2	1271	4,00	
	6KK3	1321	4,16	
9KK	9KK1	1306	4,11	4,11
	9KK2	1285	4,05	
	9KK3	1321	4,16	
12KK	12KK1	1323	4,17	4,15
	12KK2	1316	4,14	
	12KK3	1318	4,15	
CK	CK1	1116	3,51	3,48
	CK2	1075	3,38	
	CK3	1128	3,55	



Şekil 3.21. Eğilme çekme dayanımı analizi grafiği

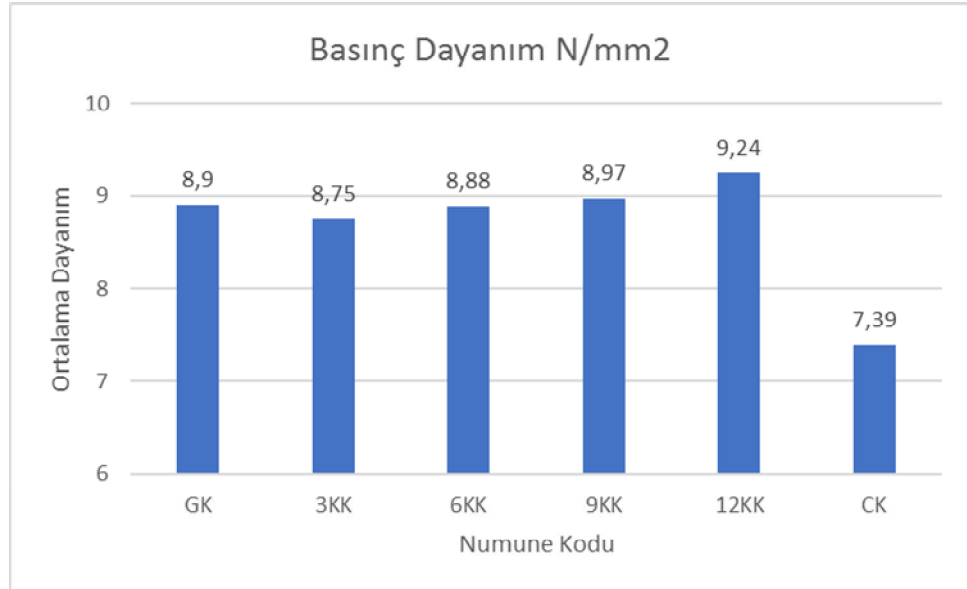
4.2. Basınç Dayanımı Deneyi Sonuçları

28 gün süreyle standardına uygun şekilde muhafaza edilen numuneler eğilmede çekme dayanımı deneyinde kırıldıktan hemen sonra, 70-35-35 mm ebatlarından oluşan sağlam ve düzgün parçaları seçilerek basınç presinde 100 N/s sabit hızla yüklenip kırılmışlardır. Kırılma sırasında uygulanan en yüksek yük newton cinsinden kaydedilip Bölüm 3.3.2'deki formülde yerine konularak basınç dayanımı değerleri elde edilmiştir (G: N/mm²).

Standart kürünü tamamlayan her bir harç numunesinden 3'er adet kırılmış, en yüksek kırılma yüklerinden basınç dayanımları bulunmuştur. Basınç dayanım ortalamaları alınarak basınç dayanım değerleri tespit edilmiş ve Tablo 3.7'de gösterilmiştir. Analiz grafikleri ise, Şekil 3.22'de gösterilmiştir.

Tablo 3.7. Numunelerin ortalama basınç dayanım değerleri

28 Günlük Standard Kür Uygulanmış Numuneler				
Numune Kodu		Max.Yük (P_{max}) kN	Basınç Dayanımı N/mm ²	Ortalama Dayanım N/mm ²
GK	GK1	23,1	9,43	8,90
	GK2	18,3	7,47	
	GK3	24	9,79	
3KK	3KK1	23	9,38	8,75
	3KK2	22,9	9,34	
	3KK3	18,5	7,55	
6KK	6KK1	21,8	8,89	8,88
	6KK2	20,3	8,29	
	6KK3	23,2	9,47	
9KK	9KK1	22,9	9,35	8,97
	9KK2	19,9	8,12	
	9KK3	23,1	9,43	
12KK	12KK1	25,4	10,36	9,24
	12KK2	20,9	8,53	
	12KK3	21,6	8,82	
CK	CK1	18,1	7,39	7,39
	CK2	17,8	7,27	
	CK3	18,4	7,51	

