

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

KERPİÇ MALZEMEYE YÖNELİK YENİLİKÇİ
YAKLAŞIMLAR

ECEM PINAR PARLAK

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİMARLIK ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: DOÇ.DR. SANİYE KARAMAN ÖZTAŞ

MAYIS 2025

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

KERPİÇ MALZEMEYE YÖNELİK YENİLİKÇİ
YAKLAŞIMLAR

ECEM PINAR PARLAK

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİMARLIK ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: DOÇ.DR. SANİYE KARAMAN ÖZTAŞ

MAYIS 2025

T.R.
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL

INNOVATIVE APPROACHES TO ADOBE MATERIAL



ECEM PINAR PARLAK

A THESIS OF MASTER OF SCIENCE
DEPARTMENT OF ARCHITECTURE

ADVISOR: ASSOC.PROF.DR. SANİYE KARAMAN ÖZTAŞ

MAY 2025

YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GTÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulunun 03/02/2025 tarih ve 2025/08 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 27/05/2025 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Ecem Pınar PARLAK'ın tez çalışması Mimarlık Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Doç. Dr. Saniye KARAMAN ÖZTAŞ

ÜYE

: Dr.Öğr.Üyesi Derya ÇAKIR AYDIN

ÜYE

: Doç. Dr. Sonay AYYILDIZ

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulunun

...../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

Teknolojinin hızla gelişmesiyle birlikte artan çevre kirliliği, doğal kaynakların tükenmesi, ekonomik zorluklar, depremler ve salgın hastalıklar gibi küresel sorunlar nedeni ile insanlar sağlıklı, doğal, düşük maliyetli ve estetik açıdan çağa hitap eden uygun mekân arayışlarına yönelmiştir. Bu bağlamda, insanlık tarihi boyunca kullanılagelmiş ve günümüze kadar varlığını sürdürebilmiş geleneksel ve sürdürülebilir bir yapı malzemesi olan kerpiç, yeniden ilgi odağı haline gelmiştir. Kerpiç yapılar, yaşam döngüleri boyunca enerji tüketimleri az ve düşük maliyetlidir. Kolayca temin edilebilir doğal malzemelerle ve basit bir üretim süreci ile hazırlanabilmektedir. Kullanım sürecinde kullanıcıya uygun iç mekân konforu sağlamaktadır. Bu avantajlarına rağmen, kerpiç yapıların basınç dayanımının düşük ve suya karşı direncinin zayıf olması, malzeme kullanımının günümüzde büyük ölçüde kırsal bölgelerde sınırlı kalmasına neden olmuştur. Buna rağmen, günümüzün çevresel, sosyal ve ekonomik koşulları, kerpice sahip olduğu yararlı yönlerini tekrar ön plana çıkarmıştır. Kerpice bu zayıf yönlerinin geliştirilebilmesi ile ilgili, kerpiç yapıların yapım tekniklerine ve yapılarının tasarımına yönelik çağdaş yöntem ve tekniklerin araştırıldığı çeşitli çalışmalar yürütülmektedir.

Bu çalışmada geleneksel kerpiç malzemesinin geliştirilmesi ve çağdaş yapılarda kullanımına yönelik yenilikçi yaklaşımların incelenmesi amaçlanmıştır. Literatür analizi yöntemiyle gerçekleştirilen incelemelerde, katkı maddeleri ile kerpiç malzeme özelliklerinin iyileştirilmesi, destek sistemler ile kerpiç yapıların güçlendirilmesi ve yenilikçi üretim teknikleri gibi uygulamalarının yaygınlığı tespit edilmiştir. Bu uygulamalar, günümüz modern yapıları bağlamında değerlendirilmiştir. Ayrıca kerpiç konusunda uzman beş katılımcıyla yapılan görüşmeler aracılığıyla, malzemenin ulusal ve uluslararası ölçekteki güncel durumu analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular, kerpiç yapıların sürdürülebilir mimarlık ve yapı teknolojileri alanında önemli bir potansiyel taşıdığını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Kerpiç, Yenilikçi Yaklaşımlar, Sürdürülebilirlik, Çevre Dostu Malzemeler, Yapı Teknolojileri

ABSTRACT

With the rapid development of technology, due to global problems such as increasing environmental pollution, depletion of natural resources, economic difficulties, earthquakes, and pandemics, people have turned towards the search for suitable spaces that are healthy, natural, low-cost, and aesthetically appropriate for the era. In this context, adobe, a traditional and sustainable building material that has been used throughout human history and has managed to survive to the present day, has once again become a focus of interest. Adobe structures consume little energy and are low-cost throughout their life cycle. They can be prepared with natural materials that can be easily obtained and through a simple production process. During the usage process, they provide appropriate indoor comfort to the user. Despite these advantages, the low compressive strength of adobe structures and their weak resistance to water have caused the use of the material to remain largely limited to rural areas today. Nevertheless, today's environmental, social, and economic conditions have once again brought the beneficial aspects of adobe to the forefront. Various studies are being conducted to improve these weaknesses of adobe, focusing on contemporary methods and techniques regarding the construction techniques and design of adobe structures. This study aims to examine innovative approaches for the improvement of traditional adobe material and its use in contemporary buildings. In the analyses carried out using the literature analysis method, the prevalence of practices such as improving adobe material properties with additives, strengthening adobe structures with support systems, and innovative production techniques has been identified. These applications have been evaluated in the context of today's modern structures. In addition, through interviews conducted with five participants who are experts on adobe, the current status of the material on a national and international scale has been analyzed. The findings obtained show that adobe structures carry significant potential in the field of sustainable architecture and building technologies.

Keywords: Adobe, Innovative Approaches, Sustainability, Eco-Friendly Materials, Construction Technologies

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasında bana rehberlik eden, her konuda destek olan, bilgi ve deneyimlerini paylaşan değerli danışmanım **Doç. Dr. Saniye Karaman Öztaş'a** çok teşekkür ederim. Kendisi, araştırma sürecimin her aşamasında bana yön vererek bilimsel bakış açımı geliştirmeme katkı sağlamıştır. Onun desteği ve uzmanlığı bu çalışmanın başarıyla tamamlanmasında en büyük etken olmuştur.

Ayrıca, tez sürecine değerli görüşleriyle katkı sağlayan **Sayın Prof. Dr. Bilge Işık'a, Doç. Dr. Sema Alaçam'a, Erkan Alişan'a, And Akman'a ve Öğr.Gör.Dr. Nurcihan Bektaş'a** teşekkürlerimi sunarım. Zamanlarını ayırarak bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşmaları, bu sürecin hem akademik hem de kişisel açıdan daha anlamlı ve verimli geçmesini sağlamıştır.

Ayrıca, tüm akademisyenlere ve araştırmacılara; yaptıkları çalışmalar ve kerpicin hak ettiği değeri kaybetmemesi adına verdikleri tüm emekler için teşekkür ederim.

Hazırladığım tez çalışmamın kerpiç malzeme hakkında gelecekteki araştırmalara katkı sağlamasını ve alandaki literatüre değerli bir referans olmasını temenni ediyorum.

Bu çalışma sonucunda elde edilen bulguların kerpiç malzeme ve yapılar ile ilgilenen kişiler için faydalı olmasını diliyorum. Gelecekte, bu kadim materyalin kullanımının daha yaygın hale geldiği, modern dünyanın her kesimine entegre olduğu ve toplumun her kesiminde daha fazla takdir edildiği zamanların olması en büyük temennimdir. Kerpiç, sadece geleneksel bir yapı malzemesi değil; doğayla uyumlu, estetik ve çevreci özellikleri ve gelişim potansiyeli ile gelecek için bir köprü olarak görülmelidir.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
TABLolar DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1.Çalışmanın Amacı	2
1.2.Çalışmanın Kapsamı ve Yöntemi	2
2. TOPRAK ESASLI YAPI MALZEMELERİ	5
2.1. Kerpiciin Tarihsel Gelişimi ve Kullanımı	5
2.2. Geleneksel Kerpiç ve İçeriği	20
2.3. Kerpiciin Hazırlanması	21
2.3. Kerpiciin Avantajları ve Sınırlılıkları	22
2.4. Kerpiç Üretim Yöntemleri	25
2.4.1. Geleneksel Yöntemle Kerpiç Tuğla veya Blok Üretimi	25
2.4.2. Geleneksel Sıkıştırılmış (Pres) Toprak Bloklar	26
2.4.3. Tokmaklama (Sıkıştırılmış Toprak) Yöntemiyle Kerpiç Üretimi	27
2.4.4.Püskürtme (Shotcrete) Yöntemi ile Kerpiç Üretimi	29
2.5. Kerpiç Yapı Çeşitleri	30
2.5.1. Yığma Sistem Kerpiç Yapılar	30
2.5.2. Omurgalı Kerpiç Yapılar	32
2.5.3. Kerpiç Dolgulu Ahşap Karkas Sistem (Hımış) Yapılar	32
2.5.4. Karma Sistem Kerpiç Yapılar	34
2.5.5. Toprak Çuval Yapılar (Earthbag Building-Superadobe)	35
3.KERPIÇ MALZEMEYE YÖNELİK YENİLİKÇİ YAKLAŞIMLAR	37
3.1. Kerpiç Malzemenin İçeriğinin Geliştirilmesi	37
3.1.1. Kerpiç Malzemenin Lif Katkısı ile İçeriğinin Geliştirilmesi	38
3.1.2. Kerpiç Malzemenin Bağlayıcı Madde Katkısı ile İçeriğinin Geliştirilmesi	40
3.2.Destek Sistemler ile Kerpiç Yapıların Güçlendirilmesi	45
3.3. Kerpiç Malzemenin Yenilikçi Sistemler ile Üretim Teknikleri	56
3.3.1. Kerpiç Bloklarının Makine ile Üretimi	57
3.3.1.1. Kerpiciin Kalıp Makinesi ile Üretimi	57
3.3.1.2.Kerpiciin Ekstrüder Makinesi ile Üretimi	57
3.3.1.3. Hidrolik Pres Makinesi ile Kerpiç Bloklarının Üretimi	58
3.3.2. Kerpiciin 3D Baskı Makinesi ile Üretimi	59
3.3.3. Dijital Sıkıştırılmış Toprak	62
3.3.4. Bio-Püskürtme (Bioshotcrete) Yöntemi ile Kerpiç Üretimi	65
3.3.5. Geleneksel ve Yenilikçi Kerpiç Üretim Yöntemlerinin Karşılaştırılması	66
3.4. Yenilikçi Yaklaşımların Kerpiç Yapılar Üzerinden İncelenmesi	67
3.4.1 Kerpiç Malzemenin İçeriği Geliştirildiği Yapı Örnekleri	67
3.4.1.1. Centinela Chapel	68

3.4.1.2. Mud House	68
3.4.1.3. Kampala Konut Projesi	69
3.4.1.4. Nido de Tierra Evi	70
3.4.1.5. 21st Century Vernacular Evi	71
3.4.1.6. Emine Teyze Evi	72
3.4.2. Destek Sistemler ile Güçlendirilen Kerpiç Yapılar	73
3.4.2.1. San Pedro de Atacama'da Bir Kilise	74
3.4.2.2 Şili'de Kerpiç Yapı	74
3.4.3. Yenilikçi Sistemler ile Üretilen Kerpiç Yapılar	75
3.4.3.1. Gaia	76
3.4.3.2. Tecla	77
3.4.3.3. Tova	78
3.4.3.4. Terramia Prototipi	79
3.4.3.5. King Abdulaziz Centre for World Culture	80
3.4.3.6. Alnatura Arbeitswelt	81
3.4.3.7. Erden Werkhalle	81
4. KERPIÇ MALZEME VE YAPILARIN KULLANIMINA İLİŞKİN UZMAN GÖRÜŞLERİ	86
4.1. Katılımcı Profilleri	86
4.2. Röportaj Sorularının Hazırlanması	87
4.3. Uzman Görüşlerinin Tematik Analizi	87
4.3.1. Kerpiç Malzemenin Yapı Sektöründeki Mevcut Durumu ve Geleceği	88
4.3.2. Malzeme Performansının Gelişimi	92
4.3.3. Gelenekselden Moderne Üretim Süreçlerinin Gelişimi	94
4.3.4. Toplumsal Algı ve Bilinç	102
4.3.5. Yaygınlaştırma Stratejileri ve Gelecek Vizyonu	105
4.4. Bölüm Değerlendirmesi	108
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	111
KAYNAKLAR	116
ÖZGEÇMİŞ	126
TEZ METNİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR	127
EKLER	128

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

m	: Metre
cm	: Santimetre
mm	: Milimetre
km	: Kilometre
m ²	: Metrekare
m ³	: Metreküp
kg	: Kilogram
kgf/cm ²	: Kilogram-kuvvet/santimetrekare (basınç birimi)
kWh	: Kilovat saat (enerji birimi)
CO ₂	: Karbon dioksit
λ (lambda)	: Isı iletim katsayısı
%	: Yüzde
°C	: Santigrat derece
3D	: Üç boyutlu (üç boyutlu yazıcı teknolojisi)
GTÜ	: Gebze Teknik Üniversitesi
İTÜ	: İstanbul Teknik Üniversitesi
UNDP	: Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı
TS	: Türk Standardı
M.Ö.	: Milattan Önce
Ar-GE	: Araştırma ve Geliştirme
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
R&D	: Research & Development (Araştırma-Geliştirme)
U1, U2...	: Anonimleştirilmiş görüşmeci kodları

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil.1.1.Tezin yol haritası.	4
Şekil 2.1: Aksaray /Aşıklı Höyük	6
Şekil 2.2: Diyarbakır / Çayönü	7
Şekil 2.3: Çatalhöyük	7
Şekil 2.4: Çatalhöyük evi	8
Şekil 2.5: Babil Kulesi görselleştirilmesi	8
Şekil 2.5: Aktopraklık Höyük	9
Şekil 2.6: Hacılar Höyük	9
Şekil 2.7: Bademağacı Höyük	10
Şekil 2.8: Alacahöyük	10
Şekil 2.9: Kültepe Höyüğü	11
Şekil 2.10: Hattuş	11
Şekil 2.11: Luksor Tapınağı	12
Şekil 2.12: Çin Seddi	12
Şekil 2.13: Djenne camisi	13
Şekil 2.14: Yemen Şibam	13
Şekil 2.15: Hamid Said evi 1942	14
Şekil 2.16: Yeni Gurna köyü 1948	15
Şekil 2.17: Garagos seramik fabrikası 1950	15
Şekil 2.18 Harran evleri	16
Şekil 2.19: Geleneksel Malatya Evi	16
Şekil 2.20: Geleneksel Amasya Evi	16
Şekil 2.21: Göbeklitepe Sosyal Tesisi	17
Şekil 2.22: Eğitim ve üretim merkezi	18
Şekil 2.23: Rauch evi	18
Şekil 2.24: Earth wind and fire evi	19
Şekil 2.25: Sister's evi	19
Şekil 2.26: Sister's evi	20
Şekil 2.27: Toprak bileşenlerinin analizi	21
Şekil 2.28: Kerpiç harcının hazırlanması	22
Şekil 2.29: Kerpiç blok yangın testi	23
Şekil 2.30: Geleneksel yöntemle kerpiç tuğla üretimi	26
Şekil 2.31: Manuel pres ile sıkıştırılmış kerpiç blok üretimi	27
Şekil 2.32: Tokmaklama yöntemi ile kerpiç yapı elemanı üretimi	28
Şekil 2.33: Sıkıştırılmış toprak yöntemi ile yapılan Tucson dağ dinlenme tesisi	29
Şekil 2.34: Püskürtme yöntemi ile kerpiç üretimi	30
Şekil 2.35: Yığma kerpiç yapı	31
Şekil 2.36: Yığma kerpiç yapı	31
Şekil 2.37: Geleneksel omurgalı kerpiç yapı	32
Şekil 2.38: Kerpiç dolgu için hazırlanmış yapı iskelet örnekleri	33
Şekil 2.39: Ahşap karkas sistem kerpiç yapı	33
Şekil 2.40: Ahşap hatıllı kerpiç dolgulu yapı	34
Şekil 2.41: Karma sistem kerpiç yapı örneği	35
Şekil 2.42: Toprak çuval yapı hazırlanışı	36
Şekil 2.43: Toprak çuval yapı	36

Şekil 3.1: Kerpiç yapılarda sıklıkla karşılaşılan hasar türleri	46
Şekil 3.2: Bir köşeye dikey örgü şeridinin yerleştirilmesi/köşelere çivilenmiş tel örgü şeritleri	47
Şekil 3.3: Bambu kayış ile kerpiç duvar güçlendirilmesi	47
Şekil 3.4: Kerpiç duvarların ağ tipi dış güçlendirmesi	48
Şekil 3.5: Pakistan'da halka açık gösteri programı	48
Şekil 3.6: (a); bambu örgü için temel bağlantı noktası, (b); jüt iplik örgü, (c); bambu şerit örgü	49
Şekil 3.7: Sıkıştırma testleri	50
Şekil 3.8: Kenevir lifli halatlarla güçlendirilmiş bir kerpiç duvar paneli	50
Şekil 3.9: Kenevir lifli halatlarla güçlendirilmiş kerpiç duvar paneli kuvvet testi	51
Şekil 3.10: Kerpiç duvar üzerine çelik ağ yerleşimi	51
Şekil 3.11: Çelik ağ yerleştirilen numune üzerine yapılan dayanım testleri	52
Şekil 3.12: Kerpiç duvar üzerine çelik yerleşimi	52
Şekil 3.13: İnce duvarlı çelik ile güçlendirilmiş duvarın dayanım testleri	53
Şekil 3.14: Sıkıştırılmış toprak duvarın yatay ve çapraz yönlerde güçlendirme şeması	53
Şekil 3.15: Laboratuvar test kurulumu	54
Şekil 3.16: Numunelerin donatı şemaları	54
Şekil 3.17: Numunenin yapım süreci	55
Şekil 3.18: Kalıp döküm mekanizması	57
Şekil 3.19: Ekstrüder makinesi ile üretilen toprak bloklar	58
Şekil 3.20: a-Hidrostatik pres makinesinin şematik gösterimi, b- Hidrolik şekillendirme sıkıştırmasından önce ve kurutulduktan sonra tuğla ürün	58
Şekil 3.21: 3d baskı ile tonoz prototipi üretimi	59
Şekil 3.22: Dijital kerpiç duvar prototipi (2018)	60
Şekil 3.23: 3D baskı ile oluşturulan duvar modeli	60
Şekil 3.24: Kuka robotik kolu ile katman yapım süreci	61
Şekil 3.25: Küreleme süreci ve tamamlanan büyük ölçekli prototip	62
Şekil 3.26: Roberta makinesi üretim süreci	63
Şekil 3.27: Formearth'ün prototipi ve tasarım konsepti	64
Şekil 3.28: Robotik sistem ve kayar kalıp ile sıkıştırılmış toprak üretimi	64
Şekil 3.29: Yapı kabuğu üzerine bio püskürtme yöntemi ile harç aktarımı	65
Şekil 3.30: Robotik kol ile püskürtme	65
Şekil 3.31 : Centinela Chapel	68
Şekil 3.32 : Mud House	69
Şekil 3.33: Kampala Konut Projesi	70
Şekil 3.34: Nido de Tierra Evi	71
Şekil 3.35: 21st Century Vernacular Evi	72
Şekil 3.36: Emine Teyze Evi	73
Şekil 3.37: Kilise projesi	74
Şekil 3.38: Kerpiç ev güçlendirilmesi	75
Şekil 3.39: Gaia proje	76
Şekil 3.40: Tecla proje	77
Şekil 3.41: Tova proje	78
Şekil 3.42: Terramia prototipi	79
Şekil 3.43: King Abdulaziz Dünya Kültür Merkezi	80
Şekil 3.44: Alnatura Arbeitswelt	81
Şekil 3.45: Erden Werkhalle	82
Şekil 4.1 : BKM Film Plastosu	93

Şekil 4.2 : BKM Film Plastosu	94
Şekil 4.3 : Parke Taşı Üretim Yeri	95
Şekil 4.4 : Viranşehir Projesi	96
Şekil 4.5: Beton mikseri ve püskürtme yöntemi ile kerpiç yapı yapımı	98
Şekil 4.6 : TÜBİTAK çalışması- İTÜ-Ayazağa	100
Şekil 4.7: Göbeklitepe Ziyaret Merkezi	107



TABLÖLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 2.1: Betonarme ve kerpiç konutlar için gerekli bazı malzemelerin enerji gereksinimleri ve karbondioksit salımları	24
Tablo 3.1: Lif madde katkısı ile kerpiç yapıların geliştirilmesi üzerinde yapılan yenilikçi çalışmalar.	38
Tablo 3.2: Bağlayıcı madde katkısı ile kerpiç yapıların geliştirilmesi üzerinde yapılan yenilikçi çalışmalar.	42
Tablo 3.3: Bağlayıcı ve lif katkılarının kerpiç özelliklerine etkileri.	44
Tablo 3.4: Geleneksel ve yenilikçi kerpiç üretim yöntemleri karşılaştırılması.	66
Tablo 3.5: Yapıların yenilikçi yaklaşımlar üzerinden değerlendirilmesi.	83
Tablo B.1: Görüşme Yapılan Uzman Bilgileri	129

1. GİRİŞ

İnsanlık tarih boyunca, bireyler kendileri ve çevreleri için korunaklı mekanlar aramıştır. Bu arayış, bazen doğal barınaklar olan mağaralara veya ağaç kovuklarına yönelmiş, bazen de çevresinde bulunan malzemeleri kullanarak barınma alanları oluşturulmuştur. Bu doğrultuda, en eski yapı malzemelerinden biri olan kerpiç, dayanıklı ve erişilebilir bir alternatif olarak kullanılmıştır [1].

Teknolojinin gelişmesi ile birlikte çeşitli yapı malzemeleri üretilmiş, ancak bu durum çevre kirliliğinin artmasına neden olmuştur. Bu yapı malzemelerinin birçok avantajı olduğu tartışılmaz olsa da sağlık, çevresel etkiler, psikolojik faktörler ve ekonomik maliyetler gibi unsurlar, enerji kaynaklarını koruma gerekliliği ve gelecek nesiller için yaşanılabilir bir dünya bırakma sorumluluğu, birçok ülkeyi üretiminde ve kullanımında daha az enerjiye ihtiyaç duyan yapı malzemelerine yönelmeye teşvik etmiştir [2],[1].

Doğadan elde edilen ve tarih boyunca kullanılmaya devam eden kerpiç, ekonomik olması, üretiminde tesis gerektirmemesi, kolay erişilebilirliği ve sürdürülebilir özellikleri nedeni ile yeniden ilgi odağı haline gelmiştir [3]. Yüksek ses yutuculuk kapasitesi ve ısı depolama yeteneği gibi özelliklerinin yanı sıra, ısı geçişlerini dengeleyerek kullanıcılar için konforlu bir iç mekân sağlaması da kerpiç malzemenin olumlu özelliklerindendir. Basınç dayanımının düşük olması ve suya karşı direncinin zayıf olması gibi sınırlamaları, kerpiç malzemenin kullanımını önemli ölçüde kısıtlayan olumsuz özellikler arasında yer almaktadır [4]. Bununla birlikte, malzeme olanaklarının yetersiz olduğu algısı, malzemeye duyulan güvensizlik ve malzemenin çağdaş yapı tasarımında yeterince bilinmemesi gibi faktörler, kerpiç yapıların hem kentsel hem de kırsal mimaride kullanımını azaltan unsurlar arasında yer almaktadır [5].

Tüm bu nedenlerden dolayı, Türkiye’de de 2018 yılında yürürlüğe giren Deprem Yönetmeliğinde, kerpicing taşıyıcı yapı malzemesi olarak kullanılması yasaklanmıştır. İlgili maddede “*boşluklu beton briketler, dolgu duvarları için üretilmiş diğer tuğlalar, kerpiç, moloz taşı, ponza taşı ve benzeri biçim verilmiş bloklar, hiçbir zaman taşıyıcı duvar malzemesi olarak kullanılmayacaktır*” ifadesi yer almaktadır [6].

Kerpiç, olumsuz özelliklerinden dolayı günümüzde kullanımı azalsa da, dünyanın birçok yerinde hala tercih edilmektedir. Tarihsel miras olarak günümüze ulaşan kerpiç yapılar olduğu gibi, modern ve çağdaş yapılar da bu malzeme kullanılarak inşa edilmeye devam etmektedir [1]. Bu bağlamda, son yıllarda kerpiç yapıların olumsuz yönlerinin geliştirilmesine yönelik çalışmalar hız kazanmakta ve çağdaş yapım yöntemleri ile malzemenin mimarideki potansiyelini artırmaya yönelik araştırmalar yapılmaktadır [7].

Bu çalışmada, geleneksel kerpiç malzemesine yönelik yenilikçi yaklaşımlar ele alınarak, kerpicing geliştirilme olanakları incelenmiştir. Bu bağlamda hem Türkiye’de hem de tüm dünya genelinde kerpiç malzemenin sürdürülebilirlik, dayanıklılık ve çağdaş mimari tasarım açısından yeniden nasıl değerlendirilebileceği incelenecektir.

1.1. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı, geleneksel bir yapı malzemesi olan kerpicing günümüz mimari ve yapı teknolojileri bağlamında geliştirilmesine yönelik yenilikçi yaklaşımları incelemektir. Kerpiç, sürdürülebilir ve düşük maliyetli bir malzeme olmasına rağmen, düşük basınç dayanımı ve suya karşı zayıf direnci gibi yapısal dezavantajlar nedeniyle modern inşaat sektöründe sınırlı bir kullanım alanına sahiptir. Bu doğrultuda, çalışma kapsamında kerpiç malzemenin özelliklerini iyileştirmeye yönelik çağdaş yöntemler, katkı maddeleri ile malzeme dayanımının artırılması, destek sistemler ile yapı stabilitesinin güçlendirilmesi ve yenilikçi üretim teknikleri ele alınmış, bu yaklaşımlar modern yapılar ile örneklendirilmiştir. Ayrıca hem Türkiye’de hem de uluslararası ölçekte kerpicing yeniden kullanım potansiyeli ve geliştirilme olanakları değerlendirilmektedir. Tez çalışması, kerpiç yapıların mimari uygulamalardaki rolünü analiz ederek, malzemenin modern inşaat sektöründe daha etkin bir şekilde kullanılmasına katkı sağlamayı hedeflemektedir.

1.2. Çalışmanın Kapsamı ve Yöntemi

Bu çalışma, geleneksel bir yapı malzemesi olan kerpicing geliştirilmesine yönelik yenilikçi yaklaşımları incelemeyi amaçlamaktadır. Bu doğrultuda, çalışmada hem

teorik hem de uygulamalı araştırma yöntemleri kullanılmıştır. Çalışma beş bölümden oluşmaktadır.

Birinci bölümde, literatür araştırmaları ile kerpiç yapı malzemesinin tarihsel gelişimi, yapım yöntemleri ve farklı kerpiç yapı çeşitleri ele alınmıştır. Kerpicing geleneksel yapı kültüründeki yeri ve kullanım biçimleri incelenmiştir. İkinci bölümde, kerpiç malzemeye yönelik yenilikçi yaklaşımlar; kerpiç malzemenin içeriğinin geliştirilmesi, destek sistemler ile kerpiç yapıların güçlendirilmesi ve kerpiç malzemenin yenilikçi sistemler ile üretim teknikleri olarak üç başlıkta incelenmiştir. Ardından incelenen yenilikçi yaklaşımlar, günümüzde yapılan modern kerpiç yapılar üzerinden örneklendirilmiştir. Bu kapsamda, çağdaş mimari tasarım anlayışıyla inşa edilen kerpiç yapılar analiz edilerek, malzemenin modern kullanımı üzerine çıkarımlar yapılmıştır.

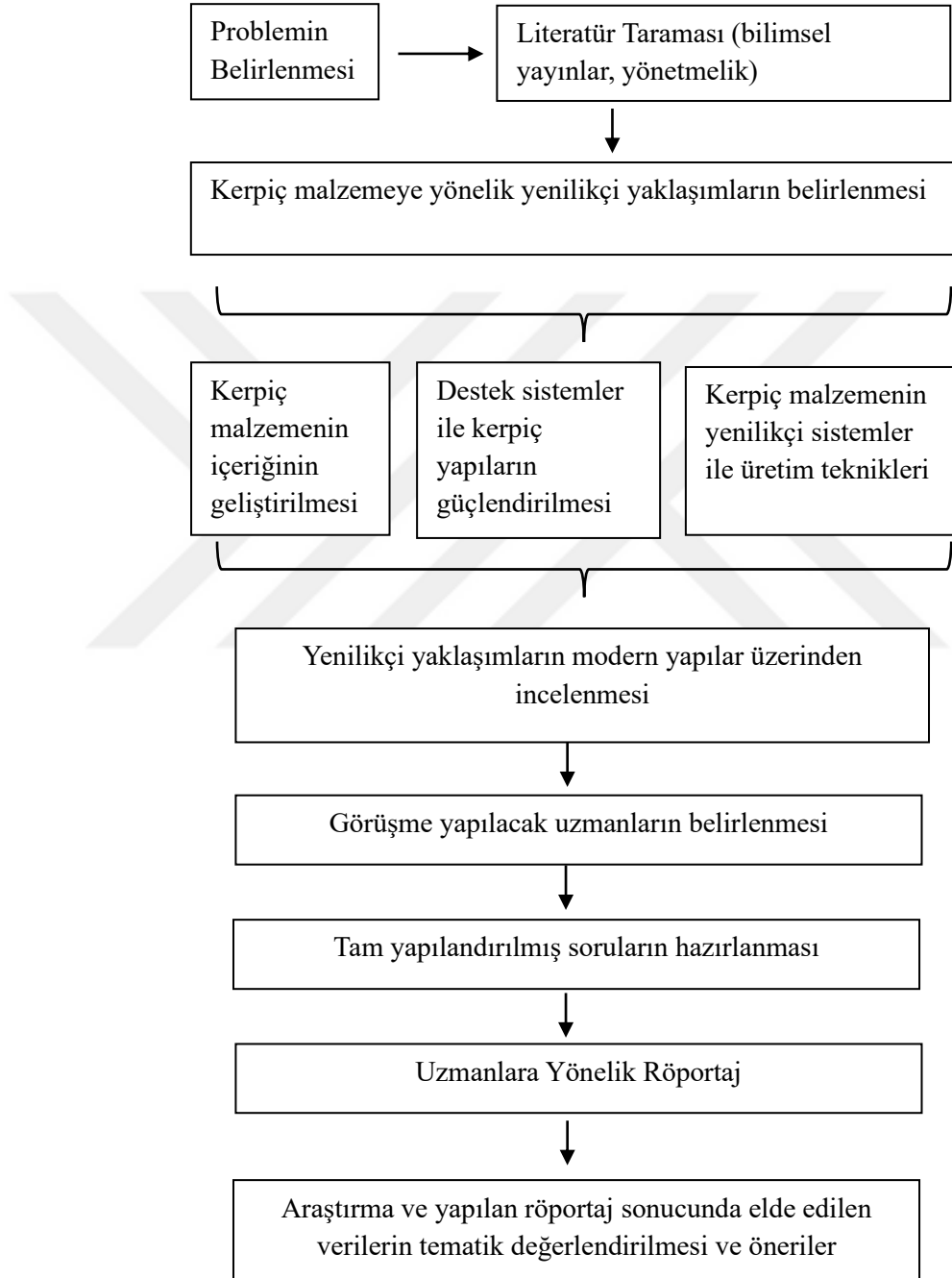
Bu bölümde, son 11 yıl içinde yapılan akademik çalışmalar, literatür taraması yöntemi ile incelenerek yenilikçi yaklaşımlara referans oluşturulmuştur.

Üçüncü bölümde, kerpiç malzemesinin kullanımının sınırlı kalmasının nedenleri ve bu malzemeye yönelik geliştirilen yenilikçi yaklaşımlar, alanında uzman beş kişiyle gerçekleştirilen röportajlar çerçevesinde ele alınmıştır. Dördüncü ve son bölümde araştırmanın genel değerlendirilmesi yapılmış, ulaşılan bulgular yorumlanarak sonuçlar sunulmuştur.

Bu çalışma kapsamında nitel araştırma yöntemi kullanılmış; literatür taraması, kerpiç malzemeye yönelik yenilikçi yaklaşımların betimsel analiz yoluyla çağdaş yapım teknikleriyle ilişkilendirilmesi ve uzman görüşmelerinin tematik değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir (**Şekil 1.1**). Uzman görüşmesi, önceden yapılandırılmış bir soru formu üzerinden gerçekleştirilmiş ve katılımcılara; kerpiç malzemenin kullanımını engelleyen faktörler, yenilikçi yaklaşımlar ve kerpicing kullanımının yaygınlaştırılmasına yönelik öneriler konu başlıkları altında toplam 11 soru sorulmuştur. Röportaj süreci için GTÜ İnsan Araştırmaları Etik Kurulundan etik uygunluk belgesi alınmıştır. Görüşmeler yüz yüze veya çevrimiçi platformlar aracılığıyla gerçekleştirilmiş, ortalama 1-2 saat süre içinde yapılmış ve tüm görüşmeler sesli olarak kaydedilmiştir. Görüşme kayıtları çalışmada tematik olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen kayıtlar yazıya dökülerek analiz sürecine dahil edilmiştir. Görüşme transkriptleri detaylı şekilde incelenerek, anlam birimleri belirlenmiştir. Bu anlam birimlerinden yola çıkılarak, katılımcıların düşüncelerinde

ortaklık gösteren ifadeler temalar altında gruplanmıştır. Her temada, ilgili sorular ve katılımcıların verdiği yanıtlar iletilmiş, ardından bölüm sonunda her temaya ait bulgular ayrıca değerlendirilmiştir.

Çalışmanın araştırma sürecine ilişkin yol haritası **Şekil 1.1** de sunulmaktadır.



Şekil.1.1. Tezin yol haritası.

2. TOPRAK ESASLI YAPI MALZEMELERİ

Toprak, hava, su, organik maddeler ve mikroorganizmaları bünyesinde barındıran, canlı yaşamını mümkün kılan bir doğal kaynaktır. İnsanlık tarihi boyunca, toprak, insanların tarım yapıp barınaklarını inşa ettikleri bir yer ve canlıların hayatta kalabilmesi için gerekli bir alandır. Aynı zamanda, kültürel mirasın korunması ve gelecek nesillere aktarılması açısından da büyük bir öneme sahiptir. İnsanlar tarihsel süreç boyunca, doğanın sunduğu imkanlardan faydalanarak daha iyi yaşam koşulları oluşturmak için mücadele vermiş, doğal tehlikelere karşı korunabilmek adına genellikle verimli ve sulak alanlarda yaşamayı tercih etmiştir [8].

İlk dönemlerde yalnızca barınma ihtiyacını karşılamak amacıyla inşa edilen toprak yapılar, zamanla konut formuna dönüşerek insanın toprakla olan bağıını geliştirmiştir. Bu yapılar, toplumun her kesiminin ihtiyaçlarını en az enerji tüketimiyle ve çevreyi kirletmeden karşılayarak, insan- doğa ilişkisini uyumlu bir şekilde sürdürmeye olanak tanımaktadır. Toprak yapılar, bireylerin doğayı daha anlamlı bir şekilde deneyimlemelerine ve doğayla bütünleşmelerine katkıda bulunmaktadır. Ancak, sanayileşme süreci, teknolojik gelişmeler ve artan nüfus ile birlikte farklı yapı malzemelerinin keşfedilmesi, insanın toprakla olan ilişkisini zayıflatmıştır. Buna rağmen, toprak, günümüzde hem fiziksel hem de ruhsal sağlık açısından değerini koruyan önemli bir yapı malzemesi olma özelliğini sürdürmektedir [3].

2.1. Kerpicing Tarihsel Gelişimi ve Kullanımı

İnsanlar, tarih boyunca doğada bulunan toprak, ahşap ve taş gibi malzemelerden yararlanarak yaşamlarını sürdürebilmek için barınaklar inşa etmişlerdir. Yerleşik yaşamın ilk dönemlerinde, taş ve ahşap gibi malzemelerin bulunmadığı bölgelerde ve günümüzde kullanılan betonarme gibi sistemlerden çok daha önce, toprak esaslı yapı malzemeleri farklı medeniyetler tarafından yaygın olarak kullanılmıştır [9]. Bu nedenle, günümüze ulaşan birçok tarihi kerpiç yapı bulunmaktadır [10]. Kerpiç, en çok dünya genelinde özellikle Anadolu, Orta ve Güney Amerika, Orta Asya ve Afrika'da gibi bölgelerde kullanılmaktadır [11]. Arkeolojik bulgular, kerpicing yaklaşık 12.000 ile 10.000 yıl önce icat edildiğini, kalıplı kerpiç üretiminin yaklaşık 7.000 yıl önce Mezopotamya'da geliştiğini göstermektedir [3]. Tarihsel süreçte kerpiç; saraylar,

tapınaklar gibi anıtsal yapılar, mezarlar, kamu yapıları ve konutlarda yapı malzemesi olarak tercih edilmiştir. Ayrıca, M. Ö 6.yy. da Avrupa kıtasında, özellikle Almanya’da, kerpiç kullanımına dair bulgular tespit edilmiştir.