**Şekil 3.22.** Basınç dayanımı analizi grafiği

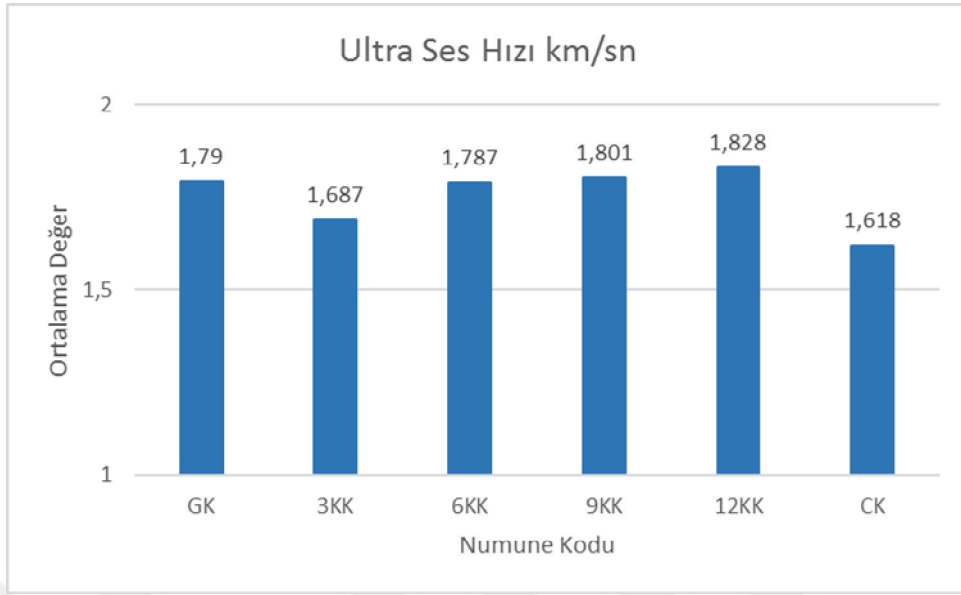
4.3. Ultra Ses Hızı Deneyi Sonuçları

Ultra ses hızı deneyinde, dayanım kazanan numunelerden 3'er adet kullanılmıştır. Alt ve üst kısımlarına boşluk kalmasını önlemek için vazelin sürülen harç bloklarına ultra ses aletinin probu yerleştirilerek uygun dalga boyu bulunmuş ve numune içinden geçen ultra ses dalgasının hızı ölçülerek kaydedilmiştir (t: μ s).

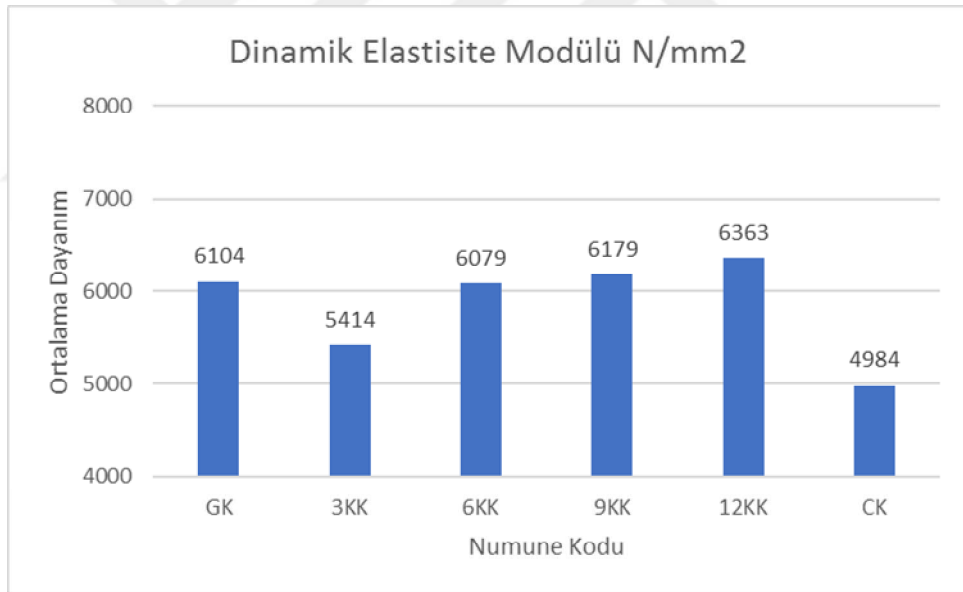
Bölüm 3.3.3'teki formüllerde yerine konularak öncelikle ultra ses dalga hızı V (km/s) ve dinamik elastisite modülü E_d (N/mm²) değerleri elde edilmiştir. (Tablo 3.8) Analiz grafikleri ise Şekil 3.23 ve Şekil 3.24'te gösterilmiştir.

Tablo 3.8. Numunelerin ultra ses hızı ve dinamik elastisite değerleri

28 Günlük Standard Kür Uygulanmış Numuneler					
Numune Kodu		Ultra Ses Hızı V km/sn	Ortalama Ultra Ses Hızı V km/sn	Dinamik Elastisite Modülü E_d N/mm ²	Ortalama Dinamik Elastisite Modülü E_d N/mm ²
GK	GK1	1,826	1,790	6341	6104
	GK2	1,674		5329	
	GK3	1,869		6643	
3KK	3KK1	1,747	1,687	5804	5414
	3KK2	1,674		5329	
	3KK3	1,639		5109	
6KK	6KK1	1,826	1,787	6341	6079
	6KK2	1,709		5554	
	6KK3	1,826		6341	
9KK	9KK1	1,826	1,801	6341	6179
	9KK2	1,709		5554	
	9KK3	1,869		6643	
12KK	12KK1	1,869	1,828	6643	6363
	12KK2	1,747		5804	
	12KK3	1,869		6643	
CK	CK1	1,606	1,618	4905	4984
	CK2	1,575		4717	
	CK3	1,674		5329	



Şekil 3.23. Ultra ses hızı analizi grafiği



Şekil 3.24. Dinamik elastisite modülü analizi grafiği

4.4. Radyasyon Geçirimsizliği Deneyi Sonuçları

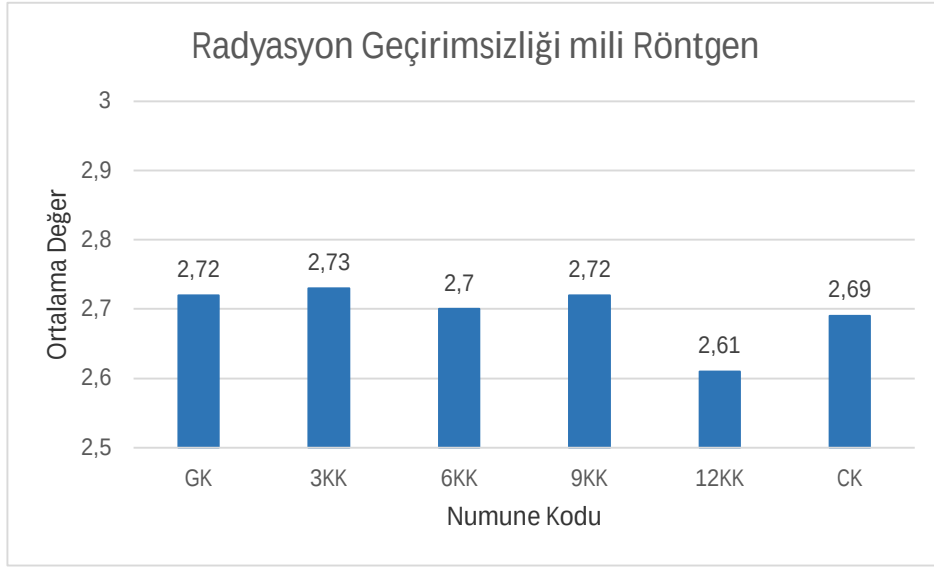
28 gün süreyle standardına uygun şekilde muhafaza edilen numuneler, radyasyon geçirimsizliği deneyi için ışın odasına taşınıp, ışınların gönderilebileceği

şekilde yerleştirilmiştir. Numunelerin bulunduğu ortam 9 mikro röntgendir. Numuneler üzerine gönderilen x ışınları ise sağlık açısından en düşük değer seçilerek 100 mili(m) röntgen olarak gönderilmiştir.

Standart kürünü tamamlayan her bir harç küp numunesinden 3'er adet x ışını gönderilmesi ve el dedektöründe okunan değer ile numuneden ne kadar miktarda x ışını soğrulduğu okunmuştur. Tablo 3.9'da okunan değerlerin oranlı olarak 400 mili röntgen olarak gönderilip, soğrulma değerleri bu oranda gösterilmektedir. Analiz grafikleri ise Şekil 3.25'te gösterilmiştir.

Tablo 3.9. Numunelerin ortalama radyasyon soğurma değerleri

28 Günlük Standard Kür Uygulanmış Numuneler			
Numune Kodu		Numune Sonunda Okunan Değer (m Röntgen)	Ortalama Okunan Değerler (m Röntgen)
GK	GK1	2,72	2,72
	GK2	2,72	
	GK3	2,72	
3KK	3KK1	2,88	2,73
	3KK2	2,68	
	3KK3	2,64	
6KK	6KK1	2,72	2,7
	6KK2	2,64	
	6KK3	2,76	
9KK	9KK1	2,72	2,72
	9KK2	2,72	
	9KK3	2,72	
12KK	12KK1	2,64	2,61
	12KK2	2,60	
	12KK3	2,60	
CK	CK1	2,68	2,69
	CK2	2,68	
	CK3	2,72	



Şekil 3.25. Radyasyon geçirimsizliği analizi grafiği

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bir yapının oluşmasında temel olarak kullanılan malzemeler ile bu malzemelerin özelliklerinin incelenip, içerisine malzeme ile uyumlu gerekli katkılar katılarak iyileştirilmesi hem yapı için sağlık hem de insanlık için konfor olanağı sağlamaktadır.

Bu kapsamda toprak yapıda kullanılan malzemelerin genel olarak tanımlanması, özelliklerinin bilinmesi ve bu özelliklere uygun şartlarda ve uyumlu yapı elemanlarıyla kullanılmaları yapının sağlıklı ve uzun ömürlü olması, oldukça önem arz etmektedir. Ayrıca, bu önemin iyi irdelenerek geliştirilmeye çalışılması yapının sağlığı ve ömrü kadar içerisinde yaşayan insanların da sağlık ve konfor şartlarını etkilemektedir.

Kerpiç malzemesinin koyun yünü ile iyileştirilmesi, normal kerpiç harcına göre mukavemet değerleri önemli ölçüde artan bir sıva harcı elde edilmesini sağlamıştır. Bunun yanında bu karışımın koyun yünü miktarının artan oranlarda toprakla karıştırılması, numunelerin mukavemet ve geçirimsizlik özelliklerinde iyileşme sağlamış ve bununla birlikte numunelerde olumlu etkiler sağlayarak sıva harcının bir miktar daha olumlu özelliklerinin artmasına neden olmuştur. Koyun yününün %12'den fazla ilave edilmesi karışımdaki yün hacmini arttırmıştır. Bu durum karışımın homojen karışmamasına neden olduğu için karışım içerisine %12 oranından fazla koyun yünü ilave edilmemiştir.

Karışımları uygun kıvam da yapmak ve akıcılığını sağlamak için su ve toprak miktarları birim/hacim denklemine göre ayarlanmıştır. Özellikle koyun yünü oranı artan numunelerin şahit numuneye göre oldukça fazla oranlarda suyu bünyesine alarak kıvama geldiği görülmüştür. Koyun yününün kendi bünyesine de su alacağı hesaba katılarak 1 gün öncesinden, saman malzemesi ile ayrı kaplarda suda bekletilip, numune hazırlanacağı gün sudan çıkartılarak sıkıldıktan sonra güneşte dinlendirilmiştir. Yapılan kıvam tayini deneylerinde şahit numune ve koyun yünü katkılı numunelerin uygun oranda harçları tamamlanarak kalıplara yerleştirilmiştir. Uygun kıvamda ve uygun oranlarda hazırlanan kalıplanmış numuneler kürleme işleminden sonra eşit şartlarda deneylere tabi tutularak sonuçları irdelenmiştir. Ve bu kapsamda basınç deneyi

sonuçlarından da görüleceği gibi koyun yünü kerpiç malzemesi (12KK) geleneksel kerpiç malzemesine göre %5 oranında bir artış göstermiştir. Cam elyaf katkılı kerpiç malzemesine göre ise %25 oranında bir artış göstererek daha yüksek mukavemetli bir sonuç elde edilmiştir.