Anadolu’daki ilk yerleşim ise, M.Ö.8500 yılı civarında, kalabalık olmayan bir grup tarafından Melendiz nehri kıyısında, Aksaray il merkezinin 25 km güneyinde bulunan alanda Aşıklı Höyük’te kurulmuştur (Şekil 2.1).



Şekil 2.1: Aksaray /Aşıklı Höyük [12].

Bu dönemde insanlar, barınma ihtiyacını karşılamak için yarısı toprak üzerinde yarısı toprak altında kalan oval biçimli yapılarda yaşamaya başlamışlardır. Ortalama dört metre çapındaki bu yapılar, toprağa açılan çukurun içine kerpiç bloklarının üst üste yerleştirilmesi ile yapılmıştır. Kerpiç blokların bazılarının farklı boyutta olduğu ve güneşte kurutulduğu, bazılarının ise hafif nemli halde duvara yerleştirilerek son halinin duvardayken verildiğine dair izlere rastlanmıştır [13].

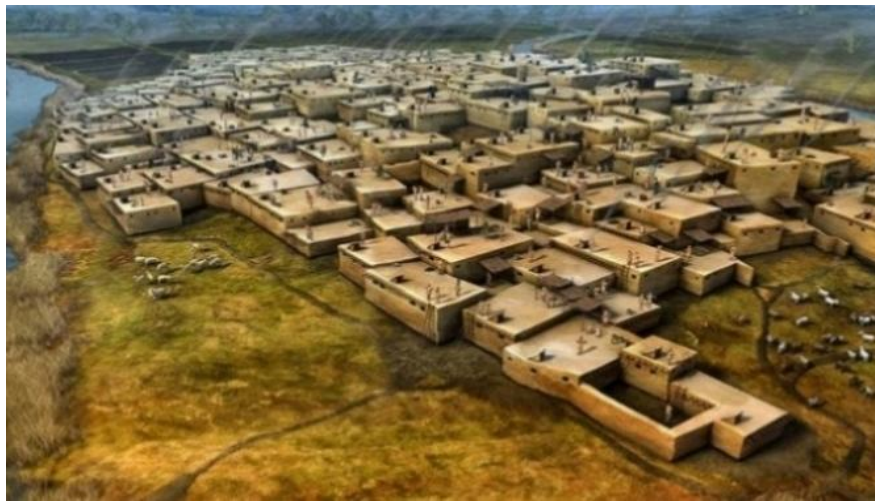
M.Ö 8500 yıllarda Diyarbakır’daki Çayönü yerleşmesinde de kerpiç yapılar kullanılmıştır (Şekil 2.2) [14].



Şekil 2.2: Diyarbakır / Çayönü [15].

Çayönü’nde yapılan arkeolojik kazılarda, sazlarla örülmüş yapılar, ızgara planlı yapılar, kanallı yapılar, taş döşemeli yapılar, hücre planlı yapılar ve geniş odalı yapılar olmak üzere altı farklı yapı planı tespit edilmiştir. Özellikle, kanallı yapılar evresinde, taş bloklar üzerine kerpiçten yapılan yapıların varlığı dikkat çekmektedir ve bu yapılar içlerinden geçen dar kanallarla platformlar üzerine yerleştirilmiştir [16].

Yaklaşık M.Ö.7200 yıllarında, Konya yakınlarında alanda taş bulunmadığı için kerpiç bloklar ve ahşap kullanılarak Çatalhöyük yerleşimi inşa edilmiştir.



Şekil 2.3: Çatalhöyük [17].



Şekil 2.4: Çatalhöyük evi [17].

Ahşap elemanlar çatıyı desteklemesi için kullanılırken, kerpiç bloklar yapının yük taşıyan dış duvarı olarak kullanılmıştır. Düz formda yapılan çatılar, yağmura karşı korunabilmek için saz ve ot üstüne toprak tabakası ile kaplanarak inşa edilmiştir. Evlere girişler çatılardan yapılmış ve bu nedenle yapılar, petek gibi birbirine değerek yerleştirilmiştir [3]. Aşıklı Höyük'te olduğu gibi, Çatalhöyük'te de yerleşimin ilk zamanlarında uzun kerpiç duvarların kullanıldığı görülmüştür. Kerpiçlerin uzun olmaları, yerinde dökme kerpiç yapıldığı ihtimalini düşündürmektedir. Kerpiç boyutlarının yerleşimin daha geç evrelerinde küçüldüğü görülmüştür [18].

M.Ö. 7. yy.'da 90 m yüksekliğinde insanlığın ilk gökdeleni olarak adlandırılan Babil Kulesi kerpiçten ve katran harcından inşa edilmiştir. Yapıda kullanılan kerpiç harcına asfalt katılarak suya dayanıklı bir kerpiç elde edilmiştir [3].



Şekil 2.5: Babil Kulesi görselleştirilmesi [19].

M.Ö. 6.000 yılında Bursa'daki Aktopraklık Höyük'te yerleşim alanında başlangıçta dairesel yapılar yer alırken, ilerleyen süreçte dikdörtgen planlı kerpiç kulubeler ortaya çıkmıştır. Aynı dönemde, Burdur'daki Hacılar Höyük'te Neolitik dönemin erken evrelerinde, taş temel üzerine inşa edilen kerpiç duvarlar ile açık avlulu yapılar yapılmıştır. Geç Neolitik dönemde ise, taş temeller yerine doğrudan toprağa oturan ve avlu etrafında tamamen kerpiçten inşaa edilmiş yapılar yapılmıştır [18]. Bu durum, yapı tekniklerinde zamana bağlı olarak gerçekleşen değişimleri ve kerpicingin temel yapı malzemesi olarak kullanımının sürekliliğini göstermektedir.



Şekil 2.5: Aktopraklık Höyük [20].



Şekil 2.6: Hacılar Höyük [21].

Antalya il sınırları içinde bulunan Bademağacı Höyük'te, erken evrelerde kerpiç kullanılmaya başlanmıştır. Yaklaşık M.Ö 6500 yıllarında, düz ve dış bükey kerpiç duvarların, dini işleve sahip yapılarda kullanıldığı görülmüştür. Bu dönem, 'Tapınak Dönemi' olarak adlandırılmıştır[18].



Şekil 2.7: Bademağacı Höyük [22].

MÖ 4000–3000 yıllarında, Çorum Alacahöyük'te düz toprak çatılı ve kerpiç duvarlı küçük yerleşim bulunmuştur. Kayseri Kültepe'de ise MÖ 3000- 2000 yıllarında, ahşap hatıllı taş temeller üzerine yapılmış kerpiç evler ortaya çıkmıştır [9].



Şekil 2.8: Alacahöyük [23].



Şekil 2.9: Kültepe Höyüğü [24].

Orta Tunç Çağı'nda (MÖ 1900–1400), Anadolu'da ilk imparatorluk olan Hititlerin başkenti Hattuşaş'ta yapılar ahşap ve kerpiç kullanılarak inşa edilmiştir [18].



Şekil 2.10: Hattuşaş [25].

M.Ö.1400 yıllarında, Eski Mısır'da II.Ramses'in Luksor'daki “Ölüer Tapınağı'nın” girişinde yer alan tonozlar, kerpiç kullanılarak inşa edilmiştir. Bu yapılar, günümüze kadar korunarak ulaşmıştır [26].



Şekil 2.11: Luksor Tapınağı [27].

Çin İmparatorluğu'nun askeri savunma projesi olarak inşa edilen ve günümüzde hala varlığını sürdüren Çin Seddi, M.Ö. 3. yüzyıldan M.S. 17. yüzyıla kadar devam eden uzun bir süreçte yapılmıştır. Toplam uzunluğu yaklaşık 20.000 km. olan bu yapı, farklı coğrafi koşullara uyum sağlayacak şekilde çeşitli malzemeler kullanılarak inşa edilmiştir. Çin seddinin inşasında kullanılan temel duvar malzemeleri; taş, tuğla, kayalık, sıkıştırılmış toprak ve kerpiç bloklardır [28].



Şekil 2.12: Çin Seddi [29].

M.Ö olduğu gibi yakın zamanda ve günümüzde de yapılan ve kullanımına devam eden kerpiç yapılar bulunmaktadır. Yaklaşık 14.yüzyılda yapılan Mali'deki Djenne Camisi kerpiçten yapılmıştır ve dünyanın en büyük kerpiç yapı eseri olarak adlandırılmıştır. Yapı, geleneksel yağ ve Djenne toprağının karışımı ile inşa edilmiştir [3].



Şekil 2.13: Djenne camisi [30].

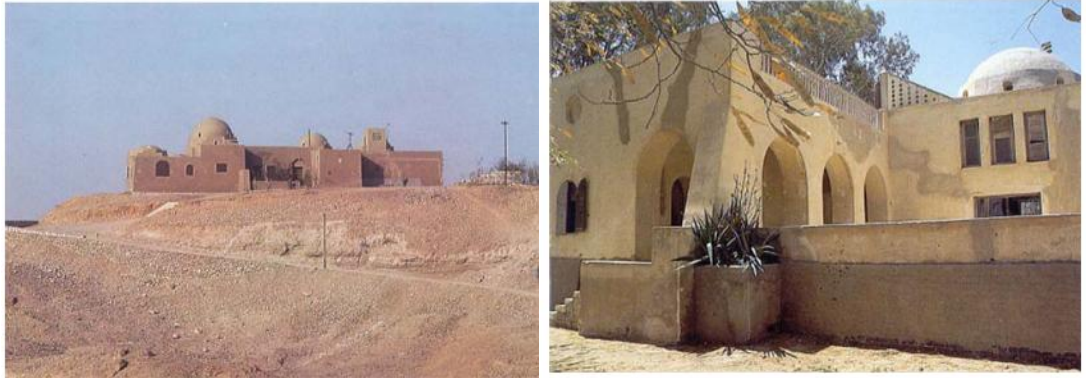
Yemen'in güneyindeki tarihi Şibam şehri yaklaşık 15.yy. da tamamen kerpiçten inşa edilmiştir [3]. Diğer bölgelerde görülmeyen çok katlı kerpiç yapılar Yemen'de bulunmaktadır. Bu bölgede dokuz katlı bir kerpiç yapının yapıldığı görünmektedir [31].



Şekil 2.14: Yemen Şibam [32].

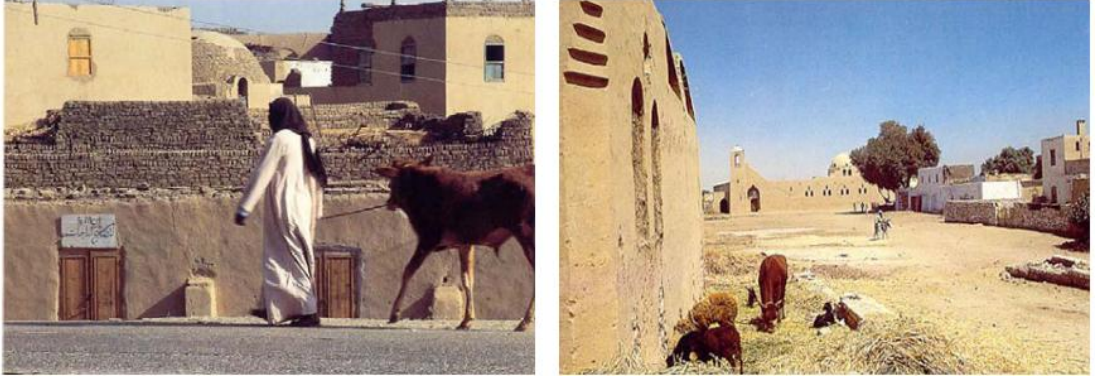
20.yüzyıl Mısır mimarlığının öne çıkan isimlerinden biri olan Hassan Fathy, tasarımlarında yerel malzeme kullanımına, iklimle uyuma ve kültürel bağlamın korunmasına öncelik vermiştir. Kerpici yalnızca geleneksel bir malzeme olarak değil, aynı zamanda mimari kimliğin ve yaşam kültürünün bir parçası olarak değerlendirmiştir. Bu yaklaşımla kerpiç, Fathy'nin mimarisinde çağdaş bir teknik olarak ele alınmış ve uygulanmıştır. Malzeme seçimindeki bu bilinçli tercih sayesinde Fathy'nin ismi bu malzeme ile özdeşleşmiştir. Kerpiç, Fathy'nin projelerinde hem Mısır'ın sıcak ve kuru iklimine uygunluğu hem de ekonomik ve çevresel açıdan sunduğu avantajları nedeniyle önemli bir yer tutmaktadır. Fathy'nin kerpiç malzemeyi kullanma yaklaşımını yansıtan çok sayıda yapı örneği bulunmaktadır. Aşağıda, bu anlayışını somutlaştıran bazı önemli yapı örneklerine yer verilecektir. [33].

Hassan Fathy, ilk kerpiç yapı deneyimi olan Hamid Said Evi ile başladığı mimari yaklaşımını, zamanla İslam ve Mısır mimarisi ile kendi yorumlarını harmanlayarak geliştirmiştir. Bu süreçte yalnızca kubbe ve tonoz gibi geleneksel yapı öğeleriyle yetinmemiş, aynı zamanda durkaa, kaa, iwan, malgaf, avlu gibi yerel mimariye özgü mekânsal unsurları da tasarımlarına dahil etmiştir [34].



Şekil 2.15: Hamid Said evi 1942 [33].

Fathy, projeleriyle geniş çevrelerin dikkatini üzerine çekmiş ve farklı kesimlerden tasarım teklifleri almaya başlamıştır. Bunlar arasında, Mısır Devleti'nin Eski Eserler Bölümü tarafından talep edilen Yeni Gurna Köyü tasarımı da yer almaktadır. Yeni Gurna Köyü, dört ana bölgeden oluşan ve merkezinde cami, han, tiyatro gibi yapıların bulunduğu bir plan doğrultusunda tasarlanmıştır. Fathy, ev planlarını yerel mimari öğelerle çeşitlendirerek, Mısır geleneksel mimarisinin esnekliğini göstermiştir [34].



Şekil 2.16: Yeni Gurna köyü 1948[33].

Hasan Fathy, Yeni Gurna Köyü'nün ardından birçok toplum odaklı projeye imza atmıştır. 1950'de tasarladığı Garagos Seramik Fabrikası da bu dönemdeki önemli projelerindendir. Cizvit tarikatı, Mısır'ın tarım toplumuna iş imkânları sağlamak için Garagos'ta bir seramik fabrikası kurmaya karar vermiş ve Fathy'den düşük maliyetli bir tasarım istemiştir. Fathy, bu projede de yerel malzeme ve teknikleri kullanarak taşıyıcı sistemi kerpiç yığma olan bir yapı tasarlamıştır. Ayrıca yer yer pişmiş tuğla kullanılmıştır [34].



Şekil 2.17: Garagos seramik fabrikası 1950 [34].

Benzer şekilde, Türkiye'de de kerpiç malzeme geleneksel olarak farklı coğrafyalarda yaygın şekilde kullanılmıştır. Türkiye'de çoğunlukla Güneydoğu, Orta, Doğu Anadolu yörelerinde kerpiç yapılar bulunmaktadır [9]. Urfa'da bulunan Harran evlerinin duvarlarında 40-50 santimetre kalınlığında kerpiç malzeme kullanılırken, kubbe kısmı taş malzemeden yapılmıştır. Yapının yüksekliği iç kısımdan itibaren beş metreye kadar

ulaşabilmektedir. Evlerin sayıları ikiden altıya kadar ulaşabilir. Evlerin i tarafı birbirlerine kemerler aracı ile baēlanarak daha geniş mekanlar ile farklı kullanım olanaklarına imkân saēlar [35].



Şekil 2.18 Harran evleri [36].

Malatya ve çevresindeki köylerde taş temel üzerine kerpiç kullanımı görülebilmektedir [37]. Genellikle iki katlı olarak tasarlanan geleneksel Amasya evlerinde ise yapı malzemesi olarak taş, kerpiç ve ahşap malzeme kullanılmıştır. Kerpiç bu evlerde ahşap karkas arasında dolgu malzemesi olarak kullanılmıştır [38].



Şekil 2.19: Geleneksel Malatya Evi [39]. Şekil 2.20: Geleneksel Amasya Evi [40].

Kerpiçin tarihçesine bakıldıēında kullanım alanlarına dair verilebilecek birçok örnek bulunmaktadır. Fakat günümüze gelen kerpiç mimarilerinin oēu, iklimsel nedenler,

kültürel bilinçsizlik, doğal afetler ve yetkili makamların yeteri kadar önem vermemesinden kaynaklı tahrip olmuştur [37].

Değişen ekonomik koşullar, çevre problemleri ve ekonomik krizler nedeni ile dünyada sürdürülebilir malzeme arayışı artmış ve kerpiç yapı malzemesinin mimaride yeniden kullanılması üzerine yoğunlaşmıştır. Kerpiç malzemesi geliştirilerek çağdaş yapılarda da kullanılabilir [11].

Dairesel olarak tasarlanan Göbeklitepe Sosyal Tesisleri, çağdaş yapım tekniği kullanılarak sıkıştırılmış toprak ile 2018 yılında üretilmiştir. Elâzığ'daki Anadolu Meleği Kadın Eğitim ve Üretim Merkezi ise çelik kalıplar kullanılarak kerpiç malzeme ile düzgün duvarlar elde edilerek yapılmıştır [7].



Şekil 2.21: Göbeklitepe Sosyal Tesisi [40].



Şekil 2.22: Eğitim ve üretim merkezi [41].

2008 yılında Rauch evi Avustralya'nın Voralberg bölgesinde sıkıştırılmış toprak tekniği ile yapılmıştır [42].



Şekil 2.23: Rauch evi [43].

Benzer şekilde Avustralya'da sıkıştırılmış toprak kullanılarak Earth Wind and Fire evi 2018 yılında yapılmıştır [44].



Şekil 2.24: Earth wind and fire evi [44].

Vietnam’da 2019 yılında Sister’s Evi yapısı yerel malzeme ve modern teknoloji kullanılarak yapılmıştır. Yapı betonarme temel ve sütunlar, kerpiç tuğla duvarlar, hafif çelik kirişlerden oluşmaktadır [45].



Şekil 2.25: Sister’s evi [45].



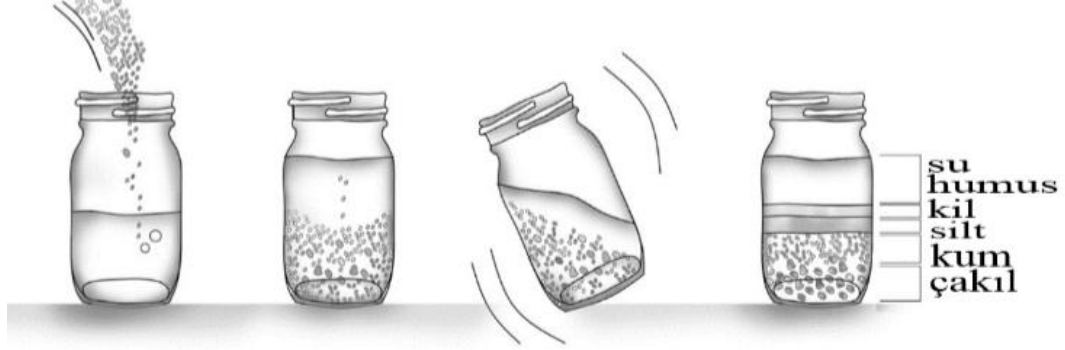
Şekil 2.26: Sister's evi [45].

2.2. Geleneksel Kerpiç ve İçeriği

Kerpiç, killi ve uygun özelliklere sahip toprakların suyla karıştırılmasıyla elde edilen, genellikle saman gibi lifli malzemelerin eklendiği geleneksel bir yapı malzemesidir. Kerpiç harcının hazırlanma oranları ve şekli, kullanılacak yapının türüne ve bölgesel toprak özelliklerine göre değişiklik gösterebilmektedir [46].

Kerpiç yapımında kullanılacak toprağın içeriğinin analiz edilmesi, malzemenin dayanıklılığı ve yapısal bütünlüğü açısından önemlidir. Bu analiz, laboratuvar ortamında profesyonel yöntemlerle yapılabileceği gibi, basit bir sedimentasyon deneyi ile de ölçülebilmektedir. Bu yöntemde, uygun ölçülerde bir kavanozun karıştırmaya da müsaade edecek şekilde yarısı su ile diğer yarısı da toprak ile doldurulur. Oluşan karışım iyice karıştırıldıktan sonra bir gün dinlenmeye bırakılır. Bir gün sonra, toprak bileşenlerinin yoğunluğuna bağlı olarak karışımdaki bileşenlerin hafiften ağıra doğru katmanlar halinde ayrıştığı görülecektir. Bu katmanlardaki her bir bileşenin yüksekliği, toplam toprak karışım yüksekliği ile oranlanarak topraktaki bileşenlerin yüzdesi hesaplanabilir. Örneğin, 10 cm yüksekliğinde bir karışımın 4 cm'lik kısmı kil ise, bu oran %40 olarak hesaplanır. Genellikle, kerpiç için uygun kil oranının %25-

%30 aralığında olması önerilmektedir. Eğer kil oranı yüksekse, karışıma belirli miktarda kum eklemesi yapılarak ideal denge sağlanabilir [47].



Şekil 2.27: Toprak bileşenlerinin analizi [47].

2.3. Kerpicingin Hazırlanması

Kerpiç çamuru hazırlamak için uygun toprak seçildikten sonra toprağa kum veya kil eklenebilir. Toprağın kıvamı, su miktarıyla ayarlanmaktadır. Harca fazla su eklemek kerpicingin dayanımını ve kuruma sürecini olumsuz etkileyebilmektedir. Oluşturulan doğru kıvam kerpicingin dayanıklılığını artırırken, kuruma sırasında oluşabilecek çatlama ve büzülme azaltır [9]. Hazırlanan harç kalıba yerleştirilmeden önce 12-40 saat fermantasyona bırakılır. Bu süreçte, saman ve toprak arasındaki kimyasal reaksiyonlar güçlenir. Harç, laktik asidin etkisini artırmak için aralıklı olarak karıştırılır ve karıştırma işleminin güneş battıktan sonra yapılması önerilmektedir. Daha sonra varsa eklenecek katkı maddeleri su ile karıştırıldıktan sonra dinlendirilmiş çamur ile iyice karıştırılır ve hazırlanan çamur kalıba dökülerek şekillendirilir [1].



Şekil 2.28: Kerpiç harcının hazırlanması/ a-toprağın elenmesi /b-c-toprak çamurunun hazırlanması/ d- harcın karıştırılması/ e-harcın dinlendirilmesi / e-hazırlanan harç [48].

Kerpiçin kurutma aşaması oldukça önemlidir. İçeriğindeki su, malzeme dayanımını olumsuz etkilemektedir. Hızlı kurutma çatlak ve yarılmalara yol açarak, kerpiçin basınç ve suya karşı dayanıklılığını düşürmektedir. Bu nedenle numuneler doğrudan güneşte kurutulmamalı ve rüzgârdan korunmalıdır. Kurutma işlemi yavaş ve serin bir ortamda yapılmalı ve numuneler nemlendirilerek eşit şekilde kurumaları sağlanmalıdır [14].

2.3. Kerpiçin Avantajları ve Sınırlılıkları

Kerpiç, günümüz konfor gereksinimlerini karşılayabilen, modern yapı teknolojilerinin entegrasyonuna olanak tanıyan ve sahip olduğu dezavantajlarının giderilmesi için çeşitli araştırmaların yürütüldüğü bir yapı malzemesidir [9].

Kerpiç malzemenin olumlu özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Kerpiç, harcının gözenekli yapısı sayesinde havadaki nemi emerek iç mekânın ısı ve nem seviyelerini dengeleyip sağlıklı, temiz ve nefes alan bir atmosfer oluşturulmasını sağlar [18].
- İçine eklenen katkı maddeleri sayesinde ek bir ısı yalıtım malzemesi kullanmadan ısı yalıtımı yapar. Bu özellik, kışın soğuk havayı içeri almayarak ortamı sıcak tutmayı, yazın ise sıcak havayı dışarıda tutarak iç mekânı serin tutmayı sağlar [26]. Ayrıca, sudan sonra en etkili enerji depolama

malzemelerinden biri olan kerpiç, yapıda duvarlarla bir kabuk meydana getirir. Isıtma kapatıldığında bile depoladığı ısıyı uzun süre boyunca serbest bırakarak ortamın sıcaklığını dengelemeye yardımcı olur [3].

- Üstün akustik özelliklere sahiptir. Toprak hem ses yansımalarını dengeler hem de sesi dışarıdan veya odalar arası engelleyerek iç mekânın daha sakin ve sessiz olmasını sağlar [3].
- Kerpiğin ana malzemesi topraktır, bu nedenle her yerde uygun koşullar sağlandığında fazla teknik bilgiye sahip olunmadan bile basit aletler ve yöresel imkanlar ile çok kolay üretilebilir [9].
- Kerpiç yapı yapılan bölgede, yapının temel kazısı sırasında çıkarılan toprak kerpiç üretiminde kullanılabilir. Bu şekilde hem toprak değerlendirilmiş olur hem de başka yerden getirilen toprak için taşıma masrafı verilmeyeceğinden yapı ekonomisine katkıda bulunur [31].
- Üretim maliyeti düşüktür ve üretimi için tesis gerekmez [11].
- Yangına karşı dayanımı yüksektir. Geçmişten günümüze ulaşan ve yangın geçiren bazı yapılarda, yangının ahşap kısımlarını yok ettiği ama kerpiç kısımların korunduğu görülmektedir [26]. Avusturya'da gerçekleştirilen bir yangın testinde, 30 cm kalınlığındaki dövme kerpiç duvarın tam 240 dakika boyunca yapısal bütünlüğünü muhafaza ettiği gözlemlenmiştir. Aşağıda toprak döşemeye uygulanan yangın testi gösterilmiştir (Şekil 2.32) [11].



Şekil 2.29: Kerpiç blok yangın testi [11].

- Kerpiç, yerel malzeme ve yerel iş gücünün kullanımı, atık yönetimi ve geri dönüşüm gibi sürdürülebilirlik ilkelerini içeren bir yapı malzemesidir. Geri dönüştürülebilir yapısı ve tekrar kullanım imkânı sayesinde kerpiç, özellikle ekonomik sürdürülebilirlik açısından uygun bir tercihtir. Ayrıca, doğaya minimum zarar veren bir malzeme olarak, yapısal kullanım ömrü süresince çok düşük karbon salınımı gerçekleştirir [42].
- Kerpiç, üretim, kullanım ve tüketim aşamalarında enerji tüketimini en aza indiren yapı malzemesidir. Örnek olarak, 1m³ beton üretimi için 300-500 kWh enerji gerekirken, aynı miktarda kerpiç üretmek için harcanan enerji bunun %1'ine tekabül eder [11]. Bu konu hakkında yapılan bir çalışmada aynı net alana sahip kerpiç ve betonarme konut üretimi için gerekli olan malzemeler hesaplanarak konutların enerji tüketimleri hesaplanmıştır. Çalışmada betonarme bina üretimi için gerekli enerji miktarı ve bu süreçte atmosfere salınan CO₂ miktarı, kerpiç yapı için gereken enerji ve salınan CO₂ miktarının yaklaşık 13 katı olduğu tespit edilmiştir. Çalışmanın sonucunda kerpiç yapıların üretimi sırasında kullanılan malzemelerin enerji ihtiyacı ve sera gazı salınımlarının betonarme yapılara oranla çok daha düşük seviyelere sahip olduğu gözlemlenmiştir (Tablo 2.1) [49].

Tablo 2.1: Betonarme ve kerpiç konutlar için gerekli bazı malzemelerin enerji gereksinimleri ve karbondioksit salımları [49].

Sıra No	Malzemenin Adı	Malzemenin Miktarı	Mal. Üre Gerek. Ene. Mik. (KWh)	Atmosfere Salınan CO2 Miktarı (kg)
1	Beton için çimento	105.00 x 0.38=39.9 m ³ 39.9 x 300=11.970	11.970 x 1100 =13 167	13 167x0.45=5925
2	Beton çeliği	105.00 x 0.034=3.570	3.570 x 7000 =24990	24990x0.45=11245
3	Tuğla	105.00 x 0.15=15.75 m ³ x 600=9.450	9.450 x 565 =5339	5339x0.45=2402
4	Tuğla duvar harcı için çimento	15.75 m ³ x 25.2 kg 0.397	0.397x1100=436	436x0.45=196
5	Sıva harcı için çimento	12.075 m ³ x 300 kg=3.622	3.622 x 1100=3984	3984x 0.45=1793
6	Taş duvar için çimento	43.38 m ³ x 68kg=2.950	2.950x1100=3245	3245x0.45=1460
7	Kerpiç	75 m ³	75 x 3.4=255	247.5x0.45=115
8	Toplam emisyon miktarları	Betonarme Bina (Bürüt: 105.00m²) (Net:94 m²)	47916	21 561kg
		Kerpiç yığma (Bürüt:116m²) (Net:94m²)	3500	1575 kg

- Elastik ve yumuşak yapısı sayesinde özellikle kalıplarla kullanıldığında yapı formunda büyük bir tasarım esnekliği sunar [3].

Kerpiç malzemenin sınırlılıkları aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Basınç dayanımı düşüktür.
- Suya karşı duyarlılığı fazladır [18].
- Kerpiç yapı düzenli olarak bakım ve onarım istemektedir.
- Yapı kururken gerilme ve çatlamaya bağlı olarak dağılma gösterebilir.
- Özellikle geleneksel teknikler ile yapılan süreçlerde, yapı üretimi hava koşullarına bağlıdır. Bu nedenle mevsimsel kısıtlamaları vardır. Yağışlı havalarda kerpiç üretimi yapılamamaktadır [9].
- Birim hacim ağırlığı yüksektir [11].

Yapım malzemesi olarak kerpicin tekrar kullanımının yaygınlaşması ve kerpicin olumsuz özelliklerinin yönlerinin iyileştirilmesi üzerine literatürde çeşitli çalışmalar bulunmaktadır.

2.4. Kerpiç Üretim Yöntemleri

Kerpiç malzeme, geleneksel yöntemle tuğla veya blok formunda üretilmekte olup, sıkıştırılmış toprak bloklar, tokmaktama ve presleme yöntemleri kullanılarak şekillendirilmektedir.

2.4.1. Geleneksel Yöntemle Kerpiç Tuğla veya Blok Üretimi

Türkiye’de yaygın olarak kullanılan bu sistemde kerpiç tuğlaları üretmek için ahşap kalıplar kullanılmaktadır. Hazırlanan kerpiç harcı nemli kalıba sıkıca yerleştirilmektedir. Harç kalıba yerleştirildikten sonra kalıp kaldırılarak tuğlalar kurutma alanına taşınmaktadır. Kuruma sürecinde çatlama ve bozulmaları önlemek için tuğlalar, ot, saman veya sazla örtülüp üzerine hafif kum serpilmektedir. Üstü kuruyan kerpiç, alt tabakasının da kuruması için belli bir süre sonra ters çevrilmektedir. Bu şekilde, alt kısmının da kuruyup sertleşmesi sağlanmaktadır. Daha sonra tuğlalar dikine yerleştirilmekte ve bir süre de bu şekilde bekletilmektedir. Kuruyan tuğlalar

toplanarak yağmurdan zarar görmesini de engellemek için depolama alanına yerleştirilmektedir [50].



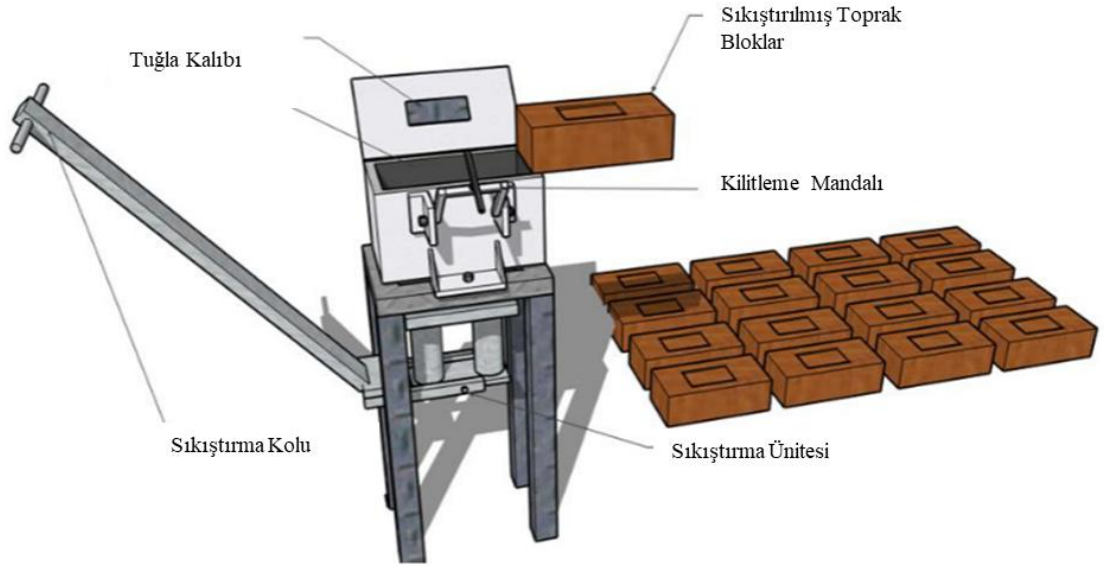
Şekil 2.30: Geleneksel yöntemle kerpiç tuğla üretimi [51].

Türkiye'de yaygın olarak kullanılan kerpiç kalıplar, iki büyük ve iki küçük bölümden oluşur. Daha büyük olan kalıba "ana", küçük olana ise "kuzu" denir. Ana kalıbın uzunluğu 30-35 cm, genişliği 30-35 cm, yüksekliği ise 10-12 cm'dir. Kuzu kalıbının uzunluğu 30-35 cm, genişliği 15-17 cm, yüksekliği ise 10-12 cm'dir [1]. Hazırlanan kerpiç bloklar, üst üste ve yan yana dizilerek yapı elemanları oluşturulur. Bu bloklar yığma yapı tekniği veya karma sistem duvar örgüsünde kullanılmaktadır [3].

2.4.2. Geleneksel Sıkıştırılmış (Pres) Toprak Bloklar

Sıkıştırılmış toprak bloklar elle kalıplanan kerpiç blokların modern bir versiyonudur ve yaklaşık 9000 yıllık kerpiç bloklarla karşılaştırıldığında daha yeni sayılabilecek bir yapı malzemesidir. 18. yüzyılda Avrupa'da ahşap presler kullanılarak toprak blok üretimi yaygınlaşmıştır.

Sıkıştırılmış toprak blok üretimi süreci toprak karışımının hazırlanmasından başlayarak, karışımın kalıba yerleştirilmesi, sıkıştırılması, kalıptan çıkarılması ve kürlenmesi aşamalarını içerir. Karışım, su ile homojen bir şekilde karıştırılır ve ardından kalıba dökülür. Belirli bir mekanik kuvvetle sıkıştırma işlemi yapılır (manuel pres) ve sıkıştırmadan sonra 15 dakika içinde bloklar kalıptan çıkarılır. Çıkarılan bloklar, kürlenerek dayanıklılık kazanır ve inşaatla kullanılmak üzere hazır hale gelir [52].



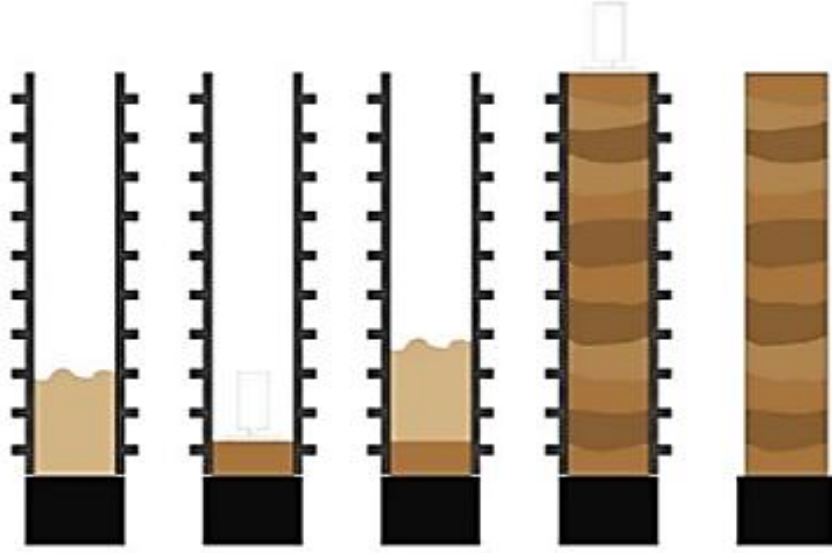
Şekil 2.31: Manuel pres ile sıkıştırılmış kerpiç blok üretimi [52].