Yapılan ön çalışmalarda numunelerin harç tayinlerinde, toprak arttırıldıkça daha katı hal aldığı gözlemlenmiş ve yapılan kıvam tayinine de uygun olmadığı görülmüştür. Toprak miktarının arttırılması ile birim hacim formülüne göre su miktarı da o oranda artacağı için numunelerin hazırlanıp bu şekilde kalıba dökülmesi ile çatlakların çok olduğu kerpiç numuneler elde edilmiştir. Bunun başlıca sebebi ise kullanılan fazla suyun, numune kurumaya başlayınca buharlaşmasıdır. Buharlaşan sular da numunede kılcal çatlaklar ve haliyle boşluklar oluşturmaktadır. Sonuç olarak numuneler büzülmektedir. Su miktarı azaltıldığında ise, akışkanlığı ve dayanımı düşük numune elde edilmiştir. Netice olarak bakıldığında, önce birim hacim formüllerinde uygun oranlarda harç yapılıp, kıvamına uygunsa kalıplanma aşamasında geçilmiş, kıvamına uygun değil ise kıvamına uygun olacak şekilde su miktarı ayarlanıp uygun miktar gözlemlendikten sonra, bu uygun su miktarına göre toprak miktarı bulunup tekrar harç hazırlanıp, kıvam uygunluğuna bakılmıştır. Bu döngü uygun kıvam bulunana kadar devam etmiştir. Uygun kıvam tayin edildiğinde ise, yağlanmış kalıplara harç yerleştirilip, kütleme aşamasına geçilmiştir. Uygun kıvamın sağlanması halinde bile, kullanılan malzeme toprak olduğu için çatlakların olduğu gözlemlenmiştir. Bunun önüne geçmek neredeyse imkânsız olmakla birlikte, en azından bu oran azaltılmaya çalışılmıştır. Bu araştırma ve çalışmalarda, geçmişte yapılan geleneksel kerpiç harcına %10 oranında alçı katılarak hem mukavemeti hem de çatlak oranının azaltıldığı gözlemlenmiştir. Ve laboratuvar ortamında yapılan ön çalışmalarda, dayanım ve özellikle çatlak konusunda ciddi iyileşme gözlemlenmiştir. Bu kapsamda yapılan bütün harç karışımlarına uygun ve eşit şartlarda test yapıp, kıyas yapmak için %10 oranında alçı katılmıştır. Ve daha sonra sırasıyla koyun yünü ve cam elyaf katılarak hazırlanan harçlar kalıplanıp, kütleme işleminden sonra testlere tabi tutulmuştur.

Yapılan çalışmalar neticesinde, Geleneksel kerpiç numunesindeki (GK) eğilme ve basınç deneylerinde üçer adet numune alınarak test yapıp, şahit numune olarak not edilmiştir. Eğilme ve basınç test sonuçlarında, GK numunesinin %3 koyun yünü katkılı (3KK) numunesine göre %2 daha yüksek dayanımlı ancak 6KK, 9KK, 12KK

numunelerine göre %1, %2 ve %5 oranla daha düşük dayanımlı olduğu gözlemlenmiştir. 3KK numunesine göre daha yüksek dayanımlı olması, koyun yünü numunenin lifli yapısının ve içeriğindeki koyun yünü oranının az olması nedeniyle ince olup, tam tutunma sağlamayarak kopmasından kaynaklanmaktadır.

Ultra ses hızı testinde ise, eğilme ve basınç testlerine paralel olarak dayanım gözlemlenmiştir. Bir test üzerinden bu sonuçların elde edilemeyeceği için yapılan bu üç test sonuçları birlikte irdelenmiştir. Ve birbirine yakın sonuçlar elde edilmiştir. Ultra ses hızı testinde, GK numunesinin koyun yünü katkılı numuneye (12 KK) göre %3 daha düşük dayanımlı olduğu gözlemlenmiştir.

Radyasyon geçirimsizliği testinde ise, 3KK, 6KK, 9KK numunelerinden, geçen ve okunan x ışını değerleri hemen hemen aynı radyasyon soğurmaları elde edilmiş olsa da 12KK numunesi %5 daha yüksek radyasyon soğurma kapasitesine sahiptir. Buradan anlaşılabileceği gibi az değer okunan 12KK numunesi, GK numunesine göre numuneye gönderilen 400 mili röntgen değerinin büyük kısmını soğurmuş ve sadece 0,11 mili röntgen geçiş farkı gözlemlenmiştir.

3KK numunesinin eğilme, basınç ve ultra ses hızı test sonuçlarından hareketle, diğer koyun yünü katkılı kerpiç numunelerine (6KK, 9KK, 12KK) %1, %3 ve %6 oranla daha düşük dayanım göstermiştir. 6KK numunesinde ise; 3KK numunesinden %1 daha yüksek dayanımlı, 9KK ve 12KK numunelerinden %3 ve %6 daha düşük dayanımlı olduğu, 9KK numunesinin ise; 3KK ve 6KK numunelerine göre %1 ve %3 daha yüksek dayanımlı, 12KK numunesine göre %6 daha düşük dayanımlı olduğu, 12KK numunesinin ise; 3KK, 6KK ve 9KK numunelerine %1, %3 ve %6 oranla daha yüksek dayanımlı olduğu test sonuçlarından gözlemlenmiştir. Buradan hareketle koyun yünü oranı arttıkça mukavemet ve geçirimsizliğin de arttığı anlaşılmıştır. Sonuç olarak 12KK numunesi diğer koyun yünü katkılı numunelere kıyasla daha yüksek mukavemetli olduğu görülmüştür.

CK numunesine bakıldığı zaman, eğilme ve basınç testlerinde en düşük değerleri aldığı gözlemlendi. Bu sonuç ise, cam elyaf katkılı kerpiç malzemesinin, geleneksel kerpiç ve diğer koyun yünü katkılı numunelere kıyasen %20 ve %25 daha düşük mukavemetli karışım olduğunu göstermiştir. Ultra ses hızı test sonuçlarında da %10 ve

%13 daha düşük değerler gözlemlenmesi, dayanım ile aynı paralellikte düşük olduğunu göstermiştir. Radyasyon geçirimsizliği testinde ise, 12KK numunesi dışındaki diğer numunelere yakın değerler aldığı görülmektedir. Buradan anlaşılaçağı gibi, radyasyon soğurması geleneksel kerpiç ve 3KK, 6KK ve 9KK numunelerine kıyasla birbirine yakın sonuçları olsa bile 12 KK numunesine kıyasla %5 oranla daha yüksek değer almıştır. Netice olarak Radyasyon geçirimsizliği konusunda, koyun yünü miktarı arttıkça radyasyon soğurması oranı artmakta ve 12KK numunesinin daha geçirimsiz olduğu anlaşılmaktadır.

28 Günlük priz sonrasında eğilmede çekme dayanımı en iyi olan numune 12KK numunesidir ($4,15 \text{ N/mm}^2$). 12KK numunesinden düşük olan numuneler ise, 9KK, 6KK, 3KK ve GK numuneleri gelmektedir. CK numunesi ise, düşük performans göstererek diğer numune ortalamalarının altında kalmıştır ($3,48 \text{ N/mm}^2$).

28 Günlük priz sonrasında basınç dayanımı en iyi olan numune 12KK numunesidir ($9,24 \text{ N/mm}^2$). Daha sonra 12KK numunesinden düşük olan numuneler ise, 9KK, 6KK, 3KK ve GK numuneleri gelmektedir. CK numunesi ise yine düşük performans göstererek diğer numune ortalamalarının altında kalmıştır ($7,39 \text{ N/mm}^2$).

28 Günlük priz sonrasında Ultra ses hızı en yüksek olan numune 12KK numunesidir ($1,828 \text{ km/sn}$). 12KK numunesinden düşük olan numuneler ise, 9KK, 6KK, 3KK ve GK numuneleri gelmektedir. CK numunesi ise, paralel bir şekilde yine düşük performans göstererek diğer numune ortalamalarının altında kalmıştır ($1,618 \text{ km/sn}$).

28 Günlük priz sonrasında Radyasyon geçirimsizliğinde en düşük olan numune 12KK numunesidir (2,61 mili röntgen). Daha sonra 12KK numunesinde yüksek olan numuneler ise, 9KK, 6KK, 3KK, GK ve CK numuneleri gelmektedir.

Sonuç olarak elde edilen deneysel çalışmalar neticesinde, 12KK numunesinin eğilme ve basınç dayanımı konusunda daha yüksek dayanımlı olduğu, bu dayanımlarına paralel olarak ultra ses hızı deneyinde de benzer sonuçlar aldığı gözlemlenmiştir. Radyasyon geçişinde de diğer numunelere kıyasla daha iyi soğurma yapmıştır. Bu neticeler doğrultusunda fiziksel ve mekanik özellikleri ile kerpiç ve koyun yününün

karıştırılmasından oluşturulan koyun yünü katkıli kerpiç numunesi, dayanım ve radyasyon geçirimsizliğı olarak yapılar da kullanıma uygun, tamamen ekolojik ve kırsal kesimde de rahatlıkla bulunabilecek malzemelerle, ekonomik olarak üretilebilecektir ve yapı malzemesi olarak kullanımı önerilmektedir.

5.2 Öneriler

Elde edilen bu harç örnekleri ile ilgili atmosfer etkilerine, özellikle depreme karşı dayanıklılık için kerpiç bloklar arasında kenet kullanımı uygulaması araştırılabilir.

Uygulamayı kolaylaştırmak açısından numunelerin prizini hızlandırmak için karışımın içine az miktarlarda olsa çimento katılabilir.

Kür süresini hızlandırmak için karışımların kalıplanmasından sonra etüvde belli derecelerde kurutulması ile ilgili çalışmalar yapılabilir.

KAYNAKLAR

- Durmuş, C., “Çeltik Kavuzu Katkısıyla Kerpiç Üretimi Üzerine Bir Araştırma”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-9 (1988).
- AKMAN, S., Building Materials In Early Ages Of Mankind, Studies In Ancient Structures, YTÜ, İstanbul, Türkiye, 14-18 Ağustos 1997.
- SANCHEZ, S. M., LUGUE, L., CANAVERAS, J.C., SOLER, V., GUİNEA, G. J., APARÍCIO, A., Lime Pozzolona Mortars In Roman Catacombs: Composition, Structures and Restoration, www.scientific.net, Ağustos 2003.
- IŞIK, B., AKIN, A., KUŞ, H., ÇETİNER, İ., GÖÇER, C., ARIÖĞLU, N., KAFESÇİÖĞLU, R., Alçı Katkılı Kerpiç Yapı Malzemesine Uygun Mekanize İnşaat Teknolojisinin ve Standartlarının Belirlenmesi, Proje No: İNTAG TOKİ 622, Mayıs 2003.
- GÜRBÜZ, G., 2005, Toprak yapı malzemesinin stabilizasyonu ve toprak bina yapım teknikleri üzerine bir araştırma, Yüksek lisans, Gazi Üniversitesi.
- <https://www.rudawnet.com/gallery/kerpic yapilar170920204>
- <https://www.rudawnet.com/gallery/kerpic yapilar170920205>
- Tulaganov, B.A. , 2005. Housing construction with use of Clay Materials , Taşkent, Özbekistan.
- Aghazadeh Ebrahim/Kireç ve alçı içeren toprak elemanların fiziksel ve mekanik özellikleri-İstanbul-2011
- https://stringfixer.com/tr/Earth_construction
- <http://www.wikipedia.org>>, alındığı tarih 18.03.2011.
- <https://gaiadergi.com/doga-dostu-kerpicin-faydalari-ve-dunyadaki-kerpic-yapilar>.
- <https://seferia/gaiadergi/doga-dostu-kerpicin-faydalar1.com>
- <https://japantimes/gaiadergi/doga-dostu-kerpicin-faydalar1.com>
- Çelebi R, 2008. Kerpiç yapım yöntemleri ve kullanımı üzerine bir inceleme, Doçentlik Tezi, ODTÜ, Ankara.
- Gül Tuna/Cam elyaf ve hava sürükleyici katkı kullanılarak geliştirilmiş kerpiç-İstanbul
- ALTUN, S.B., 2008, Geleneksel Türk evleri, kullanılan yapı malzemeleri, yapı elemanları ve yapım sistemleri, Yüksek lisans, Karadeniz Teknik Üniversitesi.