Geleneksel kerpiç bloklar ile kıyaslandığında manuel pres ile yapılan sıkıştırılmış toprak bloklar ortası oluklu, delikli ve u şeklinde üretilmektedir. Bu durum hem bina yükünün azalmasını sağlamakta hem de ses ve ısı yalıtımı performansını da arttırmaktadır.

Gelişen teknoloji ile mekanik pres araçları üretilmeye ve kullanılmaya başlanmıştır. Mekanik presler, insan gücüne kıyasla çok daha hızlı ve standart boyutlarda kalıplar üretilir. Fakat el preslerinin mekanik preslere göre daha ekonomik olması ve projeye göre üretilen blok boyutlarının değişilebilir olması nedeni ile halen kullanılmaktadır [5].

2.4.3. Tokmaktama (Sıkıştırılmış Toprak) Yöntemiyle Kerpiç Üretimi

Tokmaktama (dövme / sıkıştırılmış toprak) sisteminde kerpiç yapı elemanı, harcın kalıp içine dökülüp sıkıştırılması ile elde edilmektedir. Tuğla yapımı ve duvar örülmesi olarak iki ayrı süreci olan geleneksel tuğla sistemine göre zaman ve inşa kolaylığı açısından avantajları bulunmaktadır. Tokmaktama sisteminde bu iki iş aynı anda yapılmaktadır. Kalıp içerisine koyulan her harç tabanı iyice sıkıştırıldıktan sonra üzerine yeni bir katman eklenmektedir. Kalıbın en üst seviyesine gelene kadar bu işlem yapılır. İstenilen seviyeye ulaşıncaya kalıplar açılır ve sıva gerektirmeyecek şekilde düzgün yüzeyler elde edilebilir [1]. Modern kerpiç yapım yöntemlerinde ahşap yerine metal kalıp kullanımı sayesinde daha iyi sonuçlar elde edildiği görülmüştür [42].



Şekil 2.32: Tokmaklama yöntemi ile kerpiç yapı elemanı üretimi [42].

Bu yapı sisteminde dövme esnasında oluşacak basınçlara karşı kalıbın sağlam olması ve şeklini koruyacak yeterlilikte rijitliğe sahip olması çok önemlidir. Bunu sağlayabilmek için kalıbın tüm yüzeyinde belirli aralıklar ile yerleştirilmiş gergi ve kuşak sistemlerine gerek duyulabilmektedir [50].

Duvar yapılırken kapı ve pencere boşlukları da mutlaka düşünülmelidir. Hazırlanan kalıp içine kör kalıp yerleştirilerek bu alanlara toprak dökülmesi engellenebilir. Eski zaman yapı örneklerinde pencere ve kapı boşlukları için ahşap lento kullanılırken, günümüzdeki örneklerde betonarme veya çelik lentolar kullanıldığı görülmektedir.

Geleneksel tokmaklama yönteminde sıkıştırma işlemi ağır ahşap tokmaklar ile yapılırken gelişen teknoloji ile elektrikli veya havalı sıkıştırma tabancaları üretilmiştir. Bu aletlerin yüksek sayıda vuruş yapabilme kapasitesi sayesinde sıkıştırma süreleri azalmaktadır [26].



Şekil 2.33: Sıkıştırılmış toprak yöntemi ile yapılan Tucson dağ dinlenme tesisi[53].

2.4.4. Püskürtme (Shotcrete) Yöntemi ile Kerpiç Üretimi

Bu yöntem sıkıştırılmış toprak sisteminde olduğu gibi kalıp uygulaması ve beton elemanlarda kullanılan püskürtme cihazı kullanılarak yapılmaktadır. Kerpiç harç, püskürtme makinesi ve kompresör ile hortum kullanılarak kalıba püskürtülür. Bu yöntemde püskürtme beton makinesine uygun karışımlarda kerpiç harç hazırlanmaktadır. Basınçla bir püskürtme yapıldığı için tokmıklama yöntemindeki

gibi ekstra bir sıkıştırma işlemine gerek duyulmamaktadır [3]. Bu teknikle saatte 4 m³ ila 40 m³ arasında herhangi bir duvar üretilmektedir [54].



Şekil 2.34: Püskürtme yöntemi ile kerpiç üretimi [55].

2.5. Kerpiç Yapı Çeşitleri

Kerpiç yapılar; yığma sistem kerpiç yapılar, omurgalı kerpiç yapılar, kerpiç dolgulu ahşap karkas sistem (hımuş) yapılar, karma sistem kerpiç yapılar ve toprak çuval yapılar olarak sınıflandırılmaktadır.

2.5.1. Yığma Sistem Kerpiç Yapılar

Yığma sistem tarih boyunca Anadolu’da en çok kullanılan en eski yapı sistemidir. Bu sistemde, kerpiç malzemenin üst üste konarak kendi ağırlığını taşıması sağlanır ve ek taşıyıcı bir dış yapı elemanı kullanılmaz. Yapıyı oluşturan duvarlar hem yapıyı şekillendirir hem de taşıma işlevini yapar [26].



Şekil 2.35: Yığma kerpiç yapı [18].



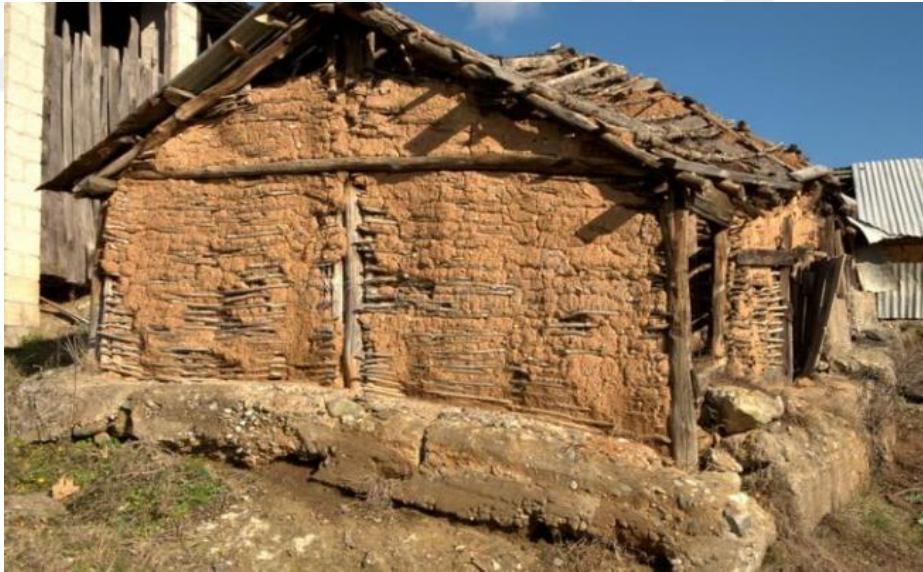
Şekil 2.36: Yığma kerpiç yapı [56].

Yapılarda kapı ve pencere açıklıklarının üst kısmında yatay ahşap hatıllar kullanılabilmektedir. Bazı yapı örneklerinde ahşap hatıllar ile iç duvar ve döşemelere bağlı ahşap dikmelerde bulunmaktadır. Yapı duvarı yükseldikçe kerpicin daha rahat

örülebilmesi için iskele kurulmaktadır. Yapı tamamlandıktan sonra iskele sökülür fakat iskelenin duvara temas eden noktalarında ahşabın izi boşluk olarak kalmaktadır. Bazı yapı örneklerinde bu boşlukların kapatılmadığı görülmüştür. Bunun nedeni olarak bu boşlukların hem duvarların hava almasını sağlaması hem de bu kuş yuvası olarak kullanmasıdır. Eski yapı örneklerinde de birçok yuvaya rastlanmıştır [18].

2.5.2. Omurgalı Kerpiç Yapılar

Tokmaklama sisteminde kullanılan benzer kalıp sistemi ile omurgalı kerpiç yapılar oluşturulmaktadır. Bu teknikte harcın içeriğinde yoğun kil kullanılmaktadır [57]. Yapım aşamasında kalıbın iç kısmına tokmaklamayı engellemeyecek şekilde enine ve boyuna ahşap çubuklar yerleştirilmektedir. Bu çubuklar, bir arada hareket etmelerini sağlamak amacı ile ip veya ince dallar ile birbirine bağlanmaktadır. Ahşap çubuk yerleşimi tamamlandıktan sonra harç hazırlanıp kalıplara dökülmekte ardından tokmaklanarak sıkıştırılmaktadır [42].



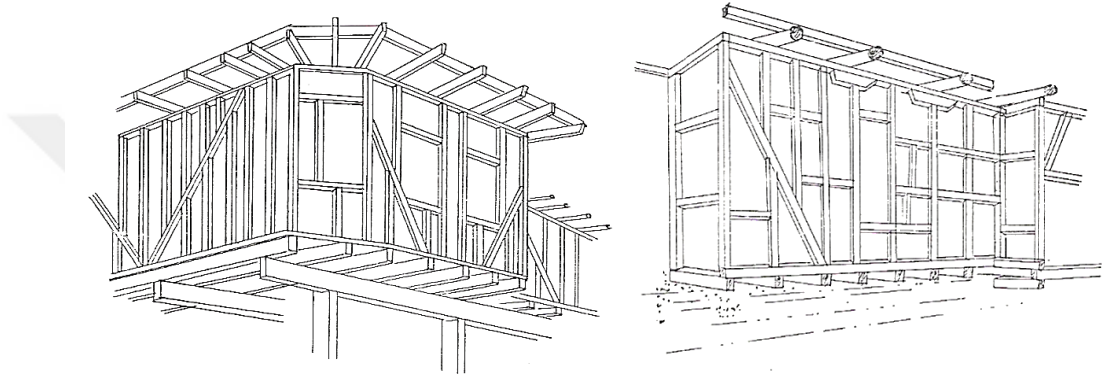
Şekil 2.37: Geleneksel omurgalı kerpiç yapı [42].

2.5.3. Kerpiç Dolgulu Ahşap Karkas Sistem (Hımış) Yapılar

Marmara, Kuzey Anadolu, Orta-Batı ve Güneydoğu Anadolu Bölgelerinde görülen ahşap karkas sistemde kerpiç dolgu malzemesi olarak kullanılmakta, taşıyıcılığı ise

ahşap elemanlar sağlamaktadır. Bu sistem; ahşap dikmeler, ara dikmeler, tabanlar, payandalar, yatay- dikey ara bölme elemanları ve desteklerden oluşmaktadır [18].

Yapının yapıldığı bölgeye göre dolgu içeriği değişebilmektedir. Kerpiç hamurunun karkas sistem içine doldurulması ile yapılabildiği gibi kerpiç tuğlalar ile de yapılabilmektedir [50]. Bu yapılar dolgu malzemesi gözükmeyecek şekilde sıvanabilir. Bu tarz durumlarda gözükmeyeceği için duvar dolgusuna özen gösterilmeyebilir. Duvar sıvası yapılmayan bazı yapılarda ise duvarda çeşitli desen ve şekillerle karşılaşılabilir [26].



Şekil 2.38: Kerpiç dolgu için hazırlanmış yapı iskelet örnekleri [58].



Şekil 2.39: Ahşap karkas sistem kerpiç yapı [59].

Ahşap hatıllı kerpiç yığma sistem ise kat döşemeleri, pencere ve kapı açıklıklarının üzerinde ahşap hatıllar kullanılmaktadır. Bu sistemde genellikle zeminde su basman yüksekliğine kadar taş duvar ile yapılmaktadır. Taş duvar üzerine kerpiç malzeme kullanılarak inşa edilmektedir [18].



Şekil 2.40: Ahşap hatıllı kerpiç dolgulu yapı [60].

2.5.4. Karma Sistem Kerpiç Yapılar

Karma sistemde kerpiç, ahşap, tuğla, taş, çelik ve betonarme gibi farklı yapıım sistemlerini uygun tasarım ile bir arada kullanılmaktadır [3]. Özellikle yığma kerpiç ve kerpiç dolgulu ahşap karkas sistemin birlikte kullanıldığı yapı örnekleri bulunmaktadır [61]. Genellikle geçici yerleşim yerlerinde uygulanmış olup günümüzde örneklerine pek rastlanmamaktadır [62].



Şekil 2.41: Karma sistem kerpiç yapı örneği [63].

2.5.5. Toprak Çuval Yapılar (Earthbag Building-Superadobe)

Toprak çuval yapılar kolay ulaşılabilen ekipmanlar ile kısa sürede inşa edilebilmektedirler. Bu yapı için killi toprak, su, kum torbası ve dikenli tel kullanılmaktadır. Çuval içine konulacak harç karışımı içinde %25-30 civarında kil ve %70-75 civarında kumlu toprak bulunmalıdır [64]. Hazırlanan toprak çuvallara doldurulup dizildikten sonra tokmak yardımı ile sıkıştırılmaktadır. Her bir çuval katının birbirine sağlam şekilde tutunabilmesi için dikenli tel koyulmaktadır [65]. Bu yapı için hazır dikili çuvallar veya rulo halinde uzun torbalar kullanılabilir. Bu şekilde toprak ile doldurulan çuvallar katman halinde üst üste yığma şeklinde dizilerek yapı oluşturulmaktadır. Teknoloji gerektirmeyen bu yapım şekli geleneksel sistemler ile benzerlik göstermektedir [5].



Şekil 2.42: Toprak çuval yapı hazırlanışı [66].



Şekil 2.43: Toprak çuval yapı [66].

3.KERPIÇ MALZEMEYE YÖNELİK YENİLİKÇİ YAKLAŞIMLAR

Bu bölümde, kerpiç yapılara yönelik yenilikçi yaklaşımlar; kerpiç malzemenin içeriğinin geliştirilmesi, kerpiç yapıların destek sistemler ile güçlendirilmesi, kerpiç malzemenin yenilikçi üretim tekniklerinin uygulanması ve bu yaklaşımların örnek kerpiç yapılar üzerinden incelenmesi başlıkları altında ele alınacaktır. Bu bağlamda, son on bir yıla ait güncel literatür araştırmaları ve çalışmalar incelenmiştir.

3.1. Kerpiç Malzemenin İçeriğinin Geliştirilmesi

Anadolu'nun farklı bölgelerinde, kerpiç üretiminde kullanılan katkı maddeleri değişmekte; yün, kıl, alçı, kireç, kül, bitki sapları ve saman gibi maddeler nemi dışarı atarak çatlak oluşumunu engellemektedir. Kerpiç, çeşitli kil içerikli toprakla üretilir, ancak toprak ve katkı malzemelerinin türleri ve miktarları, uygulanan kalıp yöntemi ve kurutma süresi kerpicing dayanıklılığını etkilemektedir [18].

Kerpiç yapılarda yapısal çatlaklar, doğal afetler, nem sızıntısı gibi ani kuvvetler özellikle depremlere karşı onları savunmasız hale getiren ana nedenlerdir [67]. Bu nedenle toprak yapı malzemeleri genellikle toprakların mukavemetini artırmak ve suya karşı dirençlerini güçlendirmek için stabilize edilmektedir. Bu durumu önlemek için saman veya bitki özleri gibi katkılarla toprak stabilizasyonu sağlanmaktadır. Toprak yapılarında farklı kimyasal bağlar kullanarak dayanıklılığı artırmak mümkündür. Buradaki amaç standart kerpiçten daha kaliteli ve dayanıklı kerpiç üretmektir. İyileştirilmiş kerpiç üretim sürecinde kolay şekil alırken, kuruma sırasında çatlama meydana gelmemekte ve yapıyı daha sağlam, suya dayanıklı hale getirmektedir [3].

Kerpiç, geleneksel kullanımı dışında günümüzde çeşitli katkı maddeleriyle harmanlanarak modern kullanımına yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalar, kerpicing dayanıklılığını artırmayı ve onu çağdaş inşaat ihtiyaçlarına daha uygun hale getirmeyi hedeflemektedir [68]. Teknolojinin gelişmesi ve artan test yöntemleri sayesinde katkı malzemesinin hangi oranlarda kullanılacağı ve belirli bir bölgenin toprağına hangi katkıların eklenmesi gerektiği analiz edilerek belirlenebilmektedir [5].

Katkı maddeleri ile iyileştirme çalışmaları iki başlıkta incelenecektir;

- Lif katkısı
- Bağlayıcı madde katkısı

3.1.1. Kerpiç Malzemenin Lif Katkısı ile İçeriğinin Geliştirilmesi

Standart kerpiç üretimi, kil içerikli kumlu toprak ile suyun, saman gibi lifli katkı maddelerinin karıştırılmasıyla gerçekleştirilir [18]. Kerpiç üretiminde, saman, kil ve kum karışımını birbirine bağlamak için kullanılan temel bir bağlayıcı maddedir. Genellikle pirinç veya buğday samanı kullanılır. Su ve organik bir madde olan saman ile inorganik toprak karışımının birleşimi sonucunda bir kimyasal reaksiyon meydana gelir. Bu reaksiyon sonucunda laktik asit oluşur ve bu da kerpice dayanıklılığı ve basınca karşı direncini etkiler. Saman eksik olduğunda ise kerpişte çatlaklar oluşabilir [69].

Saman dışında günümüzde kerpice farklı lif katkıları eklenerek malzeme özelliklerinin geliştirilmesi üzerine çalışmalar yapılmaktadır. **Tablo3.1**'de bu çalışmalarda kullanılan lif katkı maddeleri ve çalışmaların bulguları sunulmaktadır.

Tablo 3.1: Lif madde katkısı ile kerpiç yapıların geliştirilmesi üzerinde yapılan yenilikçi çalışmalar.

Çalışmalar	Katkı Maddeleri	Çalışmaların Bulguları
Millogo ve diğ.,2014	Hibiskus Lifi	Hibiskus lifi eklenmesi, numunelerin fiziksel ve mekanik özelliklerini iyileştirmiştir. 30 mm uzunluğundaki liflerin %0,2–0,6 ağırlıkça eklenmesi, preslenmiş kerpiç bloklarındaki gözenek boyutlarını azaltmış ve mekanik özelliklerinin iyileştirilmesine katkı sağlamıştır [43].
Serrano ve diğ., 2016	Mısır Bitkisi Çayır Otu	Kerpice mısır bitkisi ve çayır otu eklenmesinin eğilme dayanımında sırasıyla %89 ve %26 oranında iyileştirme sağladığı gözlemlenmiştir [71].
Millogo ve diğ., 2016	İnek Gübresi	Çalışmada inek gübresi ilaveleri kerpice fiziksel ve mekanik özelliklerini iyileştirmiş ve suya karşı direncinde önemli bir artış sağlamıştır [72].
Araya-Letelier ve diğ., 2018	Domuz Kılı	7 mm uzunluğundaki liflerin, kuru toprak ağırlığının %0,5'i kadar eklenmesinin, eğilme ve basınç dayanımlarında istatistiksel olarak etkilemeksizin çatlak kontrolü, eğilme tokluğu ve darbe dayanımı açısından en ideal dozaj olduğu sonucuna ulaşılmıştır [73].

Tablo 3.1 Devam: Lif madde katkısı ile kerpiç yapıların geliştirilmesi üzerinde yapılan yenilikçi çalışmalar.

Kafodya ve diğ., 2019	Sisal Lifi Elyaf	Harçtaki lif içeriğinin, takviyesiz harca kıyasla çekme dayanımında %31, sürtünme katsayısında %22 ve basınç dayanımında %25 artışa neden olduğu gözlemlenmiştir [74].
Gandia ve diğ., 2019	Cam Elyaf Takviyesi	Kerpiç içeriğine %10 cam elyaf takviyesi eklenmesi, katkı maddesi içermeyen kerpiçle karşılaştırıldığında en iyi performansı sergilemiştir. Bu takviye, %239 oranında büzülme azalışı, %6 hacim yoğunluğu azalışı, %21 termal iletkenlik azalışı, suya batırıldığında kütle kaybında azalışı ve %45 basınç dayanımı artışı sağlamıştır [75].
Berkgil ve Ayaz, 2019	Polipropilen Lif	Polipropilen lif katkılı kerpiç tuğlaların fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Lif oranı ve boyu arttıkça, basınç dayanımlarının katkısız numunelere kıyasla %11,67 ile %44,93 arasında bir artış gösterdiği görülmüştür. Ayrıca, eğilme hasar yüklerinin de katkısız numunelere göre %43,19 ile %250,05 arasında arttığı belirlenmiştir [76].
Elborgy, 2019	Hurma Lifi	Hurma yaprağı lifi katkılı kerpiç numunelerinin basınç dayanımı ve suya karşı dayanım açısından daha iyi performans sergilediği gözlemlenmiştir [69].
Munoz ve diğ., 2020	Kâğıt ve Kâğıt Hamuru Kalıntısı	Kâğıt ve kâğıt hamuru endüstrisi kalıntılarının kerpiçle karıştırılması için %10 en ideal oran olarak önerilmektedir. Bu oranda, basınç dayanımı %25 artmakta, ısı iletkenliği ise %50 azalmaktadır. Ayrıca, kerpiç, su emme ve tutma testlerini başarıyla geçmiştir [77].
Babe ve diğ., 2021	Neem Ağaç Lifi	Neem lifleri, %0 ile %4 arasında değişen oranlarda kerpiç harcına eklenmiştir. Sonuçlarda %2 neem lifli karışımların en iyi performansı sergilemiştir. Bu atık liflerin eklenmesi kerpice mekanik ile termal özelliklerini güçlendirmiştir [78].
Ige ve Danso , 2021	Muz Lifi	Lif takviyeli numuneler, takviyesiz numunelere göre sırasıyla %53 çekme dayanımı ve %33 basınç dayanımı iyileşmesi göstermiş ve %18,42 daha fazla termal dirence sahip olduğu tespit edilmiştir. Çalışma, kerpiç duvar birimlerine dahil edilmek üzere muz yalancı sap lifini (%0,5-0,75 oranında) önermektedir [79].
Dominguez-Santos ve Bravo, 2022	Polietilen Lif	Geleneksel kerpice küçük bir yüzde (%0,6 ve %1,2) polietilen lif eklenmesinin, sünekliliği ve yapısal performansını iyileştirdiği görülmüştür [80].

Tablo 3.1 Devam: Lif madde katkısı ile kerpiç yapıların geliştirilmesi üzerinde yapılan yenilikçi çalışmalar.

Alkadri, 2022	Kâğıt Atığı	Geri dönüştürülmüş kâğıt katkısıyla geliştirilen kerpiç malzemenin geleneksel kerpice kıyasla daha yüksek basınç dayanımına sahip olduğu ortaya konmuştur [81].
Eslami, 2023	Palmiye Lifi	Lif takviyeli kerpiç tuğlaların, takviyesiz alternatiflerine göre daha iyi bir performans sergilediği gözlemlenmiştir. Kerpiç tuğlaların çekme dayanımının, lif içeriği arttıkça yükseldiği ve en yüksek basınç dayanımının %0,25 lif içeriğine sahip örneklerde elde edildiği belirlenmiştir [82].
Güneri, 2023	Ayçiçeği Sapı	Ayçiçeği sapı ilavesinin numunelerin mekanik özelliklerini ve dayanıklılık parametrelerini güçlendirdiğini göstermektedir. Yapı malzemesi olarak en uygun oran %0,5 ayçiçeği sapı ilavesi olarak belirlenmiştir. Ayrıca, suya dayanıklılık açısından en etkili oran ise %1,25 ayçiçeği sapı ilavesi olmuştur [4].
Sanou, 2024	Hindistan Cevizi Lifi ve Çimento	%0,6 ağırlıkta hindistan cevizi lifi ve %4 ağırlıkta çimento içeren kerpiç blokların mekanik ve termal özelliklerinin olumlu olarak etkilendiği gözlemlenmiştir [83].

3.1.2. Kerpiç Malzemenin Bağlayıcı Madde Katkısı ile İçeriğinin Geliştirilmesi

Lif katkısından farklı olarak yapılan çalışmalar genellikle bağlayıcılar ve stabilizatörlerin eklenmesiyle kerpice fiziksel ve mekanik özelliklerinin iyileştirilmesine odaklanmıştır. En çok kerpiç karışımında iyileştirme ve stabilizasyon sağlayan katkı maddelerinin başında alçı, çimento ve kireç gelmektedir.

Kireç, alçı ve çimento katkılarının kullanımı aslında modern bir uygulama değildir. Bu malzemeler, tarih boyunca farklı inşaat alanlarında, özellikle binaların, yolların ve zeminlerin yapımında sıklıkla tercih edilmiştir. Bu katkıların kullanım amacı malzemenin kütleme ve kurutma gerekliliğini ve süresini azaltmaktır [5].

Çimento Katılması:

Çimento, kil, demir oksit ve kalkerin belirli oranlarda karıştırılarak 1200-1450°C sıcaklıkta pişirilmesiyle elde edilen hem hava hem de su ile sertleşebilen bir malzemedir. Çimentonun taneciklerinin ince olması, hidrasyon sürecini hızlandırarak bağlayıcılık özelliğini arttırmaktadır [9]. Çimentonun düzgün bir şekilde harcın içinde yayılması ve stabilizasyonun etkili olabilmesi için toprağın elenmesi ve

organik maddelerin ayrılması gerekmektedir. Çimentonun priz süresi kısa olduğu için, karışımın hazırlanıp dökülmesi hızlı bir şekilde yapılmalıdır [5]. Çimento katkılı kerpiç, normal dayanımını kazanana kadar sarsılmadan güneşe karşı korunmalı ve bir hafta boyunca her gün sulanarak çatlamaların önlenmesi sağlanmalıdır [14]. Olumlu özelliklerinin yanında çimento toprağa eklendiğinde toprağın doğal özellikleri değişir. Bu karışım, toprağın ısı iletme yeteneğini artırır ve kerpicing beton benzeri bir malzemeye dönüşmesine neden olur. Ayrıca toprağın su emme kapasitesi kaybolur ve çimento ile reaksiyona giren toprak artık eski özelliklerini taşımaz. Bu durum, toprağın geri dönüştürülebilir doğal bir malzeme olma özelliğini ortadan kaldırmasına neden olmaktadır [3].

Doğada taş halde bulunan alçı ve kireç ise kolayca elde edilebilen ve ekonomik malzemelerdir. Kerpiç karışımına eklenmeden önce, alçı ve kireç pişirilip stabilizasyon işlemlerinde kullanılır [5].

Kireç Katılması;

Kireç, kireçtaşının 800-1500 °C arasında yüksek sıcaklıklarda fırınlanarak üretilen inorganik bir bileşiktir. Toprağa %2-3 oranında kireç eklemek, toprağın yapısını iyileştirmektedir. Kireç, toprağın daha iyi sıkılaşmasını sağlar ve bileşenlerin birbirine yapışmasını kolaylaştırır. Bu da kerpicing yoğunluğunu düşürerek suya karşı dayanıklılığını arttırmaktadır. Belirli seviyedeki katkılarında ise basınç dayanımını da iyileştirebilmektedir [4].

Alçı Katılması;

Alçı, alçıtaşının farklı sıcaklıklarda pişirilmesiyle elde edilen, beyaz renkte ve inorganik bir bağlayıcı malzemedir. Su ile karıştırıldığında hızlı bir şekilde katılaşır. Alçı katılaşırken ısı açığa çıkarır ve rötne nedeniyle çatlamaz [9]. Türkiye’de alçının yaygın olması ve Anadolu’da toprak-alçı-kireç karışımının sıva harcı olarak geleneksel şekilde kullanılması toprağın alçı ile stabilize edilebileceği düşüncesini ortaya çıkarmıştır. 1980 yılında İTÜ Mimarlık Fakültesi'nde Prof. Ruhi Kafesçioğlu önderliğinde TÜBİTAK MAG 505 projesi kapsamında yapılan bir araştırma, alçılı kerpicing özelliklerini incelemiş ve bu çalışmanın sonunda bir deneme evi inşa edilmiştir. Alçı ile geliştirilen bu malzemeye de “Alker” adı verilmiştir [84][3].

Prof. Ruhi Kafesçioğlu’nun deneysel çalışmaları da uygun granülometrideki toprak içerisine %10 alçı ve %2 kireç katılmasıyla elde edilen alkerin, yaklaşık 20 dakikada

mukavemet kazandığını ve suya karşı dayanıklı bir yapı malzemesi oluşturduğunu ortaya koymuştur. Bu katkı oranlarıyla geliştirilen alkerin, hem rötne miktarının azaldığı hem de fiziksel dayanım özelliklerinin arttığı belirlenmiştir [3].

Alçı katkılı kerpiç, çimento katkılı kerpiç ve diğer katkı maddelerine göre daha uygun maliyetlidir. Bu sayede toprağa çimento yerine alçı eklemek, çimentodan tasarruf sağlar ve çimentonun evin temeli gibi başka alanlarda kullanılmasına olanak tanı maktadır [9].

Kerpice farklı bağlayıcı madde eklenerek yapılan yenilikçi çalışmalar aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 3.2: Bağlayıcı madde katkısı ile kerpiç yapıların geliştirilmesi üzerinde yapılan yenilikçi çalışmalar.

Çalışma	Katkı Maddeleri	Çalışmaların Bulguları
Lokeshwari ve Jagadish, 2016	Granit Atıkları Çimento	Granit atığı ile içeriği geliştirilen kerpiç bloklarının geleneksel kerpiç bloklara göre basınç dayanımı yüksek oranda arttığı sonucuna ulaşılmıştır [85].
Lanzón ve diğ., 2017	Çinko Stearat	Düşük konsantrasyonlarda çinko stearat kullanımının kerpiç numunenin su emilimini ve dayanıklılık özelliklerini önemli ölçüde iyileştirildiği gözlemlenmiştir. Ayrıca yağmur ve asit yağmuru erozyon testleri, çinko stearatın toprak malzemelerini korumadaki etkinliğini göstermektedir [86].
Pekrioglu Balkis, 2017	Atık Mermer Tozu Polimer Elyaf Alçı Kireç	Farklı lokasyonlardan alınan iki toprak örneği kullanılarak polimer elyaf ve atık mermer tozu içeriklerinin Alker'in basınç ve eğilme dayanımına etkisi incelenmiştir. %0,5 polimer elyaf ve %10 mermer tozu oranı kullanılarak elde edilen kerpiç numunesinin basınç ve eğilme dayanımının iyileştiği gözlemlenmiştir [87].
Omar Sore ve diğ., 2018	Jeopolimer	%10 ve %15 jeopolimerin, kerpice mekanik özelliklerini ve basınç dayanımını iyileştirdiğini ortaya koymuştur. Ayrıca, jeopolimerle stabilize edilmiş blokların, çimento ile stabilize edilenlere göre daha düşük termal iletkenliğe sahip olduğu gözlemlenmiştir [88].
Leblebicier ve Akıncı, 2021	Pomza, Alçı, Sönmüş Kireç, Volkanik Tüf, Organik Lif	Optimum oranlarda hazırlanan kerpiç malzemedde, %6 pomza, %10 alçı, %2 sönmüş kireç, %10 volkanik tüf ve %3 organik lif (keten) kullanıldığında, malzemenin basınç dayanımının oldukça yüksek, ısı iletkenlik katsayısının ise düşük olduğu gözlemlenmiştir [2].

Tablo 3.2 Devam: Bağlayıcı madde katkısı ile kerpiç yapıların geliştirilmesi üzerinde yapılan yenilikçi çalışmalar.

MinhTrang ve diğ., 2021	Çamur, Uçucu Kül ve Lif	%50 ağırlıkça çamur, %35 çimento, %15 uçucu kül ve %0,5 polipropilen lifleri eklenerek hazırlanan malzemenin hem eğilme hem de basınç dayanımlarını artırdığı, bu sayede tuğla ürününün kırılma ve büzülme oranlarını azalttığı gözlemlenmiştir [89].
Lara-Ojeda ve diğ., 2022	Zeolit	Çalışmada %15 zeolit ile kerpicin stabilizasyonu, mukavemet kazanımı ve su emme direnci açısından elde edilen olumlu sonuçlar gösterilmiştir [90].
Morsy vd., 2022	Pirinç Samanı Külü Sodyum Hidroksit	Kerpiç tuğlada, %20 pirinç saman külü ve %10 sodyum hidroksit kullanımı, düşük ısı iletkenliği ve neme dayanıklı, maksimum basınç dayanımına sahip hafif kerpiç tuğlalar üretmek için verimli olabileceği sonucuna ulaşılmıştır [91].
Zarasvand ve diğ., 2023	Odun Külü Bentonit Çimento	Çimento ve uçucu kül eklenmesinin toprak yapısının basınç dayanımını artırdığı ve termal yalıtımını iyileştirdiği, bentonit eklenmesinin özellikle nemli ortamlarda toprak yapısının termal özelliklerini geliştirdiği gözlemlenmiştir [92].
Paul ve diğ., 2023	Pirinç Kabuğu Külü Çimento	%8 çimento ve %10 pirinç kabuğu külü kombinasyonu en yüksek mukavemeti sağlamıştır. Ayrıca sıkıştırılmış toprak blokları çevresel açıdan daha düşük etkiler gösterip, maliyetleri %8,65 oranında düşürmüştür. Doğru karışımla dayanıklı ve sürdürülebilir toprak blokları üretilebileceği sonucuna ulaşılmıştır [93].

Farklı katkı maddelerinin kerpiç üzerine olan etkilerine ilişkin genel bir değerlendirme sunulduktan sonra, bağlayıcı ve lif katkıları içeren çalışmaların mekanik özellikler, su dayanımı ve termal performans üzerindeki gözlemlenen etkileri **Tablo 3.3'te** özetlenmiştir. Tabloda, katkıların olumlu etkileri “+” işareti ile; herhangi bir değişiklik gözlemlenmeyen veya veri bulunmayan durumlar ise “-” işareti ile gösterilmiştir.

Tablo 3.3: Bağlayıcı ve lif katkılarının kerpiç özelliklerine etkileri.

Çalışma	Yıl	Lif Katkısı	Bağlayıcı Katkısı	Mekanik Özellikler	Su Dayanımı	Termal Özellikler
Millogo ve diğ.,	2014	Hibiskus Lifi		+	-	-
Serrano ve diğ.,	2016	Mısır Bitkisi Çayır Otu		+	-	-
Millogo ve diğ.,	2016	İnek Gübresi		+	+	-
Lokeshwari ve Jagadish,	2016		Granit Atıkları Çimento	+	-	-
Lanzón ve diğ.,	2017		Çinko Stearat	+	+	-
Pekrioglu Balkis,	2017	Polimer Elyaf	Atık Mermer Tozu Alçı Kireç	+	-	-
Araya-Letelier ve diğ.,	2018	Domuz Kılı		+	-	-
Omar Sore ve diğ.,	2018		Jeopolimer	+	-	+
Kafodya ve diğ.,	2019	Sisal Lifi Elyaf		+	-	-
Gandia ve diğ.,	2019	Cam Elyaf Takviyesi		+	+	+
Berkgil ve Ayaz,	2019	Polipropilen Lif		+	-	-
Elborgy,	2019	Hurma Lifi		+	+	-
Munoz ve diğ.,	2019	Kâğıt ve Kâğıt Hamuru Kalıntısı		+	+	+
Babe ve diğ.,	2021	Neem Ağaç Lifi		+	-	+
Ige ve Danso ,	2021	Muz Lifi		+	-	+
Leblebicier ve Akıncı,	2021	Organik Lif	Pomza, Alçı, Sönmüş Kireç, Volkanik Tüf,	+	-	+
MinhTrang ve diğ.,	2021		Çamur, Uçucu Kül ve Lif	+	-	-
Dominguez-Santos ve Bravo,	2022	Polietilen Lif		+	-	-
Alkadri	2022	Kâğıt Atığı		+	-	-
Lara-Ojeda ve diğ.,	2022		Zeolit	+	+	-
Morsy vd.,	2022		Pirinç Samanı Külü Sodyum Hidroksit	+	+	+
Eslami,	2023	Palmiye Lifi		+	-	-
Güneri,	2023	Ayçiçeği Sapı		+	+	
Zarasvand ve diğ.,	2023		Odun Külü Bentonit Çimento	+	-	+
Paul ve diğ.,	2023	Pirinç Kabuğu	Külü Çimento	+	-	-
Sanou,	2024	Hindistan Cevizi Lifi	Çimento	+	-	+

Yapılan güncel çalışmalar, kerpiç malzemeye farklı katkı maddelerinin eklenmesinin, kerpicing mekanik dayanımını, su direncini ve termal özelliklerini iyileştirmede etkili olabileceğini ortaya koymuştur. Bu katkılar, özellikle malzemenin dayanıklılığı artırarak, kerpicing kullanım alanlarını genişletmeye yardımcı olabilir. Ayrıca, doğal ve yerel malzemelerle yapılan bu tür iyileştirmeler, çevresel sürdürülebilirlik açısından da büyük önem taşımaktadır.