BEKTAŞ, C., 2005, Kerpiçle çağdaş mimarlık [online], http://www.yapi.com.tr/Haberler/kerpicle-cagdas-mimarlik_61066.html .

<http://www.hattuscha.de/turkce/surrekonstruk.htm>.

Alkaya, D., 2005, Sultandağı depremi ışığında toprak yapılar ve iyileştirme önerileri, Yığma yapıların deprem güvenliğinin araştırılması çalıştay, 17 Şubat 2005 Ankara.

BAKIR, S. ve diğ., 2010, 8 Mart 2010 Başyurt-Karakoçan (Elazığ) depremi ön inceleme raporu, Middle east technical university.

KOÇU, N., KORKMAZ, S.Z., 2004, Kerpiç malzeme ile üretilen yapılarda deprem etkilerinin tespiti, TMMOB. Mimarlar Odası İstanbul Büyükkent Şubesi 2. Ulusal yapı malzemesi kongresi, 6-8 Ekim 2007 İstanbul, 52-62.

KESKİN, T., 2010, Binalar sektörü mevcut durum değerlendirmesi raporu, Türkiye'nin iklim değişikliği ulusal eylem planı'nın geliştirilmesi projesi.

GHAVAMI, K. TOLEDO, F.R. BARBOSAC, N., 1999, Behaviour of composite soil reinforced with natural fibres, Cem. Concr. Compos., 21, 39-48.

BİNİCİ, H. ve diğ., 2010, Kerpiç yapılar depreme dayanıksız mıdır? Avantajları ve dezavantajları nelerdir, KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi, 13(2), 1-11.

Anonim, 2010, Gümüşhaneyi tanıyalım [online], <http://www.siran29.com/genel-kultur/103-gumushaneyi-taniyalimkonaklar.html>.

https://www.trekearth.com/gallery/Middle_East/Turkey/Southern_East_Anatolia

KIVRAK, J., 2007, Silis dumanı katkılı kerpiçlerin mekanik ve fiziksel özelliklerinin araştırılması, Yüksek lisans, Gazi Üniversitesi.

Anonim, 2010, Semtler ve Bursa [online], http://www.lifeinbursa.com/fotografx/35/13169/semtler_ve_bursa/yilların_yorgunlug.

<https://www.urfadasin.com/harran-in-m-..com>

GÜRFİDAN, A., 2006, Safranbolu evlerinde kullanılan kerpiç malzemenin yüksek fırın cürufu ile iyileştirilmesi, Yüksek lisans, Sakarya Üniversitesi.

Meydan-Larousse, 1972 baskısı. cilt 4., s. 441 İst.

<https://japantimes/gaiadergi/doga-dostu-kerpicin-faydaları.com>

Houben, H., and Guillard, H., 1994. Earth Construction, A Comprehensive Guide, Intermediate Technology Publications, London.

TS 2514, 1977. Kerpiç bloklar ve yapım kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara

(https://static.dezeen.com/uploads/2014/07/Ricola-Krauterzentrum-by-Herzog-and-de-Meuron_dezeen)

<https://www.ekoyapidergisi.org/sikistirilmis-toprak-duvarlar-nasil-insa-edilir>

<https://www.arkitera.com/proje/bati-avustralyanin-buyuk-duvari>

Helvacı, G., 2001. GAP bölgesinde insan yerleşmelerinin iyileştirilmesi amacıyla alçı katkılı kerpiç ve tuğla duvarın Şanlıurfa toplu konutprojesi üzerinde karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Işık, B., 1990. A.B.D’de Konut Yapıları „Kerpiç Yapılar’, Yapı, 140, 55-63

Işık, B., 2000. Alker Yapılar 1983-2000, İstanbul.

Işık, B., 2000. Konut sektöründe hafif çelik ve alker yapı teknolojilerinin birlikte Kullanılabilirliği

Sinha, S., 1996. Down To Earth Buildings, Architecture of Ecology, Architectural Design, March, 91-93

Eriç, M., Anıl, Ü., Çorapçıoğlu, K., 1980. Kerpiç Malzemelerin Türkiye Koşullarında Rasyonel Kullanımını Sağlamak Amacıyla Kalitesinin Yükseltilmesi Konusunda Bir Araştırma, İDGSA Mimarlık Fakültesi.

Kafesçioğlu, R., Gürdal, E., 1985. Çağdaş Yapı Malzemesi Alçılı Kerpiç, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Enerji Dairesi Başkanlığı, Ankara.

Kafesçioğlu, R., Ağustos 1980. Yapı Malzemesi Olarak Kerpici Alçı ile Stabilizasyonu, TÜBİTAK MAG 505, İstanbul.

Işık, B., Akın, A., Kuş, H., ve diğ. 1995. Alçı Katkılı Kerpiç Yapı Malzemesine Uygun Mekanize inşaat Teknolojisinin ve Standartlarının Belirlenmesi, TÜBİTAK, İNTAG TOKİ 622, İstanbul.

QUAGLIARINI, E. ve diğ., 2009, Mechanical properties of adobe walls in a Roman Republican domus at Suasa, Journal of Cultural Heritage, 11, 130-137.

MİNKE, G., 2006, Building with earth, Birkhauser, Berlin, 978-3-7643-7477-8.

KARUL, N., 2008, Kerpiçten tarih [online], <http://www.kesfetmekicinbak.com/arkeoloji/07674/>.

<https://galeri3.arkitera.com/var/albums/Haber-02/0-map-earth.jpg.jpeg>

<https://www.houzz.com/photos/mosaic-desertscape-style-front-walkway-modern-exterior-san-diego-phvw-vp~91987532>

KIVRAK, J., 2007, Silis dumanı katkılı kerpiçlerin mekanik ve fiziksel özelliklerinin araştırılması, Yüksek lisans, Gazi Üniversitesi.

<https://www.houzz.com/photos/home-architecture-modern-exterior-albuquerque-phvw-vp~25241134>

<https://www.houzz.com/photos/a-malibu-project-modern-exterior-phvw-vp~13998803>

Başgelen, N., 1993. Çağlar Boyunca Anadolu'da Duvar, Arkeoloji ve Sanat Yayınları, İstanbul.

MİLANI, B, 2005, Building materials in agreeen economy:community-based strategies for dematerialization, Doctora, Toronto Üniversitesi.

Anonim, 2010, Eath architecture [online], <http://www.eartharchitecture.org/index.php?/plugin/tag/mud+brick/P2.html>.

Gürdal, E., 1995-1996 Yüksek Lisans Programı, Yapı Korunumu ve Yapı Hasarları Ders Notları, İstanbul.

Toydemir, N., 1976 Seramik Yapı Malzemeleri, İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi.

United Nations, 1961. Soil-Cement It's Use in Buildings, Department of Economic and Social Affairs, New York.

Kömürcüoğlu, E.A., 1962. Yapı Malzemesi Olarak Kerpiç ve Kerpiç İnşaat Sistemleri, İstanbul Teknik Üniversitesi.

Gürdal, E., Acun, S., Mart 2001. Değişik Harç ve Sıvaların Farklı Malzemeler Üzerindeki Aderansı, Yapı Malzemesi ve Deprem Semineri Bildiriler, Mimarlar Odası İstanbul Büyük kent şubesi.

Gürdal, E., Koçu, N., Eylül 1993. Kerpiç ve Kerpiçte Eskime Yenileme Sorunları Konya Alaadin Köşkü Örneği, Yapı Dergisi, Sayı 142 YEM.

<https://www.rudawnet.com/gallery/kerpicyapilar170920204>

VARGAS, J. BARIOLA, J. BLONDET, M., 2006, Seismic strength of adobe masonry, Materials and Structures, 19 (4), 253-258.

CAKIR,Kaan/Doğal puzolan katkılı kireç harççı ile toprak karışımının kerpiç yapılarda dış sıva olarak kullanılabilmesi/İstanbul.2010

United Nations for Human Settlements (Habitat), 1988. A Compendium of Information on Selected Low-Cost Building Materials, Nairobi.

Gürdal, E., Acun, S., 2003. Yenilenebilir Bir Malzeme: Kerpiç ve Alçılı Kerpiç, Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi, 427, 71-77.

Şimşek, O., Sancak, E., Fırat, S., 2001. Kerpiç Özelliklerini İyileştirme Yönünde Bir Araştırma, Türkiye İnşaat Mühendisliği 16. Teknik Kongresi Bildirileri, Ankara.

- Tunçoku, S., Characterization of Masanory Mortars Used in Some Anatolian Selçuk Monuments in Konya, Beyşehir and Akşehir, ODTÜ, Ankara, Doktora Tezi, Haziran 2001
- Tanrıverdi, C., 1984. Alçı Kerpiçin Üretim Olanaklarının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, G.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü,
- Alkan, Z., 1969. Bazı Stabilizan Maddelerin (Çimento, Kireç, Bitüm Emülsiyonu ve Saman) Dökme Kerpiç ve Prese Kerpiçin Önemli Mekanik Özelliklerine Etkisi Üzerine Bir Araştırma, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Araştırma Bülteni, Erzurum, s.1-10
- Lambe, T., W., 1962. Soil Stabilization Foundation Engineering, Mc. GrawHill Book Company, Newyork 354-357
- TS-537, Ekim 1985. Çimentolu Kerpiç Bloklar, Duvarlar için, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Eriç, M., 1980. Kerpiç Eski Evlerin Onarımı ve Korunmasında Bir Araştırma, Üçüncü Uluslararası Kerpiç Koruma Sempozyumu, Ankara. 29 Eylül-4 Ekim 1980
- Eriç, M., Nisan 1994. Yapı Fiziği ve Malzemesi, Literatür Yayınları, İstanbul
- Gürdal, E., 1980. Kuzey ve Orta Anadolu Alçıları Üzerine Bir Araştırma, Doktora Tezi, G.T.Ü. Mimarlık Fakültesi, İstanbul.
- Kafesçioğlu, R., Gürdal, E.; Toydemir, N., Özuer, B., Yapı Malzemesi Olarak Kerpiçin Alçı ile Stabilizasyonu, TÜBİTAK Araştırma projesi raporu, Ağustos 1980, İstanbul.
- Houben, H., Guillard, H., 1989. Earth Construction, intermediate Technology Publications, London.
- Erdoğan, Y, T., 2003. Beton, O.D.T.Ü. Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Ankara.
- Almaç, U., 2002. Alçı Bağlayıcılı Hazır Harç ile Toprak Karışımının Hasarlı Kerpiç Yapılarda Onarım Harcı Olarak Kullanılabilmesi için Deneysel Araştırma, Yüksek Lisans Tezi, G.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kafesçioğlu, R., Ağustos 1980. Yapı Malzemesi Olarak Kerpiçin Alçı ile Stabilizasyonu, TÜBİTAK MAG 505, İstanbul
- Aydınay, B., Mayıs 2002. Donatılı ve Donatısız Alçı Duvarların Kayma Dayanımı Üzerine Deneysel Bir Araştırma, Yüksek Lisans Tezi, G.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- PARRA-SALDIVAR, M.L. ve BATTY, W., 2006, Thermal behaviour of adobe constructions, Building and Environment, 41, 1892-1904.