Ayrıca, incelenen literatürde yer alan çalışmalar arasında kullanılan katkı maddelerinin türleri, kullanım oranları, uygulanan test yöntemleri ve değerlendirme kriterleri birbirinden farklılık göstermektedir. Bu nedenle, tabloda sunulan bulgular belirli koşullara özgü sonuçları yansıtmakta olup, genellenebilir ve kesin yargılar sunmamaktadır. Farklı deneysel koşullar altında, farklı oranlarda ve farklı odak noktalarıyla yürütülebilecek yeni araştırmaların mevcut verilerden ayrışan sonuçlar ortaya koyabileceğini de belirtmek gerekir.

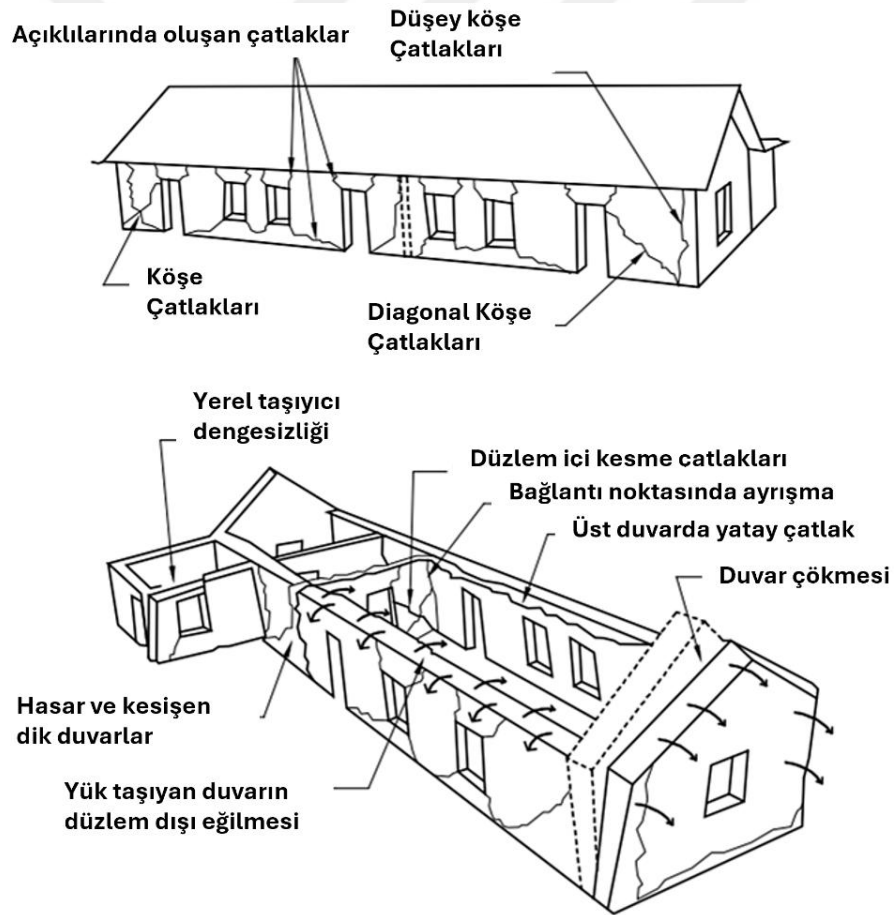
3.2. Destek Sistemler ile Kerpiç Yapıların Güçlendirilmesi

Kerpiç yapılar, düşük maliyet ve iyi ısıl-akustik özellikler sunsa da deprem gibi doğal afetlere karşı oldukça savunmasızdır. Depremler sırasında yapılar yüksek sismik kuvvetlere maruz kalır ve bu kuvvetlere dayanamayarak ani çöküşler yaşar. Örneğin, 2001’de El Salvador ve Peru’daki depremler, çok sayıda kerpiç binanın yıkılmasına ve büyük can kayıplarına yol açmıştır. Benzer şekilde, 2008 Çin Wenchuan ve 2010 Şili Maule depremleri de kırsal alanlardaki kerpiç yapıları etkilemiştir. 2011’de Nepal’deki depremde ise çok sayıda kerpiç bina hasar görmüş ve binlerce insan evsiz kalmıştır [94]. 8 Mart 2010 tarihinde Elâzığ’da gerçekleşen deprem ise toprak harçlı moloz taş duvarlı yığma ve kerpiç yapılarda ciddi hasarlara yol açmış, birçok bina ya yıkılmış ya da büyük oranda tahrip olmuştur. Bu depremde 41 kişi hayatını kaybetmiştir [95]. Bu örnekler, kerpiç yapıların depremlere karşı savunmasız olabileceğini ve bu tür yapıların yaygın olduğu bölgelerde can kaybı riskinin olabileceğini ortaya koymaktadır.

Deprem riski taşıyan yerlerde kalitesiz malzeme kullanımı, yapım hataları ve bakım eksikliği yapıları savunmasız hâle getirmektedir. Özellikle düşük gelirli halk kesimleri, ekonomik yetersizlikler nedeniyle yapılarını güçlendirme konusunda zorluk yaşamaktadır. Ancak bu tehlikeyle sürekli karşı karşıya olmak, bölge halkını zamanla

riskle yaşamayı öğrenmeye ve çeşitli korunma yöntemleri geliştirmeye yöneltmiştir. Bu süreçte gelişen geleneksel yapı teknikleri yerel deneyimlerden beslenen yapısal çözümler sunmuş ve hem konutlarda hem de kamusal alanlarda uygulanmıştır. Tarih boyunca yaşanan yıkıcı depremlere rağmen insanlar bu tehlikeli bölgelerde yaşamaya devam etmiş bu da yapıların dayanıklılığını artırmaya yönelik geleneksel bilgilerin ve uygulamaların gelişmesine yol açmıştır. Günümüzde bu geleneksel bilgiler, yapıların daha dayanıklı hale getirilmesinde değerli bir kaynak olarak görülmektedir [96].

Geleneksel bilgilere rağmen, kerpiç yapılar deprem sırasında büyük hasar görebilmekte ve çoğu zaman ani yıkımlar yaşanmaktadır [97]. Aşağıdaki görselde, bu yapı türlerinde sıkça karşılaşılan hasar örnekleri yer almaktadır.



Şekil 3.1: Kerpiç yapılarda sıklıkla karşılaşılan hasar türleri [94].

Bu durumu ele alabilmek ve kerpiç yapıların sismik performansını artırmak için farklı dönemlerde çeşitli araştırmacılar tarafından geliştirilmiş ve uygulamalı çalışmalarla

test edilmiştir. Bu kapsamda farklı güçlendirme yöntemleri yaygın bir şekilde kullanılmıştır. Söz konusu tekniklerde; çelik kafes, polimer esaslı meshler, polipropilen, bambu ağlar gibi çeşitli esnek ve düşük maliyetli malzemelerle oluşturulan sistemler yapı duvarlarına uygulanmıştır. Bu yöntemler, yapıların deprem sırasında enerjiyi sönümleme kapasitesini artırarak taşıyıcı elemanların bütünlüğünü korumayı ve yapının göçmesini önlemeyi amaçlamaktadır. Yerel malzeme kullanımı uygulama kolaylığı ve düşük maliyet gibi avantajları sayesinde, bu tür güçlendirme teknikleri özellikle kaynakların kısıtlı olduğu bölgelerde önemli bir alternatif olarak değerlendirilmektedir [97].



Şekil 3.2: Bir köşeye dikey örgü şeridinin yerleştirilmesi/köşelere çivilenmiş tel örgü şeritleri [98].

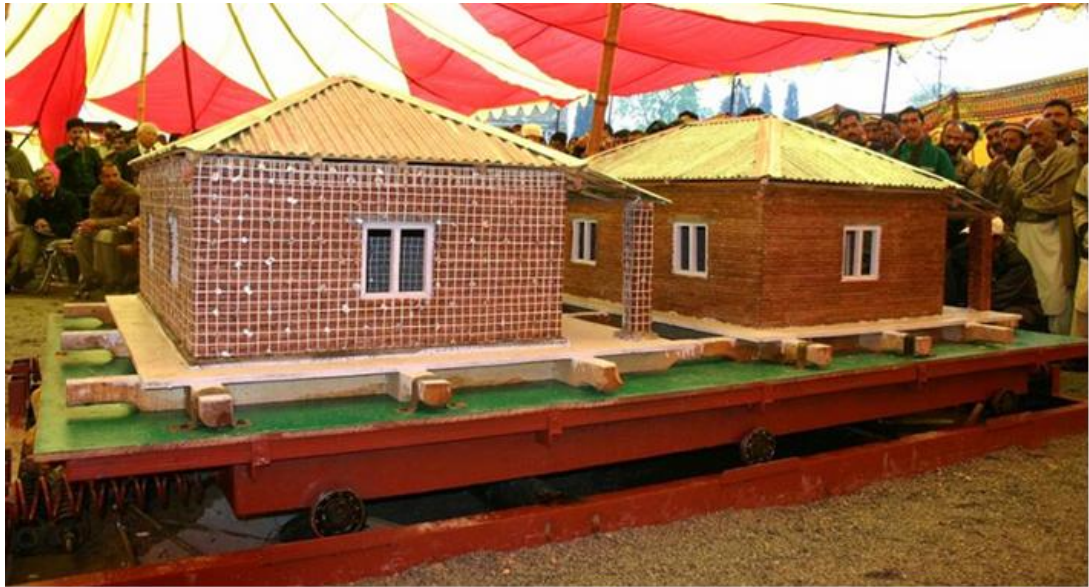


Şekil 3.3: Bambu kayış ile kerpiç duvar güçlendirilmesi [94].



Şekil 3.4: Kerpiç duvarların ağ tipi dış güçlendirmesi [97].

Bu tür hasarların azaltılması ve yapıların güvenli hâle getirilmesi için geliştirilen güçlendirme yöntemlerinin toplumda daha geniş kabul görmesi, yerel halkın bu tür uygulamalara karşı duyduğu farkındalıkla doğrudan ilişkilidir. Bu bağlamda, 2005 yılında yaşanan Keşmir depremi sonrası Pakistan'ın Muzaffarabad kentinde gerçekleştirilen halk gösterileri afetlere yönelik toplumsal bilinçlenmenin artırılması adına önemli bir örnek teşkil etmektedir. Çeşitli kuruluşlar tarafından düzenlenen bu gösteriler, halkın deprem güvenliği konusunda bilinçlenmesini sağlamış, ancak güçlendirme maliyetleri konusunda yaşanan endişeleri de gün yüzüne çıkarmıştır [97].

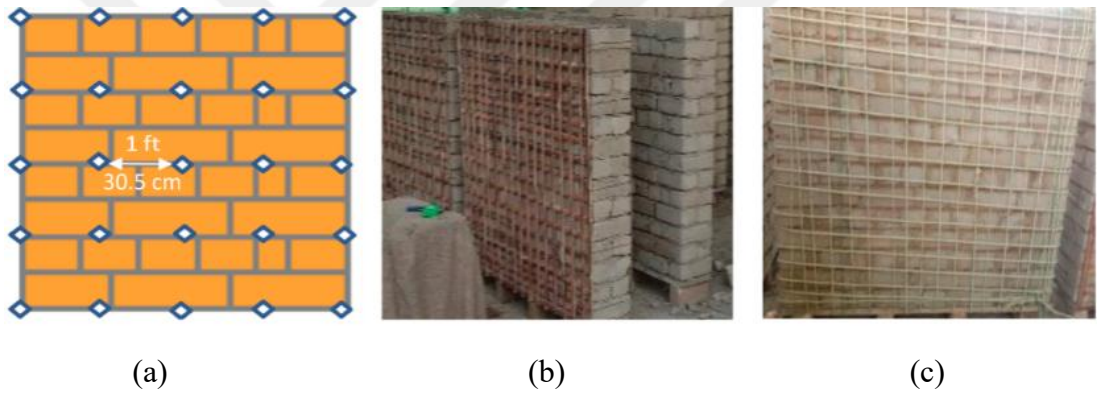


Şekil 3.5: Pakistan'da halka açık gösteri programı [97].

Duvar örgülerinin mukavemetini artırmak için geleneksel güçlendirme yöntemleri mevcut olmasına rağmen son yıllarda araştırmacılar depremler sırasında çöküşü engellemek ve can kaybını azaltmak için farklı güçlendirme yöntemleri üzerinde çalışmaktadır [97].

Aşağıda kerpiç duvarların güçlendirilmesiyle ilgili çeşitli 2010 yılı ve sonrası literatür çalışmalarının sonuçları ve uygulama örnekleri verilmektedir.

Kerpiç yapılar düşük mukavemetleri ve kırılgan yapıları nedeniyle özellikle sismik olarak aktif bölgelerdeki birçok bina için ciddi bir sorun oluşturmaktadır. Bu sorunu çözmeye yönelik olarak 2024 yılında gerçekleştirilen bir çalışmada bambu şeritler ve kurutulmuş jüt ipliği ile güçlendirilmiş 1,2 m x 1,2 m boyutlarındaki kerpiç duvarların düzlem içindeki davranışı incelenmiştir. [99].



Şekil 3.6: (a); bambu örgü için temel bağlantı noktası, (b); jüt iplik örgü, (c); bambu şerit örgü [99].

Numuneler basınç dayanımı, elastiklik modülü, kesme dayanımı, sertlik modülü ve enerji emilimi gibi önemli mekanik özellikleri belirlemek için analiz edilmiştir. Bambu şerit tekniği bu özellikleri sırasıyla %30, %19, %96, %82 ve %195 oranında iyileştirmiştir. Kurutulmuş jüt ipliği sarma tekniği, aynı özellikler için %40, %69, %102, %110 ve %314'lük artışlarla daha da büyük iyileştirmeler göstermiştir [99].



Şekil 3.7: Sıkıştırma testleri [99].

2021 yılında yapılan çalışmada, kerpiç yapıların depreme karşı güçlendirmek amacı ile kerpiç duvarların yüzeyine kenevir lifli halat ağlarının uygulanmasını içeren deneysel bir çalışma sunmaktadır [100].



Şekil 3.8: Kenevir lifli halatlarla güçlendirilmiş bir kerpiç duvar paneli [100].

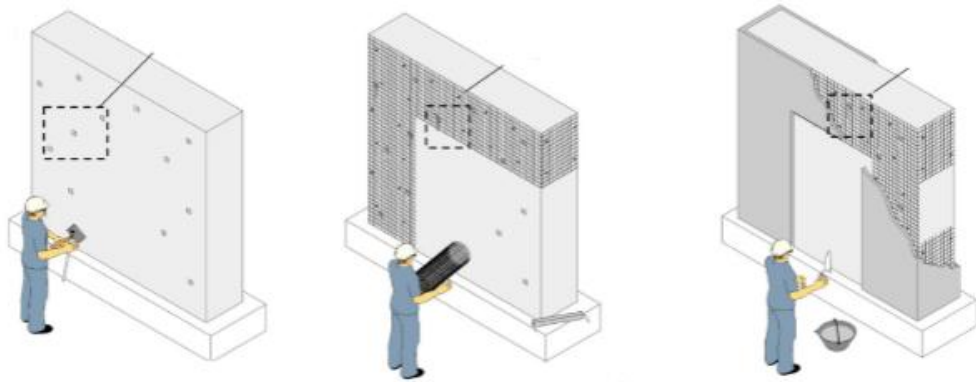
Bu yöntem hem inşaat aşamasında hem de mevcut yapılar için güçlendirme amacıyla kullanılabilir. Kerpicingin düşük maliyeti, sürdürülebilirliği ve inşa edilebilirlik avantajlarına uygun olarak kenevir lifli halatlar güçlendirme için seçilmiştir. Bir dizi normal ve güçlendirilmiş kerpiç panel paralel ve dik olarak bükülmeye maruz bırakılmıştır [100].



Şekil 3.9: Kenevir lifli halatlarla güçlendirilmiş kerpiç duvar paneli kuvvet testi [100].

Çalışma sonucunda halatla güçlendirilmiş paneller, güçlendirilmemiş panellere göre 10 kat daha fazla esneme ve dayanma kapasitesine sahip olmuştur. [100].

2021 yılında yapılan farklı bir çalışmada, kerpiç duvarların sismik hareketlere karşı güçlendirilmesi için farklı yöntemler kullanarak yapısal dayanımlarını artırmayı hedeflemiştir. Özellikle, esnek çelik tel örgü ve yüksek mukavemetli jeogrid gibi güçlendirme malzemelerinin kerpiç duvarların sismik tepkisini nasıl iyileştirdiği araştırılmıştır [101].



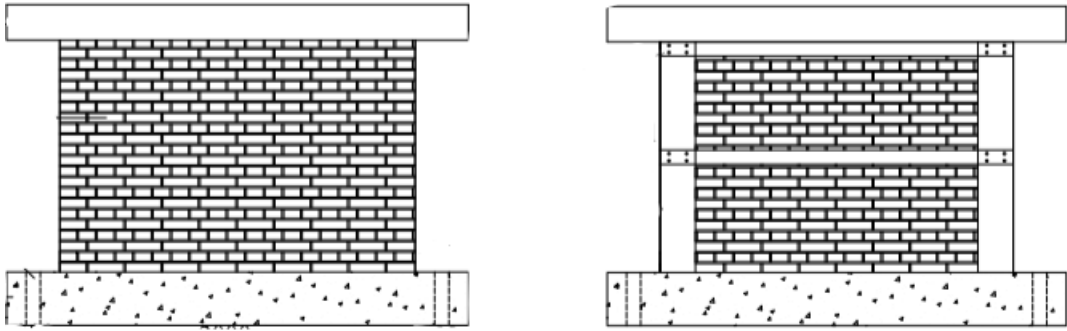
Şekil 3.10: Kerpiç duvar üzerine çelik ağ yerleşimi [101].

Çalışmada farklı numunelere yerleştirilmiş ağların, özellikle düşük eksenel yük seviyelerinde çatlamadan sonra sınırlama sağlayarak kalın toprak duvarların yatay (düzlem içi) dayanımını ve dikey (düzlem dışı) dayanım kapasitesini artırabileceği bulunmuştur. [101].



Şekil 3.11: Çelik ağ yerleştirilen numune üzerine yapılan dayanım testleri [101].

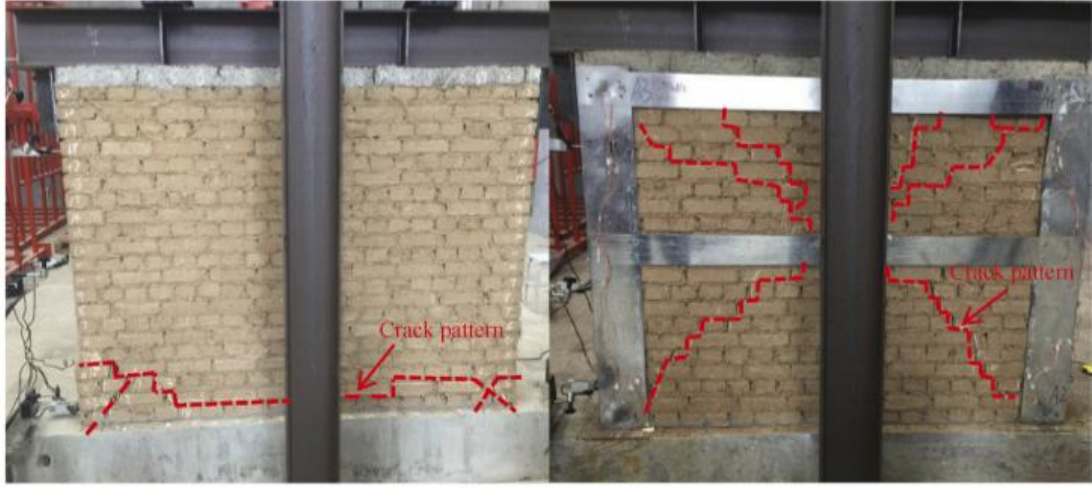
Evlerin depremler sırasında karşılaştığı ciddi hasarı azaltmayı ve kırsal alanlardaki kerpiç yapıların sismik davranışını iyileştirmeyi amaçlamak için 2020 yılında yapılan araştırma kapsamında, kerpiç duvarların sismik davranışı çeşitli testlerle incelenmiştir. Yarı statik yükleme testleri, güçlendirilmemiş ve 1 mm kalınlığında soğuk şekillendirilmiş ince çelikle güçlendirilmiş kerpiç duvarlar üzerinde yapılmıştır [102].



Şekil 3.12: Kerpiç duvar üzerine çelik yerleşimi [102].

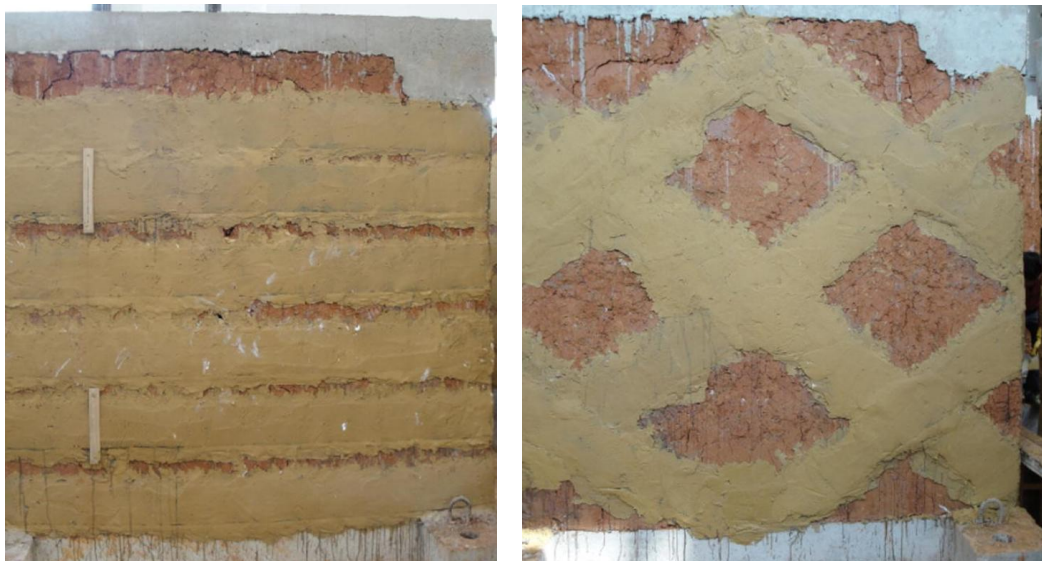
Bu testlerde, duvarların arıza modu, histerik performansı, sertliği, sünekliği ve enerji dağılım kapasiteleri karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucu güçlendirilmiş kerpiç duvarların sismik davranışının güçlendirilmemiş duvarlardan daha iyi olduğunu göstermektedir. Çatlama yükü, nihai yük, süneklik katsayısı ve enerji tüketimi sırasıyla %43,34, %79,10, %440 ve %560 oranında artmıştır. Bu bulgular, soğuk

şekillendirilmiş ince çelik duvarların, kerpiç duvarların sismik performansını önemli ölçüde artırdığını göstermektedir [102].



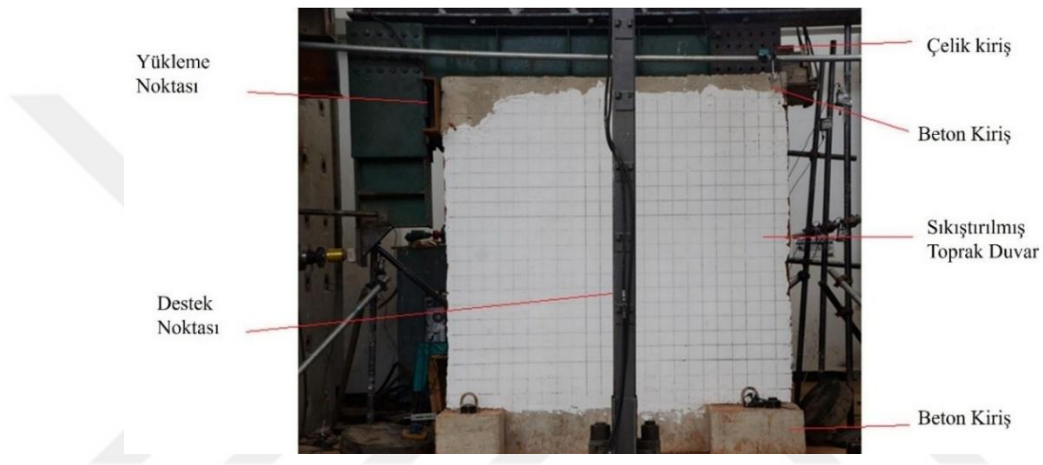
Şekil 3.13: İnce duvarlı çelik ile güçlendirilmiş duvarın dayanım testleri [102].

2015 yılında yapılan bu çalışmada, sıkıştırılmış toprak duvarların sismik olarak dağılmasını engellemek amacıyla farklı lif malzemeleri ve dokular kullanılarak bir güçlendirme tekniği geliştirilmiştir. Yapılan testlerde üç farklı elyaf malzemesi (kanvas, bambu, branda) ve üç yapıştırıcı (epoksi, sodyum silikat ve NF (belirli bir oranda kum, sodyum silikat ve sertleştirici içeren bir karışım)) kullanılmıştır. Testlerde kullanılan numunelerin boyutları ise 160 mm x 160 mm x 90 mm'dir [103].



Şekil 3.14: Sıkıştırılmış toprak duvarın yatay ve çapraz yönlerde güçlendirme şeması [103].

Yapılan testler sonucunda branda ve NF'nin birleşimiyle elde edilen güçlendirme etkili çözüm olarak seçilmiştir. Bu teknikle sıkıştırılmış toprak duvarların sismik dayanıklılığının %38 oranında arttığı ve yer değiştirme kapasitesinin %75 oranında iyileştiği tespit edilmiştir. Testlerin sonuçları, önerilen iyileştirme yönteminin uygun maliyetli ve sıkıştırılmış toprak konutları için uygulanabilir olduğunu göstermektedir. Çalışmada konu hakkında daha fazla dayanıklılık testlerinin yapılması gerektiği de belirtilmiştir [103].



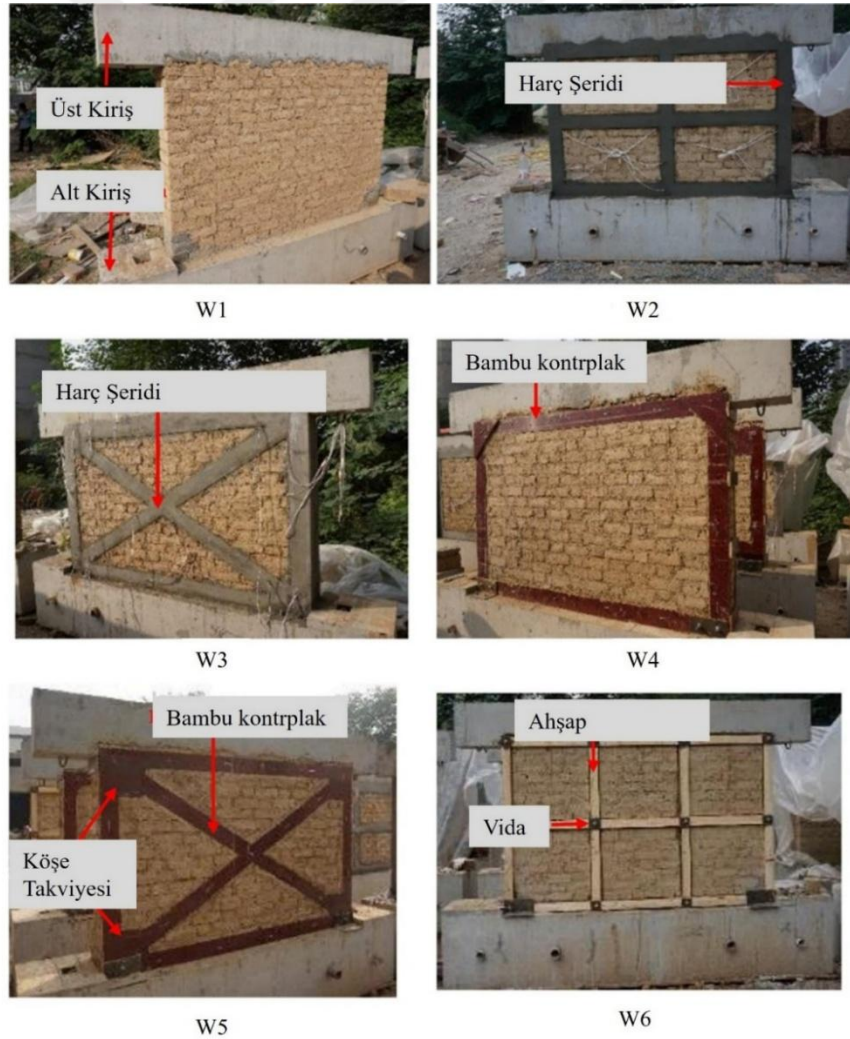
Şekil 3.15: Laboratuvar test kurulumu [103].

2023 yılında yapılan bir çalışmada, farklı güçlendirme malzemeleri ve şemaları kullanarak kerpiç duvarların sismik güçlendirilmesini araştırmaktadır. Altı farklı kerpiç duvar paneli ($1900 \times 1200 \times 200$ mm) yarı statik testlere tabi tutulmuş ve bu duvarlar, güçlendirilmemiş ve güçlendirilmiş olmak üzere farklı malzemelerle (harç şeridi, bambu kontrplak, ahşap) test edilmiştir [104].

Örnek	Takviye malzemesinin yerleşimi	Takviyeli malzeme
W1	Güçlendirilmemiş	–
W2		Harç şeridi
W3		Harç şeridi
W4		Bambu kontrplak
W5		Ahşap
W6		Ahşap

Şekil 3.16: Numunelerin donatı şemaları [104].

Çalışma sonucunda güçlendirilmiş harç şeritlerinin kerpiç duvarların sismik performansını önemli ölçüde iyileştirdiğini göstermektedir. Özellikle yatay ve dikey güçlendirme şemaları kullanıldığında, duvarların süneklik ve enerji dağılımı kapasitesi artmıştır. Bambu kontrplak ve ahşap ile yapılan güçlendirmeler de tatmin edici sonuçlar vermiştir, ancak bu malzemeler takviyeli harç şeritleriyle karşılaştırıldığında sismik performansta daha az iyileşme sağlamıştır. Çalışma duvarların güçlendirilmesinde harç şeritleri gibi güçlü yöntemlerin kullanılması gerektiğini, ancak bambu kontrplak ve ahşabın da yapısal dayanıklılık için faydalı alternatifler sunduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca, çalışmada test edilen duvar sayısının sınırlı olması nedeniyle, gelecekteki araştırmalarda daha güvenilir modeller üretilerek çalışmanın geliştirilmesi gerektiği de iletilmiştir [104].



Şekil 3.17: Numunenin yapım süreci [104].

Kerpiç yapıların destek sistemleriyle güçlendirilmesine yönelik araştırmalar, köklü bir geçmişe sahip olmasına rağmen günümüzde de yenilikçi yaklaşımlar çerçevesinde önem taşımaktadır. Söz konusu sistemler, başlangıçta özellikle düşük gelirli bölgelerdeki yapıların deprem gibi doğal afetlere karşı daha dayanıklı hale getirilmesi iken bugün bu çalışmalar hala devam etmekte ve güncellenmektedir. Kerpiç yapılar, başlangıçta yeterli teknik bilgiyle sağlam bir şekilde inşa edilebilse de ekonomik yetersizlikler, düşük kaliteli malzeme kullanımı ve bakım eksiklikleri nedenleriyle zamanla yapısal güvenlik açısından risk oluşturabilmektedir. Bu nedenle, güçlendirme tekniklerinin araştırılması ve uygulanması, kerpiç yapıların uzun ömürlü ve güvenli hale getirilmesi açısından yenilikçi ve sürdürülebilir bir çözüm olarak değerlendirilmektedir.

Ayrıca, kerpici destek sistemler ile güçlendirilmesine yönelik incelenen çalışmalar çoğunlukla sınırlı sayıda test edilmiş küçük ölçekli duvar paneline yöneliktir. Ancak çalışma sonuçlarının doğrulanması ve daha güvenilir ve genel geçerliliğe sahip olabilmesi için gerçek boyutlarda yapı numuneleri kullanılarak daha fazla deneysel teste ihtiyaç olduğunu belirtmek gerekmektedir. Bu sayede daha kapsamlı ve güvenilir modeller geliştirilebilecek ve elde edilen veriler inşaat uygulamalarında daha sağlam bir temel oluşturabilecektir.

3.3. Kerpiç Malzemenin Yenilikçi Sistemler ile Üretim Teknikleri

Kerpiç malzemenin yapıda kullanımı, iklim koşulları, doğal şartlar ve yapım teknolojisi gibi faktörlere bağlı olarak değişiklik gösterir. Son yıllarda inşaat sektöründe, daha hızlı üretim süreçlerine odaklanan araştırmalar artmıştır. Mimarlar ve mühendisler, istedikleri verimliliği ve form çeşitliliğini sağlamak amacıyla çözüm önerileri sunarak çağdaş üretim süreçlerine daha fazla yönelmektedirler. Bu durum, yerel mimari özelliklerden faydalanarak daha esnek ve modern inşaat sistemlerinin geliştirilmesinin önemini ortaya koymuştur [105]. Toprak yapılar içinde farklı modern üretim teknikleri üzerine çalışmalar yapılmaktadır.

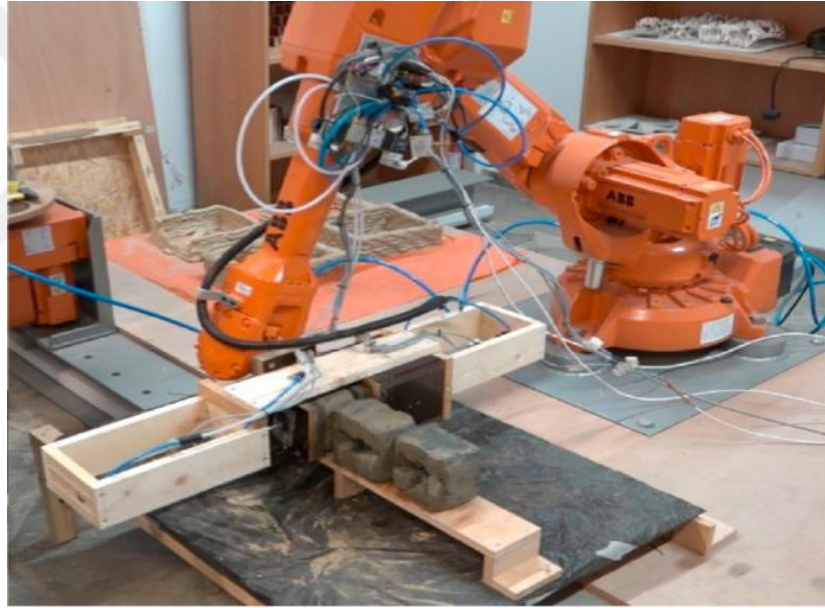
Günümüzde kerpiç yapıların üretiminde kullanılan teknolojiler arasında kerpiç bloklarının çeşitli makineler, 3D baskı, dijital sıkıştırma ve bio püskürtme yöntemi ile üretilmesi bulunmaktadır.

3.3.1. Kerpiç Bloklarının Makine ile Üretimi

Geleneksel kalıplar veya insan gücü ile sıkıştırma yapan aletler ile kerpiç blokları üretilir. Günümüzde toprak blokların üretimi, yoğun sıkıştırma yapan birçok farklı otomatik makineyle üretilmektedir.

3.3.1.1. Kerpicing Kalıp Makinesi ile Üretimi

Kerpiç blokların üretiminde yenilikçi bir uyarlanabilir kalıp döküm mekanizması kullanılabilmektedir. Bu yöntem ile çimento karışımı kerpiç kullanılarak yapılan bir çalışmanın sonucunda bu tekniğin geleneksel yöntemlere kıyasla uzun vadede çevresel ve maliyet avantajları sağladığını göstermiştir [106].



Şekil 3.18: Kalıp döküm mekanizması [106].

3.3.1.2. Kerpicing Ekstrüder Makinesi ile Üretimi

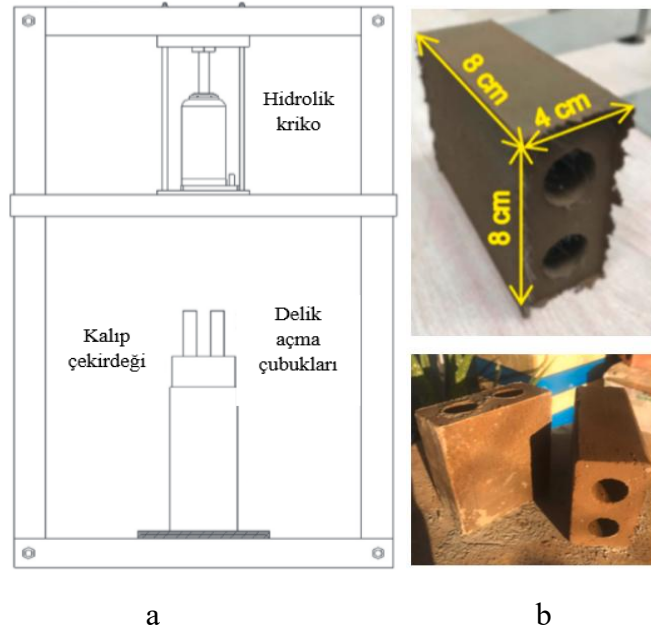
Fabrikada bir ekstrüder tarafından kerpiç bloklar üretilmektedir. Bu teknikte stabilize edilmiş toprak harç istenilen şekli veren bir makineden geçirilir. Bloklar genellikle içi boş şekilde tasarlanmaktadır. Bu yöntem ile homojen ve pürüzsüz kerpiç bloklar üretilir [5].



Şekil 3.19: Ekstrüder makinesi ile üretilen toprak bloklar [5].

3.3.1.3. Hidrolik Pres Makinesi ile Kerpiç Bloklarının Üretimi

Kerpiç tuğla üretiminde, daha kaliteli, pürüzsüz ve çeşitli tasarımlar oluşturmak amacıyla hidrolik pres makinesi kullanılabilir. Yapılan bir çalışmada yeraltı suyu arıtma tesisinden çıkan çamur, bir termik santralden elde edilen uçucu kül ve lif içeriği, geleneksel bir bileşen olan kil yerine alternatif agregalar olarak kullanılmıştır. Çimento, sıvı cam ve polipropilen lifler gibi diğer tamamlayıcı malzemeler katkı maddesi ve yapıştırıcı olarak kullanılmıştır. Bu malzemeler belirli oranlarda kerpice eklenerek, basınç ve eğilme dayanımında iyileşme sağlanmıştır [107].



Şekil 3.20: a-Hidrostatik pres makinesinin şematik gösterimi, b- Hidrolik şekillendirme sıkıştırmasından önce ve kurutulduktan sonra tuğla ürünü [107].

3.3.2. Kerpicing 3D Baskı Makinesi ile Üretimi

Dijital üretim yöntemlerinden biri olan ekstrüzyon (katman katman basma) tekniğini bir malzemenin 3D yazıcıyla basılması esasına dayanır. İlk başta, kil kullanılarak yapılan çömlek baskılarıyla başlayan bu teknoloji daha sonraları toprak bazlı malzemelerle büyük ölçekli binaların yapımına kadar uygulanmıştır. Bu yöntemle yapılan üretimde robotlar ya da vinçler gibi araçlar kullanılabilir. Bu üretim sürecinde, yazıcının özellikleri ve kullanılan malzemenin türü çok önemli rol oynamaktadır [108].

Bu doğrultusunda toprak bazlı malzemelerin 3D baskı teknolojileriyle uygulanabilirliğini göstermek amacıyla çeşitli prototip çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda yapılan bazı çalışmalar aşağıda sunulmaktadır.

Yapılan bir çalışmada robotik kollar aracılığıyla 3D baskı yöntemi kullanılarak kerpiç yapı elemanlarının prototipleri üretilmiştir. Üretilen tonozunun yapısını oluşturabilmek için önce polistiren kullanılarak bir kalıp oluşturulmuştur. Bu kalıp üç gün sonra çıkarılmıştır ve tonoz kendi başına ayakta durabilmiştir [109].



Şekil 3.21: 3d baskı ile tonoz prototipi üretimi [109].

Tez projesi kapsamında sekiz öğrenci, beş öğretim görevlisi ve beş ortak tarafından geliştirilen proje, yaşam alanları için 3D baskı teknolojisinin potansiyelini keşfetmeyi amaçlamaktadır. Çalışmada, kerpiç malzeme kullanılarak beş metre yüksekliğinde

yerel yapısal ve iklimsel ihtiyaçlara uyarlanmış bir performatif duvar prototipi üretilmiştir [110].



Şekil 3.22: Dijital kerpiç duvar prototipi (2018) [110].

2019 yılında, 3D baskı teknolojisi ile kerpiğin yük taşıma kapasitesini araştırabilmek için gömülü ahşap merdivenli bir kerpiç duvar modeli tasarlanmıştır. Projede kullanılan kerpiç malzeme, toprak, su, pirinç samanı, pirinç kabuğu ve kireç karışımından hazırlanmıştır. [111].



Şekil 3.23: 3D baskı ile oluşturulan duvar modeli [111].

Yapılan farklı bir çalışmada, büyük ölçekli 3D baskılı inşaat uygulamaları için çevre dostu toprak bazlı malzemelerin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda, %9

Çimento ve %2 pirinç kabağı lifi ile stabilize edilen karışım lar kullanılarak, çevresel etkisi düşük, maliyet açısından verimli ve sürdürülebilir bir yapı malzemesi elde edilmiştir. Yazdırılabilirlik, inşa edilebilirlik ve basınç dayanımı gibi temel özellikler malzemenin hem taze hem de sertleşmiş halleri için değerlendirilerek optimum performans hedeflenmiştir. Üretim aşamasında robotik KUKA kolu ve kontrollü pompalama sistemi kullanılmıştır [112].



şekil 3.24: Kuka robotik kolu ile katman yapım süreci [112].

Krleme sürecinde iki kat jt çuval örtüsü kullanılarak nem kaybı nlenmiş ve yapının bütünlüğü korunmuştur. Çalışma toprak bazlı malzemelerle 3D baskı teknolojisinin sürdürülebilir ve hızlı üretilen konut çözümleri sunmada önemli bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir [112].



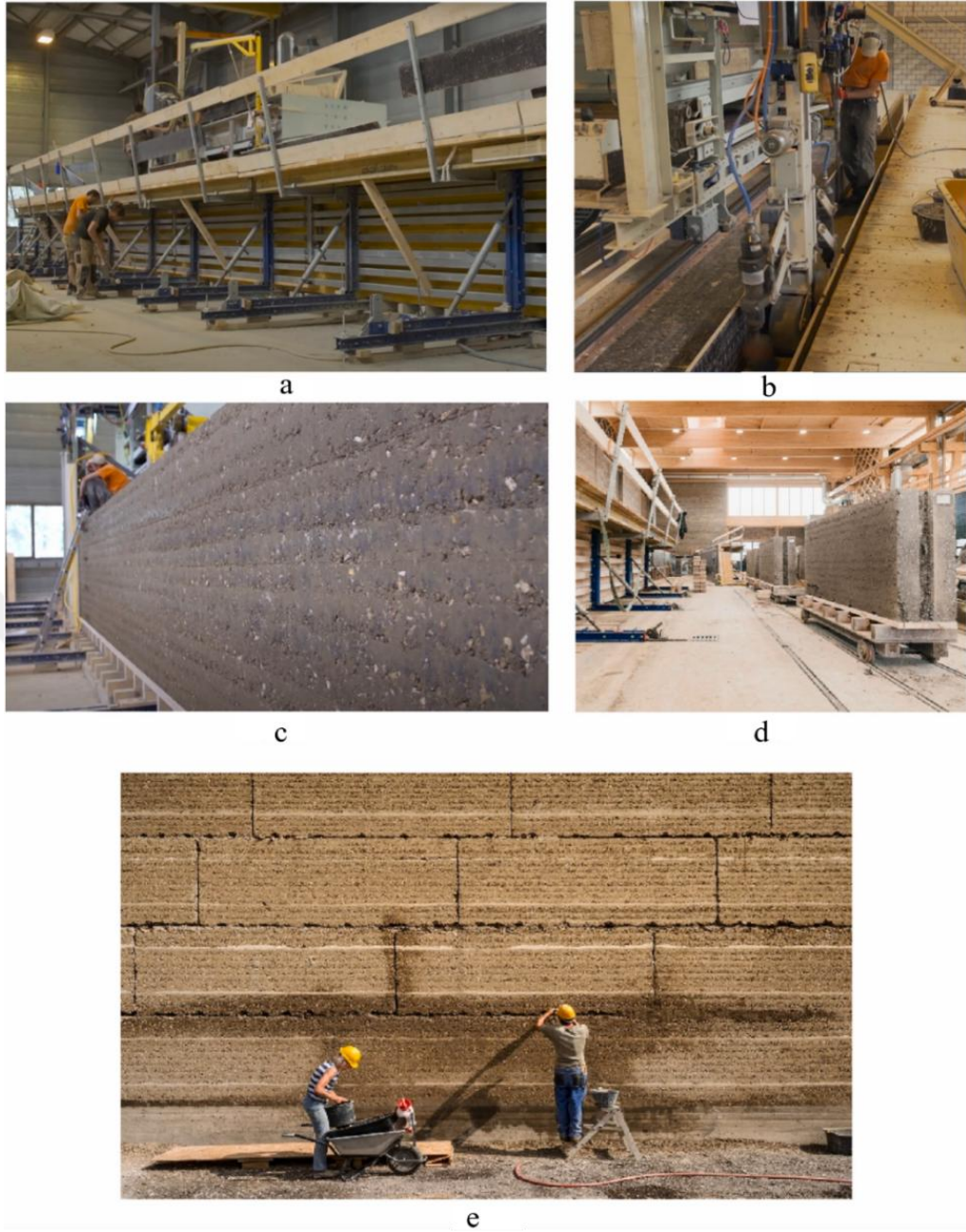
Şekil 3.25: Küreleme süreci ve tamamlanan büyük ölçekli prototip [112].

3.3.3. Dijital Sıkıştırılmış Toprak

Günümüzde sıkıştırılmış toprak duvarlar makineler yardımı ile yerinde üretildiği gibi hava koşullarından bağımsız prefabrik olarak fabrika veya üretim tesislerinde de üretilip şantiye alanına getirilebilmektedir. Fabrikalarda üretilen duvar panelleri yerinde üretilenlere göre daha homojen ve hassas bir şekilde hazırlanabilmektedir [113].

Bu üretim yöntemlerini daha da geliştirmek ve süreci endüstriyel ölçekte uygulamak amacıyla çeşitli makineler tasarlanmıştır.

Sıkıştırılmış toprak yapıların üretim sürecini daha verimli, dayanıklı ve ölçeklenebilir hale getirmek amacıyla Martin Rauch tarafından tanıtılan "Roberta" makinesi; kalıp sistemi, malzeme depolama, sıkıştırma makinesi ve kesme makinesi olmak üzere dört ana sisteme sahiptir. Kalıp sistemi 20 metre uzunlukta ve 2,8 metreye kadar yüksekliğe ulaşabilen bölümden oluşmaktadır. Yarı otomatik bir mekanizma ile kalıp montajı ve sökülmesi gerçekleştirilirken, stabilize edilmemiş taze toprak karışımı bir dağıtım yoluyla kalıba eşit şekilde dağıtılmaktadır. Kalıp içerisine yerleştirilmiş sıkıştırma makinesi, malzemeyi katman katman sıkıştırmakta ve duvarın istenilen yüksekliğe ulaşmasını sağlamaktadır. Her sıkıştırılmış katman yaklaşık 12 cm yüksekliğindedir. Her üç katmanda bir aşınma direncini arttırmak ve dayanıklılığı iyileştirmek için çimento harcı katmanı eklenmektedir. Kalıp söküldükten sonra istenilen tasarımlara göre dikey kesme makinesi ile duvar daha küçük panellere dönüştürülebilir [114].



Şekil 3.26: Roberta makinesi üretim süreci /(a) üretim hattı; (b) sıkıştırma makinesi; (c) sökme işleminden sonra ürün; (d) kesildikten sonra depolanan duvar kesiti; (e) şantiyede inşa edilen duvar [114].

Avustralyalı David Freeman, için sıkıştırılmış toprak teknolojileri geliştirdiği bir şirket olan Formearth prototip otomatik sıkıştırılmış toprak makinesi gelişimi üzerinde çalışmaktadır. Geliştirilen makine, adım adım yukarı hareket eden kayan bir panel kalıp sistemiyle çalışmaktadır. Tel halatlı vinç kullanılarak toprak karışımı otomatik olarak makineye taşınmakta ve gerekli eşit bir şekilde dağıtılmaktadır. Bu sistem, manuel olarak taşıma ya da ekleme sürecini ortadan kaldırmakta ve işlemi hızla

gerçekleştirmesini sağlamaktadır. Sıkıştırma işlemi, inşaat mühendisliğinde ve yol ürünleri kullanılanlara benzer bir sıkıştırıcıyla yapılmaktadır. Prototip, 50 dakikada 2 metre boyutunda bir sıkıştırılmış toprak duvar üretebilmektedir [115].



Şekil 3.27: Formearth'ün prototipi ve tasarım konsepti [115].

Önceki iki örnek üretim sisteminde, üretim bölümünün farklı aşamalarında insan emeğine ihtiyaç duyduğu için yarı otomatik olarak sınıflandırılabilir. Ancak robotik bir sistem kullanan bu çalışmada manuel sıkıştırma ve malzeme besleme süreçlerini robotik olarak kontrol edilen işlemlerle yapılmaktadır. Ayrıca kalıp ihtiyacını en aza indirmeye yardımcı olan bir kayar kalıp sistemini kullanılmaktadır. Bu kalıp, farklı tasarım standartlarına göre ayarlanabilmektedir [114]. Duvar istenilen yüksekliğe ulaşana kadar robot, toprak karışımını duvar boyunca katman katman yerleştirirken, robotik sıkıştırıcı aynı yolu takip ederek sıkıştırma işlemini tamamlamaktadır [114].



Şekil 3.28: Robotik sistem ve kayar kalıp ile sıkıştırılmış toprak üretimi [114].

3.3.4. Bio-Püskürtme (Bioshotcrete) Yöntemi ile Kerpiç Üretimi

Kerpiç yapım yöntemlerinde bahsedilen püskürtme yöntemi robotik üretim teknolojileri ile birlikte üretilmesi üzerine çalışmalar yapılmaktadır. "Bioshotcrete" yeni bir teknolojidir ve inşaat sektöründe hazırlanan bir kalıp üzerine harcı püskürtmek için kullanmayı amaçlamaktadır.

Yapılan bir çalışmada kapsamında, gerçek boyutlarda bir yapı kabuğu üzerine dronlar aracılığı ile bio püskürtme yöntemi ile kil karışımı harç aktarılmıştır [116].



Şekil 3.29: Yapı kabuğu üzerine bio püskürtme yöntemi ile harç aktarımı [116].

Püskürtme için diğer yenilikçi yöntem ise Shotcrete 3B baskı yöntemidir. Bu yöntemde toprak katmanları robotik bir kol ilse püskürtülerek belirli bir geometrik şekil elde edilir [108].



Şekil 3.30: Robotik kol ile püskürtme [108].

Bio püskürtme yöntemi daha yeni bir teknoloji olduğu için geliştirilmesi üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Daha iyi yapısal performansa sahip yapılar oluşturabilmek için gelecekteki tam ölçekli testleri çoğaltmak ve yapısal analizin daha fazla araştırılması gerekmektedir.

Kerpiç yapılar için modern dijital üretim yöntemleri geleneksel toprak yapım tekniklerini geliştirerek daha verimli ve yaratıcı çözümler sunmaktadır. Bilgisayar kontrollü makineler elle yapılan geleneksel üretimlerin aksine çok daha hızlı ve düşük maliyetle üretmeye olanak tanıyabilmektedir. Ayrıca, dijital teknolojiler sayesinde, tasarımlar çok daha esnek hale gelebilmekte bu da daha işlevsel ve özgün yapılar tasarlamaya olanak vermektedir [108].

3.3.5. Geleneksel ve Yenilikçi Kerpiç Üretim Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Yapılan literatür incelemeleri doğrultusunda, geleneksel kerpiç üretim yöntemleri ve yenilikçi kerpiç üretim yöntemleri **Tablo 3.4**'te karşılaştırılmaktadır.

Tablo 3.4: Geleneksel ve yenilikçi kerpiç üretim yöntemleri karşılaştırılması.

Geleneksel Üretim Yöntemleri	Yenilikçi Üretim Yöntemleri
Geleneksel Yöntemle Kerpiç Tuğla veya Blok Üretimi	Kerpiç Bloklarının Makine ile Üretimi
Geleneksel Sıkıştırılmış (Pres) Toprak Bloklar	
Tokmaklama (Sıkıştırılmış Toprak) Yöntemiyle Kerpiç Üretimi	Dijital Sıkıştırılmış Toprak
Püskürtme (Shotcrete) Yöntemi ile Kerpiç Üretimi	Bio-püskürtme Yöntemi ile Kerpiç Üretimi

- Geleneksel yöntemlerde kalıp ve manuel pres makineleri kullanılarak kerpiç üretilirken modern üretim teknikleri ile daha hızlı, pürüzsüz ve zamandan tasarruf edilerek çok sayıda kerpiç blokları üretilmektedir.
- Geleneksel tokmaklama yönteminde bir manuel veya otomatik tokmak yardımı ile insan kontrolünde sıkıştırılmış toprak üretilirken, yenilikçi yöntemler sayesinde prefabrik olarak daha önceden seri olarak üretilen veya şantiye ortamında bir makine yardımı ile dijital sıkıştırılmış toprak duvarlar

üretilebilmektedir. Bu sayede insan gücü kullanılmadan, malzeme döküm ve sıkıştırma işlemleri makineler yardımı ile yapılmakta, çok daha hızlı ve esnek boyut ve tasarımlarda duvarlar üretilebilmektedir.

- Beton teknolojisi ile püskürtme yöntemi kullanılarak kerpiç yapılar üretilebilirken modern araştırmalarda dronlar ve robotik kollar kullanılarak püskürme yöntemi ile kerpiç yapı ve elemanların üretilebilmektedir (**Tablo 3.4**).

Çağdaş yapım yöntemleri, kerpiç üretim sürecini basitleştirerek kerpiç bloklarının hazırlanması, taşınması ve duvar örme gibi işçilikleri ortadan kaldırmaktadır. Bu sayede inşaat daha ekonomik ve hızlı bir şekilde tamamlanabilmektedir [4].

3.4. Yenilikçi Yaklaşımların Kerpiç Yapılar Üzerinden İncelenmesi

Kerpiç, eski çağlardan günümüze kadar hem kentsel hem de kırsal alanlarda yapı malzemesi olarak kullanılmış bir malzemedir. Her kıtada örnekleri bulunan kerpiç yapılar, yalnızca geleneksel yerleşimlerde değil, modern şehirlerde de görülebilmektedir [68].

Bu bölümde, kerpiç malzemeye ilişkin yenilikçi yaklaşımlar ele alınmakta ve bu yaklaşımlar modern kerpiç yapılar üzerinden değerlendirmeye tabi tutulmaktadır. Değerlendirme, malzeme içeriğinin iyileştirilmesi, destek sistemler ile yapı performansının artırılması ve yenilikçi üretim tekniklerinin uygulanması kapsamında ele alınmaktadır.

3.4.1 Kerpiç Malzemenin İçeriği Geliştirildiği Yapı Örnekleri

Bu bölümde, içeriği farklı malzemelerle geliştirilmiş kerpiç malzemenin kullanıldığı yapı örnekleri incelenmektedir. Bu kapsamda, Centinela Chapel, Mud House, Kampala Konut Projesi, Nido de Tierra Evi ,21st Century Vernacular Evi ve Emine Teyze Evi değerlendirmeye alınmıştır. Söz konusu yapılarda, bölgelere özgü doğal içerikler, çimento ve kireç gibi farklı katkı maddeleri kullanılmıştır.

3.4.1.1. Centinela Chapel

2014 yılında Meksika’da yapılan proje, kerpiç ve çeliğin yapısal özelliklerinden faydalanarak gerçekleştirilmiştir. Tasarımda, 13 metre uzunluğunda bir açıklık ve 8 metre yüksekliğinde çift kerpiç duvar kullanılmıştır. Kerpiç karışımında, bölgedeki toprakla birlikte, kilin bağlayıcılığını artırmak ve çatlamayı önlemek amacıyla agave lifinden elde edilen bir atık malzeme olan "bagazo" kullanılmıştır [117].



Şekil 3.31 : Centinela Chapel [117].

3.4.1.2. Mud House

2022 yılında Hindistan’da yapılan tasarım, geleneksel inşaat tekniklerinden faydalanarak çamur, geri kazanılmış taş ve yerel yabani otlar kullanılarak

gerçekleştirilmiştir. Bu doğal malzemeler, evin sıcak aylarda pasif soğutma yoluyla serin kalmasını sağlamaktadır. Duvarlar, çamur ve doğal bağlayıcılarla karıştırılmış topraktan yapılırken, karışıma Hindistan'a özgü bir bitki olan neem ve jaggery (şeker kamışı şekeri) gibi yenilebilir maddeler eklenerek böcekleri uzaklaştıran doğal bir koruma etkisi yaratılmıştır [118].



Şekil 3.32 : Mud House [118].

3.4.1.3. Kampala Konut Projesi

2022 yılında Uganda'da yapılan Kampala konutları sıkıştırılmış toprak tuğlalarla inşa edilmiştir. Eko bloklar, %90 yerel toprak, %10 çimento, kireç, kum ve su karışımından

yapılmıştır. Bu malzeme, çimento bloklardan daha dayanıklı, sürdürülebilir ve %30 daha az karbondioksit salınımına neden olan bir termal ve akustik yalıtıcıdır. Evin çatısı, büyük bir oluklu demir ve ahşap yapı ile tasarlanmıştır. Çatıda, güneş panelleri bulunmaktadır, ayrıca yağmur suyunun su kulelerinde toplanmasına yardımcı olur. Tasarımda sürdürülebilir mimarinin pasif sistemleri kullanılmıştır [119].



Şekil 3.33: Kampala Konut Projesi [119].

3.4.1.4. Nido de Tierra Evi

2016 yılında Meksika’da yapılan Nido de Tierra evi, bölgedeki bina örneklerine sadık kalınarak inşa edilmiştir. Yapıda kerpiç duvarlar, %5 çimento, kil, saman ve kireç kumu karışımları içermektedir. Çatı ahşaptan, zemin ise betondan oluşmaktadır. Çelik, kapılarda, pencerelerde ve kamusal hacimde destekleyici bir eleman olarak kullanılmıştır [120].



Şekil 3.34: Nido de Tierra Evi [120].

3.4.1.5. 21st Century Vernacular Evi

2014 yılında İspanya’da yapılan bu modern sıkıştırılmış toprak evi, Terra Ödülü 2016’yı kazanan çağdaş toprak mimarilerinden biridir. Proje, bölgedeki göç nedeniyle unutulmaya yüz tutmuş geleneksel mimari tekniklerini yeniden canlandırmayı amaçlamaktadır. Taş, toprak ve saman gibi yerel malzemeler binanın ağırlığının %80’ini oluşturmaktadır. Kerpiç duvar harcının içine kireç katkısı kullanılmıştır. Ev, doğal ışığın etkin sunumunu sağlayan pencere tasarımları, ısı yalıtımlı panjurlar, yağmur suyu toplama için sarnıç, ısıyı depolayan kil sıvalar ve pasif güneş enerjisi stratejilerini içermektedir [121].



Şekil 3.35: 21st Century Vernacular Evi [121].

3.4.1.6. Emine Teyze Evi

Malatya'nın Doğanşehir ilçesinde, 6 Şubat 2023'te Kahramanmaraş merkezli depremlerde evi yıkılan Emine Alagöz için İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) Mimarlık Bölümü Öğretim Üyesi Doç. Dr. Sema Alaçam liderliğinde, İTÜ öğrencileri, mezunları ve gönüllüler tarafından “Emine Teyze Evi” adıyla depreme dayanıklı kerpiç ev projesi hayata geçirilmiştir. Proje kapsamında, 60 cm derinlikten güneş ve bitki görmemiş toprak kullanılarak, 10 birim toprağa 1 birim çimento katkı maddesi eklenmiş ve tokmaklarla sıkıştırma yöntemiyle yapı inşa edilmiştir. Yaklaşık 3 ay süren çalışmada gönüllülerin de katkısıyla duvarlar 30 gün içinde tamamlanmıştır. Bu modernize sıkıştırılmış toprak tekniğiyle yapılan tek katlı ev, çevre dostu, ekonomik

ve deprem dayanımlı bir çözüm sunmakta, benzer afet bölgelerinde barınma sorununa alternatif bir model oluşturmaktadır [122].



Şekil 3.36: Emine Teyze Evi[122].

3.4.2. Destek Sistemler ile Güçlendirilen Kerpiç Yapılar

Bu bölümde kerpiç yapının destek sistemler ile güçlendirilmesine örnek olarak San Pedro de Atacam’da bir kilise ve Şiilide bir kerpiç ev projesi incelenmektedir. Her iki yapıda da halat örgü sistemi kullanılmıştır.

3.4.2.1. San Pedro de Atacam'da Bir Kilise

2014 yılında Şili'deki kilise duvarları halat örgü sistemi ile güçlendirilerek restore edilmiştir. Tasarım, kerpiç tuğlaların boyutlarına uygun aralıklarla dikey ve yatay olarak uygulanan ve deprem durumunda binanın çökmesini engelleyen bir halat sisteminden oluşmaktadır. Halatın düşük maliyetli ve kolay erişilebilir bir malzeme olması hem çökmeyi önlemesi hem de deprem sırasında yapı davranışlarını iyileştirmesi yönünden avantajlar sağlamaktadır [123].



Şekil 3.37: Kilise projesi [123].

3.4.2.2 Şili'de Kerpiç Yapı

2018 yılında Şili'nin orta kesiminde meydana gelen bir depremin ardından, bölgede hasar gören kerpiç duvarların yapısal dayanıklılığını artırmak amacıyla bir

güçlendirme çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma kapsamında, geleneksel yapı tekniğine müdahale edilmeden uygulanabilen halat bazlı bir sistem tercih edilmiştir. Duvar yüzeylerine yatay ve düşey doğrultuda yerleştirilen halatlar aracılığıyla, duvarların sismik yükler altındaki deformasyon yeteneklerinin artırılması ve olası çökme risklerinin azaltılması hedeflenmiştir [124].



Şekil 3.38: Kerpiç ev güçlendirilmesi [124].

3.4.3. Yenilikçi Sistemler ile Üretilen Kerpiç Yapılar

Bu bölümde, Gaia, Tecla, Tova, Terramia Prototipi, King Abdulaziz Centre for World Culture, Alnatura Arbeitswelt ve Erden Werkhalle projelerinde kerpiç yapıların yenilikçi üretim sistemleriyle inşa edilmesi ele alınmaktadır. Bu projelerde, 3D yazıcı, bio-püskürtme ve dijital sıkıştırılmış toprak sistemleri gibi farklı üretim teknikleri kullanılmıştır.

3.4.3.1. Gaia

2018 yılında İtalya’da yapılan Gaia projesi, ana bağlayıcı olarak ham toprağın kullanıldığı bir sürdürülebilir mimari örneğidir. Özellikle pirinç üretim zincirinden elde edilen doğal atık malzemelerin kullanımıyla, biyoklimatik ve sağlıklı bir tasarım anlayışı benimsenmiştir. 3D yazıcı teknolojisi ile üretilen yapıda kullanılan malzeme içeriği, %25’i sahadan alınan toprak (%30 kil, %40 silt ve %30 kum), %40’ı saman, %25 pirinç kabuğu ve %10 hidrolik kireçten oluşmaktadır. Ev, neredeyse sıfır çevresel etkiye sahip olup, enerji verimliliği ve iç mekân sağlığı açısından yüksek performanslı bir yapıdır. Duvar işçiliğiyle birkaç haftada inşa edilen bu yapı hem kış hem de yaz aylarında içeride ılıman ve konforlu bir sıcaklık sunmaktadır [125].



Şekil 3.39:Gaia proje [125].

3.4.3.2. Tecla

2021 yılında İtalya’da yapılan Tecla projesi, yerel malzemeler, biyo-iklimsel prensipler ve inşaat uygulamalarını birleştiren yenilikçi bir konut örneğidir. Neredeyse sıfır emisyonlu olan bu proje, yerel malzemeler ve ham toprak kullanarak düşük karbon salınımı sağlamakta ve atıkları azaltmaktadır. Proje, toprağın su ve pirinç kabuklarıyla beton mikserinde karıştırılmasıyla ilerler; bu karışım, duvarları oluşturacak kadar katılaşır. WASP tarafından geliştirilen Crane WASP adlı 3D yazıcı teknolojisiyle, konut modülleri birkaç gün içinde inşa edilebilmektedir. Büyük göçler veya doğal afetler gibi küresel krizlere karşı sürdürülebilir konut çözümleri sunmayı amaçlamaktadır [126].



Şekil 3.40: Tecla proje [126].

3.4.3.3. Tova

TOVA, 2022 yılında Barselona'daki Valldaura Laboratuvarları'nda, toprak ve 3D yazıcı teknolojisi kullanılarak birkaç hafta içinde inşa edilen İspanya'nın ilk sürdürülebilir yapısıdır.Yapı, 3D baskı için gereken yapısal kararlılığı ve malzeme esnekliğini sağlamak amacıyla katkı maddeleri ve enzimlerle zenginleştirilmiş yerel topraktan yapılmış olup hava koşullarına dayanıklılığını artırmak için aloe ve yumurta akı gibi doğal malzemelerle su geçirmez bir kaplama uygulanmıştır.

TOVA, sürdürülebilir inşaat teknolojileri açısından önemli bir örnek teşkil etmekte olup, özellikle geçici yerleşimler ve afet sonrası konut çözümleri için hızlı, ucuz ve çevre dostu bir alternatif sunmaktadır. [127].



Şekil 3.41:Tova proje [127].

3.4.3.4. Terramia Prototipi

MuDD Architects tarafından 2019 yılında İtalya’da Milano tasarım haftasında, insani yardım misyonlarında veya düşük bütçeli projelerde kullanılabilecek bir prototip olan Terramia'yı üretmiştir. Prototip yapı Milano'dan 20 km uzaklıktan toplanan bambu iskelet üzerine inşa edildi ve üzeri özel yapım kumaş ile kaplandı. Yapı jüt kumaşla kaplanmış gergin bambu kemerler 3,5 metreden 5,5 metreye kadar yükseklikte üç serbest formlu tonoz yapıdan oluşmaktadır. Çamur ve lif karışımı, bio-püskürtme tekniği ile yapı üzerine kaplanmıştır. Yalıtım malzemesi olarak kullanılan çamur ve lif karışımının püskürtülmesinde drone teknolojisinden yararlanılmıştır. [128], [129].



Şekil 3.42: Terramia prototipi [128],[129].

3.4.3.5. King Abdulaziz Centre for World Culture

2014 yılında tamamlanan Suudi Arabistan'daki King Abdulaziz Dünya Kültür Merkezi, modern  a da inşa edilmiş en büyük toprak yapı olup, stabilize edilmemiş sıkı tırılmı  toprak tekniğinin bu ölçekte ilk kez mimari bir eleman olarak kullanıldığı projedir. Projenin dikkat çekici yönlerinden biri toprak duvar bileşenlerinin prefabrike edilerek üretilmesi ve daha sonra vinç yardımıyla yerine yerleştirilmesidir. Prefabrik panellerin montajı sonrasında retu  ve bitirme işlemleri sahada el i  ili iyle yapılmıştır. Bu işlem sırasında,  elik ve cam gibi modern yapı malzemeleriyle birleşim detayları yüksek hassasiyetle toprakla b t nle tirilmi  ve doğal malzemenin form verilebilirli i sayesinde organik ya da doğrusal yüzeyler kusursuz biçimde tamamlanabilmi tir [130].



Şekil 3.43: King Abdulaziz Dünya Kültür Merkezi [130].

3.4.3.6. Alnatura Arbeitswelt

2017 yılında Almanya’da yapılan Alnatura Arbeitswelt projesi, 13.500 metrekarelik bir alanı kapsamaktadır. Projenin malzeme kullanımında sürdürülebilirlik hakkında önemli bir özelliği, inşaat sırasında kullanılan toprağın %60'ının, tren projesi kapsamında yapılan kazılardan elde edilmiş olmasıdır. Projede, sıkıştırma işlemlerinin gerçekleştirilmesi için özel olarak geliştirilmiş bir makine kullanılmıştır. Bu makine, proje için tasarlanmış ve üretime alınmadan önce kapsamlı bir planlama süreciyle optimize edilmiştir. Yapının prefabrik olarak önceden üretilen dış duvarları, sıkıştırılmış topraktan yapılmış olup, 3 katlı ve 12 metre uzunluğundadır. Bu duvarlar yalnızca kendi yüklerini taşıyacak şekilde tasarlanmıştır [130].



Şekil 3.44: Alnatura Arbeitswelt [131].

3.4.3.7. Erden Werkhalle

2022 yılında Avusturya’da yapılan binanın ana malzemesi olan toprak, bölgesel şantiye kazılarından elde edilmiştir. Yapıda ısıtma sistemi güneş enerjisiyle çalışır ve

büyük yapı elemanları, bu sayede iç mekânın ısınmasını veya soğumasını sağlar. Yapının boyutları 67 x 24 metredir. Hibrit ahşap konstrüksiyon yapısı 67 metre uzunluğunda sıkıştırılmış işlem toprak duvarla desteklenmektedir. Yapının sıkıştırılmış toprak prefabrik duvarları makineler yardımı ile seri olarak üretildikten sonra şantiye alanına getirilip ve diğer toprak yapı teknikleri ve ahşap gibi tamamlayıcı malzemelerle birleştirilmiştir [130].



Şekil 3.45: Erden Werkhalle [130].

Kerpiç yapılarda uygulanan yenilikçi yaklaşımların değerlendirilmesi **Tablo 3.5**'te sunulmaktadır.

Tablo 3.5: Yapıların yenilikçi yaklaşımlar üzerinden değerlendirilmesi.

Proje Adı/Görseli	Yıl/Yer	Malzeme İçeriğinin Geliştirilmesi	Destek Sistemler ile Yapının Güçlendirilmesi	Yenilikçi Üretim Yöntemleri
Centinela Chapel 	2014 Meksika	●		
Mud House 	2022 Hindistan	●		
Kampala Konut Projesi 	2022 Uganda	●		
Nido de Tierra Evi 	2016 Meksika	●		
Emine Teyze Evi 	2023 Türkiye	●		
21st Century Vernacular Evi 	2014 İspanya	●		

Tablo 3.5 Devam: Yapıların yenilikçi yaklaşımlar üzerinden değerlendirilmesi.

San Pedro de Atacam'da Bir Kilise 	2014 Şili		●	
Şili'de Kerpiç Yapı 	2018 Şili		●	
Gaia 	2018 İtalya	●		●
Tecla 	2021 İtalya	●		●
Tova 	2022 Barselona	●		●
Terramia Prototipi 	2019 İtalya			●

Tablo 3.5 Devam: Yapıların yenilikçi yaklaşımlar üzerinden değerlendirilmesi.

King Abdulaziz Dünya Kültür Merkezi 	2014 Saudi Arabistan			●
Alnatura Arbeitswelt 	2017 Almanya			●
Erden Werkhalle 	2022 Avusturya			●

Bu bölümde kerpiç malzemeye ilişkin yenilikçi yaklaşımlar kapsamlı bir şekilde ele alınmış ve modern kerpiç yapılar üzerinden değerlendirmeler yapılmıştır. İncelenen yapılar, kerpiç malzeme ve sistemlerine yönelik geliştirilen teorik yaklaşımların yalnızca deneysel düzeyde kalmadığını, sahada gerçekleştirilen uygulamalarla da somut yapı ürünlerine dönüştüğünü ortaya koymaktadır. Bu da kerpiç malzemenin günümüz inşaat sektöründe hem çevresel hem de yapısal gereksinimlere yanıt verebilen yenilikçi bir yapı malzemesi olarak yeniden değerlendirildiğini göstermektedir.

4.KERPIÇ MALZEME VE YAPILARIN KULLANIMINA İLİŞKİN UZMAN GÖRÜŞLERİ

Bu bölümde, kerpiç malzeme ve yapıların değerlendirilmesine yönelik uzmanlığı bulunan beş katılımcı ile gerçekleştirilen görüşmelerden elde edilen bulgulara yer verilmektedir.

4.1.Katılımcı Profilleri

Görüşme yapılan katılımcılar, farklı mesleki geçmişlere sahip dört mimar ve bir restoratörden oluşmaktadır. Bu mimarlardan üçü akademik alanda görev yapmakta, diğer bir katılımcı ise hem akademik hem de uygulama alanında deneyim sahibidir. Bir katılımcı ise profesyonel olarak uygulama sektöründe faaliyet göstermektedir. Yapılandırılmış görüşmeler kapsamında yer alan beş katılımcının bilgileri aşağıda sunulmaktadır. Katılımcılara ait detaylı bilgiler **Ek-B** bölümünde sırayla verilmiştir.

- U1 (Akademisyen – Mimar): Mimarlık alanında akademik kariyerini sürdüren katılımcı, özellikle toprak yapı teknolojileri konusunda uzmanlaşmıştır. Ulusal ve uluslararası düzeyde bu alanda bilimsel çalışmalar yürütmektedir.
- U2 (Akademisyen – Mimar): Sayısal tasarım, algoritmik modelleme ve doğal yapı malzemeleri üzerine çalışan katılımcı, aynı zamanda akademik idari görevlerde de bulunmuştur ve yöneticilik deneyimine sahiptir.
- U3 (Restoratör): Sıkıştırılmış toprak teknikleri üzerine çalışan katılımcı ve bu alanda çeşitli atölye ve tanıtım faaliyetlerine katılmaktadır.
- U4 (Mimar ve Eğitimci): Mimarlık ve ekoloji disiplinlerini bir araya getiren katılımcı, yapı biyolojisi ve ekolojisi alanında uzmanlaşmıştır. Farklı üniversitelerde dersler vererek akademik katkı sağlamaktadır.
- U5 (Akademisyen – Mimar): Sürdürülebilir mimarlık ve doğal yapı malzemeleri üzerine çalışan katılımcı, doktora düzeyinde geleneksel kerpiç yapıların çevresel performansına odaklanmıştır. Bu alanda araştırmalar yürütmektedir.

4.2. Röportaj Sorularının Hazırlanması

Bu çalışmada kullanılan röportaj soruları, kerpiç yapıların mevcut durumu, teknik ve toplumsal sınırlılıkları, yenilikçi yaklaşımlar ve geleceğe yönelik potansiyellerini çok boyutlu olarak ele alacak şekilde yapılandırılmıştır. Sorular, literatür taraması, sektörel uygulamalar ve akademik bilgi birikimi doğrultusunda geliştirilmiştir.

Röportajlar, önceden belirlenmiş tam yapılandırılmış sorular aracılığıyla gerçekleştirilmiş ve katılımcılara toplam 11 soru sorulmuştur. Görüşmelerin gerçekleştirilmesine yönelik olarak GTÜ İnsan Araştırmaları Etik Kurulundan etik uygunluk belgesi alınmıştır (**Ek-A**). Görüşmeler, yüz yüze ve çevrim içi yöntemlerle gerçekleştirilmiş, ortalama 1-2 saat sürmüş ve veriler ses kaydı alınarak toplanmıştır.

4.3. Uzman Görüşlerinin Tematik Analizi

Bu bölümde, beş katılımcı ile gerçekleştirilen görüşmelerden elde edilen veriler, tematik analiz yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir. Tematik analiz; nitel verilerde tekrar eden anlam kalıplarını (temalarını) belirlemek, organize etmek ve yorumlamak amacıyla uygulanan esnek ve kapsamlı bir yöntemdir [132].

Görüşmelerden elde edilen metinler detaylı şekilde okunmuş, anlamlı ifadeler (anlam birimleri) çıkarılmış ve benzer ifadeler bir araya getirilerek ana temalar oluşturulmuştur. Bu bağlamda, 11 soru için aşağıda belirtilen beş ana tematik başlık belirlenmiştir.

- Kerpiç Malzemenin Yapı Sektöründeki Mevcut Durumu ve Geleceği
- Malzeme Performansının Gelişimi
- Gelenekselden Moderne Üretim Süreçlerinin Gelişimi
- Toplumsal Algı ve Bilinç
- Yaygınlaştırma Stratejileri ve Gelecek Vizyonu

Bu temalar araştırma sorularının odağında şekillendirilmiş ve her tema başlığı altında katılımcıların görüşleriyle desteklenerek sunulmuştur.

Katılımcıların kimlikleri metin içinde U1, U2, U3, U4, U5 şeklinde kodlanmıştır. Her tema, katılımcıların verdikleri cevaplar ile zenginleştirilmiş, böylece kerpiç

malzemenin kullanımına etkileyen engeller, teknik gelişmeler, toplumsal algılar ve politika önerileri gibi temel boyutlar kapsamlı şekilde ele alınmıştır.

Aşağıda, analiz sonucunda belirlenen beş ana tema ve bu temalar çerçevesinde katılımcıların görüşleri yer almaktadır.

4.3.1. Kerpiç Malzemenin Yapı Sektöründeki Mevcut Durumu ve Geleceği

Bu tema ile ilgili olarak katılımcılara üç soru yöneltilmiştir. İlk olarak Türkiye’de kerpiç malzemenin yaygın inşaat uygulamalarında kullanılmasının önündeki başlıca engellerin ne olduğu sorulmuştur.

U1, en büyük sorunun teknolojik bilgi eksikliği olduğunu belirtmiştir. Dünya nüfusunun üçte birinin hâlâ kerpiç yapılarda yaşadığını vurgulayan katılımcı, yapı sektörünün sanayileşmesiyle birlikte makinelerin devreye girdiğini ve inşaat hızının arttığını ifade etmiştir. Bu dönüşümün, endüstriyel inşaata geçişi tetiklediğini, kendilerinin ise bu sürece toprak bazlı malzemeleri entegre etmeye çalıştıklarını vurgulamıştır.

U2 ise kerpicing yaygın kullanımının önündeki en büyük engelin, bu malzemenin mevzuatta taşıyıcı yapı malzemesi olarak tanımlanmamış olması olduğunu belirtmiştir. Bu durumun, kerpiçle yapılacak yapıların ruhsatlandırılmasına neden olduğunu ve daha sürecin başında elendiğini vurgulamıştır. Ayrıca, kerpicing üretim sürecinin yoğun insan gücüne dayandığını, bu alanda ciddi bir otomasyon ve standardizasyon eksikliği bulunduğunu ifade etmiştir. Bu nedenle uygulamaların çoğunlukla kırsal alanlarda ve tekil yapı ölçeğinde kaldığını iletmiştir. Teknik bilgiye sahip usta ve ara eleman eksikliğinin de bu süreci zorlaştırdığını ve modern sistemlerle geleneksel bilgi arasında köprü kurabilecek insan kaynağının sınırlı olduğunu vurgulamıştır.

U3, en önemli yapısal engelin kerpicing deprem yönetmeliğinden çıkarılması olduğunu belirtmiştir. Bunun yanı sıra, bu alanda üretim ve uygulama yapabilecek mimar ve ustaların artık yetişmediğini vurgulamıştır. Günlük mesleki pratikte bu bilgi eksikliğiyle sık karşılaşıldığını, bazı mimarların kerpiç veya sıkıştırılmış toprak terimlerine dahi aşina olmadığını ifade etmiştir. Bu durumu, mimarlık eğitim sisteminde bu konulara yeterince yer verilmemesiyle ilişkilendirmiştir. Ayrıca yeni ustaların yetişmemesinin de bilgi aktarımını sekteye uğrattığını belirtmiştir.

U4, Türkiye'nin birçok gelişmekte olan ülke gibi batılı ve modern akımları model aldığıını, bu nedenle kendi öz değerlerinden uzaklaştığını vurgulamıştır. Beton sanayisinin etkisiyle ilgili yönetmeliklerin bu sistemler doğrultusunda şekillendiğini belirtmiş, toplum mühendisliğinin kerpici “ağdışı ve dayanıksız” bir malzeme olarak tanıttığını ifade etmiştir. Bu algının, kerpicing geliştirilmesini ve sanayileşmesini engellediğini, Ar-GE faaliyetlerinin yetersiz kaldığını ve malzemenin piyasada ulaşılabilirliğinin azaldığını vurgulamıştır.

U5, en temel sorunun yönetmelik eksikliği olduğunu belirtmiştir. Türkiye'nin deprem kuşağında yer alması nedeniyle, kerpicing güvenli kullanımı için hukuki ve teknik çerçevenin olmamasını ciddi bir engel olarak tanımlamıştır. Ayrıca kerpicing basınç dayanımının düşüklüğü nedeniyle yığma yapılar da kat sayısının sınırlandığını, bu yüzden betonarme veya karma sistemlerin tercih edildiğini, kerpicing ise genellikle dolgu malzemesi olarak kullanıldığını ifade etmiştir. Usta eksikliğinin de önemli bir sorun olduğunu belirten katılımcı, bu alandaki kültürel bilgi aktarımının kesintiye uğradığını vurgulamıştır. Kerpicing sosyolojik açıdan da tercih edilmediğini, özellikle 1950'lerden sonra betonarme yapıların modernlik ve statü göstergesi olarak algılandığını, kerpicing ise zamanla terk edildiğini belirtmiştir. Bölgesel anlamda ise kerpicing suya karşı düşük direncinin, tercih edilmemesinde etkili olduğunu vurgulamıştır.

Katılımcılara ikinci olarak Türkiye'de kerpiç malzemenin mevcut deprem yönetmeliğinde taşıyıcı duvar malzemesi olarak yer almamasının temel nedenleri ve bu sınırlamaların aşılması için hangi teknik iyileştirmeler veya düzenlemelerin gerekli olduğu sorusu yneltirmiştir.

U1, yüksek eğitim almış mimar ve inşaat mühendislerinin yığma yapı tekniğini ğrenmemeleri sebebiyle kerpicing deprem yönetmeliğinden çıkarıldığını belirtmiştir. Bu durumu değiştirebilmek adına, evre ve şehircilik Bakanlığı'nın talebiyle İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Laboratuvarı'nda çeşitli deneysel çalışmalar yrttiklerini ve bu çalışmalarla hem yapısal güvenliği artırmayı hem de farkındalık yaratmayı amaçladıklarını vurgulamıştır.

U2, 2018 yılında yapılan bir düzenleme ile Türkiye'de geleneksel kerpiç ve sıkıştırılmış toprağın taşıyıcı malzeme olarak kullanılamaz hâle geldiğini belirtmiştir. Bu kısıtlamanın arkasında standardizasyon eksikliği, iklim koşulları, toprak türü, katkı

maddeleri ve insan faktörü gibi birçok değişkenin yer aldığını ifade etmiştir. Ara denetim, laboratuvar testleri ve uygulama aşamalarının netleştirilmesi gerektiğini; dünya genelinde kabul gören standartlardan örnekler vererek bu alanda Türkiye'nin de benzer bir yol izleyebileceğini ifade etmiştir. Ayrıca, sayısal modelleme eksikliği, yapısal davranışların yeterince simüle edilememesi gibi teknik boşluklara dikkat çekmiş ve bu modellerin geliştirilmesinin yönetmeliklerin yeniden kazanımı açısından büyük önem taşıdığını belirtmiştir.

U3, kerpicing kullanılmamasındaki temel nedenin deprem algısı olduğunu ifade etmiştir. Erzincan depreminde yaşanan yıkımların kerpicing kendisinden değil, kerpiç duvarların üzerindeki ağır toprak yükünden kaynaklandığını belirtmiştir. Bu nedenle, çatının hafif yapılmasının önemine dikkat çekmiştir. Ayrıca, betonarme binalarda daha fazla can kaybı yaşandığını, ancak kamuoyunda yeterince fark edilmediğini vurgulamıştır. Teknik bilgiye sahip olmayan kişilerin yasa yapıcı pozisyonda olmasının önemli bir sorun olduğunu ifade etmiş, danışmanlık yaptığı projelerden örnekler vererek bazı belediyelerde doğal yapı projelerinin onay alabildiğini belirtmiştir. Tanıtım ve eğitim faaliyetlerinin artırılması hâlinde bu alanda ilerleme sağlanabileceğini dile getirmiştir.

U4, temel sorunun bilgisizlik ve vizyonsuzluk olduğunu vurgulamıştır. Türkiye'de kerpicing hâlen yıkılmak üzere olan köy evleriyle ilişkilendirildiğini, buna karşın Almanya'da yığma yapı yönetmeliğine uygun kerpiç blokların DIN 18940 standardıyla belirlendiğini ifade etmiştir. Türkiye'nin bu standardı devralmasının yeterli olabileceğini belirtmiştir.

U5, kerpicing yapı sektörüne entegre olabilmesi için prefabrik üretim yöntemlerinin geliştirilmesini önermiştir. Bu sayede hem üretim sürecinin standardize edilebileceğini hem de denetlenebilirliğin artacağını belirtmiştir. Geleneksel yöntemlerle bireysel olarak yapılan yapılar için malzeme kalitesinin kontrolünün güç olduğunu, özellikle de usta bilgisinin yeterince aktarılmamış olması sebebiyle yapısal güvenliğin belirsiz hâle geldiğini ifade etmiştir. Kerpicing taşıyıcı sistem olarak kullanılabilmesi için üretim ve uygulama aşamalarının standartlara bağlanmasının zorunlu olduğunu vurgulamıştır.

Katılımcılara bu tema altında son olarak, kerpiç malzemenin kullanımını artırmak için kamu politikaları ve düzenlemelerin nasıl bir rol oynayabileceği ve bu konuda hangi

teşvik mekanizmalarının veya destekleyici politikaların geliştirilmesi gerektiği sorusu yöneltmiştir.

U1, toplumda farkındalık yaratılması amacıyla, ünlü kişilerin toprak yapıların kullanımını teşvik etmesinin etkili olacağını belirtmiştir. Ancak mevcut yönetmeliklerde yığma yapı izni olmadığı için, toprak yapıların sadece iskelet içi dolgu duvar olarak uygulanabildiğini vurgulamıştır. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın talebiyle Teknik Üniversite İnşaat Fakültesi Laboratuvarı'nda geleneksel ve yatay esnek duvarlar üzerinde testlerin yapılacağı ve bu sonuçların Bakanlığa sunulacağı bilgisini paylaşarak, böylece kerpiç yapıların yönetmeliklere yeniden dahil edilmesi yönünde çalışmaların sürdüğünü ifade etmiştir.

U2, toprak yapıların yaygınlaştırılmasında iki temel yaklaşım olduğunu belirtmiştir: yukarıdan aşağı ve aşağıdan yukarı yöntemler. Yukarıdan aşağı yaklaşımda politika değişiklikleri ve yönetmeliklerin yeniden düzenlenmesiyle sürecin başladığını, bu süreçte üst düzey kurumların sürdürülebilir ve deprem dayanıklı yapıların teşviki için öncülük yapmasının önemini vurgulamıştır. Kamu binaları ve kamusal alanlarda bu yapıların kullanımı ile kırsal alanlarda mevzuat ve maddi destek sağlanmasının uygulamaları hızlandıracağını belirtmiştir. Ancak uygulamaların güvenli olması için ustaların eğitilmesi, toprak malzeme kalitesinin uzmanlarca denetlenmesi ve yapı denetim sistemlerine ek mekanizmalar getirilmesi gerektiğini ifade ederek kapsamlı bir denetim mekanizmasının gerekliliğini dile getirmiştir. Aşağıdan yukarı yaklaşımda ise yerel yönetimler ve kırsal-kentsel arayüz bölgelerinin rol oynadığını, küçük ölçekli ve iç mekân uygulamalarıyla gündelik yaşamda farkındalık yaratılabileceğini vurgulamıştır.

U3, TÜBİTAK projelerinin zaman zaman toprak yapı konusuna yer verdiğini ve bunun gelişime katkı sağladığını belirtmiştir. Ancak bu alana yönelik sistem ve yöntemlerin yetersiz olduğunu ifade etmiştir. Örnek pilot projelerin hayata geçirilmemesi durumunda yapıların yaygınlaşmasının, literatüre girmesinin ve deprem yönetmeliğinde yer bulmasının zor olduğunu vurgulamıştır. Doğal Yapı Derneği aracılığıyla hazırlanan projelerin çeşitli belediyelere tanıtıldığını ancak destek ve geri dönüş alamadıklarını belirtmiştir. Deprem sonrası prototip yapı yapma izni verilseydi gönüllü olarak çalışmalar yapacaklarını, köylerde doğal yapıya yönelmenin mümkün olabileceğini dile getirmiştir. Ayrıca eğitim grupları oluşturduklarını, kendi evini

yapmak isteyenlere ve yerel ustalara eğitim vermeyi planladıklarını ancak talep olmaması nedeniyle bu faaliyetlerin gerçekleşmediğini belirtmiştir. Ekonomik altyapının önemine değinerek, devlet desteğiyle birkaç pilot köy kurulması ve böylece bu sistemin yaygınlaşabileceğini paylaşmıştır.

U4, kamu politikaları ve düzenlemelerinin etkili olabileceğini ancak bunun için kısa vadeli ve çıkar odaklı yaklaşımların terk edilip uzun vadeli, toplumsal fayda odaklı düşüncenin benimsenmesi gerektiğini ifade etmiştir. Ülkenin sosyopolitik sorunları arasında bu durumun trajik bir sorun olduğunu belirtmiştir. En sağlıklı teşvik mekanizmasının toplumun kendisi olduğunu ve bunun eğitim sisteminin düşünce ve sorgulama temelli olmasına bağlı olduğunu vurgulamıştır. Ancak mevcut durumda ‘inanma’ temelli politikaların hâkim olduğunu, çevre bilinci gelişmiş eko-sosyal toplumlarda teşviklerin kendiliğinden oluşacağını, bilinçsiz toplumlarda ise teşviklerin etkisiz kalacağını belirtmiştir.

U5, kerpiç yapım tekniğinin lise seviyesinden itibaren meslek kolu haline getirilmesinin etkili olacağını belirtmiştir. Geleneksel bilginin kaybolmaması için eğitime yeniden entegre edilmesi gerektiğini ifade etmiştir. Hem halk eğitimi hem de örgün eğitimde yapılacak düzenlemelerle bu bilincin artırılabilceğini, Anadolu’da hâlâ bilgiyi taşıyan ustaların olduğunu ve bu ustaların bilgilerini aktarabilecekleri çıraklık benzeri okullar kurulabileceğini dile getirmiştir. Atalarından miras kalan kerpiç yapılara sahip kişilerin restorasyon ve tadilat yapabilmeleri için maddi teşviklerin sağlanması gerektiğini, aksi halde niteliksiz müdahalelerle yapıların bozulabileceğini ve koruma altına alınan yapıların ise maddi yetersizlikler nedeniyle yeterince korunamadığını vurgulamıştır.

4.3.2.Malzeme Performansının Gelişimi

Bu tema kapsamında katılımcılara, günümüzde kerpiç malzemenin dayanıklılığını ve suya/basınca karşı direncini artırmaya yönelik kullanılan katkı maddeleri ile bu katkıların malzeme performansı ve sürdürülebilirlik açısından avantajlarının neler olduğu sorusu yöneltilmiştir.

U1, toprak malzemenin doğal bir yapısı gereği özellikle tarımda kullanıldığını belirtmiş; yağmurun toprak üzerinde oluşturduğu etkilerin zamanla yapısal bozulmalara yol açtığını ifade etmiştir. Samanın toprakla birlikte stabilizasyon için

uzun ve emek gerektiren bir süreç olduğu, samanın özsuyunun harç suyu ile birleşerek bağlayıcılık sağladığını dikkat çekmiştir. Ayrıca, farklı organik bitki özlerinin (kaktüs yaprağı gibi) de alternatif olarak kullanılabildiği vurgulanmıştır. İstanbul Teknik Üniversitesi'nden Ruhi Kafesçioğlu' nun çalışmaları referans gösterilerek, alçı ve kirecin toprakla karıştırılmasının dayanıklılığı sağladığını, %10 alçı ve %2 kireç oranlarının toprak tanelerini bağlayarak yapının hasar görmesini engellediği belirtilmiştir.

U2, sıkıştırılmış toprak stabilizasyonunda farklı tekniklerin bulunduğunu dile getirmiştir. Bunlar arasında “alker” (alçı ve kirecin birlikte kullanımı), çimento ile stabilizasyon ve biyolojik ya da yapay liflerin kullanımı yer almaktadır. Konya Teknik Üniversitesi'nde gerçekleştirilen bir yüksek lisans çalışmasında, sıkıştırılmış toprak yüzeyine doğal reçine uygulanarak su dayanımının artırıldığı ifade edilmiştir. Kendi uygulamalarında da alker veya çimento ile stabilize edilmiş toprak üzerine doğal reçine katmanının olumlu sonuçlar verdiği belirtilmiştir.

U3, geleneksel kerpiç ve sıkıştırılmış toprak tekniklerini ayırmış; geleneksel kerpişte samanın temel katkı sağladığını ve uygun toprak seçiminin önemini vurgulamıştır. Sıkıştırılmış toprakta ise uluslararası örneklerde silisyum ağırlıklı ve yüksek oranda çimento içeren karışımların beton benzeri yapılar oluşturduğu belirtilmiştir. Ruhi Kafesçioğlu'nun geliştirdiği Alker formülünün toprak, alçı ve kireçten oluştuğu ve dayanıklılığı artırdığı ifade edilmiştir. U3, kendi deneyimleriyle alçıyı karışımdan çıkarıp kireç oranını artırarak kırma taş tozu eklediği bir karışımın su, basınç ve depreme karşı dayanıklı olduğunu aktarmıştır. Örnek olarak, BKM Film Platosu'nda üç kez sel baskınına maruz kalan yapının zarar görmediği gözlemlenmiştir.



Şekil 4.1 : BKM Film Platosu (kaynak: U3 arşivinden)



Şekil 4.2 : BKM Film Plastosu (kaynak: U3 arşivinden)

U4, performans artırıcı katkıları arasında bitkisel lifler, glikoz ve nişastanın sürdürülebilirliği koruduğunu, kimyasal reaksiyon oluşturan alçı, kireç ve çimento gibi katkıların ise karışımın geri dönüşüm performansını olumsuz etkilediğini belirtmiştir.

U5, kerpiç malzemenin performansını artırmak amacıyla katkı maddelerinin üç ana grupta toplandığını aktarmıştır: mineral bazlı, bitkisel bazlı ve sentetik katkıları. Mineral bazlı katılara puzolanlar ve uçucu kül örnek verilirken, sentetik katkıları arasında Portland çimentosu öne çıkmaktadır. Ancak, çimentonun sürdürülebilirlik açısından dezavantajları ve kerpiç malzemenin doğasına ters düşmesi nedeniyle kullanımının sınırlanması gerektiği vurgulanmıştır. Bitkisel katkıları özellikle çatlak önleme amacıyla kullanılmakta, suya karşı dayanımı artırmak için asfalt benzeri bitüm malzemeleri ve hayvansal katkıların da geleneksel uygulamalar arasında yer aldığı belirtilmiştir. Farklı coğrafyalarda kültürel olarak çeşitli katkı maddelerinin denendiği, temel hedefin yapının çatlaklarını engellemek, basınç dayanımını ve su direncini artırmak olduğu ifade edilmiştir.

4.3.3. Gelenekselden Moderne Üretim Süreçlerinin Gelişimi

Bu tema altında katılımcılara üç soru yöneltilmiştir. İlk soru, geleneksel kerpiç üretim süreçlerinin zaman içinde teknolojinin etkisiyle nasıl evrildiği ve bu değişimin günümüzde kerpiç malzemenin kullanım potansiyelini nasıl etkilediğidir.

U1, geleneksel kerpiç üretiminde samanın bitki suyu ile stabilizasyonunun uzun ve zahmetli bir süreç olduğunu belirtmiştir. Ancak, alçı ve kireç bağlayıcılığı kullanılarak bu sürecin hızlandırılabilirdiğini ifade etmiştir. Toprak ve alçı-kireç karışımının çimento yerine kullanılması durumunda bağlayıcılığın sağlandığını, ayrıca çimentolu

bağlayıcılığa kıyasla alçılı kerpiçle yapılan yapıların ısı geçiş direncinin çok daha iyi olduğunu vurgulamıştır. Bu sayede toprak duvarların iç mekân iklimini daha sağlıklı biçimde düzenleyebildiğini belirtmiştir. Ayrıca beton yapımında kullanılan makinelerin kerpiç üretiminde de kullanılarak sürecin hızlandırılabilirdiğine değinmiştir. Örneğin, beton parke taşı santrallerinin günde binlerce blok üretebildiğini, Urfa’da GAP İdaresi tarafından yapılan bir yapının 25 yıl boyunca sağlam kalmasının bu teknolojilerin güvenilirliğini gösterdiğini aktarmıştır. U1, kırsalda bir ev yapım sürecini örnekleyerek, beton parke üretim tesislerinden metrekaşe ve metrekaş hesapıyla istenilen miktarda blok sipariş edilerek evin kısa sürede inşa edilebildiğini söylemiştir. Alternatif olarak geleneksel yöntemde bölgedeki toprak kullanılarak kalıp bulunabileceğini belirtmiştir. Viranşehir, Urfa ile Mardin arasında bulunan kırsal bir bölge olarak anılmış, güvenlik gerekçesiyle kırsal yerleşimlerin boşaldığını ve bu insanların kasabalara taşındığını, ancak yerleşim sorunları yaşandığını vurgulamıştır. Kendisinin İstanbul’dan giderek Viranşehir’de ev yapanlara toprak stabilizasyonu ve kalıp kullanımı konusunda destek verdiği, böylece kişilerin kendi evlerini yapabilmelerinin sağlandığı belirtilmiştir. Kerpiç yapımına ilişkin bilginin erişilebilir olduğu, insanların yalnızca biraz araştırma, güven ve doğru yönlendirmeye ihtiyaç duyduğu aktarılmıştır. Maddi imkânlar elverdiğinde hava basınçlı kompaktör gibi makinelerin kullanılabileceği; ancak daha basit yöntemlerle, örneğin 9 kilogramlık bir balyozla toprağın sıkıştırılmasının da mümkün olduğu ve tüm süreçlerin maddi duruma göre kolaylaştırılabileceği ifade edilmiştir.



Şekil 4.3 : Parke Taşı Üretim Yeri (kaynak: U1 arşivinden)



Şekil 4.4 : Viranşehir Projesi (kaynak: U1 arşivinden)

U2, geleneksel kerpiç uygulamalarına örnek olarak Harran'daki evleri göstermiş, bu yapılarda malzemenin güneş altında kurutulup belirli alt bileşenlerin oluşturulduğunu ve bu birimlerin bir araya gelerek mekânları meydana getirdiğini belirtmiştir. Ayrıca ahşap ve taşla karma sistemlerin de kullanıldığı, bu tür karma yapıların dünya genelinde yaygınlaşmakta olduğu vurgulanmıştır. Tarihsel olarak toprağın ısıtma işleminden geçirilerek tuğla, kiremit veya seramik haline getirilmesinin yaygın olduğunu, ancak sürdürülebilirlik ve karbon ayak izi azaltımı kapsamında ısıtma işlemi görmeden kullanılabilen toprak malzemelerine olan ilginin arttığını dile getirmiştir. U2, sıkıştırılmış toprağın dayanımını artıran yöntemlerin geliştiğini ve Fransa'da prefabrik yapı malzemesi olarak sıkıştırılmış toprağın kullanılarak vinç yardımıyla elemanların taşındığını aktarmıştır. Bu uygulamanın sıkıştırılmış toprağın yapı malzemesi olarak alternatif olmasının önünü açtığını belirtmiştir. Ayrıca, robot destekli otomasyonla sıkıştırma işleminin yapılmasının gündemde olduğunu, uzay çalışmalarında paralel gelişen eklemeli üretim teknolojilerinde toprağın katkı maddeleriyle 3D kil baskı gibi yöntemlerle robot destekli üretimde kullanıldığı örneklerini sunmuştur.

U3, geleneksel kerpiç üretim sürecinde samanla karıştırma, mayalama, kalıplama, kurutma ve yapım aşamalarının yer aldığına değinmiştir. Geleneksel yöntemlerin ekonomik olmakla birlikte zaman açısından uzun sürdüğü ve dolayısıyla maliyeti artırdığı ifade edilmiştir. Sıkıştırma tekniğinin ise doğru toprak ve karışım seçilerek makine desteğiyle yapıldığını, kalıpların sökülmesinden sonra boya veya sıva gibi ek işlemlere ihtiyaç kalmadığını aktarmıştır. Bu bağlamda, modern sıkıştırılmış kerpiç yöntemi ile geleneksel yöntem karşılaştırıldığında daha işlevsel ve yaşam kalitesi açısından daha yüksek standartlarda olduğunu belirtmiştir. Ayrıca deprem güvenliği açısından sıkıştırılmış kerpiç yapıların daha iyi performans gösterdiğini vurgulamıştır.

U4, geleneksel analı/kuzulu kerpiç dökme yönteminin terk edilmesi gerektiğini, günümüzde ‘kerpiç’ yerine ‘toprak yapı malzemeleri’ tanımlamasının daha uygun olduğunu ifade etmiştir. Toprak bloklar ve paneller, kil sıvalar, monoblok toprak duvar elemanları ve kil boyalar olarak gruplandırılan bu malzemelerin geniş kullanım potansiyeline sahip olduğunu belirtmiştir. Bu gelişmenin 1970’lerde petrol krizleriyle başlayan çevre hareketleri ve artan çevre bilinciyle paralel olarak, kerpicing yeni teknolojiler ve Ar-GE çalışmalarıyla buluşması sayesinde mümkün olduğunu dile getirmiştir.

U5, sıkıştırma tekniğindeki gelişmelere değinmiş; geçmişte tokmaklarla yapılan sıkıştırmanın artık modern makinelerle daha hızlı ve homojen şekilde gerçekleştirildiğini belirtmiştir. Kurutmanın eskiden güneşte yapılırken günümüzde kontrollü fırınlarda yapıldığı, kerpiç kesim işlemlerinin mekanize edildiği ve kalıpla üretim yerine daha sistematik tuğla üretim yöntemlerinin kullanıldığı aktarılmıştır. Bu modern uygulamaların inşaat sürecini hızlandırdığı ancak maliyeti artırdığı ifade edilmiştir. Diğer yandan, kerpicing basit ve ekonomik bir teknik olması sebebiyle maliyetin düşük tutulmasının önemine vurgu yapmıştır. Türkiye’de ve dünyada konut ihtiyacının yüksek olduğunu, bu nedenle inşaat sürecinin hızlandırılmasının bir gereklilik olduğunu belirtmiştir. Burada bir denge kurulması gerektiğini ifade etmiştir. Avrupa’daki örneklerle Türkiye’deki toprak türlerinin farklı olduğunu, bu nedenle orada geliştirilen yöntemlerin Türkiye’de birebir uygulanamayabileceğini vurgulamıştır. Yerel malzeme, işçilik ve iklim koşullarına uygun daha fazla yerel ve teknik araştırmaya ihtiyaç duyulduğunu, malzeme özelliklerinin laboratuvar düzeyinde netleşmeden yönetmeliklere girmesinin zor olduğunu belirtmiştir. Son

olarak, malzeme bilimciler ile inşaat mühendislerinin iş birliği yaparak kerpici daha tanımlı ve güvenilir bir yapı malzemesi haline getirmesi gerektiğini ifade etmiştir.

Görüşmelerde, katılımcılara ikinci olarak modern üretim tekniklerinin kerpiç malzemeye entegrasyonu, malzemenin performansını, üretim hızını ve sektör içindeki yerini nasıl etkilediği sorusu yöneltilmiştir.

U1, mikser karıştırıcılar, beton kalıpları, prefabrik karışımlar ve makinelerin tüm süreci hızlandığını belirtmiştir. Makine kullanımı ile taneciklerin birbirine sıkıştırılması sağlanmakta, örneğin tokmaklama sisteminde beş kişilik bir ekibin günde 7 m³ üretim yapabildiği, ancak diğer inşaat makinelerinin çok daha hızlı olduğu vurgulanmıştır. Özellikle püskürtme makinelerinin karayollarında yaygın kullanıldığı, saatte 7 m³ üretim yapılabilirdiği ve böylece betonarme kalıplarına malzeme püskürtülerek bir binanın bir günde tamamlanabileceği ifade edilmiştir. Geleneksel yöntemlerle sürecin 3 ay sürdüğü, makine kullanımıyla işçilik maliyetlerinin azaldığı ve inşaat süresinin kısılmasının maliyetleri düşürdüğü açıklanmıştır. Elle karıştırma işleminin 15-20 dakika sürerken, beton mikseriyle 3 dakikaya indiği, bu nedenle makine kullanımının süreyi kısaltıp işçi sayısını azaltarak maliyet avantajı sağladığı vurgulanmıştır.



Şekil 4.5: Beton mikseri ve püskürtme yöntemi ile kerpiç yapı yapımı (kaynak: U1 arşivinden).

U2, Türkiye’de bu modern teknolojilerin yaygınlaşamamasının temel nedeninin yüksek ön yatırım ve maliyet olduğunu belirtmiştir. Yeni teknolojilere yapılan yatırımların kısa vadede geri dönüş sağlamaması ve bunun bir risk oluşturması nedeniyle mevcut teknolojiyle devam etmenin daha az riskli görüldüğünü ifade

etmiştir. Ayrıca, gelişmekte olan ülkelerde Ar-GE risklerine girmenin zor olduğuna dikkat çekmiştir. 2023 yılında İsviçre’de yapılan çağrıyla 2030 ve 2050 yönetmeliklerine uygun, toprağın ve ahşap ya da karma sistemlerin endüstriyel ölçekte yapı malzemesine dönüştürülmesi için teşviklerin açıklandığını aktarmıştır. Karbon ayak izini azaltmayan firmaların ileride daha fazla vergi ödeyeceği bilgisini vermiştir. U2, bu alandaki gelişmelerin hızlanacağını, şu anda erken aşamada olduğunu ve 10-15 yıl içinde bu fırsatın kaçırılma riskinin bulunduğunu ifade etmiştir.

U3, pres makinelerinin süreci olumlu etkilediğini ve iş gücünü azalttığını ifade etmiştir. Malzemeye hızlıca ulaşmanın önemine dikkat çekerek, yapı malzemesinin en kolay ulaşılanın tercih edilmesi gerektiğini vurgulamıştır. Geçmişte toprağın tercih edilmesinin sebebinin kolay ulaşım olduğunu, coğrafi koşullara göre Mardin’de taş, Karadeniz’de ahşap gibi malzemelerin kullanıldığını belirtmiştir. Günümüzde de toprağın kolay erişilebilir olduğunu ancak işlenme sürecinin uzun olduğunu, pişmiş toprak üretimindeki gelişmeler gibi sıkıştırılmış toprağın da pres makineleriyle hızlandırılabilirliğini söylemiştir. Makineleşmenin yapı tekniğinin bilinirliğini, hızını ve yaygınlığını artırdığına dikkat çekmiştir.

U4, kerpiç üretiminde kaçınılmaz gelişmelerin olacağını ve Ar-GE çalışmalarının giderek arttığını, makinelerin geliştirildiğini belirtmiştir.

U5, 3D yazıcılarla yapılan kerpiç duvar üretiminde duvarların tamamen dolu değil, gözenekli ve boşluklu yapıda oluşturulduğunu, bunun görsel farklılığın yanında birden fazla işlevi barındırdığını söylemiştir. Bu örüntülü yapının hem ısı izolasyonu sağladığını hem de malzeme tasarrufu yaptığını ifade etmiştir. Geleneksel sıkıştırma tekniğinde çok miktarda toprağa ihtiyaç duyulması nedeniyle malzeme temininde doğaya zarar verebilecek durumlar oluştuğunu iletmış, örnek olarak bazı bölgelerde yoğun toprak çıkarımı sonucunda oluşan çukurların zamanla sivrisineklelerin üreme alanlarına dönüşebileceğini ve bu durumun halk sağlığını tehdit edebilecek boyutlara ulaşabileceğini belirtmiştir. Mekanik presleme tekniklerinin de süreci hızlandıran bir yöntem olarak değerlendirildiğini, insan gücüne bağımlılığı azalttığını ve işgücündeki azalmaya çözüm getirebileceğini aktarmıştır. Tüm bu gelişmelerin, kerpiğin gelenekselden moderne evriminde bir orta yol arayışı olduğunu, malzemenin tanımlanması, üretim tekniklerinin standartlaştırılması ve yeni teknolojilerin sürece entegrasyonunun gerekliliğini vurgulamıştır. Bugüne kadar yeterince ilerleme

sağlanamamasının nedenlerinden birinin bu tür tanımsızlıklar ve standardizasyon eksiklikleri olduğunu belirtmiştir. Sonuç olarak, yeni teknolojilerin kerpiç üretimindeki boşlukları doldurma potansiyeline sahip olduğunu ve bu deneysel girişimlerin olumlu karşılandığını ifade etmiştir.

Katılımcılara bu tema altında üçüncü olarak modern kerpiç üretim tekniklerinin yaygınlaşması için dikkat edilmesi gereken en önemli noktaların ne olduğu sorusu yöneltilmiştir.

U1, üniversitelerdeki araştırma dekanlıklarının toprak yapı teknolojileri konusunda daha aktif olması gerektiğini vurgulamıştır. Mimar, inşaat ve makine mühendisliği disiplinlerinde yer alan araştırmacıların bu alanda teşvik edilerek bilgilendirilmesi gerektiğini ifade etmiştir. Ancak, bu çalışmaların yalnızca kuramsal düzeyde kalmaması, uygulamaya dökülmesi gerektiğini savunmuştur. Kendi yürüttüğü TÜBİTAK projesinden örnek vererek, gerçek bir yapıda iç ve dış iklim verilerinin ölçümlendiğini ve yapının 1999 depreminde performansının test edildiğini belirtmiştir. Bu tür bilgilerin hem eğitim müfredatına hem de ilgili resmî kurumlara entegre edilmesi gerektiğini, ayrıca usta yetiştiren sektörlerde yer bulmasının önemini vurgulamıştır. Son olarak, prestij yapıların kamusal alanda görünür kılınmasının, bu yapıların tanıtımına katkı sağlayacağını ifade etmiştir.



Şekil 4.6 : TÜBİTAK çalışması- İTÜ-Ayazağa (kaynak: U1 arşivinden).

U2, teknolojik gelişmelerin yaygınlaştırılmasında Ar-GE bütçelerinin yeniden yapılandırılmasının önemine dikkat çekmiştir. Üniversite-sanayi iş birliğinin yanı sıra, belediyeler, yerel yönetimler, inşaat firmaları ve ilgili bakanlıkların sürece dâhil edilmesinin gerekliliğini vurgulamıştır. Üç aşamalı bir model önermiştir: İlk aşamada pilot projelerle ön araştırma ve geliştirme yapılması; ikinci aşamada teknoloji geliştirme faaliyetlerinin yürütülmesi, üçüncü aşamada ise elde edilen sonuçların ürünleştirilerek piyasaya sunulması gerektiğini belirtmiştir. Bu süreçte kamu, özel sektör ve akademinin ortak teşvik mekanizmaları kurması halinde teknolojilerin yaygınlaşmasının mümkün olacağını ifade etmiştir.

U3, sürecin arz-talep dengesi üzerinden geliştiğini belirtmiştir. Öncelikle yapı sektörünün tanıtılarak bir ilgi ve ihtiyaç oluşturulması gerektiğini, ardından bu talebe karşılık verecek yapı malzemelerinin üretilbileceğini savunmuştur. Her yerde bulunan küçük beton mikserleri gibi, toprağı karıştırmaya yönelik mikserlerin de geliştirilebileceğini ifade etmiştir. Sıkıştırma aparatları ve kalıplara kolayca erişilebildiğini, toprağı ulaşımın da sağlandığında bu alandaki gelişimin hızlanacağını vurgulamıştır.

U4, üretim tekniklerinin ve tasarımın aslında sürecin en kolay aşamaları olduğunu, esas sorunun hammadde tedarik zincirinde yaşandığını belirtmiştir. Toprak yapı malzemelerinin doğal olması gerekliliği nedeniyle, farklı bölgelerde değişen kum ve kil oranlarının tek bir reçeteyle standartlaştırılamayacağını ifade etmiştir. Bu durumun kimyasal katkı kullanımını gündeme getirebileceğini, dolayısıyla her karışımın düzenli olarak test edilmesi ve güncellenmesi gerektiğini vurgulamıştır.

U5, 3D yazıcı teknolojisiyle üretimin hâlen yüksek maliyetli olduğunu, sadece teknolojik erişimin değil, aynı zamanda enerji tüketimi gibi sürdürülebilirlik ölçütlerinin de dikkate alınması gerektiğini belirtmiştir. Bu yöntemin diğer tekniklerle karşılaştırıldığında enerji verimliliği açısından değerlendirilmesi gerektiğini ifade etmiştir. Yapı sektöründe tercih edilen tekniklerin genellikle maliyetle doğrudan ilişkili olduğunu, gelişmekte olan ülkelerde betonarme yapıların bu nedenle ön planda olduğunu vurgulamıştır. Çelik ve ahşap gibi alternatif malzemelerin yüksek maliyetli olması nedeniyle, ekonomik erişilebilirliğin teknolojilerin benimsenmesinde birincil koşul olduğunu belirtmiştir. Maliyetlerin düşmesi durumunda, mimar ve mühendislerin yeni teknolojilere daha kolay geçiş yapabileceğini, günümüz iletişim

çağında teknolojik gelişmelerin hızla yayıldığını ancak uygulamadaki en temel belirleyicinin hâlâ maliyet olduğunu vurgulamıştır.

4.3.4. Toplumsal Algı ve Bilinç

Toplumsal algı ve bilinç teması altında katılımcılara sorulan iki sorudan ilki; kerpiç malzemenin modern uygulamaları hakkındaki toplumsal farkındalık düzeyi, toplumun, kerpici eski, yetersiz ve yıkılmaya yüz tutmuş yapılarla ilişkilendirmesinin altında yatan nedenleri ve bu algının nasıl dönüştürülebileceğidir.

U1, sanayi temelli yapı malzemelerinin güçlü tanıtım ve destek mekanizmalarına sahip olduğunu, buna karşın toprak yapıların arkasında böyle bir sanayi gücünün bulunmaması nedeniyle yeterince tanınmadığını ifade etmiştir. Bu tanıtım eksikliği kerpiç gibi doğal yapıların potansiyelinin halk tarafından fark edilmemesine ve prestij projelerin görünür olmamasına yol açtığını iletmiştir. Oysa bu yapıların, enerji kullanmadan sağlıklı iç iklim sağlayarak çevresel, ekonomik ve sağlık açısından önemli avantajlar sunduğunu belirtmiştir. Enerji tüketiminin azalmasının hem ülke bütçesine katkı sağladığını hem de çevre kirliliğini azalttığını ifade etmiştir. Bu nedenle hem bireysel hem kurumsal düzeyde farkındalık çalışmalarının artırılması gerektiğini vurgulamıştır.

U2, deprem sonrası konut tercihlerinde hijyen, bakım kolaylığı ve ısıtma kontrolü gibi pratik kaygıların etkili olduğunu belirtmiştir. Betonarme konut yapılarının, özellikle kolay temizlenebilirlik ve soba ile ısınmanın daha kolay olması gibi nedenlerle tercih edildiğini ve bu eğilimin geleneksel kerpiç yapılardan uzaklaşmasına neden olduğunu vurgulamıştır. Kerpiç yapıların belirli aralıklarla bakım gerektirdiğini, bu da özellikle kadın emeği açısından zahmetli ve sürdürülebilirliği zor bir süreçle dönüştüğünü ifade etmiştir. Ayrıca modern toplumda betonarmenin “yenilik” ile ilişkilendirilirken, toprak yapıların “geçmiş” ile özdeşleştirildiğini belirterek, bu algının, sosyal platformlar ve eğitim sistemindeki temsil biçimleriyle pekiştirildiğini ifade etmiştir. Ancak yapılan bazı belgesel çalışmalarda, geçmişte toprak evlerde yaşamış bireylerin bu yapılara karşı olumsuz bir önyargı taşımadıkları gözlemlendiğini iletmiştir. Doğrudan deneyimlenebilecek, konforlu ve çağdaş örneklerin sunulmasıyla bu algının kolayca değiştirilebileceğini belirtmiştir. Ayrıca, yapı yönetmeliklerinde yapılacak düzenlemelerin toprak yapılara olan ilgiyi

artıracağını vurgulamıştır. Bu dönüşümün kalıcı olabilmesi için, mimarlık ve inşaat mühendisliği gibi eğitim alanlarında çalıştaylar ve uygulamalı atölyeler aracılığıyla konunun tanıtılması ve ders içeriklerine dahil edilmesi gerektiğini vurgulamıştır.

U3, geçmişte yaşanan yıkımlar nedeniyle halk arasında toprak yapılara dair olumsuz bir algı oluştuğunu belirtmiştir. Ancak bu yapıların, doğru tekniklerle ve uygun mühendislik yaklaşımlarıyla inşa edildiğinde depreme dayanıklı olabileceğini vurgulamıştır. Yapım sürecinde bilgi ve tekniğin doğru uygulanmasının hayati önem taşıdığını, aksi takdirde yapıların kısa sürede yıkılabileceğini ve bu durumun kötü örnekler oluşturarak toplumsal güvensizliği artırdığını ifade etmiştir. Türkiye’de yaşanan can kayıplarının, teknik bilgi eksikliğinden kaynaklandığını; oysa aynı teknolojiler Japonya gibi ülkelerde çok daha az can kaybıyla sonuçlandığını belirtmiştir. Bu bağlamda bilgi, teknik yeterlilik ve bilinçli uygulamanın tüm yapı türleri için hayati öneme sahip olduğu vurgulanmıştır.

U4, toprak yapıların toplumsal algısının zayıf olduğunu, bunun sadece Türkiye’ye değil, küresel ölçekte geçerli bir duruma işaret ettiğini belirtmiştir. Bu algının dönüştürülebilmesi için kerpicing geleneksel ve eski imajından uzaklaşarak, günümüz estetik ve işlevsel beklentilerine uygun çağdaş örneklerle yeniden yorumlanması gerektiğini savunmuştur. Sanatsal değeri olan, modern mimarlıkla bütünleşmiş yeni yapılarla olumlu rol modeller oluşturulabileceğini vurgulamıştır.

U5 ise betonarme yapıların statü göstergesi olarak algılandığını, bu dönüşümün bir yolunun eğitime entegre edilmesi, halkın bu konuda bilinçlendirilmesi gerektiği ve medyanın bu konuda kullanılabileceğini iletmiştir. Kerpiç yapıların terk edilmesinde, bakım ihtiyacının düzenli olarak karşılanmaması, hijyen algısı ve temizlik kültürünün etkili olduğunu ifade etmiştir. Toprak yüzeylerin kirli algılanmasının, kültürel temizlik anlayışıyla ilişkili olduğunu; betonarme yapıların ise daha hijyenik ve düzenli kabul edildiğini dile getirmiştir. Kerpiç yapıların, çaba ve bakım gerektiren sistemler olması, kullanıcıların yapıyı inşa ettikten sonra tekrar müdahale etmek istememeleriyle birleştiğinde terk edilmelerine yol açmaktadır. Bu nedenlerle hem eğitimde hem de toplumsal düzeyde algı dönüşümünü sağlayacak bilinçlendirme çalışmalarının yapılması gerektiği iletmiştir.

Bu tema kapsamındaki ikinci soru; kerpicing avantajlarının ve faydalarının topluma daha etkili bir şekilde nasıl aktarabileceğidir.

U1, bu farkındalığın sağlanmasında görsel medya araçlarının etkili bir rol oynayabileceğini ifade etmiştir. Toprak evlerde sağlıklı ve huzurlu bir yaşamı yansıtan belgesellerin, yapıların potansiyelini kamuoyuna aktarmada güçlü birer araç olabileceğini belirtmiştir. Ayrıca mevcut yapıların restorasyon sürecine odaklanan televizyon programlarının da benzer şekilde farkındalık yaratabileceğini savunmuştur.

U2 ise, ana akım medyanın toplumun algılarını şekillendirmedeki etkisini kabul etmekle birlikte, yerel yönetimlerin ve kamusal otoritelerin de bu süreçte dönüştürücü bir rol oynayabileceğini ifade etmiştir. Valilik, kaymakamlık ve belediye gibi kurumların küçük ölçekli uygulamalarda yapıcı destek sunmasının, toprak yapıların kabulünü hızlandırabileceğini belirtmiştir. Görsel ve yazılı materyallerin, belgeseller, kitaplar ve ders içerikleri gibi konuya dair içeriğe yer vermesinin toplumsal algının dönüşümüne katkı sağlayacağını vurgulamıştır. Ayrıca kamusal arayüzlerde yer alacak somut, dokunulabilir örneklerin günlük hayatta insanlarla kuracağı doğrudan temasın dönüştürücü gücüne dikkat çekmiştir.

U3, tanıtımın en etkili yolunun birebir deneyim olduğunu vurgulamış; kendi yaşadığı ev üzerinden bu yapılarla ilgili olumlu deneyimlerini aktarmıştır. Sıcak bir bölgede yaşamasına rağmen klimaya ihtiyaç duymadığını, kışın ise yalnızca küçük bir sobayla ısınabildiğini belirterek, toprak yapıların sağladığı ısı konforu örneklemiştir. Akademik çalışmalar bu yapıların yazın serin, kışın sıcak olduğunu ne kadar ortaya çıkarsa da, insanların ancak doğrudan deneyimle fark edebildiklerini dile getirmiştir. Ayrıca bu yapıların betonarme yapılara kıyasla çok daha estetik bir görünüm sunduğunu vurgulamıştır.

U4, sosyal medya, yayınlar, konferanslar, diziler ve hatta magazin basını gibi kanallar üzerinden toprak yapılar konusunun gündemde tutulmasının faydalı olacağını ifade etmiştir. Bu tür mecraların, yapı kültürüne dair dönüşümde geniş kitlelere ulaşabilecek etkili araçlar olduğunu belirtmiş; ancak bu yaygınlaştırma çalışmalarının, stratejik uygulamalarla desteklenmesi durumunda anlamlı sonuçlar doğuracağını vurgulamıştır.

U5, konuyu sosyal sürdürülebilirlik kapsamında ele alarak, Türkiye’de kerpiç yapıların hâlâ yaygın olduğu ancak koruma altında bulunmayan pek çok Anadolu köyü bulunduğuna dikkat çekmiştir. Bu köylerde gerçekleştirilebilecek restorasyon projelerinin, halkın doğrudan katılımıyla ve ulusal ya da uluslararası sponsorluklarla desteklenmesinin mümkün olduğunu belirtmiştir. Böyle bir yaklaşımın, sadece

yapıların fiziksel olarak iyileştirilmesini değil; aynı zamanda halkın geleneksel bilgisinin korunmasını ve bu bilgilerin yeni nesil mimar, öğrenci ve teknik ekiplerle de paylaşılmasını sağlayacağını vurgulamıştır. Bu karşılıklı etkileşimin, çift yönlü bir öğrenme süreci yaratarak hem yerel bilgi birikimini güçlendireceğini hem de teknik bilgi transferiyle halkın bilgi düzeyini artıracığını ifade etmiştir. Ayrıca, ekonomik olarak karşılanamayan yenileme süreçlerinin bu destekler aracılığıyla erişilebilir kılınabileceğini belirtmiştir. Bilginin kalıcı hâle gelebilmesi için pratikle desteklenmesi gerektiğini vurgulayan katılımcı; kamu spotları ya da dijital içeriklerin geçici farkındalık yaratabileceğini, ancak bireylerin doğrudan üretim süreçlerine katılmasıyla bilginin içselleştirilebileceğini savunmuştur. Bu nedenle, “kendin yap” temelli projelerin önemi özellikle vurgulanmıştır.

4.3.5. Yaygınlaştırma Stratejileri ve Gelecek Vizyonu

Kerpiç malzeme ve yapıların yaygın kullanımına yönelik strateji ve gelecek vizyonu ile ilgili katılımcılara iki soru yönlendirilmiştir. Birinci soru, kerpicin kullanımının artırılması ve modern inşaat sektöründe daha geniş bir kullanım alanı bulabilmesi için neler yapılabileceğidir.

U1, kerpiç ve toprak yapı sistemlerinin tanıtımında uygulamalı eğitimin etkili bir araç olduğunu vurgulamıştır. Bu konuda atölye çalışmaları düzenlediklerini belirtmiştir. Katılımcıların, yerel toprak ile alçı ve kireci karıştırarak kalıba dökme işlemini deneyimlemesi, malzemenin performansına olan güveni artırmaktadır. Bu süreci yemek pişirme sürecine benzeten U1, insanların ancak birebir uygulamayla süreci ve sonucu içselleştirebildiklerini ifade etmiştir. Ayrıca, Millî Eğitim Bakanlığı’nın yığma yapıların taşıyıcı performansı ve deprem davranışlarına dair içerikleri eğitim sistemine dahil etmesinin kritik olduğunu savunmuştur.

U2, kerpiç yapımına yönelik ilginin yerel yönetimlerde de ortaya çıktığını ancak bu tür girişimlerin sürdürülebilirliğinin sınırlı kaldığını belirtmiştir. Düşük bütçeli ve sürdürülebilir yapı üretimi için gelen taleplerin hem geleneksel hem de modern tekniklere ilgiyi artırabileceğini ifade etmiştir. Bununla birlikte, Türkiye genelinde geleneksel yapım tekniklerini uygulayabilecek yeterli sayıda uzman bulunmadığını, fakat bu eksikliğin eğitim programları ile giderilebileceğini söylemiştir. Teknik engellerin değil, insan kaynağı ve zamanla ilişkili maliyet faktörlerinin asıl sınırlayıcı

unsur olduğunu vurgulamıştır. Geleneksel kerpiç tekniğinin eş zamanlı çok sayıda yapı üretimine cevap veremediğini, bu nedenle sıkıştırılmış toprak blokların fabrikada ya da sahada prefabrik olarak üretilbileceğini ifade etmiştir.

U3, toprak yapı üretiminde malzemeye erişimin ciddi bir engel oluşturduğunu vurgulamıştır. Sıkıştırılmış toprak yapılarda kullanılacak uygun toprağın temininin kolay olmadığını, hatta şehirlerde bu sürecin çok daha zor hale geldiğini belirtmiştir. Her toprağın farklı özellikler taşıması nedeniyle, kullanılacak reçetelerin de değiştiğini ve bu nedenle doğru toprağa ulaşmanın kritik olduğunu ifade etmiştir. Ayrıca, ustalık gerektiren bir süreç olması sebebiyle, malzemeyi doğru uygulayabilecek nitelikli iş gücüne olan ihtiyaca dikkat çekmiştir. Bu yapıım türünün yaygınlaşabilmesi için, her şehirde uygun toprak türlerine dair bilgi erişimi sağlayan merkezlerin kurulması, stabilize toprakların toplandığı asfalt ya da karayolları şantiyelerinin değerlendirilmesi ve imar yönetmeliklerinde buna yönelik düzenlemelerin yer almasının önemli olduğunu belirtmiştir. Ek olarak bu alanda çalışacak genç arkadaşların bu konuda eğitim almış olmaları da yaygınlaşmasına katkı sağlayacağını belirtmiştir.

U4, toprak yapı malzemelerinin yaygınlaşabilmesi için, üretimlerinin TSE belgeleri ve standartlarla desteklenmesi gerektiğini vurgulamıştır. Bu standartların sağlanması durumunda, betonarme taşıyıcılı çok katlı binalarda dahi duvar, ara bölme, panel, sıva ve boya gibi yapı elemanlarında toprak ve kil bazlı malzemelerin kolaylıkla kullanılabileceğini ifade etmiştir.

U5, kerpicin yapıım tekniği olarak tüm yapı sistemine doğrudan entegre edilmesinin başlangıç aşamasında zorlayıcı olabileceğini, bu nedenle adım adım ilerleyen geçiş süreçlerinin daha gerçekçi bir strateji sunduğunu belirtmiştir. Kerpicin öncelikle iç mekânlarda ayırıcı duvar, döşeme ya da yüzey kaplaması gibi yapı elemanlarında uygulanarak tanıtılmasının kullanıcı farkındalığını artıracığını ifade etmiştir. Bu geçişin ani değil, zamana yayılan bir süreçle mümkün olacağını, zira hâlâ malzemenin teknik yeterliliklerine dair araştırma ve deneysel uygulamalara ihtiyaç duyulduğunu vurgulamıştır. Kerpiç yapıların modern sistemlerin sunduğu hız ve verimlilikle yarışabilmesi için teknik gelişim süreçlerinin desteklenmesi gerektiğini savunmuştur. Ayrıca, doğal yapı malzemelerinin yönetmelik, standart ve yapı kodlarına dâhil edilmesinin, bu geçişin önünü açacak önemli bir adım olacağını belirtmiştir.

Bu tema kapsamında katılımcılara yönlendirilen ikinci soru, kerpiç malzeme ile ilgili önemli olduğunu düşündüğünüz başka konuların olup olmadığıdır.

U1, Göbekli Tepe ve Beşiktaş Kültür Merkezi gibi projelerde kullanılan kerpicing, topluma daha fazla duyurulması gerektiğini belirtmiştir. Bu tür prestijli projelerin kamuoyuna tanıtılması sayesinde, günümüzde de bu malzemenin kullanıldığına dair bir farkındalık oluşabileceğini ifade etmiştir.



Şekil 4.7: Göbeklitepe Ziyaret Merkezi (kaynak: U1 arşivinden).

U2, bu alanda teknoloji geliştirmek için disiplinler arası çalışmanın önemli olduğunu belirtmiştir. Yeni ve denenmemiş malzeme karışımları ile sıkıştırma, presleme ve taşıma aşamalarında detay çözümler geliştirilmesi gerektiğini ifade etmiştir. Farklı alanlarda yapılan çalışmaların yaygınlaşmasının bilgi düzeyini kolektif olarak artıracaklarını belirtmiştir.

U3, kerpiç yapıların saçaklı olarak tasarlanması gerektiğini belirtmiştir. Duvarların sudan korunması için saçağın gerekli olduğunu, özellikle geleneksel kerpiç yapılarda saçaksız yapıların korunmasının zor olduğunu ifade etmiştir. Yapının topraktan sürekli nem almaması için zemin izolasyonuna dikkat edilmesi gerektiğini ve toprağa temas eden yerlerin aşınmaya neden olabileceğini aktarmıştır. Bu durumun yapım tekniğiyle ilgili olduğunu belirtmiştir.

U4, konunun çok geniş olduğunu, yazmakla bitmeyeceğini ifade ederek bu nedenle şu an görüş belirtmediğini bildirmiştir.

U5, günümüzde sürdürülebilirlik, enerji verimliliği ve iklim krizinin gündemde olduğunu belirtmiştir. TS 825 Bina Enerji Performansı Yönetmeliği'nin yalnızca yeni yapılar için geçerli olduğunu, geleneksel ve tarihi yapıların enerji verimliliği açısından değerlendirilmesinde bir boşluk olduğunu ifade etmiştir. Yeni yapı inşasının, mevcut yapıların onarılmasına kıyasla daha fazla enerji tüketimi ve karbon salınımı oluşturduğunu belirtmiştir. Geleneksel yapıların korunarak dönüştürülmesinin önemli olduğunu ve bu dönüşümün sağlıklı gerçekleşebilmesi için enerji verimliliği ve afet yönetimi gibi konularda yapı standartlarının yeniden ele alınması gerektiğini aktarmıştır. Bu standartların bölgesel risklere göre tanımlanması ve yerel yapı malzemeleri için özel düzenlemeler içermesi gerektiğini belirtmiştir. Kerpicin yalnızca taşıyıcı sistem olarak değil, aynı zamanda yüksek akustik yalıtım özelliğiyle çağdaş yapılarda yalıtım malzemesi olarak da değerlendirilebileceğini ifade etmiştir. Malzemenin sunduğu avantajların farklı bağlamlarda yeniden ele alınması ve çeşitli yapı elemanlarında kullanılabilmesi için daha fazla inovasyona ihtiyaç olduğunu belirtmiştir.

4.4. Bölüm Değerlendirmesi

Bir önceki bölümde detaylı biçimde sunulan temalar ve bu temalar kapsamında yöneltilen sorulara verilen yanıtlar doğrultusunda, her tema özelinde ortaya çıkan ortak bulgular aşağıda özetlenmektedir;

- **Kerpiç malzemenin yapı sektöründeki mevcut durumu ve geleceği başlığında**, katılımcılar teknik bilgi, mevzuat ve eğitim eksikliklerinin yanı sıra olumsuz sosyokültürel algıların kerpiç kullanımının önündeki temel

engeller olduğunu belirtmiştir. Kerpicin deprem yönetmeliğinde yer almaması, standardizasyon eksiklikleri ve deneysel çalışmalardaki yetersizliklere bağlanırken, çözüm olarak mevzuat düzenlemelerinin, eğitim reformlarının, farkındalık artırıcı çalışmaların ve kamu destekli teşviklerin kritik olduğu vurgulanmıştır. Ayrıca, sürdürülebilirlik ve modernleşme ihtiyaçlarına uygun olarak kerpiç malzemenin yapı sektöründe daha etkin kullanılabilmesi için disiplinler arası iş birlikleri ve Ar-GE çalışmalarının artırılması gerekliliği ifade edilmiştir.

- **Malzeme performansının gelişimi başlığı kapsamında,** katılımcılar kerpicin dayanıklılığını artırmak için farklı katkı maddelerinin eklenebileceğini iletmışlerdir. Özellikle çimento gibi kimyasal katkılar, dayanıklılığını artırsa da geri dönüşüm ve sürdürülebilirlik açısından kısıtlamalar getirmekte olup, katkı maddesi seçiminde çevresel performans ile yapısal dayanıklılık arasında dengeli bir yaklaşımın benimsenmesi gerektiği vurgulanmıştır.
- **Gelenekselden moderne üretim süreçlerinin gelişimi başlığı altında,** katılımcılar teknolojik ilerlemelerin kerpiç üretiminde hız, kalite ve dayanıklılığı artırdığını belirtmiş, ancak yüksek yatırım maliyetleri, standardizasyon eksikliği ve altyapı sorunlarının, bu gelişmelerin yaygınlaşmasını engellediğine dikkat çekmişlerdir. Bu engellerin aşılması için finansal destek mekanizmaları, disiplinler arası iş birliği ve Ar-GE çalışmalarının kritik olduğu vurgulanmıştır. Ayrıca, yeni teknolojilerin maliyet avantajı ve iş gücü verimliliği sağladığı, sürdürülebilirlik ve endüstriyel üretim kapasitesini artırma potansiyelinin bulunduğu belirtilmiş, modern tekniklerin yaygınlaşması için hammadde temininin, maliyet azaltımının ve saha uygulamalarındaki deneyimlemenin önemli olduğu ifade edilmiştir.
- **Toplumsal algı ve bilinç başlığı çerçevesinde,** katılımcılar kerpiç yapıların genellikle olumsuz ve geçmişe ait bir imajla değerlendirildiğini ifade etmiştir, Bu algının, bakım ihtiyacı, hijyen sorunları ve kullanım zorlukları gibi nedenlerden kaynaklandığını belirtmişlerdir. Ancak modern uygulamalar, farkındalık artırıcı eğitim programları ve yönetmelik değişiklikleri ile bu olumsuz algının dönüştürülebileceği ifade edilmiştir. Doğru teknik uygulamalarla yapısal dayanıklılığın sağlanması ve görünür prestij projelerinin gerçekleştirilmesi, toplumsal algının değişiminde kritik öneme sahip olduğu

iletilmiştir. Ayrıca, kerpiç yapıların faydalarının toplumla paylaşılmasında görsel medya, birebir deneyim aktarımı, yerel yönetimlerin desteği ve halk katılımlı projelerin önemli rol oynadığı; bilginin kalıcı hale gelmesi için yazılı-görsel materyallerin önemi vurgulanmıştır.

- **Yaygınlaştırma stratejileri ve gelecek vizyonu başlığında**, katılımcılar kerpiç malzemenin yaygınlaşması için eğitim, standardizasyon, uygun malzeme temini, teknik gelişim ve mevzuat desteğinin kritik olduğunu belirtmiştir. Uygulamalı eğitimler, kademeli geçiş stratejileri ve üretim sürecine dair güvenilirlik sağlayan belgelerin, malzemenin modern inşaat sektöründe kabul görmesinde belirleyici rol oynadığı ifade edilmiştir. Ayrıca, çağdaş inşaat sektöründe kerpiç kullanımının artırılması için teknik uygulamaların geliştirilmesi, prestijli projelerle görünürlüğün sağlanması ve yapı standartları ile mevzuatların desteklenmesi gerektiği ifade edilmiştir. Katılımcılar, kerpiç malzemenin sürdürülebilirlik, enerji verimliliği ve yapım teknikleri açısından sunduğu avantajların daha geniş kitlelere tanıtılmasının ve kerpicingin çeşitli yapı elemanlarında kullanımına yönelik yenilikçi yaklaşımların yaygınlaştırılmasının önemine vurgu yapmışlardır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, kerpiç kullanımını sınırlayan olumsuz özelliklerin iyileştirilmesine yönelik yenilikçi yaklaşımlar ele alınmıştır. Söz konusu yaklaşımlar, kerpiç malzeme içeriğinin geliştirilmesi, destek sistemleri ile güçlendirilmesi ve yenilikçi üretim tekniklerinin uygulanması başlıkları altında değerlendirilmiştir.

Kerpiç malzemesinin içeriğinin geliştirilmesi bölümünde incelenen çalışmalar ile çeşitli katkı maddeleriyle kerpicing güçlendirilmesinin, dayanıklılık, suya direnç ve ısı yalıtımı gibi özelliklerinde olumlu etkiler yarattığını göstermektedir. Ancak kullanılan yöntemler, katkı türleri ve değerlendirme ölçütlerindeki farklılıklar sonuçların genellenmesini sınırlamaktadır. Bu nedenle, farklı koşullar altında yürütülecek yeni araştırmalar mevcut bulguların derinleştirilmesini sağlayacaktır.

Destek sistemler ile kerpiç yapıların güçlendirilmesi bölümünde incelenen çalışmalar çoğunlukla depreme karşı dayanımı artırarak yapıların göçmesini önlemeyi amaçlamaktadır. Bu çalışma sonuçlarında sismik hareketlere karşı yapısal özelliklerin iyileştiği görülmüştür. Özellikle düşük gelirli bölgelerde yapısal güvenliğin sağlanması ve geleneksel yapıların korunması açısından bu çalışmalar önem taşımaktadır. Ancak mevcut araştırmaların çoğu küçük ölçekli numunelere dayanmakta olup, daha kapsamlı ve güvenilir sonuçlar için gerçek boyutlu deneylere ihtiyaç bulunmaktadır.

Kerpiç malzemenin yenilikçi sistemler ile üretim teknikleri bölümünde incelenen çalışmalar, modern üretim tekniklerinin geleneksel kerpiç yapım tekniklerine kıyasla süreci daha hızlı, verimli ve iş gücüne daha az bağımlı hale getirdiği görülmektedir. Modern makineler, dijital sıkıştırma yöntemleri, 3D baskı teknolojileri ve robotik uygulamalar sayesinde kerpiç üretimi endüstriyel ölçekte, esnek tasarımlarla ve daha az işçilikle gerçekleştirilebilmektedir. Ancak bu yöntemlerin yaygın olarak uygulanabilmesi ve yapı sektörüne entegre edilmesi için teknik detayların netleştirilmesine, daha fazla deneysel çalışmaya ve büyük ölçekli uygulama projelerine ihtiyaç vardır.

Güncel projeler, dünyada kerpiç yapıların hala yaygın olarak üretildiğini ve kullanıldığını göstermekte; bu projelerde, geleneksel kerpiçten daha gelişmiş malzeme içerikleri, yenilikçi destek elemanları ve modern üretim teknolojileri kullanılmakta,

daha hızlı üretilen yapılar inşa edilmekte ve yapısal performans artırılmaktadır. Araştırmaların sadece deneysel değil, gerçek yapılar üzerinden uygulamalı olarak yürütülmesi, bu alandaki gelişimin pratikte de karşılık bulduğuna işaret etmektedir.

İncelenen araştırmalar ve gelişen teknolojiler, kerpicingin bu olumsuz özelliklerini aşma noktasında önemli adımlar atılmasına olanak tanımakta ve kerpicingin dezavantajlı özelliklerinin geliştirilebileceğini göstermektedir. Geleneksel ve ekolojik bir yapı malzemesi olan kerpicingin hem çevre dostu hem de ekonomik bir yapı malzemesi olarak gelecekte daha geniş bir kullanım alanına sahip olabileceği gözükmektedir.

Bu çalışma kapsamında, beş uzmanla görüşmeler yapılmış ve kerpiç malzemenin yapı sektöründeki durumu, karşılaştığı zorluklar ve potansiyel gelişim alanları tematik çerçevede analiz edilmiştir. Katılımcılar, kerpicingin kullanımını sınırlayan en temel etkenlerin mevzuat eksikliği, olumsuz toplumsal algılar, eğitim yetersizlikleri ve teknik bilgi yetersizliği olduğunu belirtmiştir. Ayrıca, malzeme performansının artırılmasına yönelik yenilikçi katkı maddeleri, üretim süreçlerinde teknolojik ilerlemeler, toplumsal farkındalık çalışmalarının, kerpiç kullanımının yaygınlaşmasında kritik rol oynadığını belirtmişlerdir. Standartlaşma, uygulamalı eğitimler ve mevzuat desteğiyle birlikte kerpicingin çağdaş yapı sektöründe daha görünür hale gelebileceğini ve sürdürülebilirlik bağlamında güçlü bir alternatif sunabileceğini vurgulamışlardır.

Çalışma kapsamında ulaşılan bulgular ve uzman görüşleri doğrultusunda, kerpiç malzemenin yapı sektöründe daha yaygın ve etkin biçimde kullanılabilmesi için aşağıdaki öneriler geliştirilmiştir:

Mevzuat Düzenlemeleri ve Standartların Geliştirilmesi

- Türkiye'de kerpicingin taşıyıcı yapı elemanı olarak kullanılmasına ilişkin yasal boşluklar, malzemenin potansiyelini sınırlamaktadır. Deprem yönetmeliği, göre kerpiç yapım standartları ve teknik kılavuzlar güncellenerek bu malzemenin kullanımına yönelik açık ve uygulanabilir hükümler getirilmelidir.
- Yeni düzenlemelerde hem malzeme içeriği hem de yapım yöntemleri ile ilgili ayrıntılı bilgiler yer alarak uygulayıcılara yol gösterici olmalıdır.

Eğitim Reformları ve Teknik Bilgi Gelişimi

- Mimarlık ve inşaat mühendisliği bölümlerinde, ekolojik yapılar ve kerpiç malzeme üzerine dersler verilmelidir. Öğrencilerin proje bazlı çalışmalarla bu konuda bilinçlenmesi sağlanmalıdır.
- Kerpiç üretimindeki en önemli eksikliklerden biri uygulamayı bilen teknik eleman ve usta azlığı olmasıdır. Var olan ustaların bilgisi de genellikle geleneksel yapım süreçleri ile ilgilidir. Nitelikli insan kaynağının artırılmasına katkı sağlamak adına, bu alanda kendini yetiştirmek isteyen teknik personel ve ustalar için güncel üretim yöntemlerini içeren eğitim programları düzenlenmelidir.

Kamu Politikaları ve Teşvikler

- Kerpiç üreticileri ve kullanıcıları için vergi indirimi, düşük faizli kredi gibi ekonomik teşvikler sunulmalıdır. Bu alanda başarılı olmuş ülkelerin yasa ve yönetmelikleri örnek alınabilir.
- Kerpiç yapıların çağdaş mimarlıkla uyumunu ve yapısal potansiyelini göstermek amacıyla kamuya açık alanlarda devlet destekli örnek projeler uygulanabilir. Bu projeler, malzemenin günümüz koşullarında da işlevsel, estetik ve sürdürülebilir bir çözüm sunduğunu topluma doğrudan göstererek kerpiç algısının dönüşümünü hızlandırabilir.
- Kerpiç malzeme, çevresel bir değer olarak ele alınmalı, kırsal kalkınma, yerel istihdam ve kültürel miras politikalarıyla entegre edilmelidir. Geleneksel bilgi birikiminin ve yapıların korunması, genç kuşaklara aktarılması ve yerel üreticilerin desteklenmesi yoluyla, kerpiç yapıların sürdürülebilirliği uzun vadede güvence altına alınmalıdır.

Toplumsal Farkındalık ve Algı Yönetimi

- Kerpiç hakkında toplumda olumsuz algının değiştirilmesi ve halkın bilinçlenmesi için kerpiciin özelliklerinin ve potansiyelinin anlatıldığı eğitimler, geniş kapsamlı bilgilendirme kampanyaları düzenlenmelidir. Kerpiç üretimi ve kullanım bilgisi okullar aracılığı ile hem teknik hem de uygulamalı dersler ile öğrencilere aktarılmalıdır. Bu uygulamalar ile kullanıcıların farkındalığı ve kerpici uygulamak için talepleri artabilecektir.

- Halk için uygulamalı atölyeler yapılmalıdır. İnsanlar üretimin kolaylığını gördükçe ve malzemeye dokundukça korkusu ve ön yargısı azalacak, üretimle ilgili isteği de artabilecektir.
- İnsanların aklında kerpiç deyince çoğunlukla eski, yıkık ve geleneksel hali gelmektedir. Türkiye’de insanların erişebileceği kamusal alanlarda ve özel yapılarda; modern, günümüz ihtiyaçlarına uyum sağlayan estetik kerpiç yapılar yapılmasına olanak tanınmalıdır. İnsanlar bu yapıları gördükçe ve o ortamda yaşadıkça kerpicingin potansiyelini daha iyi anlayacaktır.
- Aynı zamanda bu yapılar ve projeler yazılı-görsel materyaller, sosyal medya ve kamu yayın organları ile etkin biçimde insanlara aktarılmalıdır.

Teknolojik ve Üretim Gelişimleri

- Kerpiç malzemenin mekanik dayanımı, çevresel etkisi ve yapısal performansı üzerine yapılacak araştırmalar; mimarlık, inşaat mühendisliği, malzeme bilimi ve çevre mühendisliği gibi disiplinler arası yaklaşımla yürütülmelidir. Bu amaçla kamu destekli Ar-GE projeleri, üniversite-sanayi iş birlikleri ve teknoloji geliştirme merkezleri teşvik edilmelidir.
- Kerpiç üretiminde kullanılan toprak, lif ve stabilizatör gibi hammaddelerin tedarik süreçleri optimize edilmeli ve maliyetleri azaltılmalıdır.
- Kerpiç, sadece duvar malzemesi olarak değil, iç bölme elemanı, yalıtım unsuru veya modüler yapı bileşeni olarak da değerlendirilebilecek şekilde yeniden düşünülmelidir. Bu doğrultuda, yenilikçi üretim teknikleri desteklenmeli ve bu uygulamaların standartlaşmasına yönelik çalışmalar yapılmalıdır.

Sonuç olarak, kerpiçle ilgili olumsuz algıların dönüştürülmesi, toplumun ve öğrencilerin bilinçlendirilmesi, sürdürülebilir kerpiç malzemenin daha yakından tanınmasının sağlanması, ustalık bilgisinin güncellenerek yaygınlaştırılması, modern mimari örnek projelerin üretilmesi ve kerpicingin inşaat sektöründe daha geniş bir yer bulması hem zorluklar hem de olanaklarla dolu uzun bir yolculuktur. Bu yolculukta toplumun her bölümünün bu yolculuğa desteği ve katılımı çok önemlidir. Kerpiç, yalnızca geçmişten gelen geleneksel bir yapı malzemesi olarak değil modern çağa uygun çevre dostu bir çözüm olarak değerlendirilmelidir. Bu süreç, eğitimden mevzuata, Ar-GE’den toplumsal farkındalığa kadar çok yönlü bir yaklaşımı içermektedir. Doğru stratejilerle ilerlenmesi durumunda kerpiç, sadece sürdürülebilir bir yapı malzemesi olarak değil, aynı zamanda ekonomik, sosyal ve estetik açılardan

da değerli bir çözüm olarak ağdaş yapı sektöründe önemli bir alternatif haline gelebilecektir.



KAYNAKLAR

- [1] Bozyel M. E., (2021), “Kerpiç Yapıların Tasarım Olanakları ve Sürdürülebilirlik Bağlamında Etkileri”, TÜGVA İhtisas Akademi Raporu.
- [2] Leblebiciler Y., Akıncı A., (2021), “Ekolojik Yeni Nesil Kerpiç”, Bilim Armonisi, 4 (2), 12-19.
- [3] Öztürk P., (2020), “Yapı Biyolojisi Açısından Kerpiç Kullanımının Etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, Hasan Kalyoncu Üniversitesi.
- [4] Güneri M., (2023), “Ayçiçeği Sapı İlavesi ile Kerpiç Malzemenin Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [5] Nitelik Gelirli D., (2022), “Toprak Malzemenin Tasarım Süreçlerindeki Algısal Değerlendirmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi.
- [6] T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, (2018), “Ek Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı İçin Esaslar”, Resmî Gazete, 18 Mart 2018 tarih ve 30364 sayılı. Erişim: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2018/03/20180318M1-2.htm>.
- [7] Yardımlı S., (2021), “Çevreci Yaklaşımlarda Malzeme ve Yapım Tekniği; Çağdaş Kerpiç Yapılar”, Kent Akademisi, 14 (2), 389-413.
- [8] Ortaş İ., (2017), “Toprak İnsan Uygarlık İlişkisi”, Yaşamın Her Karesinde Toprak, İstanbul Aydın Üniversitesi Yayınları, 1-26.
- [9] Çoşkun K., (2005), “Alker (Alçı Katkılı Kerpiç) Teknolojisinin Püskürtme Beton (Shotcrete) Tekniği ile Uygulanabilirliğinin Basınç Dayanımı Açısından Deneysel Değerlendirmesi”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [10] Ekşi Akbulut D., Koç G., (2018), “Toprak Yapı Üretiminin Yönetmelikler Kapsamında İrdelenmesi”, Mimarist, 62, 34-40.
- [11] Kalkan S., Engin N., (2024), “Geleneksel Kerpicingin Katkı Maddeleri ile Özelliklerinin İyileştirilmesi Üzerine Bir İnceleme”, Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi, 16 (2), 721-734.
- [12] Web 1, (2025), <http://www.asiklihyuk.org/reconstructive-preservation-board-16-17/>, (Erişim Tarihi: 04/01/2025).
- [13] Özbaşaran M., (2013), “Orta Anadolu’nun Neolitikleşme Sürecinde Aşıklı”, Colloquium Anatolicum, XII, 1-14.

[14] Tiryaki O., (2022), “Koyun Yünü Katkılı Kerpicing Bazı Fiziksel ve Mekanik Özellikleri”, Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.

[15] Web2, (2025), https://worldarkeoloji.blogspot.com/2016/02/cayonuhoyuk.html#gooogle_vignette , (Erişim Tarihi: 03/01/2025).

[16] Özdemir M., (2017), “Neolitik Dönem Anadolu Mimarisinden Bir Kesit: Çayönü”, Journal of History and Future, 3 (3), 248-265.

[17] Ertuğrul E., (2025), <https://arkeofili.com/10-maddede-neolitik-yerlesim-catalhoyuku-anlamak/> , (Erişim Tarihi: 04/01/2025).

[18] Şimşek Tolacı S., Hürmüzlü B., (2020), “İsparta’da Kerpiç ve Yaşam”, Süleyman Demirel Üniversitesi Yayını.

[19] Uyman E., (2025), <https://www.uplifers.com/babil-kulesi-bize-ne-anlatir-disarida-bir-sey-insa-etmek-iceride-de-bir-sey-insa-etmektir/> , (Erişim Tarihi: 04/01/2025).

[20] Web 3, (2025), <https://www.atlasdergisi.com/kesfet/arkeoloji-haberleri/aktopraklikta-tarihoncesi-tasarim.html> , (Erişim Tarihi: 04/01/2025).

[21] Altıok B., (2025), <https://www.aa.com.tr/tr/kultur-sanat/kazilarla-5-bin-yillik-kralligin-izindeler/1249844> , (Erişim Tarihi: 18/05/2025).

[22] Web 4, (2025), <https://www.antalyaekspres.com.tr/antalyanin-10-bin-yillik-hoyugu> , (Erişim Tarihi: 04/01/2025).

[23] Web 5, (2025), <https://www.hurriyet.com.tr/seyahat/anadoluda-medeniyetin-besigi-alacahoyuk-41460856> , (Erişim Tarihi: 04/01/2025).

[24] Web 6, (2025), <https://www.ulusal.com.tr/yurt/kayseri-kultepede-heyecan-veren-kazi-15041758> , (Erişim Tarihi: 04/01/2025).

[25] Serrano Sans R., (2025), https://historia.nationalgeographic.com.es/a/hattusa-como-era-gran-capital-imperio-hitita_20516 , (Erişim Tarihi: 04/01/2025).

[26] Özdoğlar E., Kavut İ. E., Yalçın Ç., Kalay T., Yılmaz Yatır S., (2022), “İç Mimarlık Alanında Yeni Bin Yılın Mekânsal Anlayışlarının Değerlendirilmesi”, 8gen-ART, 2 (1), 97-111.

[27] Web 7, (2025), https://madainproject.com/chapel_of_imperial_cult , (Erişim Tarihi: 05/01/2025).

[28] Soyluk A., Yıldız A., Saricioğlu P., (2018), “Geçmişten Günümüze Sınır Duvarları”, Asia Minor Studies, 6.

- [29] Çelik Mazlum M., (2025), <https://www.indyturk.com/node/579586/%C3%A7in-seddi-ger%C3%A7ekten-t%C3%BCrklere-kar%C5%9F%C4%B1-m%C4%B1-yap%C4%B1ld%C4%B1>, (Erişim Tarihi: 05/01/2025).
- [30] Web 8, (2025), <https://www.pandotrip.com/the-great-mosque-of-djenne-in-mali-2463/>, (Erişim Tarihi: 05/01/2025).
- [31] Çavuş M., Dayi M., Yılmaz Aruntaş H., Ulusu H., (2015), “Sürdürülebilir Bir Yapı Malzemesi Olarak Kerpiç”, 2nd International Sustainable Buildings Symposium, Ankara, 28-30 Mayıs.
- [32] Bozoğlu B., (2025), <https://arkeofili.com/dunyanin-en-eski-gokdelen-sehri-tarihi-sibam-kenti/>, (Erişim Tarihi: 05/01/2025).
- [33] Ultav Tuna Z., Sahil S., (2004), “Hassan Fathy Mimarlığı’nda Tasarım İlkeleri Üzerine Eleştirel Bir İnceleme”, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 19 (4), 365-374.
- [34] Uyar E., (2019), “Mimari Akımlar, Üsluplar ve Yapı Malzemeleri Bağlamında Hasan Fethi”, Yüksek Lisans Tezi, Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi.
- [35] Güney N. N., (2022), “Geleneksel Mimari Yapılarda Form Özdeşliği ve Malzeme Farklılıkları Üzerine Bir İnceleme: Harran Kümbet Evleri ve Alberobello Trulli Evleri”, Pearson Journal Of Social Sciences & Humanities, 7 (21), 271-282.
- [36] Web 9, (2025), <http://www.sanliurfa.gov.tr/harran3>, (Erişim Tarihi: 05/01/2025).
- [37] Geçen F., Kösem A., (2018), “Türk Kerpiç Mimarisi ve Cumhuriyet Sonrası Kerpiç Evlerin Türk Resim Sanatındaki Yeri ve Malatyalı Sanatçıların Eser Örnekleri”, 5, 52-68.
- [38] Şenol E., (2017), “Amasya Kentinin Cumhuriyet Dönemi Konutları”, Journal of International Social Research, 10 (54), 479-498.
- [39] Web 10, (2025), <https://www.turkiyenintarihieserleri.com/?oku=2033>, (Erişim Tarihi: 05/01/2025).
- [40] Web 11, (2025), <https://www.ajansurfa.com/haber/9125808/iste-gobeklitepe-sosyal-tesisi-bitince-ortaya-cikacak-goruntu>, (Erişim Tarihi: 05/01/2025).
- [41] Akbaş, M., (2025), <https://www.yenisafak.com/hayat/mimaride-ozumuze-geri-donelim-3525799>, (Erişim Tarihi: 05.01.2025).
- [42] Akbaş M. F., Aslan M., Arpacıoğlu Ü., (2022), “Yeşil Malzeme Bağlamında Kerpiç”, Eksen Dokuz Eylül Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Dergisi, 3 (2), 72-88.
- [43] Web 12, (2025), <https://www.architectural-review.com/buildings/earth/rauch-house-in-austria-by-roger-boltshauser-with-martin-rauch>, (Erişim Tarihi: 05.01.2025).

[44] Web 13, (2025), Archdaily, https://www.archdaily.com/906264/earth-wind-and-fire-the-village-house-luigi-rosselli?ad_source=search&ad_medium=projects_tab , (Erişim Tarihi: 05.01.2025).

[45] Web 14, (2025), https://www.archdaily.com/978257/sisters-house-1-plus-1-2-architects?ad_source=search&ad_medium=projects_tab , (Erişim Tarihi: 05.01.2025).

[46] Perker, S., Akkuş, K., (2019), “Toprak Yapı Malzemesi ile Mimarlık: Çağdaş Uygulamalar Üzerine Bir Değerlendirme”, Online Journal of Art and Design, 7(4).

[47] Alibeyoğlu R. N., Ökten M. S., (2021), “An Investigation on Rammed Earth Structures”, Turkish Online Journal of Design Art and Communication, 11 (32), 1036-1057.

[48] Dalkılıç N., Nabikoğlu A., (2017), “Traditional Manufacturing Of Clay Brick Used In The Historical Buildings Of Diyarbakir (Turkey)”, Frontiers of Architectural Research, 6 (3), 346-359.

[49] Özkan G., Baytorun N., Semih S. M., (2018), “Kerpiç ve Betonarme Konutlarda Kullanılan Bazı Yapı Malzemelerinin Üretiminde Enerji Gereksinimleri”, Çukurova Tarım Gıda Bilimleri Dergisi, 33 (1), 29-36.

[50] Arpacioğlu, Ü., (2006), “Geçmişten Günümüze Kerpiç Malzeme Üretim Teknikleri ve Güncel Kullanım Olanakları”, 3. Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi ve Sergisi, İstanbul, 15-16-17 Kasım.

[51] Web 15, (2025), <https://www.bamboo-earth-architecture-construction.com/adobe-bricks/> , (Erişim Tarihi: 12.01.2025).

[52] Muguda S. V., (2019), “Biopolymer Stabilised Earthen Construction Materials”, Doktora Tezi, Durham University.

[53] Web 16, (2025), <https://www.archdaily.com/370237/tucson-mountain-retreat-dust> , (Erişim Tarihi: 20.01.2025).

[54] Yardımlı S., Işık B., Balık Ö., (2018), “Recommendations for Çanakkale-Ayvacık Post-Earthquake”, içinde Kerpic’18 – Back to Earthen Architecture: Industrialized, Injected, Rammed, Stabilized 6th International Conference, 43-49, Gaziantep, 1-2 Haziran.

[55] Işık, B., (2020), “Hypothesis on Earthquake Risk Preparedness on In-Use Earthen Buildings”, 8th International Kerpic Conference: KERPIC’20, 29-34, İstanbul, 26-27 Kasım.

[56] Web 17, (2025), https://insapedia.com/yigma-yapi-nedir-yigma-bina-cesitleri-ve-ozellikleri/#google_vignette , (Erişim Tarihi: 20.01.2025).

[57] Akyol, A. A., Dirican, T., (2019), “Anadolu’da Kerpiç Duvar Yapımı Yöntemlerine Ait Bir Derleme Çalışması”, Sanat ve Tasarım Dergisi, 23, 117–127.

[58] Kafesçioğlu, R., (1954), “Kuzey-Batı Anadolu’da Ahşap Ev Yapıları”, Doçentlik Çalışması, İstanbul Teknik Üniversitesi.

[59] Kıran, N., (2025), Açık Söz, https://www.aciksoz.com.tr/haber/18232041/kastamonudan-almanyaya-turk-ev-geleneginin-canli-temsilcisi-himis#google_vignette , (Erişim Tarihi: 25.01.2025).

[60] Web 18, (2025), <https://www.trthaber.com/haber/yasam/sukran-koyunun-kerpic-evleri-tasarimiyla-ilgi-odagi-385061.html> , (Erişim Tarihi: 25.01.2025).

[61] Çobancoğlu, T., Tuztaş, U., (2006), “Anadolu’da Kerpicing Kullanım Geleneği ve Kerpicing Konut Yapım Sistemlerinin Karşılaştırılması”, Tasarım + Kuram, 3(5).

[62] Ataman, G., (2007), “Hımiş Yapının Taşıyıcılık Açısından Karşılaştırmalı Olarak Değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.

[63] Web 19, (2025), <https://www.emsatrip.com/elmal/-elmalitarihievleri> , (Erişim Tarihi: 25.01.2025).

[64] Geiger, O., Zemskova, K., (2015), “Earthbag Technology—Simple, Safe and Sustainable”, Nepal Engineers' Association Technical Journal, 43(1).

[65] Fındık, O., (2017), “Pişmemiş Toprak Malzeme ile Form Üretimi ve Bir Uygulama”, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Güzel Sanatlar Enstitüsü.

[66] Gheorghe, S., (2025), <https://www.homedit.com/earthbag-homes/> , (Erişim Tarihi: 25.01.2025).

[67] Savary, M., Mehdizadeh Saradj, F., Shaygan Manesh, M., Tahmasebiboldaji, N., Kazemi, A. S., (2020), “Improving the Adobe Material Properties by Laser Material Processing”, Construction and Building Materials, 249.

[68] Olğun, T. N., Karatosun, M., (2023), “Kerpicing Yapılarda Koruma Sorunu Olarak Deprem Etkileri”, Muş Alparslan Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 11(1), 15-27.

[69] Elborgy, R., (2019), “Mısır’da Hurma Lifi Katkılı Kerpicing Restorasyon Uygulamalarında Kullanılabilirliğine Yönelik Bir Araştırma”, Doktora Tezi, Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.

[70] Millogo, Y., Morel, J. C., Aubert, J. E., Ghavami, K., (2014), “Experimental Analysis of Pressed Adobe Blocks Reinforced with Hibiscus Cannabinus Fibers”, Construction and Building Materials, 52, 71-78,

[71] Serrano, S., Barreneche, C., Cabeza, L. F., (2016), “Use Of By-Products As Additives In Adobe Bricks: Mechanical Properties Characterisation”, Construction and Building Materials, 108, 105-111.

[72] Millogo, Y., Aubert, J. E., Séré, A. D., Fabbri, A., Morel, J. C., (2016), “Earth Blocks Stabilized By Cow-Dung”, Materials and Structures/Materiaux et Constructions, 49.

- [73] Araya-Letelier, G., Concha-Riedel, J., Antico, F. C., Valdés, C., Cáceres, G., (2018), "Influence Of Natural Fiber Dosage And Length On Adobe Mixes Damage-Mechanical Behavior", *Construction and Building Materials*, 174, 645-655.
- [74] Kafodya, I., Okonta, F., Kloukinas, P., (2019), "Role Of Fiber Inclusion In Adobe Masonry Construction", *Journal of Building Engineering*, 26.
- [75] Gandia, R. M., Gomes, F. C., Corrêa, A. A. R., Rodrigues, M. C., Mendes, R. F., (2019), "Physical, Mechanical And Thermal Behavior Of Adobe Stabilized With Glass Fiber Reinforced Polymer", *Construction and Building Materials*, 222, 168-182.
- [76] Berkgil M., Ayaz Y., (2020), "Polipropilen Lif Katkılı Kerpiç Tuğlaların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi", *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(1), 105-114.
- [77] Muñoz P., Letelier V., Muñoz L., Bustamante M. A., (2020), "Adobe Bricks Reinforced With Paper & Pulp Wastes Improving Thermal And Mechanical Properties", *Construction and Building Materials*, 254.
- [78] Babé C., Kidmo D. K., Tom A., Mvondo R. R. N., Kola B., Djongyang N., (2021), "Effect of neem (*Azadirachta Indica*) fibers on mechanical, thermal and durability properties of adobe bricks", *Energy Reports*, 7, 686-698.
- [79] Ige, O., Danso, H., (2021), "Physico-Mechanical And Thermal Gravimetric Analysis Of Adobe Masonry Units Reinforced With Plantain Pseudo-Stem Fibres For Sustainable Construction", *Construction and Building Materials*, 273.
- [80] Dominguez-Santos, D., Moya Bravo, J. A., (2022), "Structural And Mechanical Performance Of Adobe With The Addition Of High-Density Polyethylene Fibres For The Construction Of Low-Rise Buildings", *Engineering Failure Analysis*, 139.
- [81] Alkadri M. H., (2022), "Assessing Structural Properties Of Adobe Brick With Wastepaper Content For The Employment Of Post-Disaster Shelters", Yüksek Lisans Tezi, Ankara Yıldırım Beyazıt University.
- [82] Eslami, A., Mohammadi, H., Mirabi Banadaki, H., (2022), "Palm Fiber As A Natural Reinforcement For Improving The Properties Of Traditional Adobe Bricks", *Construction and Building Materials*, 325.
- [83] Sanou, I., Bamogo, H., Sory, N., Gansoré, A., Millogo, Y., (2024), "Effect Of The Coconut Fibers And Cement On The Physico-Mechanical And Thermal Properties Of Adobe Blocks", *Heliyon*, 10.
- [84] Işık B., (2000), "Türkiye’de Kerpiç Yapı Kültürü ve Alçı ile Stabilize Edilen Kerpiç-Alker Yapılar", *Alçı Kongresi Bildiriler Kitabı, Alçı Derneği*, 1-26.
- [85] Lokeshwari M., Jagadish K. S., (2016), "Eco-friendly Use of Granite Fines Waste in Building Blocks", *Procedia Environmental Science*, 35, 618-623.

- [86] Lanzón M., Martínez E., Mestre M., Madrid J. A., (2017), “Use of Zinc Stearate to Produce Highly-Hydrophobic Adobe Materials with Extended Durability to Water and Acid-Rain”, *Construction and Building Materials*, 139, 114-122.
- [87] Pekrioglu Balkis A., (2017), “The Effects of Waste Marble Dust and Polypropylene Fiber Contents on Mechanical Properties of Gypsum Stabilized Earthen”, *Construction and Building Materials*, 134, 556-562.
- [88] Omar Sore S., Messan A., Prud’homme E., Escadeillas G., Tsobnang F., (2018), “Stabilization of Compressed Earth Blocks (CEBs) by Geopolymer Binder Based on Local Materials from Burkina Faso”, *Construction and Building Materials*, 165, 333-345.
- [89] Minh Trang N. T., Dao Ho N. A., Babel S., (2021), “Reuse of Waste Sludge from Water Treatment Plants and Fly Ash for Manufacturing of Adobe Bricks”, *Chemosphere*, 284.
- [90] Lara-Ojeda R. A., Miranda-Vidales J. M., Narváez-Hernández L., Lozano-de Poo J. M., (2022), “A New Mixture Criterion for the Improvement of the Compressive Strength of Adobe Using Zeolite as Stabilizer”, *KSCE Journal of Civil Engineering*, 26 (8), 3549-3559.
- [91] Morsy M. I., vd., (2022), “Recycling Rice Straw Ash to Produce Low Thermal Conductivity and Moisture-Resistant Geopolymer Adobe Bricks”, *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29, 3759-3771.
- [92] Zarasvand K. A., Narani S. S., Siddiqua S., (2023), “Thermal Insulation Enhancement of Rammed Earth Using Wood Fly Ash and Calcium Bentonite”, *Construction and Building Materials*, 409.
- [93] Paul S., Islam M. S., Elahi T. E., (2023), “Potential of Waste Rice Husk Ash and Cement in Making Compressed Stabilized Earth Blocks: Strength, Durability and Life Cycle Assessment”, *Journal of Building Engineering*, 73.
- [94] Department of Urban Development and Building Construction (DUDBC) Government of Nepal, United Nations Development Programme (UNDP), Center of Resilience Development (CoRD), (2016), “Seismic Retrofitting Guidelines of Buildings in Nepal”.
- [95] Biniçi H., Durgun M. Y., Yardım Y., (2010), “Kerpiç Yapılar Depreme Dayanıksız Mıdır? Avantajları ve Dezavantajları Nelerdir?”, *KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 13 (2).
- [96] Ortega J., Vasconcelos G., Rodrigues H., Correia M., Lourenço P. B., (2017), “Traditional Earthquake Resistant Techniques for Vernacular Architecture and Local Seismic Cultures: A Literature Review”, *Journal of Cultural Heritage*, 27, 181-196.
- [97] Sathiparan N., (2015), “Mesh Type Seismic Retrofitting for Masonry Structures: Critical Issues and Possible Strategies”, *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 19 (9), 1136-1154.

- [98] Quiun D., (2009), “Reinforced Adobe”, Teknik Rapor No: 107, World Housing Encyclopedia, Earthquake Engineering Research Institute (EERI) ve International Association for Earthquake Engineering (IAEE), Peru.
- [99] Aizaz M., Shahzada K., Gul A., Saqib M., (2024), “Experimental Study on the In-Plane Behavior of Mud Brick Walls Strengthened with Bamboo Strip Mesh and Dried Jute Thread”, Structures, 68.
- [100] Abdulla K. F., Cunningham L. S., Gillie M., (2021), “Out-Of-Plane Strengthening Of Adobe Masonry Using Hemp Fibre Ropes: An Experimental”, Engineering Structures, 245.
- [101] Reyes J. C., Smith-Pardo J. P., Yamin L. E., Galvis F. A., Angel C. C., Sandoval J. D., Gonzalez C. D., (2019), “Seismic Experimental Assessment of Steel and Synthetic Meshes for Retrofitting Heritage Earthen Structures”, Engineering Structures, c. 198.
- [102] Zhang J. F., Pang S. Y., Gao J. W., Deng E. F., Wang H., Zhao J. J., (2020), “Experimental Study on Seismic Behaviour of Adobe Wall Reinforced with Cold-Formed Thin-Walled Steel”, Thin-Walled Structures, 147.
- [103] Liu K., Wang M., Wang Y., (2015), “Seismic retrofitting of rural rammed earth buildings using externally bonded fibers”, Construction and Building Materials, 100, 91-101.
- [104] Zhang L., Zhou T., Zhang Z., Tan W., Liang Z., (2023), “Near-Surface-Mounted Retrofitting Of Adobe Walls Using Different Materials: Evaluation Of Seismic Performance”, Structures, 54, 1149-1163.
- [105] Gomaa M., Jabi W., Soebarto V., Xie Y. M., (2022), “Digital manufacturing for earth construction: A critical review”, Journal of Cleaner Production.
- [106] Kontovourkis O., Konatzii P., (2021), “Environmental And Cost Assessment Of Customized Modular Wall Components Production Based On An Adaptive Formwork Casting Mechanism: An Experimental Study”, Journal of Cleaner Production, 286.
- [107] Minh Trang N. T., Dao Ho N. A., Babel S., (2021), “Reuse Of Waste Sludge From Water Treatment Plants And Fly Ash For Manufacturing Of Adobe Bricks”, Chemosphere, 284.
- [108] Schweiker M., Endres E., Gossler J., Hack N., Hildebrand L., Creutz M., Klinge A., Kloft H., Knaack U., Mehnert J., Roswag-Klinge E., (2021), “Ten Questions Concerning The Potential Of Digital Production And New Technologies For Contemporary Earthen Constructions”, Building and Environment, 206.
- [109] Reyes A. V., Gomaa M., Chatzivasileiadi A., Jabi W., Wardhana N. M., (2018), “Computing Craft: Early Stage Development Of A Robotically-Supported 3D Printing System For Cob Structures”, in Computing for a Better Tomorrow, Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe, 791-800.

- [110] Dubor A., Marengo M., Ros-Fernandez P., (2019), “Experimentation, Prototyping And Digital Technologies Towards 1:1 İn Architectural Education”, JIDA’19. VII Jornadas sobre Innovación Docente en Arquitectura, Madrid, 606-615.
- [111] Gomaa M., Jabi W., Soebarto V., Xie Y. M., (2022), “Digital Manufacturing For Earth Construction: A Critical Review”, Journal of Cleaner Production, 338.
- [112] Zavaleta D. vd., (2025), “3D-Printing Of A Basic Housing Unit Prototype Using Earthen-Based Matrices Stabilized With Rice Husk Fibers”, Journal of Building Engineering, 103.
- [113] Gelirli D. N., Arpacioğlu Ü., (2022), “Earth Buildings from Traditional to Present”, içinde: Ü. Arpacioğlu, Ş. Ertaş Beşir, İ. E. Gül (Ed.), Architectural Sciences and Building Materials, 147-172, İKSAD Yayınları
- [114] Gomaa M., Schade S., Bao D. W., Xie Y. M., (2023), “Automation İn Rammed Earth Construction For Industry 4.0: Precedent Work, Current Progress And Future Prospect”, Journal of Cleaner Production, 398.
- [115] Asal A., (2021), “Building with Earth-Sustainable Stabilization and Additive Manufacturing for Rammed Earth Construction”, Lisans Tezi, HTWG Konstanz - University of Applied Sciences.
- [116] Šamec E., Srivastava A., Chaltiel S., (2019), “Light Formwork For Earthen Monolithic Shells”, in International Conference on Sustainable Materials, Systems and Structures (SMSS 2019), Rovinj, Croatia, 24-31.
- [117] Web 20, (2024), https://www.archdaily.com/779489/centinela-chapel-estudio-ala?ad_source=search&ad_medium=projects_tab, (Erişim Tarihi: 01.12.2024).
- [118] Karakoç N., (2024), <https://www.arkitera.com/haber/hindistanda-geleneksel-el-sanatları-modern-tasarim-ve-surdurulebilir-mimari-arasında-köprü-olusturan-camur-ev/>, (Erişim Tarihi: 01.12.2024).
- [119] Çamuşoğlu N., (2024), <https://www.ekoyapidergisi.org/sikistirilmis-topraktan-evler>, (Erişim Tarihi: 01.12.2024).
- [120] Web 21, (2025), https://www.archdaily.com/792832/nido-de-tierra-moro-taller-de-arquitectura?ad_source=myad_bookmarks&ad_medium=bookmark-open, (Erişim Tarihi: 15.02.2025).
- [121] Web 22, (2025), https://www.archdaily.com/792763/21st-century-vernacular-house-edra-arquitectura-km0?ad_source=search&ad_medium=projects_tab, (Erişim Tarihi: 15.02.2025).
- [122] Web 23, (2025), <https://www.haberturk.com/malatya-da-depreme-dayanikli-kerpic-ev-insa-edildi-3748256>, (Erişim Tarihi: 19.05.2025).
- [123] Gribas C., (2024), <https://www.archdaily.com/804968/this-rope-reinforcement-system-is-an-innovation-in-the-structure-of-adobe->

[buildings?ad_source=search&ad_medium=projects_tab&ad_source=search&ad_medium=search_result_all](#) , (Erişim Tarihi: 01.12.2024).

[124] Web 24, (2025), <https://www.adobepatrimonial.cl/restauracion>, (Erişim Tarihi: 21.04.2025).

[125] Web 25, (2024), <https://www.designnuance.com/the-first-3d-printed-house-gaia-built-with-earth/> , (Erişim Tarihi: 01.12.2024).

[126] Peters A., (2024), <https://www.fastcompany.com/90619146/this-wild-looking-house-is-made-out-of-dirt-by-a-giant-3d-printer> , (Erişim Tarihi: 01.12.2024).

[127] Web 26, (2025) https://parametric-architecture.com/spains-first-building-made-with-earth-and-a-3d-printer%20tova/?srsltid=AfmBOopR1Yi2T_A63ExiAnXvEHCSdMnvlECcZurf8euG6kPYvA6g5AUD , (Erişim Tarihi: 20.04.2025).

[128] Cano Laura P., (2025), <https://www.elledecor.com/es/arquitectura/a39698217/stephanie-chaltiel-mudd-architects-construir-drones-arquitectura/> , (Erişim Tarihi: 15.02.2025).

[129] Web 27 , (2025), <https://www.akt-uk.com/projects/terramia/> , (Erişim Tarihi: 15.02.2025).

[130] Heringer A., Blair Howe L., Rauch M., (2019), “Upscaling Earth: Material, Process, Catalysť”, gta Verlag,

[131] Web 28, (2025), <https://www.heinze.de/architekturobjekt/alnatura-arbeitswelt/12882282/>, (Erişim Tarihi: 16.02.2025).

[132] Braun V., Clarke V., (2006), “Using Thematic Analysis in Psychology”, Qualitative Research in Psychology, 3(2), 77-101.

ÖZGEÇMİŞ

Ecem Pınar PARLAK, lisans eğitimini Gebze Teknik Üniversitesi Mimarlık Bölümü'nde tamamlamıştır. Aynı üniversitede Mimarlık Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitime devam etmektedir. 2022 yılından bu yana kurumsal bir perakende şirketinde mimar olarak profesyonel çalışma hayatını sürdürmektedir.



TEZ METNİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR

- [1] Parlak, E. P., ve Karaman Öztaş, S., “Kerpiç Malzeme Üzerine Yenilikçi Yaklaşımlar ve Yapı Uygulamaları,” 8th International Halich Congress on Multidisciplinary Scientific Research, , 635–645, İstanbul, Türkiye



EKLER

EK-A: Etik Kurulu Kararı



T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ
İnsan Araştırmaları Etik Kurulu



Sayı : E-43633178-199-191658
Konu : İnsan Araştırmaları Etik Kurulu Ecem Pınar
PARLAK()

10.03.2025

Sayın Ecem Pınar PARLAK

İlgi : 24.02.2025 tarihli ve E-189293 sayılı yazınız

İlgi yazıya istinaden yapmış olduğunuz başvuru, Üniversitemiz İnsan Araştırmaları Etik Kurulu'nun 10.03.2025 tarih ve 2025/06-02 oturum sayılı toplantısında incelenmiş ve değerlendirilmiştir. "Kerpiç Malzemeye Yönelik Yenilikçi Yaklaşımlar" konulu araştırma kapsamında kullanacağınız belgelerin etik açısından bir sakıncası olmamakla birlikte, tarafınıza iletilen bu yazıyı "Etik Uygunluk" belgesi niteliğinde değerlendirmenizi rica ederim.

Prof.Dr. Mahmut DURMUŞ
Başkan

Bu belge, güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.

Doğrulama Kodu: BS4BCTVDEC Pin Kodu: 83382

Belge Takip Adresi : <https://turkiye.gov.tr/ebd?eK=5466&eD=BS4BCTVDEC&eS=191658>

Adres: GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ, İnsan Araştırmaları Etik Kurulu, 41400,

Bilgi için: Şeyma Gürel Dalkıran

Gebze/KOCAELİ

Unvanı: Raportör

Telefon: +90 262 605 (10 00) Faks: +90 262 653 84 90

Elektronik Ağ: www.gtu.edu.tr



EK-B: Görüşme Yapılan Uzmanlar

Tablo B.1: Görüşme Yapılan Uzman Bilgileri

U1	Prof. Dr. Bilge Işık	Akademisyen- İTÜ
U2	Doç. Dr. Sema Alaçam	Akademisyen- İTÜ
U3	Erkan Alişan	Restoratör
U4	And Akman	Mimar- Eğitimci-YBE
U5	Öğr.Gör.Dr. Nurcihan Bektaş	Akademisyen- GTÜ

EK-C: Uzman Görüşü Kapsamında Hazırlanan Sorular

1.Kerpiç Malzemenin Yapı Sektöründeki Mevcut Durumu ve Geleceği

- Türkiye’de kerpiç malzemenin yaygın inşaat uygulamalarında kullanılmasının önündeki başlıca engeller nelerdir?
- Türkiye’de kerpici mevcut deprem yönetmeliğinde taşıyıcı duvar malzemesi olarak kullanılmamasının temel nedenleri nelerdir? Bu sınırlamaların aşılabilmesi için ne tür teknik iyileştirmeler veya düzenlemeler gereklidir?
- Kerpiç malzemenin kullanımını artırmak için kamu politikaları ve düzenlemeler nasıl bir rol oynayabilir? Bu konuda hangi teşvik mekanizmalarının veya destekleyici politikaların geliştirilmesi gerektiğini düşünüyorsunuz?

2.Malzeme Performansının Gelişimi

- Günümüzde kerpiç malzemenin dayanıklılığını ve suya/basınca karşı direncini artırmaya yönelik kullanılan katkı maddeleri nelerdir? Bu katkıların malzeme performansı ve sürdürülebilirlik açısından avantajları nelerdir?

3.Gelenekselden Moderne Üretim Süreçlerinin Gelişimi

- Geleneksel kerpiç üretim süreçleri zaman içinde teknolojinin etkisiyle nasıl evrilmiştir? Bu değişim günümüzde kerpici yapı malzemesi olarak kullanım potansiyelini nasıl etkilemiştir?
- Modern üretim tekniklerinin kerpiç malzemeye entegrasyonu, malzemenin performansını, üretim hızını ve sektör içindeki yerini nasıl etkilemektedir?
- Modern kerpiç üretim tekniklerinin yaygınlaşması için dikkat edilmesi gereken en önemli noktalar nelerdir?

4.Toplumsal Algı ve Bilinç

- Kerpiç malzemenin modern uygulamaları hakkındaki toplumsal farkındalık düzeyi nedir? Toplumun, kerpici eski, yetersiz ve yıkılmaya yüz tutmuş yapılarla ilişkilendirmesinin altında yatan nedenler nelerdir ve bu algı nasıl dönüştürülebilir?

- Kerpicin avantajlarını ve faydalarını topluma daha etkili bir şekilde nasıl aktarabiliriz?

5. Yaygınlaştırma Stratejileri ve Gelecek Vizyonu

- Kerpicin kullanımını arttırmak ve modern inşaat sektöründe daha geniş bir kullanım alanı bulabilmesi için neler yapılabilir?
- Kerpiç malzeme ile ilgili konuşmadığımız ancak önemli olduğunu düşündüğünüz başka konular var mıdır?