- RAIMONDO, M. ve diğ., 2007, Equilibrium moisture content of clay bricks: The influence of the porous structure, *Building and Environment*, 42, 926-932.
- DONDI, M. ve diğ., 2003, Water vapour permeability of clay bricks, *Construction and Building Materials*, 17, 253-258.
- CALABRIA, J. A. VASCONCELOS, W.L. BOCCACCINI, A.R., 2009, Microstructure and chemical degradation of adobe and clay bricks, *Ceramics International*, 35, 665-671.
- OTI, J.E. KINUTHIA, J.M. BAI, J., 2009, Engineering properties of unfired clay masonry bricks, *Engineering Geology*, 107, 130-139.
- SHUKLA, A. ve diğ., 2009, Embodied energy analysis of adobe house, *Renewable Energy*, 34, 755-761.
- ZAMİ, M. ve LEE, A. 2009, Contemporary earth construction in urban housing-stabilised or unstabilised [online], University of Glasgow, http://www.gla.ac.uk/media/media_129735_en.pdf.
- ŞİMŞEK, O. SANCAK, E. FIRAT, S., 2001, Türkiye İnşaat Mühendisliği XVI. Teknik Kongre ve Sergisi Bildiriler Kitabı, 1-3 Kasım 2001 Ankara, 45.
- <http://www.houzz.com/photos/home-architecture-modern-exterior-albuquerque-phvw-vp~25241058>
- Anonim, 2010, A changing environment [online], <http://www.pionomics.com/environment.htm>.
- OTI, J.E. ve diğ., 2009, Compressive strength and microstructural analysis of unfired clay masonry bricks, *Engineering Geology*, 109, 230-240.
- GÜRFİDAN, A., 2006, Safranbolu evlerinde kullanılan kerpiç malzemenin yüksek fırın cürufu ile iyileştirilmesi, Yüksek lisans, Sakarya Üniversitesi.
- CAN, Ömer, 2008, Ferrokrom curufunun kerpicin mühendislik özelliklerine etkisi, *Teknik-Online Dergi*, 7, 175-185
- <https://gaiadergi.com/doga-dostu-kerpicin-faydalari-ve-dunyadaki-kerpic-yapilar>.
- CALABRIA, J. ve diğ., 2010, Synthesis of sol-gel titania bactericide coatings on adobe brick, *Construction and Building Materials*, 24, 384-389.
- MILLOGO, Y. HAJAJI, M. OUEDRAOGO, R., 2008, Microstructure and physical properties of lime-clayey adobe bricks, *Construction and Building Materials*, 22, 2386-2392.
- GALAB-MARIN, C. RIVERA-GOMEZ, C. PETRIC, J., 2010, Clay-based composite stabilized with natural polymer and fibre, *Construction and Building Materials*, 24, 1462-1468.

- YETGİN, Ş. ve diğ., 2008, The effects of the fiber contents on the mechanic properties of the adobes, *Construction and Building Materials*, 22, 222-227.
- BİNİCİ, H. ve diğ., 2010, Kerpiç yapılar depreme dayanıksız mıdır? Avantajları ve dezavantajları nelerdir, *KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 13(2), 1-11.
- BARADAN, B., Kerpiç yapıların korunması için uygun puzolanik karışımlar, *Endüstriyel atıkların inşaat sektöründe kullanılması*, 1995 Ankara, 73-80.
- Encyclopedia, Americana Corporation (1829). The encyclopedia Americana, USA, Americana Corporation Çelebi, M.R.(2012). Anadolu kerpiç mimarlığı (1. Baskı). İstanbul: T.C. İstanbul Kültür Üniversitesi Kömürcüoğlu, E.A.(1962). Yapı malzemesi olarak kerpiç ve kerpiç inşaat sistemleri, İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası. Selin DURAN.
- GÜLEÇ, A., Bazı Tarihi Anıt Harç ve Sıvalarının İncelenmesi, Doktora Tezi, İTÜ, İstanbul, Temmuz 1992.
- UZGİL, E. Z., Tarihi Eserlerde Kullanılan Ca SO₄ Harç ve Sıvalarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, İstanbul, Haziran 1995.
- ACUN, S., GÜRDAL, E., Yenilenebilir Bir Malzeme: Kerpiç ve Alçılı Kerpiç, Nisan 1985.
- KAFESÇİOĞLU, R., GÜRDAL, E., Çağdaş Yapı Malzemesi Alker “Alçılı Kerpiç”, Nisan 1985.
- TS EN-1015-11, Ekim 2000. Kagit Harcı - Deney Metotları – Sertleşmiş Harcın Basınç ve Eğilme Dayanımının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Postacıoğlu, B., 1981. Cisimlerin Yapısı ve Özellikleri – İç Yapı ve Mekanik Özellikler, Cilt 1, G.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İstanbul.
- Çankıran, O., 2000. Yapıların Depremden Önce ve Sonrasında Tahribatsız Deney Yöntemleri ile İncelenmesi, *İnşaat Malzemeleri İhtisas Dergisi*, Sayı:47 s:136-141. İstanbul.
- Benavente, D., Fort, R., Ordonez, S., 2004. Durability Estimation of Porous Building Stones from Pore Structure and Strength, *Engineering Geology*. 74.
- Kocataşkın, F., 1984. Malzeme Bilimi, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Ders Notları, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası