T.C.

TRAKYA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AYÇİÇEĞİ SAPI İLAVESİ İLE KERPİÇ MALZEMENİN FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

MERVE GÜNERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MİMARLIK ANABİLİM DALI

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Filiz UMAROĞULLARI

EDİRNE-2023

Merve GÜNERİ'nin hazırladığı **"AYÇİÇEĞİ SAPI İLAVESİ İLE KERPİÇ MALZEMENİN FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI"** başlıklı bu tez, tarafımızca okunmuş, kapsam ve niteliği açısından Mimarlık Anabilim Dalında bir **Yüksek lisans tezi** olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri (Ünvan, Ad, Soyad):	İmza
Doç. Dr. Filiz UMAROĞULLARI	……
Doç. Dr. İzzet YÜKSEK	……
Doç. Dr. Esma MIHLAYANLAR	……

Tez Savunma Tarihi: 04/01/2023

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları sağladığını onaylarım.

İmza

Doç. Dr. Filiz UMAROĞULLARI
Tez Danışmanı ……

Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü onayı

……
Prof. Dr. Hüseyin Rıza Ferhat KARABULUT
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

T.Ü.FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MİMARLIK ANABİLİM DALI YÜKSEK LİSANS PROGRAMI DOĞRULUK BEYANI

Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında, tüm verilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini, kullanılan verilerde tahrifat yapılmadığını, tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını, kullanılan tüm literatür bilgilerinin bilimsel normlara uygun bir şekilde kaynak gösterilerek ilgili tezde yer aldığını ve bu tezin tamamı ya da herhangi bir bölümünün daha önceden Trakya Üniversitesi ya da farklı bir üniversitede tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

04 / 01 / 2023
MERVE GÜNERİ

Yüksek Lisans Tezi

Ayçiçeği Sapı İlavesi ile Kerpiç Malzemenin Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması

T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü

Mimarlık Anabilim Dalı

ÖZET

Kerpiç eskiden beri farklı yapılarda duvar elemanı olarak yer almıştır. Doğal ve sürdürülebilir bir yapı malzemesidir. Bunun yanında kerpiç % 100 geri dönüşümlü ve atığı olmayan bir malzemedir. Kerpicin sağlıklı ve ekonomik olması, yöresel imkânlarla ve basit aletler kullanılarak kolayca üretilebilmesi, yapımında yüksek miktarda enerji kullanılmaması ve atmosfere CO_2 gibi zararlı gaz salınımının hiç olmaması gibi önemli üstünlükleri vardır. Ancak suya ve basınca karşı dayanımı zayıftır. Geleneksel kerpicin basınç dayanımının zayıf olması ve suya karşı duyarlık göstermesi çağdaş yapı malzemelerinin karşısında tercih edilirliğinin azalmasına sebep olmuştur. Buna rağmen ekonomik olması sebebiyle kırsal yörelerde hala kullanılmaktadır.

Günümüzde üretim ve inşaat sektöründe kullanımında çok az enerji harcayan ve daha az kirletici ortaya çıkaran malzeme ve teknolojiler için araştırmalar yapılmaktadır. Araştırmacıların ilgisi, endüstri dönemleri öncesi zamanlarda kullanılan geleneksel malzemelere yönelmiştir: yöresel bitkisel lifler ve toprak kompozitleri bu malzemelerden biridir. Bu nedenle kerpiç üretim sürecinde fiziksel ve mekanik özelliklerinin iyileştirilmesine yönelik çalışmalar yapılmalıdır. Araştırmalar kerpiç karışımına ilave edilen kimyasal ve lif içerikli katkıların, dayanım sonuçlarını iyileştirdiğini göstermektedir.

Bu bağlamda bu tez çalışması kapsamında Trakya bölgesinde bir atık olarak ortaya çıkan yöresel ayçiçeği saplarının kerpiç malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla kerpiç malzemenin özelliklerinin iyileştirilmesine yönelik deneysel çalışmalar yapılmıştır. Ayçiçeği sapı ilavesiyle elde edilen numuneler üzerinde kuru birim hacim kütle, basınç dayanımı, eğilme dayanımı, su

etkisiyle dağılma, ultrases geçiş hızı deneyleri ve SEM analizi yapılmıştır. Ayçiçeği saplarının sağlam bir yapıya sahip olması kerpicin basınç ve eğilme dayanımını arttırmıştır. Ayçiçeği saplarının lifleriyle toprağın oluşturduğu bağ sayesinde kerpicin suya karşı dayanımı da yükselmiştir.

Yöresel ayçiçeği saplarının kerpiç malzemeye ilave edilmesi ile atık bir malzeme olan ayçiçeği sapları değerlendirilebilir. Bu atık malzemenin kullanımıyla çevrenin kirlenmesine sebep olan nedenlerinden bazılarının önlenebilmesi mümkündür. Ayrıca ekolojik bir yapı malzemesi olan kerpiç malzemeye doğal ve yöresel malzeme olan ayçiçeği sapları eklenerek mekanik özellikleri arttırılmış sürdürülebilir inşaat malzemesi elde edilmiştir. Bu şekilde kerpiç malzemenin özellikleri iyileştirilerek kullanımının yaygınlaşması da sağlanabilir.

Yıl : 2023

Sayfa Sayısı : 118

Anahtar Kelimeler : Kerpiç, ayçiçeği sapı, sürdürülebilirlik, basınç dayanımı, eğilme dayanımı, suya dayanıklılık, organik lif katkısı, toprak yapı malzemesi

Master Thesis

Investigation of Physical and Mechanical Properties of Adobe Material with the Addition of Sunflower Stalk

T.U. Institute of Natural and Applied Sciences

Department of Architecture

ABSTRACT

Adobe has been used as a wall element in different buildings since ancient times. It is an eco friendly and long-lasting construction material. Moreover, adobe is a waste-free and 100% recyclable material. It provides various advantages, including being healthy and cost-effective, being easily produced using local facilities and basic equipment, requiring little energy to create, and releasing no hazardous gases into the atmosphere, like as CO_2. However, its resistance to water and pressure is weak. Because of their low compressive strength and vulnerability to water, traditional bricks have lost its appeal in preference of contemporary construction materials. Despite this, because of its low cost, it is still widely utilized in rural regions.

Nowadays, research is being performed on sustainable materials and technologies that consume very little energy and emit fewer pollutants when used in the production and building industries. The researchers are particularly focused on traditional pre-industrial materials like earth composites and regional vegetable fibers. Because of this, research should be carried out to improve the physical and mechanical properties of adobe during manufacture. According to studies, adding chemicals and fiber to the adobe mixture enhances the strength outcomes.

The impact of the local sunflower stalks, which are produced as waste in the Trakya region, on the physical and mechanical properties of the mud brick material was investigated in this context and within the scope of this thesis. Experimental studies have been conducted to improve the mudbrick material's properties for this purpose. The samples obtained with the addition of sunflower stalk performed tests for dry density, compressive strength, flexural strength, dispersion under the effect of water, ultrasonic

transmission velocity tests, and SEM analysis. The strong structure of the sunflower stalks improved the adobe's compressive and bending strength. The fibers in the stalks of sunflowers have combined with the soil, enhancing the adobe's resistance to water.

Sunflower stalks, a waste product, may be assessed by mixing it with local adobe material. Utilizing this waste material makes it feasible to prevent some of the causes of environmental contamination. Furthermore, by integrating adobe material, an environmentally friendly building material, with locally available sunflower stalks, a sustainable construction material with enhanced mechanical properties was produced. This means that adobe material's properties may be improved and its application range can be increased.

Year : 2023

Number of Pages : 118

Keywords : Adobe, sunflower stalk, sustainability, compressive strength, bending strength, water resistance, organic fiber addition, soil building material

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın yürütülmesi süresince değerli bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan, önerileriyle yol gösteren ve desteğini esirgemeyen sevgili danışman hocam Doç. Dr. Filiz UMAROĞULLARI'na,

Bu tez çalışması kapsamında TÜBAP/2022-77 numaralı BAP projesinden faydalanılmıştır. Deneysel çalışmalarımı yürütebilmem için gerekli desteği sağlayan TÜBAP'a,

Deneysel süreçteki yardımlarından dolayı TÜTAGEM'e, Öğr. Gör. Dr. Sinem LEVENTER'e ve Manisa Celal Bayar Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği, Yapı Malzemesi Laboratuvarı'nda yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. Dilan Çankal'a,

Değerlendirme ve önerileriyle çalışmama yön veren değerli hocalarım Doç. Dr. Esma MIHLAYANLAR'a ve Doç Dr. İzzet YÜKSEK'e,

Tez çalışmam boyunca her zaman yanımda olan, moral ve motivasyon sağlayan, sevgili kardeşim Berna GÜNERİ'ye içtenlikle teşekkürlerimi sunuyorum.

Son olarak karşılığı olamayacak emek ve fedakârlıklarla hayatımın her anında yanımda olduğunu hissettiren ve beni bu günlere getiren canım anneme, babama ve kardeşim Zeynep'e teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET iv
ABSTRACT vi
TEŞEKKÜR viii
İÇİNDEKİLER ix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ xii
ŞEKİLER DİZİNİ xv
ÇİZELGELER DİZİNİ xvii
BÖLÜM 1. GİRİŞ 1
1.1. Araştırma Problemi 2
1.2. Çalışmanın Amacı 3
1.3. Çalışmanın Kapsamı ve Yöntemi 3
1.4. Literatür İncelemesi 4
BÖLÜM 2. KERPİÇ MALZEME 8
2.1. Kerpiç Malzemenin Tanımı ve Tarihçesi 9
2.2. Yapı Malzemesi Olarak Kerpicin Özellikleri 12
2.2.1. Kimyasal Özellikleri 13
2.2.2. Mekanik Özellikleri 14
2.2.3. Fiziksel Özellikleri 16
2.3. Kerpiç Üretim ve Kullanım Yöntemleri 19
2.3.1. Masif Kerpiç Yapı Sistemleri 20
2.3.1.1. Blok Kerpiç 20
2.3.1.2. Dövme Kerpiç 21
2.3.1.3. Yığma Kerpiç 22
2.3.1.4. Omurgalı Kerpiç 23
2.3.2. Hafif Kerpiç Yapı Sistemleri 23
2.3.3. Çağdaş Kerpiç Yapı Sistemleri 24
2.4. Kerpiç Malzemenin Avantajları 28

2.5. Kerpiç Malzemenin Dezavantajları 30
BÖLÜM 3. KERPİÇ MALZEMENİN ÖZELLİKLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİNE YÖNELİK YAPILAN BİLİMSEL ÇALIŞMALAR 31
3.1. Toprak Seçimi ve Toprağın Granülometrisinin İyileştirilmesi 33
3.2. Saman ve Benzeri Lif Katkısı 35
3.3. Alçı Katkısı 41
3.4. Kireç Katılması 45
3.5. Puzolan Katılması 47
3.6. Bitüm Katılması 49
3.7. Plastik Elyaf Katılması 50
BÖLÜM 4. MATERYAL VE METOT 52
4.1. Materyal 52
4.1.1. Toprak 52
4.1.2. Ayçiçeği Sapı 53
4.1.3. Deneylerde Kullanılan Cihazlar 54
4.2. Metot 55
4.2.1. Numunelerin Hazırlanması 55
4.2.2. Elek Analizi 57
4.2.3. Birim Hacim Kütle Deneyi 59
4.2.4. Suya Dayanıklılık Deneyi 60
4.2.5. Basınç Dayanımı Deneyi 60
4.2.6. Eğilme Dayanımı Deneyi 61
4.2.7. Ultrases Geçiş Hızı Deneyi 63
4.2.8. Sem Analizleri 64
BÖLÜM 5. DENEYSEL BULGULAR 65
5.1. Birim Hacim Kütle Deney Sonuçları 65
5.2. Basınç Dayanımı Deney Sonuçları 67
5.3. Eğilme Dayanımı Deney Sonuçları 70
5.4. Suya Dayanıklılık Deney Sonuçları 75
5.5. Ultrases Geçiş Hızı Deney Sonuçları 78
5.6. SEM Analizi Sonuçları 85
BÖLÜM 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 87

KAYNAKLAR 90
ÖZGEÇMİŞ……...99

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

SO_2	: Kükürt Dioksit
NO_2	: Azot Dioksit
km	: Kilometre
cm	: Santimetre
dm^3	: Desimetre Küp
m^3	: Metre Küp
kg	: Kilogram
mm	: Milimetre
gr/cm^3	: Yoğunluk
kgf/cm^2	: Basınç Dayanımı
MPa	: Megapaskal
N/mm^2	: Milimetre Kare Başına Newton
kcal/kg °C	: Kilogram Kalori Başına Kilokalori
°C	: Santigrat
N	: Newton
R	: Isıl Geçirgenlik Direnci
kWh	: Kilovatsaat
W/mK	: Isıl İletkenlik
Hz	: Hertz
kHz	: Kilohertz
dB	: Desibel
MJ	: Megajoules
MJ/m^2	: Yüzey Gerilimi
kg/m^2	: Metrekare Başına Kilogram
m/sn	: Saniye Başına Metre
ρ	: Birim hacim Kütle

G	: Numunenin Kütlesi
V_h	: Numunenin Hacmi
σ_k	: Basınç Dayanımı
P_{max}	: Kırılma Yükü
A	: Numunenin Kesit Alanı
σ_f	: Eğilme Dayanımı
L	: Silindir Mesnetleri Arasındaki Uzunluk
B	: Numune Genişliği
H	: Numune Yüksekliği
V	: Ultrases Dalga Hızı
T	: Ses Dalgasının Geçiş Süresi
sn	: Saniye
dk	: Dakika
%	: Yüzde

Kısaltmalar

AS	: Avustralya Standardı
ASTM	: American Society for Testing and Materials (Uluslararası Amerikan Test ve Materyalleri Topluluğu)
BAP	: Bilimsel Araştırma Projesi
BD	: Basınç Dayanımı
CEB	: Compressed Earth Block (Sıkıştırılmış Toprak Blok)
ÇD	: Çekme Dayanımı
DIN	: Deutsches Institut für Normung (Alman Standartlar Enstitüsü)
GlobalABC	: Global Alliance for Buildings and Construction (Küresel Durum Raporu Odakları)
İTÜ	: İstanbul Teknik Üniversitesi
IEA	: International Energy Agency (Uluslararası Enerji Ajansı)

MAG	: Mühendislik Araştırma Destek Grubu
MÖ	: Milattan Önce
NZS	: Standart New Zealand (Yeni Zelanda Standardı)
SED	: Su Etkisi ile Dağılma
SEM	: Scanning Electron Microscope (Taramalı Elektron Mikroskobu)
SIA	: Schweizerischer İngenieur und Architektenverein (İsviçre Mühendisler ve Mimarlar Derneği)
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
TOKİ	: Toplu Konut İdaresi Başkanlığı
TÜBAP	: Trakya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
TÜTAGEM	: Teknoloji Araştırma ve Geliştirme Uygulama ve Araştırma Merkezi
UBSC	: Uniform Building Code Spesification
UNESCO	: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (Birleşmiş Milletler Eğitim, Bilim ve Kültür Örgütü)
UNEP	: United Nations Environment Programme (Birleşmiş Milletler Çevre Programı)
yy	: Yüzyıl

ŞEKİLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	Kerpiç Yapı Örneği, Ksar of Ait Ben Haddou……	8
Şekil 2.2.	Yemen, Fas, İran ve Peru kerpiç mimarisinden çeşitli örnekler….	10
Şekil 2.3.	Çatalhöyük'teki Kerpiç Evler…….	11
Şekil 2.4.	Dünyada kerpicin yaygın olarak kullanıldığı bölgeler……	12
Şekil 2.5.	Kerpiç Bloklarıyla Örülmüş Duvar…….	21
Şekil 2.6.	Dövme Yöntemiyle Kerpiç Üretimi……	22
Şekil 2.7.	Yığma Kerpiç Yapımı…….	23
Şekil 2.8.	Kuru Ot Katkılı Ahşap Konstrüksiyon Arası Toprak Duvar …….	26
Şekil 2.9.	Açık Renk Toprakla Sıvalı İç Mekân ……	26
Şekil 2.10.	Toprak Panel ve Toprak Panellerden Oluşan Duvar……...	27
Şekil 2.11.	Nk'Mip Kültür Merkezi'nde Sıkıştırılmış Toprak Duvar Kullanımı…….....	27
Şekil 2.12.	Sanbaopeng Sanat Müzesi'nde Sıkıştırılmış Toprak Duvar Kullanımı…….....	28
Şekil 3.1.	Toprak Granülometri Eğrisi……	34
Şekil 4.1.	Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Toprak…….	52
Şekil 4.2.	Parçalanmamış Ayçiçeği Sapları……	53
Şekil 4.3.	Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Ayçiçeği Sapları……..	53
Şekil 4.4.	Universal Test Cihazı……..	54
Şekil 4.5.	Pres Cihazı……..	54
Şekil 4.6.	Malzemelerin Miksere Eklenmesi……..	56
Şekil 4.7.	Kerpiç Harcı……	56
Şekil 4.8.	Hazırlanan Numuneler……	58
Şekil 4.9.	Toprağın Granülometri Eğrisi…….	59
Şekil 4.10.	Basınç Dayanımı Deney Presi……	61
Şekil 4.11.	Üç Noktalı Eğilme Testi…….	62
Şekil 4.12.	Ultrases Cihazı……	63
Şekil 5.1.	N4-1 (%0,5 Lif İçeriğine Sahip) Kurumuş Numunenin Kütlesi….	65
Şekil 5.2.	Numunelerin Birim Hacim Kütlesinin Çizgi Grafiği……..	66
Şekil 5.3.	N5-2 Kodlu Numunenin Basınç Dayanımı Deneyi……	67
Şekil 5.4.	Numunelerin 28 Günlük ve 56 Günlük Basınç Dayanımı Sonuçları	69

Şekil 5.5.	Basınç Dayanımı ve Kuru Birim Hacim Ağırlık Arasındaki İlişki	69
Şekil 5.6.	%0.25 Lif İçeriğine Sahip Numunenin Eğilme Dayanımı Deneyi	70
Şekil 5.7.	Numunelerin 28-56 Günlük Eğilme Dayanımı Sonuçları……..	72
Şekil 5.8.	56 Günlük Numunelerin Ortalama Basınç ve Eğilme Dayanımı Arasındaki İlişki……..	72
Şekil 5.9.	Kontrol Numunenin Test Sonucu Görünümü…….	74
Şekil 5.10.	%0,25 Lif İçeriğine Sahip Numunenin Test Sonucu Görünümü…	74
Şekil 5.11.	%0,50 Lif İçeriğine Sahip Numunenin Test Sonucu Görünümü…	74
Şekil 5.12.	%0,75 Lif İçeriğine Sahip Numunenin Test Sonucu Görünümü…	74
Şekil 5.13.	%1 Lif İçeriğine Sahip Numunenin Test Sonucu Görünümü…….	74
Şekil 5.14.	%1,25 Lif İçeriğine Sahip Numunenin Test Sonucu Görünümü…	74
Şekil 5.15.	Su İçerisinde Numunelerin 30 dk Sonundaki Görünümü……...	75
Şekil 5.16.	Numunelerin Su Etkisiyle Dağılma Süreleri……...	77
Şekil 5.17.	N1-1 Numunesinin Su İçerisinde 60 dk Sonundaki Görünümü….	77
Şekil 5.18.	N1-1 Numunesinin Su İçerisinde 90 dk Sonundaki Görünümü….	77
Şekil 5.19.	N6-1, N6-2, N6-3 Numunesinin Su İçerisinde 180 dk Sonundaki Görünümü……...	77
Şekil 5.20.	N6-1, N6-2, Numunelerinin Su İçerisinde 240 dk Sonundaki Görünümü	77
Şekil 5.21.	Ultrases Geçiş Hızı Deneyi…….	79
Şekil 5.22.	Ultrases Geçiş Hızı Sonuçları…….	80
Şekil 5.23.	Numunelerin Ortalama Ultrases Geçiş Hızı ve Basınç Dayanımı Arasındaki İlişki (28.Gün)……...	80
Şekil 5.24.	Ultrases Geçiş Hızı ve Basınç Dayanımı Arasındaki İlişki Tüm Numuneler (28.Gün)……...	81
Şekil 5.25.	Numunelerin Ortalama Ultrases Geçiş Hızı ve Basınç Dayanımı Arasındaki İlişki (56.Gün)……...	82
Şekil 5.26.	Ultrases Geçiş Hızı ve Basınç Dayanımı Arasındaki İlişki Tüm Numuneler (56.Gün)……...	82
Şekil 5.27.	Ultrases Geçiş Hızı ve Kuru Birim Hacim Ağırlık Arasındaki İlişki Tüm Numuneler (56.Gün)…….....	83
Şekil 5.28.	Ayçiçeği Sapının SEM Görüntülemesi……...	85
Şekil 5.29.	Numunelerin SEM Görüntülemesi…….	86

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1.	TS 2514'e Göre Kerpiç Blokların Sınıflandırılması……..	13
Çizelge 2.2.	Kil Toprağının Özellikleri……..	14
Çizelge 2.3.	Kerpicin Çeşitli Yapı Malzemeleriyle Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırılması……..	15
Çizelge 2.4.	Beton Duvar, Beton Blok ve Dövme Toprak Duvarın Isısal Performans Değerleri……..	16
Çizelge 2.5.	Yapı Malzemelerinin Isı İletkenlik Hesap Değerleri……..	17
Çizelge 2.6.	Kerpiç Malzemenin Ses Yalıtım Değeri…….	18
Çizelge 2.7.	Kerpiç Malzemelerin Yangın Karşısındaki Davranışı…….....	19
Çizelge 2.8.	Yapı Malzemelerinin Üretimi Sırasında Harcanan Enerji Değerleri…….	29
Çizelge 2.9.	Yapı Malzemelerinin Enerji Tüketimi ve CO_2 Salınımı……...	30
Çizelge 3.1.	Kerpiç Malzemenin Özelliklerinin İyileştirilmesine Yönelik Ulusal ve Uluslararası Yapılmış Deneysel Yayınlar……...	32
Çizelge 3.2.	Kerpiç Malzemenin Özelliklerinin İyileştirilmesine Yönelik Türkiye'de Yapılmış Tezler…….....	33
Çizelge 3.3.	Granülometri aralıkları……...	33
Çizelge 3.4.	A.B.D. Arizona Üniversitesi Kerpiç Granülometri Değerleri....	35
Çizelge 3.5.	Toprak Malzemeye İlave Edilen Doğal Katkı Maddelerinin ve Liflerin Özelliklerine Göre Sınıflandırılması……..	36
Çizelge 3.6.	Liflerin Fiziksel Özellikleri ve Numune Boyutları…….....	37
Çizelge 3.7.	Alkerin Fiziksel Özellikleri…….....	43
Çizelge 3.8.	Alkerin Mekanik Özellikleri……...	43
Çizelge 3.9.	Toprağın Alçı ile İyileştirilmesi Sonucu Özelliklerinin Değişimi……..	43
Çizelge 3.10.	Toprağın Kireç ve Kirecin Yanında Başka Bağlayıcılar ile Birlikte İyileştirilmesi…….	47

Çizelge 3.11.	Toprağın Puzolan ve Puzolanın Yanında Başka Bağlayıcılar ile Birlikte İyileştirilmesi…….	49
Çizelge 3.12.	Toprağın Plastik Elyaf ile İyileştirilmesi……	51
Çizelge 3.13.	Toprağın bağlayıcılarla iyileştirilmesi…….....	51
Çizelge 4.1.	Numune Üretim Tablosu…….....	56
Çizelge 4.2.	Numune Boyutları……..	56
Çizelge 4.3.	Toprağın Elek Analizi……	58
Çizelge 5.1.	Numunelerin Birim Hacim Kütle Değerleri……...	66
Çizelge 5.2.	Taze Harcın Birim Hacim Ağırlık Değerleri……..	66
Çizelge 5.3.	Basınç dayanımı sonuçları……..	68
Çizelge 5.4.	Eğilme Dayanımı Sonuçları……	71
Çizelge 5.5.	Numunelerin Kuru Birim Hacim Ağırlık, Basınç ve Eğilme Dayanımı Sonuçları……	73
Çizelge 5.6.	Numunelerin Suya Dayanıklılık Deneyi Sonuçları……	76
Çizelge 5.7.	Numunelerin Ultrases Geçiş Hızı Deney Sonuçları……...	78
Çizelge 5.8.	Lif Takviyeli Kerpiç Blokların Mekanik Özellikleri Üzerine Yapılan Deneysel Çalışmaların Sonuçları……...	84

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Küresel ısınmanın ciddi boyutlara ulaştığı günümüzde, yüzyılımızın en önemli sorunlarından biri de bina ve inşaat sektörünün küresel enerji kullanımının %36'sını oluşturması ve enerji kaynaklı karbon salınımının da %40'na sebep olmasıdır (GlobalABC, UNEP, IEA., 2018). Bunun yanı sıra inşaat ve yıkım faaliyetleri de ekolojik dengeye zarar vermektedir. Binaların doğal çevre üzerindeki bu etkisini azaltmak için sürdürülebilir, tekrar kullanıma uygun yapı malzemelerine olan ihtiyaç giderek artmaktadır. Bu bağlamda yapı malzemesi olarak toprak düşünülebilmektedir.

Toprak esaslı malzemeler arasında kerpiç, günümüzden yaklaşık on bin yıl öncesinden beri insanların barınmak için yararlandıkları yapı malzemelerinin arasında en çok kullanılanıdır. Ancak gelişen yapı endüstrisiyle birlikte şehir yapılarında kullanımı azalmıştır (Işık, 2003). Yüksek teknolojiyle üretilen çağdaş yapı malzemelerinin çevre sorunlarının yaşanmasında büyük etkisi vardır. Bu malzemelerin çevreye verdiği olumsuz etkiler sadece üretim süreciyle sınırlı kalmayıp, yapılarda kullanımı ve tüketimi sırasında da devam etmektedir. Bu açıdan bakıldığında çağdaş yapı malzemelerinin yerine geleneksel yapı malzemelerinin kullanımı önem kazanmaktadır.

Günümüzde çağdaş yapı malzemeleri ile inşa edilen yapılarda konfor koşullarının sağlandığı sanılmaktadır. Fakat konfor koşullarını ve insan sağlığını negatif yönde etkilemektedir. Yüksek teknoloji ile geliştirilen yapı malzemeleri elemana dönüştükleri zaman elemanın sağlaması gereken tüm işlevleri yerine getirememektedir. Birçok malzemeden oluşturulmuş katmanların detaylandırılması gerekmektedir. Örneğin betonarme perde ile yapılmış mekânlarda, uygun ortam sıcaklığının sağlanması; ayrıca duvarın iç yüzey sıcaklığının yeterli ve gereken düzeyde olması için yalıtım uygulaması

yapılmalıdır. Bu durum ayrı bir malzeme kullanımını ve işçilik maliyetini getirmektedir. Yapılan bu uygulamalar sonucunda mekânda bağıl nem dengesi bozulmaktadır. Isı izolasyonunun yalıtım değerini koruyabilmesi için buhar geçirimsiz bir katman ile mekân yönünde korunması sağlanmalıdır. Bu durumda ‘‘taşıyıcı betonarme duvar + ısı izolasyon malzemesi ve işçiliği + buhar geçirimsiz katman ve işçiliği’’ yan yana kullanılmış olmakla beraber mekânda bağıl nemin konfor düzeyinde tutulamayacağı görülmektedir (Işık vd., 1995). Kerpiç duvar ise istenen bu şartları sağlamanın yanında konfor şartlarını da yerine getirerek tek başına uygun koşulların eldesini gerçekleştirebilmektedir.

Geleneksel yapı malzemelerinden biri olan kerpiç maliyetinin az olması, üretimi için tesise ihtiyaç duyulmamasının yanı sıra yapı içinde kullanım esnasında ısı ve rutubet geçişine karşı gösterdiği dengeli direnç, ısı depolama kapasitesinin ve ses yutuculuğunun yüksek olması sebebiyle inşa edilen binalarda yaşam konfor düzeyi yüksektir. Bahsedilen olumlu özelliklerinin yanı sıra kerpiç malzemenin suya karşı direncinin az olması ve düşük basınç dayanımı göstermesi dezavantajları arasındadır.

Bu dezavantajlarını azaltmak için üretim sürecinde toprağa bağlayıcı maddeler karıştırılmasının, kerpicin bazı mekanik özelliklerini güçlendirici etkide bulunduğu yapılan araştırmalar sonucunda ortaya konulmuştur.

1.1. Araştırma Problemi

Geleneksel malzemelerin dezavantajları dolayısıyla kullanımı azalırken modern malzemelerin ise giderek artmıştır. Ancak insan sağlığı ve çevre açısından olumsuz etkileri göz ardı edilmektedir. Gelecek nesillere yaşanabilir çevreler bırakmak için çevre kirlenmesini önleyecek sürdürülebilir malzemelerin üretilmesi önemlidir.

Sürdürülebilir yapı malzemelerinden biri olan kerpicin özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla literatüre dayalı yapılan analizler sonucunda bazı lif katkıları kullanılarak mekanik ve fiziksel özelliklerinin belirlenmesine yönelik deneysel çalışmaların yapıldığı görülmüştür. Bu doğrultuda Trakya bölgesinde yoğun bir şekilde yöresel organik atık olarak bulunan ayçiçeği saplarının kerpiç üretiminde bitkisel lif katkısı olarak kullanılabileceği düşünülmüştür. Deneysel olarak gerçekleştirilen bu çalışmada hipotez ayçiçeği sapları ilavesi ile kerpiç malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerinin iyileşmesidir.

1.2. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı, sürdürülebilir yapı malzemesi olan kerpicin, doğal ve yöresel ayçiçeği sapı ilavesiyle fiziksel ve mekanik olarak dayanımı arttırılmış, ekolojik bir yapı malzemesi elde edilmesini sağlamaktır. Böylece atık bir malzeme olan ve yakılan ayçiçeği saplarının geri dönüşümü sağlanmış olup kerpiç yapı malzemesinin güçlendirilmesine katkı sağlanacaktır. Geleneksel bir malzeme olan kerpicin dezavantajlarının neredeyse hiçbir maaliyet harcanmadan geliştirilmesiyle doğal ve sürdürülebilir bir yapı malzemesi elde edilerek kullanımının yaygınlaştırılması hedeflenmektedir.

Çalışmalar kapsamında ayçiçeği sapı katkılı üretilen numunelerin kurumaya göre yoğunluk analizi, basınç dayanımı, eğilme dayanımı, ultrases geçiş hızı, su etkisiyle göstereceği direnç ve SEM görüntülemesi deneysel çalışmalarla incelenerek malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişiminin analiz edilmesi amaçlanmaktadır.

1.3. Çalışmanın Kapsamı ve Yöntemi

Yapı üretiminde doğal toprak kullanımı, insanlığın bildiği en eski inşaat tekniğidir. Tuğla ve çimento endüstrisinin gelişmesi ile şehir yapılarında kullanımından vazgeçilmiştir fakat ekonomik nedenlerle kerpiç kırsal kesimde hala kullanılmaktadır. Bu gelişmeler yapı endüstrisinde olumlu etkiler yaratırken yaşadığımız çevrenin de kirlenmesine neden olmaktadır. Beton üretiminde $1m^3$ için 300- 500 kWh enerji gereksinimi bulunurken kerpiç üretiminde 3-5 kWh enerji yeterli olmaktadır. Bu durum atmosfere salınan gazlar açısından önemli bir kazanım olup araştırmalar 1 kWh elektrik enerjisi üretiminde atmosfere ortalama 5,5g SO_2 ve 2,5g NO_2 gaz bileşenleri salındığını ifade etmektedir (Işık, 2003). Çağdaş yapı malzemelerinin inşaat, kullanım ve yıkım aşamasında çevreye zarar verdiği bilinmektedir.

Kerpiç bloklar kolay ulaşılabilirliği, geri dönüştürülebilmesi, iç mekânın nemini dengelemesi ve binaların termal konforunu sağlaması gibi özellikleriyle ilgi çekmektedir. Ayrıca, bu yapı malzemeleri geri dönüşümleri için düşük enerji gerektirir (Melia vd., 2014). Bununla birlikte, zayıf mekanik özellikleri ve iklim değişikliğine karşı yüksek hassasiyet göstermesi gibi dezavantajları vardır (Torgal vd., 2012). Bu dezavantajların aşılabilmesi için araştırmacılar alçı, kireç vb. stabilizatörleri veya katkı maddesi olarak

birçok lif türünü kullanmıştır. Yerel olarak temin edilebilen lifler düşük maliyete ve düşük enerji tüketimine sahiptir bu da kullanımlarını arttırmaktadır. Bu bağlamda, liflerin kerpiç üretiminde kullanılmasının etkisini araştırmak için çeşitli çalışmalar yapılmıştır.

Ayçiçeği sapı lifinin kerpiç üretiminde kullanımının araştırıldığı bu çalışmada malzemenin geliştirilmesi için deney, gözlem ve ölçüm çalışmaları yapılmıştır. Araştırmada; numunelerin hazırlanmasında kullanılan toprağın cinsi çok önemlidir. Uygun toprak yarı nemli haldeyken avuç içerisinde sıkıldığında ele yapışmalı, top duruma gelmeli, yere bırakıldığı zaman yere yapışmalı ve bir bütün halinde kalmalıdır (Kafesçioğlu, Gürdal, 1985). Çalışmada kerpiç yapımına uygun killi toprak ile ayçiçeği sapı lifi ve şehir şebeke suyu kullanılmıştır. Uygun nitelikte toprağın elek analizi yapıldıktan sonra numuneler TSE- 2514'e uygun olarak hazırlanmıştır. Kerpiç numuneler katkısız ve katkılı olarak üretilmiştir. Ayrıca ayçiçeği saplarının malzemenin özelliklerine olan etkisinin anlaşılabilmesi için kerpiç toprağına kütlece %0,25, %0,5, %0,75, %1 ve %1,25 oranlarında ilavesiyle malzeme niteliğinin değişimleri araştırılmıştır. Kontrol numune %0 oranında katkı maddesi içermektedir.

Numuneler: "Bir defada teslim edilecek kerpiçler bir parti sayılarak, on adetten az olmamak üzere hazırlanmalıdır." TSE-2514'e göre her deney dizisi için 18 adet numune hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelerin ve ayçiçeği lifinin SEM görüntülemesi yapılarak malzemelerin iç yapısı ve liflerin toprak malzemeyle oluşturmuş olduğu ilişki analiz edilmiştir. Numunelerin hava ortamında kuru birim hacim ağırlıkları ölçülmüştür. Bu işlemlerden sonra numunelere 28. ve 56. günde basınç ve eğilme dayanımı, suya dayanıklılık, ultrases geçiş hızı gibi deneyler yapılarak fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir.

1.4. Literatür İncelemesi

Küresel ısınma ve iklim değişikliği tüm canlılar için büyük tehdit oluşturmaktadır. Araştırmacılar çevre dostu ve sürdürülebilir yeniliklere odaklanmıştır. Çevre sorunları ile ilgili artan farkındalık sonucunda sürdürülebilir yapı malzemeleri önem kazanmıştır. Bitki lifleriyle oluşturulan kerpiç bloklar bu yapı malzemelerinden biridir.

Bu kompozitler yöresel liflerle oluşturabileceği gibi kimyasal stabilizatörlerle de yapılabilmektedir. Bu bağlamda kerpiç malzemenin üretim sürecinde fiziksel

özelliklerinin iyileştirilmesine yönelik çalışmalar yapılmış ve yapılmaya da devam etmektedir. Bu kimyasal stabilizatörler: alçı (Kafesçioğlu, 1980), çimento (Postacıoğlu, 1964), kireç (Eriç, 1994), uçucu küller (Erol, 2005) vb. olabilmektedir. Örneğin çimento kullanımı enerji gerektiren üretim süreci nedeniyle yapı elemanının gömülü enerjisini arttırmaktadır. Ayrıca oluşturacağı kimyasal reaksiyonlar nedeniyle geri dönüştürülebilirlik sorunlarına yol açmaktadır (Reddy, Kumar, 2010). Yapılan bazı çalışmalar termal özelliklerin kireç ve çimento bazlı stabilizasyon ile değişebileceğini de ortaya koymuştur. Bu stabilizatörlerin kullanımı yapı elemanın buhar geçirimliliğini ve nem dengesini bozabilmektedir (Saidi vd., 2018). Kimyasal katkı maddelerinin malzemeye olumlu etkileri olabildiği gibi olumsuz etkilere de yol açabilmektedir. Bu çalışmada geri dönüştürülebilir malzeme olması ve toprak ile kimyasal reaksiyon oluşturmaması sebebiyle, bitkisel liflerden oluşturulmuş toprak kompozitleri ele alınmıştır. Araştırma genel olarak kimyasallara alternatif katkı maddeleri üzerine yoğunlaşmaktadır.

Doğal bitki lifleriyle oluşturulmuş toprak kompozitlerle ilgili literatürde birçok çalışma bulunmaktadır. Bu amaçla Science Direct, Researchgate, Web of Science vb. veri tabanlarında konuyla ilgili makaleler üzerinde araştırmalar yapılmıştır.

Kerpiç toprağı karışımına eklenen doğal lifler, kerpiç tuğlaları güçlendiren bir iç takviye oluşturur. Lif takviyeli ve katkısız kerpiç tuğlaların performansı karşılaştırıldığında lif ilavesinin kerpici güçlendirdiği görülmüştür (Letelier vd., 2018). Lif yüzeyi, lifler ile toprak arasında bağlanma ve sürtünme sağlar. Böylece lifler toprak parçacıklarının hareketini durdurur ve mukavemetini arttırır (Paul, Islam, Elahi, 2022). Lif ilavesi ile kerpiç tuğlaların basınç ve eğilme dayanımı, su karşısındaki dayanımı ve ısıl iletkenliği artmıştır (Ige, Danso, 2021).

Kerpicin özelliklerinin geliştirilmesi ile ilgili yapılan çalışmalarda liflerin kullanımı oldukça yaygındır: doğal liflerin kullanılması, saman (Yetgin, Çavdar, 2008), kenaf lifi (Millogo, 2015) kenevir lifi (Calatan, 2016), fonio lifi (Ouedraogo, 2019), mısır lifi (Bab´e, 2020), jüt lifi (Letelier, 2021), muz lifi (Ige, Danso, 2021), neem lifi (Bab´e, 2021) doum lifi (Bouchefra, 2022), palmiye lifi (Eslami, 2022).

Şükrü Yetgin ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada beş farklı kaynaktan toprak kullanılarak farklı saman içeriğine sahip numuneler üretilmiştir. Toprak ve lif

birleşimiyle oluşturulan kerpiç blokların mekanik özellikleri araştırılmıştır. (Yetgin, Çavdar, 2008).

Kenaf liflerinin toprak karışımına kütlece %0,2 ile %0,8 aralığında değişen oranlarda ilave edildiği çalışmada lifin kerpiç üretiminde etkisi araştırılmıştır. Liflerin toprakla iyi yapışması kerpiç bloklardaki çatlakların yayılmasını azaltmış ve mekanik özellikleri geliştirmiştir. Toprak lif arasındaki bu bağın özellikle eğilme mukavemetini arttırdığı görülmüştür (Millogo, 2015).

Fonio lifinin toprak karışımına kütlece %0,2 ile %1 aralığında değişen oranlarda ilave edildiği çalışmada; kerpiç blokların termal iletkenlik, su emme ve gözeneklilik gibi fiziksel özellikleri araştırılmıştır. Bunun yanı sıra basınç ve eğilme dayanımı gibi mekanik özellikleri de test edilmiştir. Fonio lifiyle kil arasındaki iyi yapışma sayesinde bloklardaki çatlaklar azalmıştır. Lifin kullanımıyla birlikte kerpiç bloklar daha az kırılgan hale gelmiştir (Ouedraogo, 2019).

Mısır liflerinin toprak karışımına kütlece %0 ile %4 arasında değişen oranlarda ilave edilmesiyle hazırlanan kerpiç blokların mekanik ve termal özellikleri araştırılmıştır. Mısır lifleri basınç dayanımında artış sağlamıştır. Termal özellikleri de iyileştirmiştir. Böylece kerpiç bloklar mısır lifleriyle güçlendirilmiştir (Bab´e, 2020).

Neem ağaçlarından atık bir malzeme olarak ortaya çıkan neem liflerinin kerpiç üretiminde %0 ile %4 aralığında değişen içerikte kullanıldığı çalışmada, basınç dayanımı, eğilme dayanımı, su emme ve ısıl iletkenliği test edilmiştir. Liflerin mekanik ve termal özellikleri güçlendirdiği görülmüştür. Termal konforun sağlandığı ekolojik bir yapı malzemesi elde edilmiştir (Bab´e, 2021).

Muz lifinin toprak karışımına kütlece %0 ile %1 arasında değişen oranlarda ilave edilmesiyle hazırlanan kerpiç blokların fiziksel, mekanik ve termal özellikleri incelenmiştir. Lif ilavesinin kerpiç blokların basınç ve gerilme dayanımını güçlendirdiği görülmüştür. Ayrıca lifler blokların termal özelliklerini de iyileştirmiştir (Ige, 2021).

Jüt liflerinin toprak karışımına kütlece %0 ile %2 arasında değişen oranlarda ilave edildiği bu çalışmada ise kerpiç blokların fiziksel ve mekanik performansları araştırılmıştır. Çalışmalar sonucunda kerpiç blokların dayanımının arttığı görülmüştür. Lif içeriğinin artışıyla kerpiç bloklarda suya karşı dayanım da artmıştır (Letelier, 2021).

Doum liflerinin kerpiç üretiminde kullanıldığı bir başka çalışmada ise lif içeriği toprak karışımına kütlece %0 ile %2 arasında değişen oranlarda ilave edilmiştir. Kerpiç blokların fiziksel ve mekanik özellikleri araştırılmıştır. Yapılan analizler sonucunda doum lifleri kullanımı mekanik ve termofiziksel özellikleri geliştirmiştir (Bouchefra, 2022).

Palmiye liflerinin kerpiç bloklar üzerindeki kısa ve uzun süreli etkisinin araştırıldığı bu çalışmada ise lifler toprak karışımına kütlece %0 ile %1 aralığında değişen oranlarda ilave edilmiştir. Liflerin ve lif ile toprağın oluşturduğu kompozitin mikroyapısal özellikleri SEM yapılarak incelenmiş, blokların basınç ve çekme dayanımları araştırılmıştır. Palmiye lifi ilavesiyle kerpicin mekanik özellikleri ve dayanımı arttırılmıştır (Eslami, 2022).

Bu tez çalışması kapsamında da incelenen literatür örneklerinden anlaşıldığı üzere lif katkılarının kerpicin mekanik ve fiziksel özelliklerinde iyileşmeler sağladığı yönündedir. Bu bağlamda Trakya bölgesinde yetişen ayçiçeği bitkisinin atık olarak yok edilmekte olan sap kısımları katkı maddesi olarak kullanılarak kerpicin özellikleri üzerindeki etkisi değerlendirilecektir.

BÖLÜM 2

KERPİÇ MALZEME

Yapı malzemesi olan kerpiç, dünyanın en eski ve en yaygın kullanılan yapı malzemelerinden biridir. Erişilebilirlik ve işlenebilirliğinin kolay olması gibi avantajları olması nedeniyle eski dönemlerden beri insanların kullandıkları yapı malzemeleri arasında yerini almıştır. Kentleşmenin ilerlemesi ve artan yaşam standartlarıyla birlikte dünya çapında sanayileşmenin sürekli büyümesi, yerleşik çevrenin yaratılması doğal çevre ve insan için yükselen bir tehdit haline gelmiştir. Değişen bu koşullar altında çevreye duyarlı yapı malzemeleri önem kazanmıştır. Böylece geleneksel yapı malzemeleri irdelenmiştir. Kerpiç malzemenin doğal çevreye verdiği zarar oldukça azdır. Bunun yanı sıra kullanıcının konfor koşullarını maksimum düzeyde yerine getirebilmektedir.



Şekil 2.1. Kerpiç Yapı Örneği, Ksar of Ait Ben Haddou, (Eartharchitecture, 2007).

2.1. Kerpiç Malzemenin Tanımı ve Tarihçesi

Kerpiç yapımında killi ve uygun koşulları sağlayan toprağın içerisine saman, diğer organik lifler (jüt, kaba ot, kuru funda, ağaç dalları, ananas yaprakları, şeker kamışı küspesi, çam iğneleri, kenevir lifleri vb. lifler) veya inorganik bileşikler (alçı, çimento, kireç, NAOH vb. inorganik bileşikler) kuru topak ağırlığına belli oranlar içerisinde karıştırılarak yeterli su ile harmanlanıp kalıplara dökülerek açık havada kurutulmasıyla oluşturulan bir yapı malzemesidir (Eriç, Anıl, Çorapçıoğlu, 1980).

Yapı malzemelerinden biri olan toprak farklı etkenlerden oluşmaktadır. Kum iç iskelet görevini sağlarken, yapışkan özelliğiyle kil bağlayıcılık görevini yerine getirmektedir. Kil yapıştırıcılık sağlaması sebebiyle kerpicin yapısında önemli olsa da su tutuculuğunun yüksek olması sebebiyle fazla kil kullanımı malzemenin plastik özelliğini arttırmaktadır. Bunun sonucunda ise malzeme içerisinde bozukluklar oluşabilmektedir (Kafesçioğlu, Gürdal, 1985).

Yapım kurallarına uygun şekilde oluşturulmuş ve kurutulmuş olan kerpiç homojen, sıkı ve yoğun yapısı sayesinde taşıyıcı özelliktedir. Bu özelliğinden dolayı taşıyıcı duvar malzemesi olarak uygulanabilmektedir. Fakat ıslanınca malzemenin taşıyıcılık özelliği azalmaktadır. Plastik kıvama yaklaşması durumunda yapı yıkılabilir. İçine ilave edilen katkı maddelerinin türüne ve miktarına göre malzemenin dayanımı değişmektedir (Işık, vd.,1995).

Geçmişten günümüze yer almış dönemlerde yapı malzemesi olarak kullanılan kerpiç malzemenin yerini sanayi çağının başlamasıyla farklı yapı malzemeleri almıştır. Fakat buna rağmen tüm coğrafyalarda varlığını sürdürmeye devam etmiştir.

Bilinen en eski yapı malzemelerinden biri olan kerpiç kullanımına ilk olarak MÖ 10.000 yıllarında Mezopotamya'da rastlanmaktadır (Morton, 2010). Avrupa kıtasında ilk kerpiç kullanımına dair izler MÖ VI. yüzyıllarda Almanya'da görülmektedir (Minke, 2006). Anadolu'daki en eski örnek ise MÖ 8500 yıllarında yapılmış olan Çayönü Höyüğü'nde görülmüştür. Çayönü yığma ve kalıp tekniği kullanılarak kerpiç malzemeyle yapılmıştır. Aynı dönemlerde Yakındoğu'da toprak malzeme kullanımı artmıştır ve MÖ 8000 yıllarında yığma ve pise yöntemleriyle birlikte dörtgen biçimli kerpiç blokların kullanımı da görülmektedir. Bu dönemde Orta Anadolu'da kerpiç malzemenin levhalar

halinde kullanımına rastlanmaktadır. Bu kullanımlara Niğde'deki Aşıklı Höyük'te ve sonra bu geleneğin devam ettirilerek Çatalhöyük'te kullanılmış olduğu bilinmektedir. Yakındoğu ve Anadolu'da ise MÖ 6000. yıllarda yaygın şekilde kalıp kerpiç kullanımı tespit edilmiştir. Aynı dönemlerde Orta Avrupa'da ahşap malzemenin az olduğu bölgelerde toprak yapılar görülür. Bunun yanı sıra ahşap iskeletle oluşturulmuş yapılar kerpiç malzemeyle kaplanmıştır. Bunun yanı sıra kerpicin dolgu malzemesi olarak kullanılmış olduğu da görülmektedir (Karul, 2008) ve (Kafesçioğlu, 1980).



Şekil 2.2. Yemen, Fas, İran ve Peru Kerpiç Mimarisinden Çeşitli Örnekler (UNESCO)

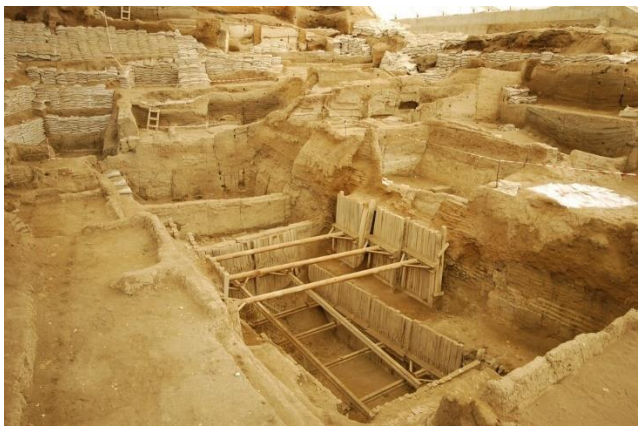
Fransa'da 18.yy'da toprak yapılar geliştirilmeye çalışılmıştır, 19.yy. başlarında da bu çalışmalar devam etmiştir. Aynı zamanlarda Almanya'da da toprağın yapılarda malzeme olarak yararlanılması için standart çalışmaları yapılmıştır.

Amerika'da ise yapı malzemesi olarak toprak malzemenin kullanımı artmıştır. Kerpiç yapılar için yapım kuralları ve yönetmelikleri oluşturulmuştur.

Batı Avrupa'da endüstrileşmenin artması ile tuğla ve çimento sanayisi gelişmiştir böylece yapıların biçim ve içeriklerinde değişikler yaşanmıştır. Kent yapılarında toprak malzemenin kullanımında azalma görülmüştür (Kafesçioğlu, 1980).

Türkiye kültürel miras öğeleri bakımından zengin bir ülkedir. Birçok medeniyetin izini barındıran Anadolu'da coğrafi özelliklere, mimari eserin niteliğine ve yöresel malzemenin kullanımına bağlı olarak taş, ahşap ve toprak malzemeden oluşturulmuş farklı özelliklerde eski esere rastlamak mümkündür.

Diyarbakır ili Ergani İlçesi yakınlarında bulunan, günümüzden yaklaşık 10.000 yıl öncesine ait Çayönü yerleşmesi, neolitik dönem olarak da bilinen, ilk besi üreticiliğine geçiş evresinin etkileyici mimarisiyle tanınmaktadır. Yapı biçimi olarak yuvarlak planlı dal örgülerle oluşturulmuş kulübelerden, taş temeli, kerpiçten dört duvarlı bina yapımına doğru gelişme görülebilmektedir.



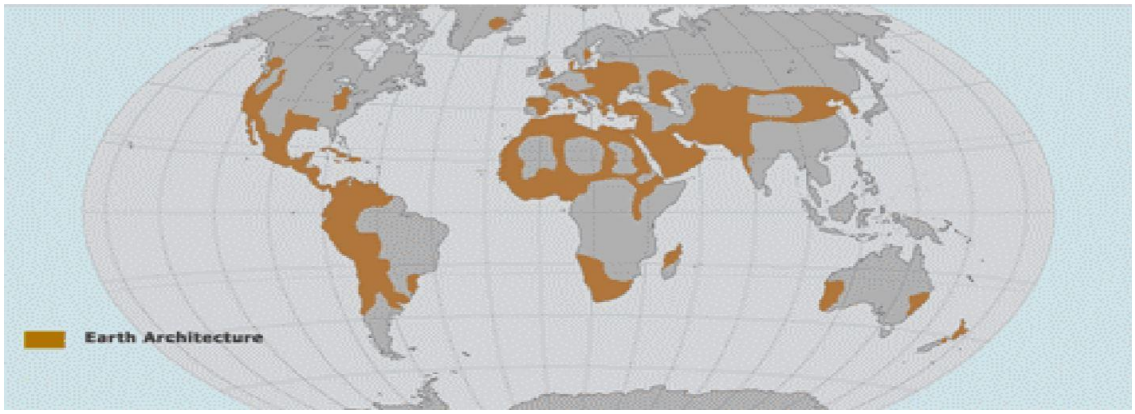
Şekil 2.3. Çatalhöyük'teki Kerpiç Evler (UNESCO)

Aksaray ilinin yaklaşık 25 km güneydoğusunda yer alan Aşıklıhöyük'te yapılan kazılarda, kerpiç duvarlı yapılardan oluşturulmuş, büyük bir yerleşim merkezi ortaya çıkarılmıştır; Burdur ilinin yaklaşık 25 km güneydoğusunda bulunan Hacılar Höyüğü'nde taş temeller üstüne yapılmış toprak malzemeden duvarlar tespit edilmiştir. Çorum Alacahöyük ve Kayseri Kültepe'de de taş temel, kerpiç duvar yapımı söz konusudur. Konya'nın yaklaşık 52 km güneydoğunda bulunan, Yakındoğu'nun bilinen en eski yerleşimlerinden biri olan, Çatalhöyük'te de kerpicin büyük bir ustalıkla kullanıldığı anlaşılmıştır

Bu tarihi eserlerle birlikte özellikle Kütahya ve çevresi, Karaman, Akçadağ, Harput, Balaban, Malatya, Urfa, Mardin ve Van yörelerinde, kerpiç ve hımış evler halk mimarisinin özelliklerini sergilemektedir ve korunması gereken tarihi dokulardır (Başgelen, 1993).

Günümüzde kerpiç malzemenin kullanımı ilk dönemlere göre azalmıştır; fakat hala Afrika, Asya, Orta ve Güney Amerika'nın birçok yerinde, kerpiç yaygın bir yapı malzemesi olmaya devam etmektedir. Birleşmiş Milletlere göre dünya nüfusunun yaklaşık yüzde 30'u topraktan yapılmış evlerde yaşamaktadır (Balderrama, 2004).

New Mexico, Kanada, Latin Amerika, İspanya, Peru, Hindisyan Yarımadası, Yeni Zelanda kerpiç malzemenin yoğun şekilde kullanıldığı ve malzeme araştırmalarının devam ettiği ülkelerdendir (Blondet, Brzeu, Garcia, 2003) ve (Çoskun, 2005).



Şekil 2.4. Dünyada Kerpicin Yaygın Olarak Kullanıldığı Bölgeler (De Sensi, 2003)

2.2. Yapı Malzemesi Olarak Kerpicin Özellikleri

Yapı malzemelerinden biri olan kerpiç, içerisinde bulunan kilin bağlayıcılık özelliği sayesinde şekillendirilebilen ve açık havada kurutulması ile sınırlı bir basınç dayanımına sahip olan ancak suya karşı duyarlılığı yüksek olan bir malzeme olarak tanımlanmaktadır.

Malzeme bileşenleri bakımından doğal ve sağlıklı bir yapı malzemesidir. Bu nedenle sağlıklı yapı üretilmek istendiğinde akla ilk gelen yapı malzemeleri arasındadır. Günümüzde sağlıklı yapılar yapılmak istendiğinde bir yandan insan ve çevre sağlığı gözetilirken diğer yandan rasyonalizasyondan vazgeçilememektedir. Bu sebeple kerpiç, üretim aşamasında ve kullanım esnasında, dünyanın ekolojik dengesini sağlayan ve ülkenin enerji bütçesine katkıda bulunan bir yapı malzemesidir.

Günümüzde çağdaş yapı malzemeleriyle inşa edilen yapıların konfor koşullarını sağlandığı düşünülmektedir. Fakat yüksek teknoloji kullanılarak geliştirilen yapı

malzemeleri elemana dönüştüklerinde gerçekleştirilmek istenen tüm işlevleri sağlayamamaktadır. Farklı malzemelerin bir araya getirilmesiyle oluşturulmuş katmanların detaylandırılması yapılmalıdır. Örneğin betonarme perde kullanılmış ortamda, uygun ortam sıcaklığının sağlanması; ayrıca duvarın iç yüzey sıcaklığının istenen koşullarda tutulabilmesi için yalıtım uygulaması yapılmalıdır. Bu durum farklı bir malzeme kullanımını ayrıca beraberinde işçilik maliyetini getirmektedir. Yapılan uygulamalar sonucunda ortamdaki bağıl nem dengesi bozulmaktadır. Yalıtım değerinin korunabilmesi amacıyla buhar geçirimsiz katman mekân doğrultusunda oluşturulmalıdır. Bu uygulama sonucunda ‘‘taşıyıcı betonarme duvar + yalıtım malzemesi ve işçiliği + buhar geçirimsiz katman ve işçiliği’’ beraber kullanılsa bile mekânda bağıl nem istenen konfor koşullarında tutulamamaktadır. Kerpiç duvar ise istenen bu şartları sağlamanın yanında konfor şartlarını da yerine getirerek tek başına uygun koşulların eldesini gerçekleştirmektedir (Işık, 1995).

Yapı duvarlarında kullanılacak kerpiçler dikdörtgen prizma şeklinde üretilmelidir. Üretimi yapılan bloklarda çatlama ve kırılma olmamalıdır. Boyutlar ± %5 tolerans gösterebilir. Çizelge 2.1’de verilen boyutlara göre yapılmalıdır (Kafesçioğlu,1985).

Çizelge 2.1. TS 2514’e Göre Kerpiç Blokların Sınıflandırılması

Sınıf	Adı	Boyutlar (cm)	Hacim (dm^3)	Ağırlık (kg)
1	Kuzu	12x19x40	9,12	10 - 12
2	Ana	12x30x40	14,40	15 - 25
3	Kuzu	12x18x30	6,48	7 - 11
4	Ana	12x25x30	9,00	10 - 15

2.2.1. Kimyasal Özellikleri

Killi kerpiç toprağı kimyasal olarak alüminyum silikat bileşimidir. Bünyesinde demir, magnezyum, sodyum ve titan oksit gibi çeşitli metal oksitleri de bulundurabilmektedir (Eriç, 1994).

Toprak içeriği kaba kum (2,0-0,2 mm), ince kum (0,2-0,02 mm), silt (0,02-0,002 mm), kil 0,002’den küçük tanelerden oluşmaktadır. Toprağa asıl içeriğini veren 2

mm’den küçük kum, kil ve siltin oluşturduğu parçacıklardır. Kum iskelet yapısını oluşturmaktadır ve toprak strüktürünü ayakta tutar. Siltin esas görevi de fiziksel bağlama yapmaktır. Kilin görevi ise kum, silt taneciklerinin bağlayıcılığını sağlamaktır.

Kil toprakları içerisinde fazla miktarda su tutabilme özelliğine sahiptir fakat kullanılabilir nem oranı düşüktür. Islak ve soğuk yapıdadır. Çalışılması zordur. Mevcut yapısını iyileştirmek için organik artıklar ya da humusla harmanlanmalıdır.

Kil bileşeni, toprağın yapısındaki fiziksel ve kimyasal etkenlerin yanı sıra biyolojik etkinliği bakımından da gereklidir. Kilin öz ağırlığının yüksek olması sebebiyle bileşenin adezyon ve kohezyon kuvveti fazladır. Bu sebeple içerisinde yüksek miktarda su depolayabilmektedir. Bununla birlikte toz ve kum parçacıklarını bahsedilen kuvvetlerin etkisiyle birbirine bağlamaktadır. Bu özelliğiyle kum ve toz parçacıklarında doğal bağlayıcılık sağlar ayrıca bu parçacıkların negatif fiziksel durumunu da iyileştirir (Çepel 1988).

Çizelge 2.2. Kil Toprağının Özellikleri (Çepel 1988, Kohnke 1968).

Kil Toprağı	
Hacim Ağırlığı (gr/cm^3)	1,32 - 0,92
Yoğunluk (gr/cm^3)	2,2 – 2,6
Gözenek Oranı	50 - 65

2.2.2. Mekanik Özellikleri

Kerpiç malzeme yatay ve düşey eksendeki yükler altında davranışlar göstermektedir. Bu davranışlara "kerpicin mekanik özellikleri" denilmektedir. Malzemenin basınç mukavemeti mekanik özelliğinin önemli bir göstergesidir. Pişmemiş toprak malzemenin genel olarak ağır olduğu ve düşük basınç dayanım özelliği gösterdiği görüşüne varılmıştır. Toprak malzemenin mekanik performansında belirleyici olan diğer özellik ise, çekme gerilmesi sonucunda meydana gelen kopma modülüdür. TS 2514’te minumum kopma gerilmesinin değeri 50 gr/cm^2 olarak belirtilmiştir.

Kerpicin Basınç Mukavemeti:

İçerdiği maddelerin cinsi ve oranına göre basınç mukavemeti değişiklik göstermektedir. TS 2514'te katkı maddesi bulunmayan kerpicin en düşük basınç dayanım değeri 8 kgf/cm²'den az olmamalıdır. Numunelerin kaydedilen ortalama basınç dayanım değerinin ise 10 kgf/cm²'den az olmaması beklenir. Uygun granülometri oluşturulması sonucunda basınç dayanımı 35 kg/cm² olabilmektedir.

Çizelge 2.3. Kerpicin Çeşitli Yapı Malzemeleriyle Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırılması (Kafesçioğlu, Gürdal, 1985).

Malzemeler		Birim Hacim Kütlesi (g/cm^3)	Basınç Dayanımı (Kgf/cm^2)
Doğal Taş		2,5 -3	300 - 3000
Tuğla	Dolu	1,8	30 - 20
	Delikli	1,2	50 - 200
Beton		2,4	120 - 300
Biriket		1,2 – 1,4	35 - 75
Kerpiç		1,2	2-10

Kerpicin basınç dayanımını etkileyen faktörler;

- Kerpiç toprağının türü
- Kullanılan su oranı
- Bitkisel katkı miktarı
- Kalıplanma yöntemi
- Kurutma süresi ve şekli
- Stabilizasyon amacıyla kullanılacak bağlayıcı madde, türü ve oranı olarak belirlenmiştir (Gürdal, Koçu, 1993).

2.2.3. Fiziksel Özellikleri

Herhangi bir malzemenin fiziksel deney yöntemleri ile hesaplanabilen değerleri fiziksel özellikleri olarak nitelendirilmektedir. Kerpicin fiziksel özellikleri dört başlık altında ele alınmaktadır. Bu özellikler ısı, su, ses ve yangın olarak sıralanabilir.

Günümüzde kullanılan diğer yapı malzemelerinden yapılmış duvarlar ile kerpiç duvar karşılaştırıldığında ısıl geçirgenlik direnci (R) değerinin en yüksek olduğu malzemelerden biri topraktır. Böylece toprak malzemeyle yapılan yapılarda ısı iletimi diğer yapı malzemeleriyle yapılmış yapılara göre az olacaktır. Sonuç olarak kerpiç yapılar ısı yalıtımı açısından olumludur.

Çizelge 2.4. Beton Duvar, Beton Blok ve Dövme Toprak Duvarın Isısal Performans Değerleri (Gürbüz, 2005).

Duvar Tipi	Yoğunluğu kg/m (Lb/LF)	R Değeri	Isı Kaybı W/Mk (Btu/hr/LF)	Isı Tutma Kapatisesi
Beton (15 cm)	892,898	1,14	1296,317	10660
Beton Blok 20x20x40	674,138	1,11	1342,046	5850
Dövme Toprak Duvar (45 cm)	2321,536	1,62	913,825	38440

Malzemenin ısıyı iletme miktarı, ısıl iletkenlik hesap değeriyle ilişkilidir. Bu değer malzemeden malzemeye değişkenlik göstermektedir. TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları standardında ısıl iletkenlik hesap değerleri belirtilmiştir. Çizelge 2.5.'te bazı yapı malzemelerinin ısı iletkenlik hesap değerleri verilmiştir. Bir malzemenin ısıl iletkenlik hesap değeri ile ısıyı iletme miktarı doğru orantılıdır. Hesap değerinin küçülmesiyle ısı taşınımı azalmaktadır. Kerpiç malzemenin ısıl iletkenlik katsayısı düşüktür.

Çizelge 2.5. Yapı Malzemelerinin Isı İletkenlik Hesap Değerleri (Gürbüz, 2005).

TS 825'deki Sıra No	Malzeme veya Bileşenin Çeşidi	Birim Hacim Kütlesi (kg/m³)	Isı İletkenlik Hesap Değeri (W/mK)
5.1	Donatılı beton	2400	2,10
	Donatısız beton	2200	1,74
7.1.1	TS 704, TS 705'e uygun tuğlalarla yapılan kagir duvarlar, dolu klinker, düşey delikli klinker, (TS 4562) seramik klinker (TS 2902)	1800	0,81
		2000	0,94
		2200	1,20
7.1.2	TS 704, TS 705'e uygun dolu veya düşey delikli tuğlalarla duvarlar	1200	0,50
		1400	0,58
		1600	0,68
		1800	0,81
		2000	0,96
	29,5x14x9 cm ebatlarında sıkıştırılmış toprak blok	1700-2200	0,81-1,04
	40x20x10 cm ebatlarında kerpiç	1200-1700	0,4-0,8

Diğer fiziksel etkenlerden biri olan suyun kerpiç üzerindeki etkisini ele aldığımızda bu etkiler kohezyon, şişme, büzülme, plastisite, dağılabilirlik ve su emme olarak görülmektedir. Kerpicin ana malzemesini oluşturan kil, en ufak kum tanelerinden büyük taş parçacıklarına kadar ufalanmış sert bileşenleri, bir hamur şeklini alarak birbirine bağlamaktadır. Killi toprakların gözenekleri fazla olmasına karşın, gözeneklerin aralarında oluşturduğu bağlantılardan dolayı geçirgenlik düşüktür. Toprak malzeme basınçla sıkıştırıldığı zaman gözenek çapları küçülecektir. Fakat gözenekli yapısından dolayı yine de rutubet almaktadır. Malzeme ıslandığı zaman taşıyıcılık özelliği azalmaktadır. Plastik kıvama yaklaşması durumunda yapı yıkılabilmektedir. (Çakır, 2010).

Kerpicin fiziksel özellikleri incelenirken ısı ve su dışındaki ses ve yangına karşı göstereceği performansın da incelenmesi gerekmektedir. Toprak malzemede ses geçisi esnasında meydana gelen ses kaybı değerleri ölçülmüştür. Avustralya Standardı 1276-

1979'a göre yapılmış testler sonucunda 30 cm kalınlığında olan dövme toprak duvarda 57 dB'lik ses geçiş kaybı bulunmuştur. Bu değer yapı malzemesi bazında yeterince yüksektir (Dobson, 2004).

Houben ve Guillaud yaptığı çalışmada 500 Hz frekansında 40 cm ve 20 cm boyutlarında sıkıştırılmış toprak blok ve dövme toprak inşaa teknikleriyle yapılmış duvarların, sırasıyla 50 dB ve 40 dB oranlarında ses geçiş kaybı değerlerine sahip olduğunu belirtmiştir (Houben, Guillaud, 1994). Bu çalışmalar sonucunda kerpiç malzemenin gözenekli bünyesi ve ağır kütleli yapısı sayesinde ses tutuculuk oranının yüksek olduğu zörülmektedir.

SIA-Norm 181 verileri göz önüne alınarak yapılmış hesaplar ile, kerpiç malzemenin kullanıldığı kalınlığa bağlı ses izolasyon değerleri Çizelge 2.6.'da gösterilmiştir.

Çizelge 2.6. Kerpiç Malzemenin Ses Yalıtım Değeri (Anon, 1993).

Kerpiç Türü	Yoğunluk p (kg/m³)	Ses Şiddeti			
		30 dB	40 dB	50 dB	55 dB
Masif kerpiç	2000	0,03	0,07	0,20	0,40
Hafif kerpiç	1200	0,04	0,12	0,33	0,73

Avustralya'da 30 cm kalınlığında dövme toprak duvarın yangın direncine bakılmıştır ve Avustralya Standardı AS 150.4-1985'e göre yapısal yeterlilik/ bütünlük/yalıtım etkenlerinden her biri için 240 dakika sonucuna ulaşılmıştır (Dobson, 2004).

Kerpiç, DIN 4102 ve DIN 18951 standartlarına göre içeriğinde yanıcı madde olmadığı durumlarda yanmaz, alev almaz, duman ve koku çıkarmaz özelliğe sahiptir. İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin Yangından Korunma Yönetmeliği'nde "Binalardaki taşıyıcı duvarlar en az F 90-A sınıfında inşa edilmeli" ifadesi yer almaktadır. Buna bakılarak 25 cm'lik kerpiç duvar, yangın yönetmeliğindeki 90dk'dan daha fazla süre yangına direnç göstermektedir. İsviçre Kantonları Yangın Sigortası Birliği yaptığı

çalışmayla kerpiç yapı malzemelerinin yangın karşısındaki davranışını belirlemişlerdir (Çoşkun, 2005).

Çizelge 2.7. Kerpiç Malzemelerin Yangın Karşısındaki Davranışı (Anon,1993).

	Yoğunluk p (kg/m³)	Kalınlık d (cm)	Alev alma duman	Yangına dayanım süresi
Masif kerpiç	2000	15-25	-	F 120 - F 180
Hafif kerpiç	900	25	-	F180
Beton	2300	20	-	F180

Kerpiç malzemenin plastisite-rötre özelliği de fiziksel özellikler arasındadır ve aşağıda açıklanmıştır.

Kerpicin Plastisite-Rötre Özellikleri: Malzemenin plastik deformasyon kapasitesine plastisite denilmektedir. Malzemenin uygulanan bir yük altında nasıl deforme olduğunu ve bu deformasyonun geri döndürülebilir olup olmadığını gösterir. Kilin akışkan yapıdan plastik özelliğe geçmesi durumuna plastik limit, katı hal suyun buharlaşmasıyla olmaktadır. Karışımda kullanılan su miktarı azaltılırsa, kuruma esnasında meydana gelebilecek hacim değişimi azaltılabilmektedir. İyi bir kerpiç karışımının diğer özellikleri aynı kalması şartıyla, kurutulma sürecindeki hacim değişimi fazla olmamalıdır.

Kerpiç malzemenin fiziksel özelliklerini doğal taş, tuğla, beton, briket vb. çeşitli kagir malzemelerle kıyasladığımızda ısı yalıtımı bakımından olumlu fakat su etkisi altında dağılma açısından olumsuz sonuçlar ortaya çıkmaktadır. Kerpiç malzemenin TS 2514'e göre suda dağılması için geçmesi gereken sürenin 45 dakikadan fazla olması gerektiği belirtilmiştir (Çakır, 2010).

2.3. Kerpiç Üretim ve Kullanım Yöntemleri

Yüzyıllardan beri kullanılan kerpiç, bu kullanım süreçlerinde pek çok kullanım biçiminin oluşmasına sebep olmuştur. Bu kullanımlar coğrafi bölgelerin veri ve özelliklerine göre değişiklik göstermiştir. Kerpiç yapım sistemleri 2 grupta sınıflandırılmaktadır. Bu sistemler masif kerpiç yapı sistemi ve hafif kerpiç yapı sistemi

olarak adlandırılmaktadır. Bu sistemlerin oluşmasındaki ana etken kullanılan duvar öğesidir. Duvar öğesinin taşıyıcı nitelikte kullanıldığı sisteme masif kerpiç kullanımı; ahşap karkas sistemin arasının kerpiç ile doldurulduğu duruma ise hafif kerpiç kullanımı denilmektedir (Kömürcüoğlu, 1962 ve Çelebi,2012).

1. Masif kerpiç yapı sistemleri

- Blok kerpiç
- Yığma kerpiç
- Dövme kerpiç
- Omurgalı kerpiç

2. Hafif kerpiç yapı sistemleri

- Kerpiç blok dolgulu
- Dökme kerpiç dolgulu

2.3.1. Masif Kerpiç Yapı Sistemleri

2.3.1.1. Blok Kerpiç

Bu kullanım biçimi, kerpicin, yapı duvarlarını oluşturacak şekilde hazırlanmasına dayanır. Kerpiç bloklar yapının üretiminin yapılacağı yerde hazırlanmaktadır. Bu üretim süreci istenen özelliklere sahip kerpiç hamurunun hazırlanıp, kalıplanmasıyla başlamaktadır. Çamur kalıplara yerleştirilirken mekanik olarak iyice sıkıştırılmalı, kalıba iyi yerleşmesine özen gösterilmelidir. Kalıptan hemen çıkarılan kerpiç bloklar daha sonra kurumaya bırakılmaktadır. Kurutulma sırasında çatlamayı önlemek için direkt güneşe konulmamalıdır. Bu sistemle oluşturulan kerpiç tuğlalarında rötre çatlağı görülmez. Bunun sebebi çamurun üretim sırasında rötresini tamamlamasından kaynaklıdır. Üretim sürecinde kalite kontrolü yapılabilmektedir. Duvarlar, üretimi yapılan blokların araları bağlayıcı kerpiç harcı ile örülerek oluşturulur.

En çok kullanılan kerpiç tuğlası 12x25x38 cm boyutlarındadır. Ülkemizde kerpiç blokların kullanımı yaygındır. Mevcut yapıların büyük bir kısmı bu sistemle oluşturulmuştur. Ahşap ve taşı az olan yörelerde (özellikle orta Anadolu'da) geleneksel yapıların çoğunluğu kerpiç tuğlaları ile yapılmıştır.



Şekil 2.5. Kerpiç Bloklarıyla Örülmüş Duvar (Eartharchitecture, 2009).

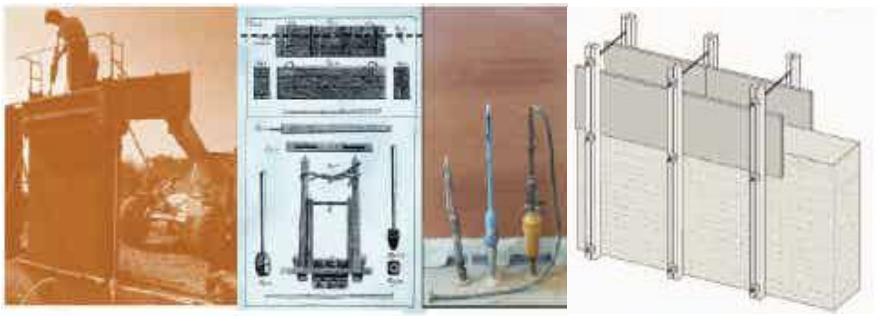
Yapılarda kullanımı duvarların kerpiç tuğlaları ile örülmesiyle karşımıza çıkmaktadır. Kerpiç tuğlalarıyla örülen duvarlar belirli aralıklarla yatay ahşap hatıllarla desteklenmiştir. Belirli düzeylerde oluşturulan bu hatıllar yer yer birbirleriyle bağlanmaktadır. Bu sistemde kerpiç bloklarla örülen duvarlar taşıyıcı özelliktedir (Çelebi, 2012 ve Kömürcüoğlu, 1962).

2.3.1.2. Dövme Kerpiç

Bu yapım biçiminde, kerpiç çamuru yapı yerinde duvar boyutlarına göre ayarlanmış kalıplara dökülmektedir. Bu aşamadan sonra malzeme dövülerek sıkıştırılmaktadır. Kerpiç bloklarıyla duvar örülmesinde blok oluşturulmasını ve örülmesini kapsayan iki basamaklı iş yapılmaktadır. Fakat dövme kerpiçte bu iki ayrı iş tek seferde çözülmektedir.

Bu sistemle duvar yapılabilmesi için iri kumlu ve içerisinde taş bulunan killi toprak uygundur. Kil oranı fazla olan yağlı kerpiç topraklarının ot, saman, çalı vb. organik lifli katkı maddeleriyle çakıl, tuğla kırıntısı, cüruf ve taş kırıntısı gibi maddelerle karıştırılarak yağlılığının giderilmesi gerekmektedir. Malzemenin sıkıştırılması sırasında kalıpların bozulmaması için kalıplar sağlam ve dayanıklı yapılmalı bunun yanı sıra sonradan kullanılmaya uygun olmalıdır. Kalıp levhaları için ideal yükseklik 60 cm'dir. Yüksek yapılan kalıpların taşınması ve montajının uygulanması zorluklara sebep olmaktadır.

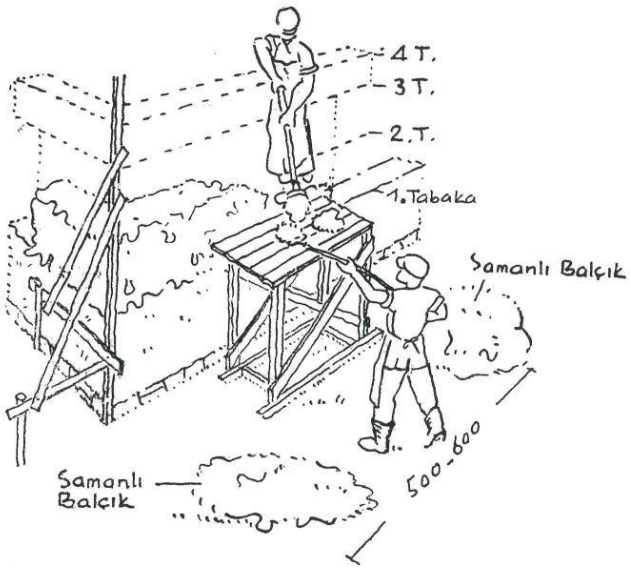
Katkı malzemeleri ilave edilmediği zaman tuğla ile yapımda oluşmayan rötre çatlakları meydana gelebilir. Çatlak oluşumunu minimum düzeye getirmek amacıyla döküm ince tabakalar şeklinde yapılmalıdır. Bu sistemde kalite kontrolü yapılması zordur ve döküm işlemi sonuçlanmadan duvarın niteliği anlaşılamaz. Küçük yapılarda yapımı ekonomik değildir. Bu durumun sebebi kullanılan kalıpların maliyetinin yüksek olmasıdır. Fakat oluşturulan duvarların yüzeyleri oldukça düzgündür. Katkı ilavesiyle dayanımı yüksek yapılar elde edilebilir (Kömürcüoğlu, 1962).



Şekil 2.6. Dövme Yöntemiyle Kerpiç Üretimi (Arpacıoğlu, 2006).

2.3.1.3. Yığma Kerpiç

Organik lif katkı oranının yüksek olduğu kerpiç karışımının temel duvarı üzerine üst üste konması ile yapılmaktadır. Üst üste konulan toprak yığınlarının duvar düzeyinden taşan kısımları kesilerek düzeltilmektedir. Yapım sürecinde çalışılma periyodik olmaktadır. Bir duvar yüksekliğine bağlı olarak üç veya dört tabakada tamamlanır. Üretim aşamasında fazla bilgiye ve teknik ekipmanlara ihtiyaç duyulmaz. Deneyimli yapı ustaları tarafından basit aletlerle kolayca uygulanabilen bir yapım sistemidir. Fakat konut yapımında genellikle tercih edilmemektedir. Olanakların kısıtlı olduğu yerlerde uygulanmaktadır. Ülkemizde basit bahçe duvarları ve setler oluşturmada yaygın olmayan kullanım durumu söz konusudur (Çelebi,2012 ve Kömürcüoğlu, 1962).



Şekil 2.7. Yığma Kerpiç Yapımı (Kömürcüoğlu, 1962).

2.3.1.4. Omurgalı Kerpiç

Bu yöntemle yapılan konstrüksiyon, ahşap iskelete sahip dövme kerpiç yapıdır. Organik bir malzeme olan kerpiç hamurunun sert ve katı maddelerle bağlanması zordur. Elastiki katkılar, ağaç ve benzeri doğal maddelerle birlikte bütünlük sağlayabilmektedir. Bu sistemde toprak ve ahşap uyumlu bir birliktelik oluşturmaktadır. Bu birleşim sayesinde omurgalı yapım sistemi uzun bir ömre sahip olmaktadır. Organik malzeme kullanımıyla çatlama ihtimali de azaltılmış olur. Ahşap iskelet yatay ve düşey yüklere direnç göstererek kerpiç duvarın stabilitesini arttırır (Kömürcüoğlu, 1962).

2.3.2. Hafif Kerpiç Yapı Sistemleri

Ülkemizin coğrafi bölgelerinin pek çoğunda bulunmaktadır ancak yaygın bir şekilde kullanımı yoktur. Belirli düşey ve yatay aralıklarla oluşturulmuş taşıyıcı ahşap konstrüksiyona dolgu olarak kerpiç uygulanmaktadır. Taşıyıcı sistemi kerpiç oluşturmadığından kapsamda ayrıntılardan bahsedilmemiştir. İki şekilde kullanımı görülmektedir: kerpiç blok dolgu ve dökme kerpiç dolgu. Kerpiç blok ile yapılan sistemde ahşap karkas sistemin aralıkları bloklar ile oluşturulur. Sonrasında karkası örtecek şekilde sıva yapılır. Dökme kerpiç dolguda ise karkas üst ve alttan birleşen dikey ahşap elemanlara bağlanır. Bu sistem arasında dallarla yatay doğrultuda kafesler yapılır. Bir yüzeyi kafes olan karkasın aralıkları kerpiç dökülerek doldurulur (Çelebi, 2012).

2.3.3. Çağdaş Kerpiç Yapı Sistemleri

Toprak malzemelerin kullanıldığı binada yapı elemanları, farklı boyutlarda ve tekniklerle üretilebilir. Bu durum, yapının ihtiyaçlarına ve amaçlarına göre değişebilmektedir. Günümüzde toprak malzemelerine çeşitli katkı maddeleri eklenerek zenginleştirilmiş ve uygulanan kalıplar sayesinde daha düzgün yüzeyler elde edilebilmiştir. Bu, çağdaş yapıların üretimini mümkün kılmıştır (Yardımlı, 2021; Peker, Akkuş, 2019).

Toprak yapılar, toprağı pişirilmeden kullanılan ve toprak malzemesi olarak üretilen her türlü yapı ve yapı bileşenini kapsamaktadır (Kafesçioğlu, 2017).

Toprak yapı bileşenleri;

- Toprak harç (earth mortar)
- Toprak blok (earth blocks)
- Yığma toprak blok (earth block masonry)
- Sıkıştırılmış toprak (rammed earth)
- Yerinde dökme toprak (poured earth)
- Dökme toprak (cob)
- Toprak dolgu (earthen infill)
- Toprak sıva (earth plaster)
- Kil panel (clay panels)
- Duvar astarı (wall linings)

Toprak Harç (Earth Mortar): Çeşitli katkı maddeleri içeren malzemelerdir. Kuru veya nemli hazır karışımlar halinde bulunur ve uygulama türüne göre belirli oranlarda karıştırılırlar.

• Toprak Sıva Harcı (earth plaster mortar): yapının dış cephesine uygulanan, genellikle kum veya lif içeren malzemelerdir.

• Toprak Duvar Harcı (earth masonry mortars): toprak yığma bloklarda kullanılan genellikle kum ve doğal sertleştiriciler (natural tempering) içeren malzemelerdir.

• Püskürtme Toprak Harçlar (earth spray mortars): toprak blokların üretiminde toprak karışımın bir kalıba püskürtülmesi ile üretim yapılmaktadır.

Toprak Blok (Earth Blocks): Nemli ve çeşitli katkı maddeleri içeren karışımın kalıplanıp, şekil verilmesi ile üretilirler. Toprak blokların mekanik (earth blocks) özellikleri içeriğindeki su miktarı ve sıkıştırılma şekline (elle veya mekanik) göre değişmektedir. Tuğladan farklı olarak toprak bloklar pişirilmez ve açık havada kurutulurlar.

Yığma Toprak Blok (Earth Block Masonry): Toprak blok (earth block), sıkıştırılmış toprak blok (compressed earth block), çimento ile stabilize edilmiş (earth block masonry) sıkıştırılmış toprak blok (cement stabilized compressed earth block) ve toprak harçlar (earth mortars) ile çerçeveli ve yarı ahşap yapılarda dolgu (earthen infill) malzemesi olarak toprağın kullanıldığı yapım sistemleridir.

Sıkıştırılmış toprak (Rammed Earth): Nemli toprak karışımının hazırlanan kalıplara belirli oranlarda konulup sıkıştırılması ile üretim yapılmaktadır. (rammed earth) Üretilen duvar tamamen kuruduğunda kalıp çıkarılmaktadır.

Yerinde Dökme Toprak (Poured Earth): Toprak sıva harçlarından yapılmaktadır. Yapıların iç veya dış duvarlarına su yalıtımı sağlamak amacıyla bir veya (earth plaster) birkaç kat şeklinde uygulanmaktadır. Bütün toprak sıva katmanlarının ortalama kalınlığı genellikle 20 mm'den fazla olmamaktadır. Toprak sıvalar nemi kontrol ederek iç mekân hava kalitesini düzenlemektedir.

Dökme Toprak (Cob): Nemli haldeki toprak karışımının (straw clay) monolitik bir duvar oluşturmak amacıyla kalıp kullanmadan hafifçe sıkıştırılması ile üretilen yapım sistemidir.

Toprak Dolgu (Earthen Infill): Taşıyıcı çerçeveli veya yarı ahşap sistemlerle kullanılan bir inşaat metodudur. Ahşap paneller arasında kalan (earthen infill) dikmeler ve desteklerin taşıyıcı özelliği olmayan toprak malzeme ile doldurulması ile üretimin yapıldığı bir sistemdir.



Şekil 2.8. Kuru Ot Katkılı Ahşap Konstrüksiyon Arası Toprak Duvar (Çiçek,2014).

Toprak Sıva (Earth Plaster): Yapıların iç veya dış duvarlarına su yalıtımı sağlamak amacıyla bir veya birkaç kat şeklinde toprak sıva harcı uygulanmaktadır. Bütün toprak sıva katmanlarının ortalama kalınlığı genellikle 20 mm'den fazla olmamaktadır. Toprak sıvalar nemi kontrol ederek iç mekân hava kalitesini düzenlemektedir.



Şekil 2.9. Açık Renk Toprakla Sıvalı İç Mekân (Çiçek, 2014).

Kil Panel (Clay Panels): Oran, kalınlık ve üretim şekli bakımından toprak bloklardan farklılık gösterirler. Genellikle taşıyıcı özelliği olmayan, iç duvarların üretiminde kullanılmaktadırlar. Kil paneller genellikle 30 mm kalınlığa kadardır ve alçı panellerle benzer ebatlardadırlar.

Duvar Astarı (Wall Linings): "iç katman (inner leaf)" olarak da adlandırılan bu teknik mevcut ince dış cephe duvarlarının (tarihi yapılarda) ısı yalıtımı, rüzgâr geçirmezliği ve ses yalıtımını iyileştirmek için yenileme çalışmalarında sıklıkla kullanılmaktadır. Bu teknikte toprak malzeme ve kil paneller de kullanılmaktadır (Hall, Lindsay, Krayenhoff, (2012); Koç, Akbulut, 2017).



Şekil 2.10. Toprak Panel ve Toprak Panellerden Oluşan Duvar (Çiçek, 2014).

Toprak harcının hazırlanan kalıplara doğrudan dökülmesi ve kalıpta sıkıştırılması, günümüzde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem sayesinde yapı üretimi çok daha hızlı ve işçilik gerektirmeyen bir şekilde gerçekleştirilebilir. Bu teknik için kullanılan kalıplar çok sık kullanılabildiğinden, atık oluşumu önlenir. Bu teknikte duvarın kendi yapısı, sıva veya duvar kâğıdı gibi ek örtülerin kullanılmasına gerek kalmadan, kullanım için uygun hale gelmiştir. Bu özelliği sayesinde toprak, çok ekonomik ve sürdürülebilir bir malzeme olarak ortaya çıkmaktadır. Çok katlı yapılar için betonarme veya çelik yapı teknolojisi zorunlu olurken, üç dört kat gibi daha az katlı yapılar için toprak yapılar tercih edilebilir. Toprak yapı üretimi, çağdaş yapım yöntemleri sayesinde hem hızlı hem dayanıklı hem de farklı görsel özellikleri ve renkleri kullanmaya olanak verir. Bu teknikler, karma yapım yöntemleriyle birleştirilerek veya tümüyle toprak kullanılarak da uygulanabilir. Sıkıştırılmış toprak (rammed earth), çağdaş kerpiç yapım yöntemleri arasında yaygındır. (Yardımlı, 2021).

Çağdaş yapım yöntemiyle toprak yapı üretimi, kerpiç hazırlama sürecini ortadan kaldırarak hem kerpiç bloklarının oluşturulmasını hem de malzemenin taşınmasını ve inşaatta duvar örülmesi gibi işçilikleri önler, böylece inşaat çok daha ekonomik ve hızlı bir şekilde gerçekleştirilebilir (Işık, 2011).



Şekil 2.11. Nk'Mip Kültür Merkezi'nde Sıkıştırılmış Toprak Duvar Kullanımı (Archdaily, 2006).



Şekil 2.12. Sanbaopeng Sanat Müzesi'nde Sıkıştırılmış Toprak Duvar Kullanımı (Archdaily, 2017).

2.4. Kerpiç Malzemenin Avantajları

Kerpiç yapı türü, çok eski bir geçmişe sahiptir. Yapı endüstrisinin gelişmesiyle birlikte şehirdeki yapılarda kullanımından vazgeçilmesine rağmen ekonomik nedenlerle kırsal kesimlerde hala kullanılan bir yapı malzemesidir. Hammaddesinin kolay ve hemen her yerde bulunabilir olması, uzman işçiliğe gerek duyulmaması kerpiç malzemenin başlıca tercih edilme sebepleridir.

Kerpiç üretim süreci ve sonrasında çevreye zarar vermez. Yıkılması durumunda diğer yapı malzemelerine göre daha az enerji gerektirir. Bunların yanı sıra geri dönüşümü de mümkündür.

Geleneksel yapı malzemelerinin ısı depolama kapasitesinin yüksek olduğu bilinmektedir. Kerpiç malzeme de gün boyunca ısıyı absorbe ederek bünyesinde depolamaktadır. Gece oluşan sıcaklık farkıyla yapısında toplamış olduğu bu ısıyı dışarıya aktarmaktadır. Aşırı dış ortam sıcaklıklarını ılımlı hale getirebilir ve uygun iç sıcaklık dengesini koruyabilir. Isı sığasını ve taşınımını etkileyen faktörlerden biri de kerpicin üretiminde kullanılan su miktarıdır. Su oranının artışıyla malzeme içerisinde daha çok boşluk oluşacaktır bu durum ısı taşınımını arttırır (Saldivar, Batty, 2005; Adam, Agib 2001).

Kerpiç malzeme içerisindeki suyun buharlaşmasıyla gözenekler oluşmaktadır. Bu boşluklar havadaki nemi tutatarak iç mekanın nemini dengeler. Kerpiç yapının

bünyesinde tuttuğu nem miktarı %40 civarındadır. Bu oran tuğlanın tuttuğu nem miktarından oldukça fazladır (Calabria, Vasconcelos, Boccaccini, 2009).

Malzemenin üretim maliyeti düşüktür ve üretimi için tesis gerekmemektedir. Üretim ve kullanım sürecinde çok az enerji gerekir. Malzemenin üretilmesi, inşaa edilmesi ve kullanım sırasında ihtiyaç duyulan enerjilerin bütünü enerji tüketimi olarak adlandırılır. Toprak yapılar bu üç aşamada da, diğer yapı malzemelerine göre daha az enerji kullanmaktadır. Makine kullanılarak yapılmış kerpiç blokların diğer yapı malzemelerine kıyasla tüketeceği enerji değerleri aşağıda verilmiştir (Gürbüz, 2005).

Çizelge 2.8. Yapı Malzemelerinin Üretimi Sırasında Harcanan Enerji Değerleri (Gürbüz, 2005).

Malzeme	**Miktar**	**Tüketilen Enerji (kcal/saat)**
Portland çimentosu	42,64 kg	96,232
Söndürülmüş kireç	45,36 kg	111,109
Tuğla	1 blok	3,422
Beton blok	1 blok	7,317
Makine ile üretilmiş kerpiç blok	1 blok 254x101,6x355,6 mm	0,63

Kerpiç yapının üretim sürecinde kullanılan enerjinin geri kazanılması için geçen süre 1,54 yıldır. Bunun yanı sıra atmosfere verilen CO_2 miktarını da yılda 101 ton azaltmaktadır (Shukla, 2009). Toprağın işlenmesinde ve üretiminde enerji ihtiyacı azdır, aynı hacimde çimento betonu üretmek ve işlemek için gereken enerjinin sadece % 1'i kadardır. Desert Architecture Unit tarafından yapılan araştırmalar sonucunda bir metreküp toprağın üretimi ve işlenmesi için gereken enerji yaklaşık 36 MJ (10 kWh) iken aynı hacimde betonun üretimi için gereken enerji yaklaşık 3000 MJ (833 kWh) olarak bulunmuştur. Tuğlaya göre de 15,1 kat daha az enerji kullanımı gerektirir.

Toprak yapı malzemesinin endüstriyel yapı malzemelerine (tuğla, pres tuğla, beton vb.) göre çevreye daha az zarar verdiği görülmektedir. Çevreye uyumlu bir yapı

malzemesidir kaynakların doğal haliyle kullanımı söz konusudur. Kirlilik oluşturmaz ve biyokütle yakıtından tasarruf ederek ekolojiye fayda sağlar (Adam, Agib, 2001).

Kerpiç ve diğer yapı malzemelerinin enerji tüketimi ve CO_2 salınımı miktarları Çizelge 2.9'de verilmiştir (Zami, Lee, 2009).

Çizelge 2.9. Yapı Malzemelerinin Enerji Tüketimi ve CO_2 Salınımı (Zami, Lee, 2009).

Ürün ve Kalınlık	**Malzeme Sayısı($1/m^2$)**	**Enerji Tüketimi (MJ/m^2)**	**CO_2 Salımı (kg/m^2)**
Sıkıştırılarak geliştirilmiş kerpiç - 24 cm	40	110	16
Pres tuğla - 22 cm	87	539	39
Tuğla - 22 cm	112	1657	126
Beton blok - 20 cm	20	235	26

2.5. Kerpiç Malzemenin Dezavantajları

Yapıda kullanılmasıyla sağlanan faydalara rağmen kerpiç malzemenin bazı fiziksel niteliklerinden dolayı dezavantajları bulunmaktadır.

İnsan gücüne dayanır ve yapımının kısıtlılıkları vardır. Günümüzde kullanılan endüstriyel yapı malzemelerine göre düşük dayanıma sahiptir. Yeterince güçlendirilmemişse eğilme, darbe ve aşınmaya karşı mukavemeti düşüktür. Özellikle orta ve yüksek yağış alan bölgelerde periyodik bakıma ihtiyaç duymaktadır. Fakat bu olumsuz yönleri sürekli değildir, değiştirilebilmektedir.

Kerpicin dayanımını düşüren en önemli etkenlerden biri de su olmaktadır. Suya karşı duyarlılık göstermektedir. Fakat kerpice ilave edilen katkı maddeleriyle suya karşı dayanıklılık arttırılabilmektedir.

Bu tez çalışması kapsamında da kerpiç malzemenin dezavantajlarını azaltmaya ve kullanılabilirliğini arttırmaya yönelik literatürde yer alan çalışmalar analiz edilmiştir. Bu çalışmalardan faydalanılarak yöresel lif katkısı olarak farklı oranlarda ayçiçeği sapı ilavesiyle oluşturulan yeni kompozit bileşenin fiziksel ve kimyasal özellikleri araştırılmıştır.

BÖLÜM 3

KERPİÇ MALZEMENİN ÖZELLİKLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİNE YÖNELİK YAPILAN BİLİMSEL ÇALIŞMALAR

Geleneksel kerpicin basınç dayanımının zayıf olması ve suya karşı duyarlık göstermesi çağdaş yapı malzemelerinin karşısında tercih edilirliğinin azalmasına sebep olmuştur. Kerpiç malzemenin diğer yapı malzemelerine göre kullanımının sürdürülebilmesi için zayıf özelliklerinin geliştirilmesi için çalışmalar yapılmıştır.

Yapılacak her tür iyileştirme işleminde uygun toprak kullanımı daha iyi sonuç verecektir. Uygun olmayan toprağın katkı maddeleri eklenerek iyileştirilmesi zordur. İyileştirme işlemi, kerpicin mevcut özeliklerinden daha üst kalitede malzeme üretimi için yapılmaktadır.

Malzemenin özelliklerinin iyileştirilmesi ile basınca karşı dayanımı arttırılır. Su ve rutubet karşısındaki duyarlılığı azaltılır. Kalıplanma ve kuruma süresi kolaylaşmakta ve kuruma esnasında meydana gelebilecek çatlamalar azalmakta veya hiç olmamaktadır.

Kerpiç malzeme birçok olumlu özelliğe sahip olmasına rağmen suya duyarlık göstermektedir. Ayrıca basınç dayanımını da zayıftır. Bu parametrelerin artırılması için çeşitli katkı maddeleri ilave edilerek malzemenin iyileştirilmesi sağlanmalıdır. Kerpicin iyileştirilmesinde temel olarak üç yöntem uygulanmaktadır:

a. Mekanik iyileştirme: Toprak sıkıştırılarak yapılmaktadır. Böylece yoğunluk, mekanik özellik, geçirgenlik ve maddeler arası boşluk değişmektedir.

b. Fiziksel İyileştirme: Toprağın niteliklerinin ısıtma, kurutma yapılarak veya granülometri eğrisinin değiştirilerek geliştirilmesidir.

c. Kimyasal İyileştirme: Toprağa katkı maddeleri veya çeşitli kimyasal malzemeler eklenerek yapılan iyileştirmedir (Helvacı, 2011).

Çizelge 3.1. Kerpiç Malzemenin Özelliklerinin İyileştirilmesine Yönelik Ulusal ve Uluslararası Yapılmış Deneysel Yayınlar

Referans	**Yayın**	**Katkı**	**Yapılan Çalışma**
Holmes, S. (2000)	Intermediate Technology Publications	Kireç	B.D. + S.E.D.
Davıdovıts, J., (2002)	Geopolimer 2002 Conference	Geopolimer Katkı	B.D. + S.E.D.
Binici H. (2003)	Construction and Building Materials	Plastik Elyaf	B.D. + S.E.D.
Rangan, B. V.(2005)	J Master Sci	Uçucu Kül + NaOH	B.D. + S.E.D.
Değirmenci N. (2005)	Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi	Fosfoalçı+ Uçucu Kül	B.D. + S.E.D.
Binici H.(2005)	P. Ü. Mühendislik Bilimleri Dergisi	Fiber + Strafor	B.D. + S.E.D.
Binici H.(2006)	Mühendislik Kongresi Bildiriler Kitabı	Fiber+ Polyeter+Saman	B.D. + S.E.D.
Yetgin Ş. (2008)	Construction and Building Materials	Lif	B.D. + S.E.D. + Ç.D.
Jadhoa, P. D. (2008)	Conference on Emerging Trends in Engineering	Uçucu Kül	B.D. + S.E.D.
Bıllong, N (2008)	Construction and Building Materials	Puzolan+ Kireç + NaoH	B.D. + S.E.D.
Can Ö. (2008)	Selçuk-Teknik Dergisi	Ferrokrom Cürufu	B.D. + S.E.D.
Yang, J.(2009)	Construction and Building Materials	Puzolan+Fosfoalçı+Kireç	B.D. + S.E.D.
Kıvrak S., Kıvrak J. (2013)	SDU International Technologic Science	Silis Dumanı	B.D.
Kılınçkale F (2013)	Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi	Cam Elyaf	B.D. + S.E.D.
Millogo Y. (2014)	Construction and Building Materials	Hibiscus Lifi	B.D. + S.E.D.
Vandna S. (2015)	I. J. of Sustainable Built Environment	Yöresel Lif	B.D. + S.E.D.
Danso H (2015)	Construction and Building Materials	Organik Lifler	Fiber En Boy Oranının Etkisi
Calatan G (2016)	Procedia Technology	Organik Lifler	B.D. + S.E.D.
Balkıs A. (2017)	Construction and Building Materials	Mermer Tozu +Polipropilen Lif	B.D. + S.E.D. + Ç.D.
Fotouhi, M. (2019)	Conference Kerpiç'19 Earthen Heritage	Pamuk Tohumu	B.D. + S.E.D.
Elborgy, R. (2019)	Conference Kerpiç'19 Earthen Heritage	Palmiye Yaprakları	B.D. + S.E.D.

B.D. : Basınç Dayanımı S.E.D. : Su Etkisi ile Dağılma Ç.D. : Çekme Dayanımı

Çizelge 3.2. Kerpiç Malzemenin Özelliklerinin İyileştirilmesine Yönelik Türkiye'de Yapılmış Tezler

Tez Adı	Yazar	Yıl	Üniversite
Alçılı Kerpicin Üretim Olanaklarının Araştırılması	Cemal Tanrıverdi	1984	İstanbul Teknik Üniversitesi
Çeltik Kavuzu Katkısıyla Kerpiç Üretimi Üzerine Bir Araştırma	Cemil Durmuş	1988	Gazi Üniversitesi
Bağlayıcı Olmayan Katkı Maddeleri ile Kilden Kerpiç İmalinin Mühendislik Özellikleri	Zeki Gürbüz	1998	İstanbul Teknik Üniversitesi
Yapı Üretiminde Toplam Kalite Yönetimi Ve Kerpiç Yapı Üretiminde Uygulanması	Tuğşad Tülbentçi	1998	İstanbul Teknik Üniversitesi
Gap Bölgesinde İnsan Yerleşmelerinin İyileştirilmesi Amacıyla Alçı Katkılı Kerpiç Ve Tuğla Duvarın Şanlıurfa Toplu Konut Projesi Üzerinde Karşılaştırılması	Gamze Helvacı	2001	İstanbul Teknik Üniversitesi
Yapıda Durabilite Ve Hasar Analizi, Alçılı Kerpiç Yapı Örneği Üzerinde İncelenmesi	Deniz Kuşaslan	2002	İstanbul Teknik Üniversitesi
Toprak Yapı Malzemesinin Stabilizasyonu Ve Toprak Bina Yapım Teknikleri Üzerine Bir Araştırma	Göknil Gürbüz	2005	Gazi Üniversitesi
Alker (Alçı Katkılı Kerpiç) Teknolojisinin Püskürtme Beton (Shotcrete) Tekniği İle Uygulanabilirliğinin Basınç Dayanımı Açısından Deneysel Değerlendirmesi	Kevser Çoşkun	2005	İstanbul Teknik Üniversitesi
Safranbolu Evlerinde Kullanılan Kerpiç Malzemenin Yüksek Fırın Cürufu İle İyileştirilmesi	Aylin Gürfidan	2007	Sakarya Üniversitesi
Silis Dumanı Katkılı Kerpiçlerin Mekanik Ve Fiziksel Özelliklerinin Araştırılması	Jülide Kıvrak	2007	Gazi Üniversitesi
Doğal Puzolan Katkılı Kireç Harcı İle Toprak Karışımının Kerpiç Yapılarda Dış Sıva Olarak Kullanılabilmesi Üzerine Deneysel bir Araştırma	Kaan Çakır	2010	Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi
Cam Elyaf Ve Hava Sürükleyici Katkı Kullanılarak Geliştirilmiş Kerpiç	Tuna Gül	2011	İstanbul Teknik Üniversitesi
Lif Katkılı Kerpiç Panel Duvar Üretilme Olanaklarının Araştırılması	Filiz Akkaş	2011	İstanbul Teknik Üniversitesi
Cam İğneli Hafif Kerpiçin Fiziksel Ve Isıl Özellikleri	Ece Aslan Pedergnana	2015	Orta Doğu Teknik Üniversitesi
Akşehir'de kerpiç malzemeli yapıların ve binaların taşıyıcı sistem açısından irdelenmesi ve günümüz koşullarında değerlendirilmesi	Selin Duran	2016	Dokuz Eylül Üniversitesi
Mimarlıkta Biyomalzemelerin Kullanımı: Sıkıştırılmış Toprak Blokların Performansının Mikorizal Mantar Kullanılarak Geliştirilmesi	Aydan Ataç	2019	Bilgi Üniversitesi
Toplam	**16**	**11**	**7**

Yıllar	Yapılan Çalışma Sayısı
1984	1
1988	1
1998	2
2001	1
2002	1
2005	2
2007	2
2010	1
2011	2
2015	1
2016	1
2019	1

3.1. Toprak Seçimi ve Toprağın Granülometrisinin İyileştirilmesi

Toprak içerdiği tane büyüklüklerine göre sınıflandırılmaktadır. Toprağın içinde çakıl, kum, kil ve silt yer alabilir. Elek analizi yapılınca çapı 0,05 mm'den büyük olanların çakıl ve kum, 0,05 mm'den küçük olanların ise kil ve silti oluşturduğu analiz edilmiştir. Kerpiç toprağının içinde 3 cm'den büyük taşlar olmamalıdır. Toprağın yaklaşık olarak %40'ı 0,063 mm'lik elekten geçebilmelidir. İçerisindeki karışım oranları bölgelere göre farklılık göstermektedir. İdeal kerpiç yapımı için standart bir toprak yoktur. Fakat UBSC için bileşenlerinde %55-75 miktarında kum, %25-45 miktarında kil ve silt gerekli karışımı oluşturmaktadır (TS 2514, UBSC).

Çizelge 3.3. Granülometri Aralıkları (ASTM E2492).

Kil	Silt	Kum	Çakıl	
0,005	0,05	2,00	20,00	(ölçü: mm)

Üretilecek kerpicin nitelikli olması için kullanılan toprağın cinsi çok önemlidir. Kullanılacak toprak tarım toprağı olmamalıdır. Uygun toprak yarı nemli haldeyken avuç

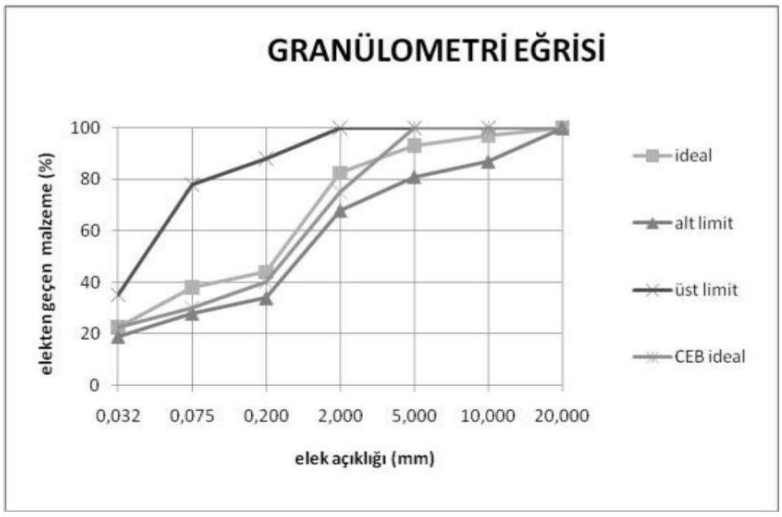
içerisinde sıkılınca yapışmalıdır. Yere bırakıldığı zaman ise yere yapışmalı ve bütün halde olmalıdır (Kafesçioğlu, Gürdal, 1985).

Bu duruma uymayan toprak;

Kil miktarının az olduğu toprak yağsızdır ve yere bırakıldığı zaman parçalara ayrılır. Kuruduğu zaman ise çatlamaya ve dağılmalara sebep olur. Bu tür topraklara kil eklenerek, istenen şartlar sağlanabilir.

Kil miktarının fazla olduğu toprak ise ele yapışır, kuruduğu zaman çatlaklar oluşur. Bu toprağın istenilen şartları sağlayabilmesi için de kum eklenmelidir

Arizona Üniversitesinde toprak yapısıyla ilgili araştırmalar yürütülmüştür. İncelenen toprağın alt ve üst limitinin grafiği çizilmiştir. Alt ve üst sınır için uygun granülometri grafikleri (Schonnopp, 1943). Şekil 3.1'de gösterilmiştir. Aynı grafik içerisinde sıkıştırılmış kerpiç bloklar (CEB) için olan granülometri değerleri de çizilmiştir.



.

Şekil 3.1. Toprak Granülometri Eğrisi (Schonnopp, 1943; Rigassi 1985).

Çizelge 3.4. A.B.D. Arizona Üniversitesi Kerpiç Granülometri Değerleri

Elek Çapı: mm	Elekten Geçen %		
	Alt Sınır	İdeal Sınır	Üst Sınır
0,005	9	15	28
0,35	42	53	97
5,00	81	93	100
20,00	96	100	100

Kerpiç yapıyı oluşturan toprağın içerdiği tane büyüklüğünün belirlenmesi ve uygun granülometri aralığının eldesi, kerpiçten istenilen plastisite ve rötre özellikleri açısından önemlidir. Plastisite indeksi düşük olan toprakların yapısındaki kum oranı, fazla olan toprakların ise yapısındaki, kil ve silt oranı yüksektir. Malzemenin çok ince olması büzülmeye ve çatlamalara sebep olmakta ve istenmemektedir. Kerpiç yapımında kullanılan toprakta kaba kumla beraber ince kumun da olması istenir. Kullanılacak toprağa, başka toprakların eklenmesi veya granülometrisinde yapılacak değişikler, kerpicin boşluklarını ve dayanımını etkilemektedir. Böylece malzeme içerisindeki boşluk oranları azalacaktır ve kerpicin basınca, suyun olumsuz etkisine karşı dayanımı artacaktır (Şimşek, Sancak, Fırat, 2001).

3.2. Saman ve Benzeri Lif Katkısı

Kerpicin stabilizasyonunda bitki veya hayvan kaynaklı lifler kullanılabilmektedir fakat bitki lifleri erişim kolaylığı sebebiyle daha çok tercih edilmiştir. Bu tür liflerin maliyetlerinin düşük olması, geliştirilmiş özelliklere sahip malzeme kompozitleri oluşturmak için kullanımlarını arttırmıştır. Bunun yanı sıra bitki liflerinin kullanımı düşük çevre kirliliğine sebep olmaktadır. Kerpicin özelliklerinin geliştirilmesi ile ilgili yapılan çalışmalarda liflerin kullanımı oldukça yaygındır: doğal liflerin kullanılması, kenevir lifi, fonio lifi, jüt lifi, sisal, doum lifi, mısır lifi, kenaf, ve yöresel bitkisel lifler vb.

Çizelge 3.5. Toprak Malzemeye İlave Edilen Doğal Katkı Maddelerinin ve Liflerin Özelliklerine Göre Sınıflandırılması. Katkı kaynağı: Atık maddeler (A), yan ürün(Y), iki durumu da içeren(A/Y), çalışmada belirtilmemiş (-). Çalışmada malzemede test edilen özellikler: Mekanik özellikler (M), dayanıklılık (D), su etkisi(S), termal özellikler(T) (Güneri, 2022).

Katkı Maddesi	**Katkı Kaynağı**	**Yapılan Çalışma**	**Yıl**	**Çalışmanın Yeri**	**Referas**
saman	A/Y	M D	2008	Turkiye	[16]
hindistan cevizi lifi	A	M	2008	Hindistan	[19]
saman	A/Y	M D	2010	İtalya	[20]
ananas lifi	A	M D	2011	Malezya	[21]
palmiye meyvesi lifi	A/Y	M D	2011	Malezya	[21]
hibuscus lifi	-	M T D	2014	Fransa	[22]
hindistan cevizi kabuğu şeker kamışı lifi palmiye meyvesi lifi	A	M D	2014	Ghana	[23]
kenaf	-	M T D	2015	Burkina	[17]
muz lifi	A	M	2016	Mısır	[24]
yulaf lifi	A/Y	M T S	2016	Portekiz	[25]
yulaf lifi	-	M T	2017	Portekiz	[26]
pirinç kabuğu	A	M D	2017	İran	[27]
çam iğnesi	-	M	2018	İspanya	[28]
saman	A/Y	M T D	2018	İtalya	[29]
lavanta sapları arpa sapları	A/Y	M T D	2019	Fransa	[30]
fonio	Y	M T D S	2019	Fransa	[12]
red millet	A	M T D	2020	Cameroon	[15]
saman	-	M	2021	Irak	[31]
doum lifi	-	M D S	2022	Morocco	[32]

Çizelge 3.6. Liflerin Fiziksel Özellikleri ve Numune Boyutları (Güneri, 2022).

Katkı Kaynağı	Numune Boyutları (mm)	Katkı (%)	Lif Uzunluğu (mm)	Ref
saman	100x100x100	0.5	50	[16]
hindistan cevizi lifi	38 Ø & 76 h	2.0-2.50	10-30	[19]
saman	310x460x130	0.00-0.75	2.0-8.0	[20]
ananas lifi	100x100x100	0.25-0.75	10	[21]
palmiye meyvesi lifi	100x100x100	0.25-0.75	10	[21]
hibuscus lifi	295x140x200	0.2-0.8	30-60	[22]
hindistan cevizi kabuğu	295x140x100	0.2-0.6	50	[23]
şeker kamışı lifi	295x140x100	0.2-0.6	38	[23]
palmiye meyvesi lifi	295x140x100	0.2-0.6	80	[23]
kenaf	295x140x100	0.2–0.8	30	[17]
muz lifi	240x120x90	0.35	50–60 70–80 90–100	[24]
yulaf lifi	40x40x160	1.0	10-20	[26]
pirinç kabuğu	22x22x7 22x11x7	0.3-0.9	-	[28]
çam iğnesi	290x140x100	25	1.42-4.46	[29]
saman	150x150x150	3	-	[30]
Lavanta sapları Arpa sapları	15x15x15 50 Ø & 50 h	3.0-6.0	-	[31]
fonio	40x40x160	0.2-1.0	20-100	[12]
red millet	100x100x30 40x40x160	0.0-4.0	2.0-5.0	[15]
saman	240x110x75	2.5-5.0	20-60	[32]
doum fiber	40x40x50	0.0-2.0	35-40	[33]

Kerpicin dayanıklılığını arttırmak ve çatlamaların önlenmesi için, içine saman ilave edilmektedir. Organik lifsel bitki artıklarının ilave edilmesi ile homojen ve dengeli kuruma gerçekleşir. Bu işlemle birlikte çatlamalar ve büzülmelerde azalmalar görülmeye başlanır. Çekme gerilmelerini alan lifler kuruma çatlaklarını engellemektedir ayrıca

malzemenin kohezyonunu arttırırlar (Birleşme / Yapışma). Bu sayede malzemenin taşıyıcılığı kuvvetlenir. Saman borucukları kerpicin içindeki nemin dışarıya atılımını kolaylaştırır, bu sayede kerpicin çatlamasının önüne geçilmiş olur (Kafesçioğlu, Gürdal, 1985).

Kullanılan bitkisel lifler ile toprak kompozitlerinin fiziksel, mekanik ve dayanıklılık davranışını güçlü bir şekilde etkileyen ana parametreler şunlardır**:** liflerin uzunluğu ve kompozit karışımdaki hacim fraksiyonunun yanı sıra liflerin tipi, gerilme mukavemeti ve dayanıklığı (Toledo, 1997).

Millogo (2014), yaptığı çalışmada lif tipi kompozitlerin lif içinde lignin yüzdesine bağlı olarak geçirimsizlik üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu görmüştür. Bitkisel lifte lignin yüzdesi daha yüksek ise, geçirimsizlik daha yüksektir.

Yapılan bu deneysel çalışmada ısı iletkenliği fiberin artan miktarı ve uzunluğu ile azalmıştır. Isı iletkenliğinin azalması binalar için elverişlidir, çünkü enerji tasarrufunu iyileştirmektedir. Daha uzun lifler ayrıca basınç üzerinde de olumsuz bir etkiye yol açabilmektedir. Fakat bu liflerin eğilme mukavemeti üzerindeki etkisi liflerin yüksek gerilme mukavemeti nedeniyle pozitiftir.

Yetgin vd. (2008), tarafından yapılan çalışmada ise farklı saman içeriğine sahip farklı karışımlarda lifler ve beş farklı kaynaktan toprak kullanılarak basınç dayanımları test edilmiştir. Böylece, farklı miktarda lif (saman) kullanmanın etkileri özellikle basınç gerilmesi ve mukavemeti üzerine karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar lifsiz örneklerle de yapılmıştır ve sonuçlar malzemelerin fiziksel özellikleri açısından değerlendirilmiştir. Deneyler hem lifli hem de lifsiz kerpiç örnekleri ile yapılmıştır. Çalışmada su içeriği, özgül ağırlık ve çekme oranı basınç davranışı bağlamında araştırılmıştır. Ayrıca, bu çalışmalara çekme deneyleri de eklenmiştir. Böylece bu malzemelerin işlenebilirliği ve uygulanabilirliği hakkında bir sonuç çıkarılmaya çalışılmıştır. Deneyler sonucunda kerpicin lif içeriğinin artmasıyla gerilme dayanımı artmıştır ancak basınç dayanımı azalmıştır.

Basınç dayanım testlerinin yapılmasıyla lifli örnekler için üç ortak sonuca varılmıştır:

1.İşlenebilirlik için, lif içeriği arttıkça, lifler su emdiği için su içeriği arttırılmalıdır.

2. Su içeriğindeki artış numunenin ağırlığını ve böylece de gücünü azaltır.

3. Kil içeriği arttıkça, plastik davranışlar artmaktadır. Ancak, lif içeriği artışına bağlı olarak numunenin hızlı kurumasıyla erken bir kırılma görülür. Çabuk kuruyan malzeme daha kırılgan davranış göstermektedir.

Lif içeren ve içermeyen numuneler için yapılan basınç ve çekme deneylerinin sonuçları aşağıda verilmiştir:

1. Basınç dayanımı lif içeriğinin artmasıyla azalmaktadır.

2. Daire kesitli ve içi boş yapıdaki lifler (saman) yüklerin altında esnek davranış göstermiştir.

3. Standart kerpiç karışımları için, lif içeriği şu şekilde olmalıdır; ağırlık olarak yaklaşık 0.5 % sınırlıdır.

4. Büzülme oranı kil ve su içeriği artışıyla artmaktadır.

5. Lif içeriği arttıkça, büzülme oranı azalmaktadır.

6. Çekme mukavemeti, lif içeriğinin artmasıyla azalırken basınç dayanımı artmaktadır (Yetgin, Çavdar, Çavdar, 2005).

Millogo vd. (2015), yaptığı çalışmada kerpicin stabilizasyonunda kenaf liflerini kullanmıştır. Lifler 30 mm uzunluğunda hazırlanarak toprak karışımına 0,2-0,8% oranında ilave edilmiştir. Hazırlanan toprak karışımından 29,5x14x10 cm boyutlarında numuneler üretilmiştir. Toprak ve lif birleşimiyle oluşturulan kerpiç blokların mekanik özellikleri araştırılmıştır. Numunelerin basınç dayanım değerleri 2,3-2,8 MPa arasındadır. Basınç dayanımının optimum değeri ise %0,4 oranında lif eklenen bloklarda elde edilmiştir. Bu optimum değerde basınç dayanım artışı %16 oranındadır. Liflerin toprağa eklenmesinde iki temel neden bulunmaktadır: Kuruma sürecindeki çatlakları engellemek ve üretilen blokların eğilme dayanımını arttırmak. O yüzden eğilme ve çekme deneylerinin yapılması gerekmektedir. Numunelerin eğilme dayanım değerleri 0,9-1,9

MPa aralığında bulunmuştur. Yapılan testler sonucunda liflerin gerilme mukavemetini arttırdığı görülmüştür. Fakat %0,8'den fazla lif eklenmesi toprak-lif matrisini zayıflatarak mukavemette azalmaya sebep olabilir. Lif eklenmemiş toprak bloklar kırılgan davranışa sahiptir ancak liflerle takviye edilenler sünek davranış gösterir. Kerpicin sünek davranışı deprem karşısında rijit bir tavır sergilemesine yol açar bunun yanı sıra çatlak büyümesini de sınırlandırmaktadır. Sonuç olarak, güçlendirilmiş numunelerin sünekliğinin artışı çatlakları tutan liflerle ilişkilidir.

Ouedraogo vd. (2019), yaptıkları çalışmayla fonio lifi ve toprak kompozitinin fiziksel, mekanik, termal ve su etkisi parametrelerini araştırmışlardır. Yan ürün olarak ortaya çıkan foino lifi en fazla 1 cm uzunluğunda ve %0,2-1,0 aralığındaki oranlarda toprak karışımına ilave edilmiştir. Numuneler 4x4x16 cm boyutlarında hazırlanmıştır ve 21 gün kurumaya bırakılmıştır. Numunelere uygulanan testler sonucunda basınç dayanımı için 2,3-2,6 MPa değerlerine ulaşılmıştır. En yüksek dayanım 2,6 MPa değeri ile lif katkısının %0,4 olduğu numune serisinde elde edilmiştir. Bu orandan sonraki numune serilerinde basınç dayanımının düştüğü gözlenmiştir. Eğilme dayanımının test edildiği durumda ise dayanım 0,3-1,3 MPa değerleri arasında değişmektedir. Dayanımın optimum değeri %0,2 katkının bulunduğu seride elde edilmiştir. Optimum değer sonrasında eğilme dayanımı azalmaya başlamıştır. Mikroskobik incelemeler sonucunda fonio lif katkısının fazla olduğu numunelerde gözenekliliğin arttığı görülmüştür. Kılcal su emme miktarı %0.4 katkı miktarına kadar artış göstermiştir, bunun nedeni lifin içerisindeki selülozun hidrofilik özelik göstermesinden kaynaklanmaktadır. Kerpiç içerisindeki su emilimi toprak-lif kohezyonunu zayıflatmaktadır. Liflerin şişmesi ve kurumasıyla malzeme içerisinde boşluklar oluşur. Yapılan testler sonucunda ısı iletkenliğinin lif eklenmesiyle azaldığı görülmüştür. Bu durum selülozun yalıtım özelliğinden kaynaklanmaktadır.

Chan (2011), yaptığı çalışmada kerpiç tuğlalarının fiziksel ve mekanik özelliklerini incelemiştir. Toprak ve su karışımına katkı olarak %0,25-0,75 oranında iki doğal lif eklemiştir. Lifler ananas yapraklarından ve palmiye meyve demetlerinden elde edilmiştir. Bunun yanı sıra bağlayıcı olarak %5-15 oranında çimento kullanılmıştır. Numuneler pişmiş ve pişmemiş kerpiç bloklarından oluşmaktadır. Yapılan deneysel çalışmalarla katkı maddelerinin kerpiç bloklarının fiziksel ve biyolojik özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Üretilen numunelerin basınç dayanımı, su emme miktarları ve biyolojik

özellikleri deneylerle tespit edilmiştir. Lif içeriğinin arttığı numuneler liflerin suyu emmesinden kaynaklı olarak daha erken kuruma eğilimi göstermiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda %0-5 çimento basınç dayanımı için optimum değer olarak bulunmuştur. En yüksek basınç dayanımı sıcaklığa tabi tutulan numunelerde tespit edilmiştir ancak içerisinde çimento bulunan numunelerin basınç dayanımı sıcaklık etkisiyle azalmıştır.

Toprak bloklarının geliştirilmesi için deneysel tasarımları içeren çalışmaların içerisinde az sayıda çalışmada lif içeriğinin en boy oranına odaklanılmıştır. Bu nedenle, toprak bloklarını dengelemek için kullanıldığında optimum mukavemeti üretecek liflerin en boy oranını belirleme gereksinimi vardır. Fiber en boy oranı, bir lifin uzunluğunun çapına oranıdır ve genellikle 1'den büyük tek bir sayı olarak ifade edilmektedir. Bu nedenle bu çalışma, tarımsal atıklardan (hindistancevizi, bagasse ve palmiye yağı) elde edilen üç farklı doğal elyafın en boy oranının toprak bloklarının mekanik özellikleri üzerindeki etkisini araştırmaktadır.

Deneyler sonucunda görülmüştür ki daha uzun liflerin neden olduğu mukavemetteki artışın, lif ile matris arasındaki daha fazla sürtünmeden veya matristeki lifin döngüsünden kaynaklanan fiberin matrise daha fazla yapışmasına bağlı olması muhtemeldir. Blok matrisi başarısız olduğu için daha uzun lifler de daha etkili olacaktır, çünkü daha uzun lifler çatlaklar arasında daha uzun köprüler oluşturacaktır ve matrisin bloğun geri kalanından ayrılan bir kısmına demirleme olasılığı daha düşüktür. Çalışma, genel olarak, lif en boy oranındaki artışın, gelişmiş toprak bloklarının gücü üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğu sonucuna varmıştır (Humphrey, Martinson, 2015).

3.3. Alçı Katkısı

Alçı malzemesi; alçıtaşının farklı derecelerde pişirilmesi ile oluşturulur. Su ile karıştırılmasıyla hızlı şekilde katılaşmaktadır. İnorganik özlü bir bağlayıcıdır ve rengi beyazdır. Alçı katılaşması sırasında dışarıya bir miktar ısı açığa çıkarır ve rötre ile çatlama yapmaz. Alçının 80-90 derecedeki 60-90 N/mm^2 basınca dayanımı çimentodan fazladır (Eriç, 1994).

Alçı su ile karıştırıldığında 6 ile 9 dakika arasında priz alarak kerpiç ile çalışılacak olan süreyi kısaltmaktadır. Çalışılabilecek süreyi arttırmak için karışıma kireç ilave edilerek alçının priz alması 11-12 dakikaya kadar uzatılabilir (Kafesçioğlu, 1980).

Alçı kil ile kurumaya başlamadan önce priz süresini tamamlayarak malzeme içindeki iskeleti sağlar. İskelet kuruma esnasında birbirine yakınlaşan kil tanelerinin hareketlerine engel olmaktadır. Malzemenin yapısında meydana gelen iç gerilmeler sebebiyle birlikte rötre ve yoğunluk azalır. Alçı rötreyi engelleyerek, kuruma sürecinde malzemede kılcal gözenekler yaratır. Bu sayede kerpicin ısı geçirme dayanımı, basınç ve eğilme mukavemeti artmaktadır (Kafesçioğlu, 1980).

80'li yıllardan günümüze kadar yapılan çalışmalarda geleneksel kerpiç alçı karışımıyla birlikte iyileştirilmiştir. Alker, toprağa %10-15 alçı, %1-2 kireç ve toprak malzemenin nem oranına göre %20-25 su ilavesiyle oluşturulmuştur (Kafesçioğlu, 1980).

Yapılan araştırmaları gösteren proje çalışmaları ve deneme yapıları kronolojik sıra ile aşağıda verilmiştir.

1980- TÜBİTAK MAG 505 nolu proje hazırlanmıştır. Bu projede kırsal yerleşimlerde yapıların iyileştirilmesi, modern koşullara uyum sağlayabilecek şekilde inşa edilebilmesi için toprağın yapı malzemesi olarak faydalanılmasının yöntemleri araştırılmış ve alçıyla stabilizasyonu incelenmiştir. Kullanılan toprağın granülometrik birleşimi incelenmiştir. Deney numunelerine alçı ve kireç katılarak fiziksel ve mekanik performansının değerlendirilmesiyle karışımdaki uygun miktarı tespit edilmiştir (Kafesçioğlu, 1980).

1983- Deneme I yapısı (İTÜ Anaokulu binası) alçı katkılı kerpicin inşaatta kullanılabilmesi için "Alçılı Kerpicin Üretim Olanaklarının Araştırılması" Mimar Cemal Tanrıverdi'nin yüksek lisans tezi olarak 1983'te hazırlanmıştır (Tanrıverdi, 1984). Tezde kerpiç yapımı için elverişli toprak cinsinin belirlenmesi, karışımın hazırlanma imkanları ve blok üretim yöntemi incelenmiştir.

1987- İlk ölçümler 1987'de Deneme I yapısında 1 yıl- 6 ay arasında ısı ve nem değerleri ölçülerek gerçekleştirilmiştir. Yıllık enerji tüketimi ve duvarın ısı iletkenlik kat sayısı yapılan ölçümler sonucu belirlenmiştir (Işık, , 1985).

1995- Deneme II yapısı 1995 yılında yapılmıştır. Üretim sürecinde uygulanan araştırma ve deneyler "Alçı Katkılı Kerpiç Yapı Malzemesine Uygun Mekanize İnşaat Teknolojisinin ve Standartlarının Belirlenmesi" başlığıyla " TÜBİTAK İNTAG TOKİ 622 nolu proje olarak sunulmuştur (Işık, 2000).

Kerpicin fiziksel ve mekanik performansı önemli ölçüde güçlendirilmiştir. Buna ilişkin değerler çizelge 3.7-3.8'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.7. Alkerin Fiziksel Özellikleri

Birim Ağırlık (kg/l)	**Rötre (%)**	**Özgül Isı (kcal/kg°C)**	**Isı İletkenlik Katsayısı(W/mK)**	**Isı Depolama (kJ/kgK)**
1,6-1,7	1,0-1,5	0,3	0,4	0,1

Çizelge 3.8. Alkerin Mekanik Özellikleri

Basınç dayanımı (N/mm²)	**Kesme dayanımı (N/mm²)**
2,0- 4,0	0,9- 1,3

Çizelge 3.9. Toprağın Alçı ile İyileştirilmesi Sonucu Özelliklerinin Değişimi (Akkaş,2011).

Toprağın Alçı İle İyileştirilmesi		
Özellikler	Perfosmansa Etkileyen Unsurlar	
	Alçı Katkısı	Alçı + Kireç Katkısı
Basınç Dayanımı	⬆	⬇
Su Emme	⬆	⬇
Suda Dağılma Süresi	⬆	⬇
İşlenebilirlik	⬇	⬆

Balkıs tarafından 2016 yılında yapılan bir başka çalışmada alçı katkılı kerpice atık mermer tozu ve polipropilen elyaf içeriğinin farklı konumlardaki iki toprak kullanılarak alkerin basınç ve eğilme mukavemeti üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Bu çalışma, stabilizatör olarak mermer tozu, alçı ve kireç; polimer olarak elyaf lifli malzemeler temel olarak ise toprak ve su da dahil olmak üzere farklı malzemeler kullanmaktadır. Bu deneyde polipropilen elyafın %0,5, %1,0, %1,5 ve %2,0 olarak farklı oranlarda ve atık mermer tozu (toprağın %10 ve %20 kuru ağırlığı ile) içeren bazı toprak-

elyaf-mermer toz kombinasyonlarının mekanik özellikleri araştırılmıştır. Stabilizatör eklenmeden güçlendirilmemiş kerpiç, basınç dayanımı testinde maksimum 2,84 MPa ve eğilme mukavemeti testinde 1,07 MPa basınç dayanımını gösterir. Lif eklenmiş numuneler, basınç dayanımı testinde maksimum 3,45 MPa ve eğilme mukavemeti testinde 1,43 MPa mukavemet göstermiştir.

Sonuçlar, polimer elyaflı kerpiç numunelerinin üretilmesinin Alker'den daha iyi mekanik desteklere yol açtığını göstermiştir. Her iki toprak için de en çok istenen sonuçlar %0,5 polimer elyaf ve %10 mermer tozu oranı kullanılarak elde edilmiştir. Önerilen karışım, ASTM ve Türk standartlarının minimum basınç ve eğilme mukavemeti gereksinimlerini karşılamaktadır (Balkıs, 2016).

Kerpice alçı katılmasıyla elde edilen faydalar aşağıda sıralanmıştır:

Alçı katılması ile rötre yapması engellenen kerpiç, buharlaşan suyun yerini hava boşluklarının alması ile ısıl depolama özelliği kazanır (Kafesçioğlu, R., 1980).

Alkerin 0,4 W/mK olan ısıl iletkenlik katsayısı, buhar difüzyonu ve ısı tutma kapasitesi sayesinde TS 825 standardının şartlarını sağlamaktadır. Böylece ortamın aşırı sıcak veya soğuk olmasının önüne geçilmektedir (Işık, Akın, 1985).

Alker suya karşı zayıflığının azalması ile, geleneksel kerpicin kısa zamanda dağıldığı durumlarda bile bütünlüğünün korunmasını sağlar, yağmurda deforme olmasını engellemektedir.

Geleneksel kerpiçten 5-10 kgf/cm^2 olarak elde edilen basınç dayanımı alkerle birlikte 35-60 kgf/cm^2 çıkar. Bu sayede yapının daha mukavemetli olması, ısı tutuculuk özelliğinin önemli olmadığı alanlarda, taşıyıcı dış duvarların kalınlığının 30 santimetreye kadar inebilmesine imkân verir.

Eğilme etkisinde çekme dayanımı geleneksel kerpice kıyasla yüksektir, bu sayede kuvvet uygulandığında deformasyonun ve dağılmasının önüne geçilebilir. Bu durum deprem esnasında oluşan yatay kuvvetlere karşı direncini arttırır.

Alker, yüzeylerin daha düzgün olmasına, boyutlarının standart özellik göstermesine, duvar yüzeylerinin düzgün elde edilmesine, katkılı sıva harcının duvara iyi yapışmasına ve ince yapılabilmesine imkân sağlamaktadır.

Katkılı sıva ile düzgün ve toz çıkarmayan yüzeyler, basit bir kireç badana yardımı ile temiz bir hacim ortaya çıkarır (Kafesçioğlu, Gürdal, 1985).

Alçılı kerpiç, ilave malzeme kullanılmayan kerpice göre kuruma esnasında büzülmenin, suda çözülmenin ve dağılmanın daha az miktarda olmasını sağlar. İçine saman gibi ek maddelerin katılmasına da gerek kalmaz. Düşük masraflı olması ve alçı taşının bulunduğu bölgede kolaylıkla üretebilmesinden ötürü yerel bölgelerde de kullanılan bir malzemedir.

3.4. Kireç Katılması

Kireç, kireçtaşının yüksek sıcaklıktaki (800-1500 derece arası) fırınlarda pişirilmesi ile elde edilen, cinsine göre suda ya da havada priz alan, inorganik esaslı bir malzemedir.

Kireç, kagir malzemeyle iyi bir bağ oluşturmaktadır . Kirecin deformasyonu ise yüksektir. Kireç harçları plastik bir yapıya sahiptir ve işlenebilme ile yerleşme özellikleri fazladır (Eriç, 1994).

Toprağın kireç ilavesiyle güçlendirilmesiden sıklıkla geçici yolların yapımında faydanılmaktadır. Bu çalışmalar esnasında ortamın nem oranının yüksek olması etki-tepki bakımından avantajlı bir durum sağlamaktadır.

Kireç toprak karışımında en ideal karışım %20-40 killi toprak kulanımıyla yapılır. Toprağın organik madde oranının fazla olması sağlamlaştırma açısından negatif etki oluşturabilir. Özellikle toprağın sülfat içermesi istenmemektedir ve sülfat kullanılmamalıdır.

Toprağa kütlece %2-3 miktarında katılan kireç, toprağın plastik limitini azaltarak bileşenlerin birbirlerine daha iyi yapışmasını sağlar. Ayrıca kireç ilavesi toprağın kıvam limitini küçülterek sıkılaşması için ideal koşulları da oluşturur. Kerpicin yoğunluğunu azaltır ve buna bağlı olarak suya dayanıklığını arttırır. Basınç dayanımı katkı oranına göre değişmektedir. Belirli bir seviyeye kadar kireç ilavesi basınç dayamını yükseltir. Kil ile kirecin oluşturduğu bağ rötre miktarını düşürür (Holmes, Wıngate, 2000).

Kil ile kireç etkileşimindeki bağın zayıf olması kirecin yalnız kullanımında bağlayıcı olarak görev üstlenmesini zorlaştırır (Holmes, Wıngate, 2000). Bundan dolayı kireç toprağın sağlamlaştırılmasında başka katkı maddeleri ile beraber kullanılmaktadır.

Kerpicin güçlendirilmesinde hidrolik bağlanmayı sağlamak için kirecin puzolanla birlikte kullanılması sağlanarak yapılan araştırmada, kirece ilave olarak puzolan olan uçucu külden faydalanılmıştır (Değirmenci, 2005). Uçucu kül ilavesiyle oluşturulan numunelerin mekanik özelliklerinde iyileşmeler görülmüştür. Basınç dayanımının optimum değer sonrası azalması ise kirecin kullanım miktarına göre değişmektedir.

Fosfoalçı, puzolan, kireç ve kum karşımından kerpiç yapımının araştırıldığı bir çalışmada ise farklı miktardaki malzemelerin blok dayanımına etkisi irdelenmiştir. Toprağa kütlece %5 ile %15 arasındaki miktarlarda kireç ilave edilmesiyle basınç dayanımında artış gerçekleşmiştir (Yang vd., 2009). Karışımdaki kireç katkısıyla hem silika kalsiyüm reaksiyonu için gerekli olan içeriğin sağlandığı hem de hidrolik tepkimelerin başladığı görülmüştür.

Toprağın iyileştirilmesi için yapılan diğer bir araştırmada, kireç alçı ile beraber kullanılmıştır (Kafesçioğlu, 2008). "Alker" ismi verilen bu ürün daha önce bahsedildiği üzere alçının yavaş priz alması sayesinde işlenebilirlik süresinini uzatmak amacıyla konulmuştur. Bunun sonucunda geleneksel kerpiçten daha yüksek basınç ve su dayanımına sahip bir malzeme ortaya çıkmıştır.

Başka bir araştırmada ise, sıcaklık etkisinin toprağın iyileştirilmesine olan etkileri değerlendirilmiştir. Değişen oranlarda kireç, çimento ve uçucu kül kerpiç üretiminde kullanılmıştır. Örnekler açık havada 21 gün, günde 16-18 saat arası 80 derece sıcakta kürlenerek basınç dayanıklılıkları karşılaştırılmıştır. Toprak malzemeye kütlece, %11 kireç ilavesiyle 2,81 MPa basınç dayanımı elde edilmiştir.Toprak ve kireçle birlikte %15 miktarında uçucu kül ilavesiyle elde edilen bloklar laboratuvar koşullarında kurutulduğunda elde edilen başınç dayanımı 0,88 MPa'dır. Bloklar 80 derecede kürlenme yapıldığında ise basınç dayanımı 7,07 MPabulunmuştur.Sıcaklıkla kürlemenin kireç ve kil etkileşimini ivmelendirdiği, bir yıl içinde elde edeceği dayanıma bu metotla 16-18 saat arasında ulaşıldığı görülmüştür (Reddy, Lokras, 1998).

Çizelge 3.10'da toprak ile kirecin sağlamlaştırılması ile bulunan bilgiler verilmiştir. Bilgilere bakıldığında kireç oranının %3'ün üzerinde olmadığı durumlarda

basınç ve su dayanımının arttığı görülmektedir. Kürleme sıcaklığını arttırmak etkileşimi olumlu yönde etkileyerek mekanik performansı güçlendirmektedir. Ortamının nemli olması da basınç ve suya karşı direnci yükseltmektedir.

Çizelge 3.10. Toprağın Kireç ve Kirecin Yanında Başka Bağlayıcılar ile Birlikte İyileştirilmesi (Akkaş,2011).

Toprağın Kireçle İyileştirilmesi							
Özellikler	Perfosmansa Etkileyen Unsurlar						
	Kireç katkı miktarı		Kürleme koşulları		Başka bağlayıcılarla birlikte		
	>%3	<%3	Sıcaklık artışı (80-90°C)	Nem artışı	Puzolon	Çimento	Alçı
Reaksiyon Hızı			⬆	⬆	⬆	⬆	⬆
Basınç Dayanımı	⬆	⬇	⬆	⬆	⬆	⬆	⬇
Su Emme	⬇	⬇	⬇	⬇	⬇	⬆	⬆
Suda Dağılma Süresi	⬆	⬆	⬆	⬆	⬆		

3.5. Puzolan Katılması

Puzolanlar kimayasal olarak SiO_2 ve düşük miktarda AI_2O_3'den oluşurlar. Suyla karıştırıldıklarında çamur haline gelirler. Kuruduktan sonra ise eski durumlarına dönmektedirler. Tek başlarına bağlayıcılık özellikleri göstermezler. Su ve kalsiyum hidroksit ile birleşirlerse bağlayıcılık kazanırlar (Erdoğan, 2003).

Daha önce bahsedildiği gibi puzolanlar kendi başlarına bağlayıcı olmadıkları halde kireçle karıştırıldıklarında bağlaycılık özellikleri kazanmaktadırlar. Bu durum bağlayıcılar içerisinde $Ca(OH)_2$ ile birleşmesiyle gerçekleşmektedir. Suda erimeyen kalsiyum silikat tuzuna dönüşmektedirler. Kireç harcını suya karşı dirençli hale getirmesinden dolayı yıllar boyu kullanılmışlardır. SiO_2 içeren her toprak ise puzolan değildir. Hangi toprağın puzolan özellik gösterdiği çeşitli testler sonucunda belli olmaktadır.

Puzolanlar doğal ve yapay olarak sınıflandırılabilir. Doğal olanları özünde çok az değişikliğe uğramış, volkanik kaynaklı tortul kayalardan oluşmasına rağmen, farklı kaynaklardan maddelerde barındırmaktadırlar.

Yapay puzolanlar ise şist ve kil gibi malzemelerin pişirilemesi ile elde edilirler. Çeşitli sanayi ürünlerinin artıkları da olabilirler. Bilinen yapay puzolanlardan yüksek fırın cürufu, silis dumanı, metal silis vb. alaşımların oluşturulması sürecinden açığa çıkar. Uçucu kül ise linyit kömürünün yakılmasıyla oluşur.

Yapay puzolanlardan ferrokrom cürufunun toprağa kütlece %5, %10, %15 miktarlarında ilave edildiği bir araştırmada kerpicin basınç ve çekme dayanımı ve su karşısındaki davranışı irdelenmiştir. Ferrokrom ilavesiyle yapılan bloklar ile samanla üretilen bloklar karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda ferrokrom ilavesi kerpicin mekanik performanını arttırmıştır. Saman içeriğiyle üretilen numunelerin basınç dayanımı 0,9 MPa iken, %10 ferrokrom ile bu değer 1,5 MPa olarak bulunmuştur (Can, 2008).

Başka bir çalışmada ise atık malzeme olan silis dumanı değerlendirilerek, çevre kirliliğinin önlenmesi ve kerpicin güçlendirilmesi amacıyla kullanılmıştır. Killi toprağa %5- %25 arasında değişen miktarlarda silis dumanı katılarak, kerpicin fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişim incelenmiştir. Silis dumanı oranının artışıyla kerpicin birim hacim kültesinde düşüş gözlenmiştir, %25 oranında katkı ilave edildiği durumda ise birim hacim %8 miktarında azalmıştır. Silis dumanı ilavesinin yapıldığı kerpiç numuneler arasında en yüksek basınç dayanıklığı %15 katkı oranına sahip olan örnekte gözlemlenmiştir. Katkısız kerpiçle kıyaslandığında, katkılı kerpiçlerin basınç dayanım değeri %7 oranında artmış ve 1,7 MPa'ya çıkmıştır. Numunelerin suya karşı dayanımı %15 silis dumanı ilavesine kadar artmaktadır fakat bu değerin üzerindeki ilave oranları ile azalmaktadır (Kıvrak, 2007).

Başka bir araştırmada ise toprağa puzolan, kireç ve sodyum hidroksit ilave edilerek numuneler 750 derecede kürlenmiştir. Numuneler 40 derecede ve nem oranının yüksek olduğu ortamda kurumaya bırakıldıktan sonra 7. ve 28. günde numunelerin fiziksel ve mekanik özellikleri test edilmiştir.

Deneyler sonucunda 28 günlük örnekler üzerinde yapılan testlerin daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Basınç dayanım değeri 6 ile 10 MPa arasında değişmektedir. Su emme oranı ise %20 ve %22.5 aralığındadır.

Kireç ve puzolan karışımındaki kireç oranı %20'den %30'a çıkartıldığında basınç dayanımında %12 yükseliş kaydedilmiştir. Toprağa ilave edilen kireç ve puzolan oranının %4'den %9'a arttırılması ile ise %40 düşüş görülmüştür. Killi toprak ve kireç miktarındaki artışın su emmeyi düşürdüğü görülmüştür (Bıllong, Mello, Njopwouo, 2008).

Toprağın puzalon ile güçlendirilmesi ile ilgili yapılan çalışmalarda elde edilen veriler Çizelg 3.11'de verilmiştir. Kullanılan puzalon katkısı ve toprak maddesinin cinsine göre elde edilen sonuçlarda değişiklikler görülmektedir. Kerpice puzolan eklenmesi belirli bir orana kadar kerpicin su ve basınç dayanıklığını arttırmaktadır. %3 oranını aştıktan sonra ise dayanıklılıkta düşüşe neden olmaktadır. Yapılan deneylerde uygun puzolan miktarı %10 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 3.11. Toprağın Puzolan ve Puzolanın Yanında Başka Bağlayıcılar ile Birlikte İyileştirilmesi (Akkaş, 2011).

Toprağın Puzolanla İyileştirilmesi					
Özellikler	**Perfosmansa Etkileyen Unsurlar**				
	Puzolan katkı miktarı		**Kürleme koşulları**		**Başka bağlayıcılarla birlikte**
	>%10	**<%10**	**Sıcaklık artışı (80-90°C)**	**Nem artışı**	**Kireç**
Basınç Dayanımı	⬆	⬇	⬆	⬆	⬆
Su Emme	⬆	⬇	⬆	⬆	⬆
Suda Dağılma Süresi	⬇	⬇	⬆	⬆	⬆

3.6. Bitüm Katılması

Toprak içerisine çözelti olarak eklenmektedir. Toprak malzemeye karıştıktan sonra içindeki çözünen moleküller buharlaşır. Sonrasında bitüm damlacıkları, kuvvetli bir bağla toprağı kaplayıp yapışmaktadır. Kilin su emme miktarını azaltmakta ve toprağın su etkisine karşı dayanımını arttırmaktadır. Bunun yanı sıra bağlayıcı yapıda olmayan toprakla kullanılmasıyla bağlayıcı görevini üstlenmektedir (Houben, Guillard 1989).

Su geçirmeme özelliğini sağlayan maddeler içinde en tanınmışıdır. Bitüm, petrol, vb. malzemelerle yapılan iyileştirme çalışmalarında iki özellik bulunur. Birincisi iç sürtünmeyi değiştirmeyecek kalınlıkta bitüm malzeme ile taneler çevrelenerek kohezyonu yükseltmektir. İkincisi ise kapiler boşlukları doldurarak rutubete karşı koruma sağlamaktır. Bitüm oranının yüzdesi ayarlanarak toprağa eklendiğinde toprak daha dayanımlı olmaktadır. Ayrıca suya karşı direnci artmaktadır (Kafesçioğlu, Gürdal, 1985).

3.7. Plastik Elyaf Katılması

Plastik endüstrilerinde çok miktarda plastik elyaf ve polistiren kumaş üretilmektedir. Bu malzemenin çevreye atık olarak çıktı yapması olumsuz sonuçlar doğurabilecektir. Bu malzemeler, elyaf takviyeli çamur tuğlalarının yapımında yardımcı malzemeler olarak görev yapabilirler.

Hanifi Binici ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada 2005 yılında plastik elyaf takviyeli kerpicin basınç dayanımının geleneksel katkısız kerpiçten daha yüksek olduğu bulunmuştur. Çünkü, fiber katkı gerilmelere karşı güçlüdür. Kerpiç tuğlada, hem boyuna hem de enine yönlerde lifler vardır. Bu lifler, kerpiçte ortaya çıkabilecek deformasyonları önler, böylece tuğlanın şeklini korur ve yüzeye yakın bölgelerin ezilmesini ve düşmesini önler. Çamurda fiber olduğu yerlerde, dağılımın etkisinden kaynaklanan enine genişleme lifler tarafından önlenir. Bu liflerin varlığı kerpiç tuğlasının esnekliğini arttırır. Kerpiç kurumaya başladığında deforme olur ve çekiş (büzülme) gerçekleşir. Elyafların rasgele dağılımı ve sayıları arttıkça, kerpiç tuğlasının çekme mukavemeti ve elastikiyet özellikleri gelişir. Böylece, kerpiç daha esnek davranır. Fiber takviyeli kerpiç tasarım uygulaması, elastik olmayan deforme olan numunelere süneklik sağlamakla ilgilidir.

Elyaf takviyeli çamur tuğlalarının basınç dayanımı geleneksel tuğlalardan daha fazladır, bu nedenle depremlere karşı daha dayanıklıdır. Ayrıca, çamur tuğlalarında lif varlığı yapılara esneklik sağlar ve böylece deprem direncini arttırır.

Lifleri nedeniyle, elyaf takviyeli kerpiç, diğer kerpiç türlerine kıyasla daha elastik enerji depolayabilir ve bu da depremlere karşı daha dayanıklı hale getirir. Aynı nedenle, fiber takviyeli kerpiç, kerpiç tuğla ile karşılaştırıldığında daha avantajlıdır. Deprem

çalışmalarında kerpiç üzerine iki boyutlu yükleme uygulanmasıyla yapılan testlerde, kerpiç tuğlaların yeterince güçlü, sünek ve depremlere karşı dirençli olduğu gözlenmiştir.

Çizelge 3.12. Toprağın Plastik Elyaf ile İyileştirilmesi (Akkaş, 2011).

Toprağın plastik elyaf ile iyileştirilmesi			
Özellikler	**Perfosmansa Etkileyen Unsurlar**		
	Kil + pomza + çimento + kireç + alçı + plastik elyaf + su	**Kil + pomza + çimento + kireç + alçı + saman + su**	**Kil + pomza + çimento + kireç + alçı + polistiren kumaş + su**
Basınç Dayanımı	⬆	⬆	⬆
Su Emme	⬆	⬆	⬆
Suda Dağılma Süresi	⬆	⬆	⬆

Çizelge 3.13. Toprağın bağlayıcılarla iyileştirilmesi (Akkaş,2011).

Toprağın Bağlayıcılarla İyileştirilmesi				
Perfosmansa Etkileyen Unsurlar		**Özellikler**		
		Basınç Dayanımı	**Su Emme**	**Suda Dağılma Süresi**
Alçı Katkısı		⬆	⬆	⬆
Alçı + Kireç Katkısı		⬆	⬇	⬆
Kireç Katkısı	>%3	⬆	⬇	⬆
	<%3	⬇	⬇	⬆
Kireç + Puzolon		⬆	⬆	⬇
Kireç + Çimento		⬆	⬆	⬆
Puzolon Katkısı	>%10	⬆	⬆	⬇
	<%10	⬇	⬇	⬇
Plastik Elyaf + Çimento + Kireç +Alçı		⬇	⬇	⬇

BÖLÜM 4

MATERYAL VE METOT

Yöresel ayçiçeği saplarının kerpiç üretim sürecinde katkı olarak kullanıldığı bu çalışmada kullanılan materyal ve metotlara bu bölümde yer verilmiştir.

4.1. Materyal

Bu bölümde kerpiç yapımında kullanılan bileşenler ve özellikleri açıklanarak kerpiç yapımında ve özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan deneysel yöntemler açıklanmıştır.

4.1.1. Toprak

Deneysel çalışmada Manisa ili, Turgutlu bölgesi tuğla fabrikasından alınan killi toprak kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılan toprak Şekil 4.1.'de verilmiştir.



Şekil 4.1. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Toprak

4.1.2. Ayçiçeği Sapı

Bu araştırmada kullanılan ayçiçeği sapları 2021 yılında Trakya Bölgesi'nde hasat edilmiştir. Çalışma için hasat sonrası sağlamlığını koruyan saplar seçilmiştir. Sonrasında ayçiçeği sapları kesilerek, parçalanarak ve dövülerek 2-3 cm boyutlarına getirilmiştir. Çalışmalarda kullanılan ayçiçeği sapları Şekil 4.2.'de ve Şekil 4.3.'te gösterilmiştir.

Ayçiçeği bitkisi, bünyesinde su tutan ve organik madde bakımından zengin topraklarda yetişmektedir. Çok kurak veya yarı kurak iklimlerde üretimi yapılır. Işık istemi yüksek olan bir bitkidir. Ayçiçeği sapı ölçüleri 1-5 m, çapı ise 1-10 cm ve tabla çapları 10-60 cm arasında değişmektedir. Bitki sapları sağlam ve güçlü niteliktedir. Kullanım alanları gıda, boya, kimya ve temizlik gibi endüstrilerde çeşitlilik göstermektedir. Türkiye'de her yıl ayçiçeği üretiminden kaynaklı yaklaşık 2 milyon ton atık ürün oluşmaktadır. Bu ayçiçeği saplarından oluşan yan ürünler çiftçileri depolama açısından zor durumda bırakmaktadır. Yakılarak ev ısıtmasında kullanılan ayçiçeği sapları ise çevreye ciddi zararlar vermektedir (İlisu, 1973 ve Binici vd. 2020).



Şekil 4.2. Parçalanmamış Ayçiçeği Sapları



Şekil 4.3. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Ayçiçeği Sapları

4.1.3. Deneylerde Kullanılan Cihazlar

Deneylerde Manisa Celal Bayar Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği, Yapı Malzemesi Laboratuvarı'ndaki cihaz ve araçlar kullanılmıştır.

Malzemelerin tartılması Precisa LS 6200C SCS hassas terazi ve Densi marka elektronik baskül ile yapılmıştır.

Toprak ve sapların karıştırılması için Utest UTC-0752 Beton Mikseri kullanılmıştır.

Eğilme dayanımı ölçümleri; Şekil 4.4.'te gösterilen, Universal Test Cihazı'nda yapılmıştır. Basınç dayanımı değerleri; Şekil 4.5.'te verilen, Besmak marka pres cihazıyla ölçülmüştür.

Ultra ses geçiş hızı ölçümleri V-Meter MK III cihazıyla yapılmıştır.



Şekil 4.4. Universal Test Cihazı



Şekil 4.5. Pres (Basma Deneyi) Cihazı

4.2. Metot

Bu çalışmada malzemenin geliştirilmesi için gözlem, deney ve ölçüm çalışmaları yapılacaktır. Araştırmada; numunelerin hazırlanmasında kullanılan toprağın cinsi çok önemlidir. Uygun toprak yarı nemli haldeyken avuç içerisinde sıkıldığında ele yapışmalı, top duruma gelmeli, yere bırakıldığı zaman yere yapışmalı ve bir bütün halinde kalmalıdır. Çalışmada kerpiç yapımına uygun killi toprak ile ayçiçeği sapı lifi ve Manisa ili şehir şebeke suyu kullanılacaktır. Uygun nitelikte toprağın elek analizi yapıldıktan sonra numuneler TS-2514'e uygun olarak hazırlanacaktır. Numunelerin hava ortamında kuru birim hacim ağırlıkları ölçülecektir. Numunelere 28. gün ve 56. günde suya dayanıklılık, ultra ses geçiş hızı, eğilme ve basınç dayanımı gibi deneyler yapılarak fiziksel ve mekanik özellikleri incelenecektir. Bu çalışmaların yanı sıra hazırlanan numunelerin ve ayçiçeği lifinin SEM görüntülemesi yapılarak malzemelerin iç yapısı ve liflerin toprak malzemeyle oluşturmuş olduğu ilişki analiz edilecektir.

4.2.1. Numunelerin Hazırlanması

Kerpiç numuneler katkısız ve katkılı olarak üretilecektir. Ayrıca ayçiçeği saplarının malzemenin özelliklerine olan etkisinin anlaşılabilmesi için kerpiç toprağına kütlece %0,25, %0,5, %0,75, %1 ve %1,25 oranlarında ilavesiyle malzeme niteliğinin değişimleri araştırılacaktır. Kontrol numune %0 oranında katkı maddesi içerecektir. Numuneler: "Bir defada teslim edilecek kerpiçler bir parti sayılarak, on adetten az olmamak üzere hazırlanmalıdır." TSE-2514'e uygun olarak her deney dizisi için Çizelge 4.1.'de gösterildiği üzere 18 adet numune hazırlanmıştır**.**

Turgutlu tuğla fabrikasından alınan killi toprak belirlenen oranlarda tartılarak karıştırma mikserine eklenmiştir. Ayçiçeği lifleri her bir seri için toprak ağırlığının kütlece yüzdesi oranında hassas terazide ölçüm yapılarak miksere ilave edilmiştir. Kullanılan malzemeler 10 dk homojen oluncaya kadar karıştırılmıştır. Toprak ve lifler karıştıktan sonra yavaş yavaş su eklenerek uygun su oranı tespit edilmiştir. Bütün serilerde bu su oranı kullanılmıştır.

Çizelge 4.1. Numune Üretim Tablosu

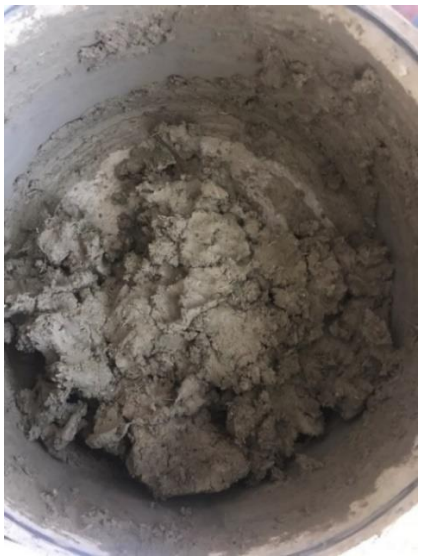
Numune Üretim Tablosu								
Numune Kodu	**Ayçiçeği Sapı Lifi % (Toprak Ağırlığının)**	**Basınç Dayanımı Deneyi İçin Numune Sayısı**		**Suya Dayanıklılık Deneyi İçin Numune Sayısı**		**Ultrases Geçiş Hızı ve Eğilme Dayanımı Deneyi İçin Numune Sayısı**		**Toplam Numune Sayısı**
		28.Gün	**56.Gün**	**28.Gün**	**56.Gün**	**28.Gün**	**56.Gün**	
N1	0,0	3	3	3	3	3	3	18
N2	%0.25	3	3	3	3	3	3	18
N3	%0.5	3	3	3	3	3	3	18
N4	%0.75	3	3	3	3	3	3	18
N5	%1	3	3	3	3	3	3	18
N6	%1,25	3	3	3	3	3	3	18
Toplam Numune Sayısı		18	18	18	18	18	18	108

Çizelge 4.2. Numune Boyutları

Numune Boyutları	
Birim Hacim Kütle Deneyi	120x120x120 mm
Suya Dayanıklılık Deneyi	120x120x120 mm
Basınç Dayanımı Deneyi	70x70x70 mm
Eğilme Dayanımı Deneyi	40x40x160 mm
Ultra Ses Geçiş Hızı Deneyi	70x70x70 mm



Şekil 4.6. Malzemelerin Miksere Eklenmesi



Şekil 4.7. Kerpiç Harcı

Mikserde hazırlanan kerpiç harcı yukarıda Şekil 4.7.'de verilmiştir. Hazırlanan kerpiç hamuru yağlanmış kalıplara elle sıkıştırılarak doldurulmuştur. Özenle ve dikkatle kalıplardan çıkarılan numuneler laboratuvar ortamında kurumaya bırakılmıştır. Hazırlanan numuneler Şekil 4.8.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Hazırlanan Numuneler

4.2.2. Elek Analizi

Çalışmaların yapıldığı toprağa uygulanan, partikül büyüklüğü dağılımını belirlemek için yapılan test, elek analizi olarak adlandırılmaktadır. İhtiyaca ve partikül malzemesine bağlı olarak uygulama için farklı eleme yöntemleri mevcuttur. Bunlar: manuel eleme yöntemi, mekanik eleme yöntemi, kuru eleme yöntemi ve ıslak eleme yöntemidir. Bu çalışma, farklı açıklık boyutlarına sahip bir dizi elek kullanılarak yapılmaktadır. Test, kademeli olarak daha küçük açıklık boyutlarına sahip bir dizi elek üst üste konularak ve toprak numunesi sıralanmış elek takımından geçirilerek gerçekleştirilir. Açıklıkların boyutundan daha büyük çaplara sahip taneler elek tarafından tutulurken, daha küçük çaplı taneler elekten geçer. Bu yöntemle daha büyük parçacıklar daha küçük parçacıklardan ayrılır.

Test prosedürü aşağıdaki adımlardan oluşur:

1- En az 500 gram olması gereken kuru bir toprak örneği tartılır.

2- Testten önce her elek iyice temizlenir. Analiz sırasında kullanılacak elekler ve elenen malzemelerin toplanacağı kap tartılır.

3- Daha büyük açıklıklara sahip olan elekler üstte yer alacak şekilde elekler artan düzende sıralanır.

4- Toprak örneği üst elek içine yerleştirilir ve üzeri bir kapakla kapatılır.

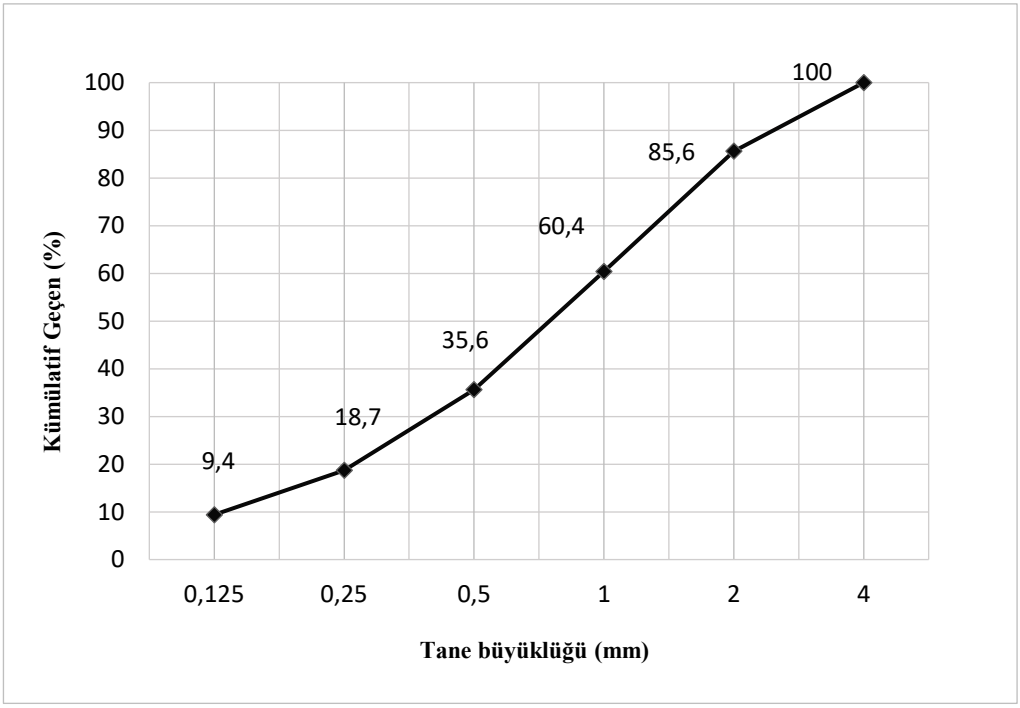
5- Elekler 10 dakika boyunca sallanır daha sonra her bir eleğin ağırlığı ölçülür.

Bu araştırmada elek analizi mekanik yöntemle elle yapılmıştır. TS EN 1015-1'e uygun yapılmış olan ve 0-4 mm aralığında değişiklik gösteren açıklık boyutlarına sahip elekler kullanılmıştır.

Her bir elek üzerinde kalan tanelerin ağırlığı, testten sonra kaydedilen elek ağırlığından boş eleğin ağırlığının çıkarılmasıyla hesaplanır. Eleklerden geçemeyen parçacıkların toplam ağırlıkları toplanır ve toprak numunesinin başlangıç ağırlığı ile karşılaştırılır. Bu karşılaştırma sonucunda % 2'den daha düşük bir fark gereklidir. Her bir elek üzerinde tutulan yüzde, tutulan her bir ağırlığın toprak numunesinin başlangıç ağırlığına bölünmesiyle belirlenir. Daha sonra her bir elekten geçen toplam yüzde, söz konusu elekte tutulan kümülatif yüzdenin ve üzerindekilerin toplamdan çıkarılmasıyla hesaplanır. Toprağın elek analizi Çizelge 4.2.'de, granülometri eğrisi ise Şekil 4.9.'da verilmiştir.

Çizelge 4.3. Toprağın Elek Analizi

Elek Çapı (mm)	0,125	0,25	0,5	1	2	4
Geçen (%)	9,4	18,7	35,6	60,4	85,6	100



Şekil 4.9. Toprağın Granülometri Eğrisi

4.2.3. Birim Hacim Kütle Deneyi

Bir cismin kütlesinin, boşluklarıyla birlikte doğal durumdaki hacme olan oranının ifadesidir. Boşluklu ve gözenekli cisimlerde birim hacim kütle oranı düşüktür. Malzemelerin birim hacim kütlesi mukavemet, ısı ve iletkenlik, ultrases geçiş hızı gibi özellikleri üzerinde etkilere sahiptir. Numunenin özelliğine bağlı olarak farklı şekillerde yapılır. Bu çalışmada TS EN 1015-10 standardı numunelerin kuru birim hacim ağırlıklarının belirlenmesi için takip edilmiştir. Düzgün geometrideki numunenin dış boyutları dikkatlice ölçülerek hacmi bulunur. Numunenin kütlesi (kg) hassas terazi ile tartılır, numune hacmine **(**dm³**)** bölünerek hesaplanır.

$\rho = \frac{G}{V_h}$ (kg/dm^3) formülü ile hesaplanır.

Bu formülde;

ρ : Birim hacim kütlesi, (kg/dm^3)

G : Kurutulmuş numunenin kütlesi, (kg)

V_h : Numunenin hacmi (b x l x h), dm³' dir.

Taze harcın birim hacim kütlesinin belirlenmesi: TS EN 1015-6'ya göre hacmi ve kütlesi belirli olan, bir kap içine taze harç boşluk miktarı olabildiğince az olacak şekilde doldurulur ve tartılır. Tartım sonrasında elde edilen sonuçtan boş kabın ağırlığı çıkarılır. Elde edilen sonuç kabın hacmine bölünerek birim kütle hesabı yapılır.

$\rho = \frac{m_2 - m_1}{V_h}$ (kg/dm^3) formülü ile bulunur.

Burada;

ρ : Taze harcın birim hacim kütlesi, (kg/dm^3)

m_1 : Boş kabın kütlesi (kg)

m_2 : Harçla dolu kabın kütlesi (kg)

V_h : Ölçü kabının hacmi (dm^3)'dir.

4.2.4. Suya Dayanıklılık Deneyi

Suya dayanıklılık özelliğinin araştırılması için 120x120x120 mm boyutlarında hazırlanmış ve kurutulmuş olan numunelere TS 2514'te yer alan "2.1.6- Çamurlaşma Deneyi" yapılmıştır. Hazırlanan numuneler yüksekliğinin yarısına kadar su gelecek şekilde su ile doldurulmuş bir kap içerisine bırakılmıştır. Su içerisinde beklemeye bırakılan blokların su etkisiyle dağılıp ayrılmasına kadar geçen süre gözlemlenmiştir. Numune bir saatte dağılırsa bu numunenin suda kolayca çamurlaşacağı anlamına gelir. TS 2514'te 45 dakika ve daha az sürede kopup, dağılan topraktan kerpiç yapılamayacağı belirtilmiştir.

4.2.5. Basınç Dayanımı Deneyi

Kerpiç yapımına uygun nitelikteki topraktan hazırlanmış 70x70x70 mm boyutlarındaki numuneler kalıplardan çıkarıldıktan sonra hava akımının bulunmadığı laboratuvar ortamında kurumaya bırakılmıştır. Bu numuneler sabit bir kütle durumuna ulaştığı zaman 28. ve 56. günde, Şekil 4.10.'da gösterildiği gibi basınç dayanımı deneyine tabi tutulmuştur. Her bir deney hazırlanan numune serisinden 3 tane küp numuneye yapılmıştır. Deney sonuçları Besmak marka pres makinesinde numune hazırlanış yönüne

ve yüzeyine eşit dağılımda 0,04 MPa/s yükleme yapılarak numune kırılıncaya kadar kuvvet uygulanmıştır. Deney numunesinin basınç dayanımı 3 numuneden alınan sonucun ortalaması alınarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.10. Basınç Dayanımı Deney Presi

Basınç dayanımı, numuneye kırılma esnasında uygulanan en yüksek kuvvetin numunenin kesit alanına oranı sonucunda elde edilir.

$\sigma_k = \frac{P_{max}}{A}$ formülü ile hesaplanır. Bu formülde;

σ_k : Basınç dayanımı (N/mm^2),

P_{max} : Kırılma yükü (N),

A : Numunenin kesit alanı (mm^2)'dir.

TS 2514'e göre kerpiç bloklarının basınç dayanımı 8 kgf/cm^2' den az ve 3 numunenin ortalama dayanım değeri 10 kgf/cm^2' nin altında olmamalıdır.

4.2.6. Eğilme Dayanımı Deneyi

Eğilme dayanımı (bükülme dayanımı) bir malzemenin kırılmadan veya kalıcı olarak deforme olmadan önce alabileceği maksimum kuvvet miktarıdır. Üç noktalı eğilme mukavemeti testi için, malzemede bir kopma veya kalıcı bir bükülme oluşana kadar numunenin ortasına sürekli artan bir yük uygulanır. Bir eğilme test cihazı artan miktarda kuvvet uygulayabilir ve kırılma noktasındaki kuvvet miktarını tam olarak

kaydedebilir. Deney, üç noktalı eğilme testi özelliğine sahip Universal Test Cihazı ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.11. Üç Noktalı Eğilme Testi

Prizmatik 40X40X160 mm boyutlarındaki kerpiç numuneler sabit bir kütle durumuna ulaştığı zaman 28. ve 56. günde, Şekil 4.11'de görüldüğü gibi silindir destekler arasına yerleştirilmiştir. Desteklerin açıklığı 150 mm olarak tutulmuş, açıklık uzunluğunun en az %10'luk bir çıkma yapması sağlanmıştır. Dikey yük, maksimum piston kullanılarak açıklık uzunluğunun ortasına uygulanmıştır.

$\sigma_f = \frac{3P_{max}L}{2BH^2}$ formülü ile hesaplanır. Bu formülde;

σ_f : Eğilme dayanımı (N/mm^2),

P_{max} : Numuneye uygulanan maksimum kuvvet (N),

L : Silindir mesnetleri arasındaki uzunluk (mm),

B : Numune genişliği (mm),

H : Numune yüksekliği (mm)'dir.

4.2.7. Ultrases Geçiş Hızı Deneyi

Ultrases dalgaları işitilebilir sınırların üstünde kalan frekanslardaki ses dalgalarıdır. Frekans değeri 20 Hz-20000 Hz aralığındaki ses dalgaları duyulabilir. 20000 Hz'den yüksek frekanstaki sesler duyulamaz. Bu ses dalgalarına ultrases adı verilmektedir. Ultrases dalgalarının meydana geliş şekli duyulabilir ses dalgalarıyla benzerdir. Fakat ultrases dalgalarını üreten kaynak yüksek frekansta titreşim yapmaktadır. Bu ses dalgalarını meydana getiren üreteçler enerji dönüşümleriyle çalışmaktadır. Bu tür dönüştürücülere transduser denilmektedir (Siyahi, 1986).

Ultrasonik ses geçiş hızı testi, elektroakustik bir transduser tarafından oluşturulan ve elemanın bir yüzeyinden diğerine geçen 50-58 kHz'lik ultrasonik darbelerin geçiş süresi anlamına gelmektedir. Ultrasonik darbelerin geçiş süresi, test edilen malzemenin yoğunluğuna ve elastik özelliklerine bağlıdır. Malzemenin gözenekli yapısı ses dalgalarının hızı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. (Faraj vd., 2022).

Bu test numunenin karşılıklı iki yüzeyine alıcı ve verici olarak iki farklı transdüserin yerleştirilmesi ile uygulanmaktadır. Deneylerde kullanılan cihaz Şekil 4.12.'de verilmiştir. Numunedeki ses geçiş süresine bağlı olarak elastik özellikler değerlendirilebilmektedir. Bu yöntemle numunedeki çatlakların yerleri ve ölçüsü hakkında bilgi edinilebilir (Siyahi, 1986).



Şekil 4.12. Ultrases Cihazı

Tranduserin oluşturduğu boyuna dalgalar uzunluğu bilinen numuneden geçerek diğer trandusere iletilir. Ultrases dalgalarının geçiş hızı aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır.

$V = \frac{L}{T}$ bu formülde;

V : Ultrases dalga hızı (km/sn)

L : Numunenin dik iki yüzeyi arasındaki uzaklık (m)

T : Ses dalgasının geçiş süresi (sn)'dir.

UPV testi sonuçlarının yüksek olması, malzeme içindeki boşlukların az bunun sonucu olarak da dayanımın yüksek olduğunu göstermektedir. Fakat bu parametre tek başına yeterli olmamaktadır. Dayanım sonuçlarıyla birlikte değerlendirilmelidir.

4.2.8. Sem Analizleri

SEM, katı malzemelerin morfolojisini, topolojisini ve ayrıntılı yüzey yapısını karakterize etmek için yaygın olarak kullanılan bir tekniktir. Büyütülmüş görüntüler elde etmek için ışık kaynağı ve cam mercekler kullanan mikroskobun aksine, SEM, yüksek çözünürlükte görüntüler üretmek için hızlandırılmış elektron demetleri ve elektrostatik veya elektromanyetik mercekler kullanmaktadır. SEM'de elektronlar bir noktaya odaklanır ve numune boyunca sırayla tarama yapılır. Her lokasyonda numuneden yayılan sinyaller dedektörler tarafından toplanır. Dedektör sinyali, numunedeki ışının bilinen konumu ile senkronize edilir ve sinyal yoğunluğu, ilgili görüntü pikselini modüle etmek için kullanılır. Seri olarak toplanan sinyaller, boyut-piksel dağılımı seçilen tarama düzenine bağlı olan bir görüntü oluşturmak üzere birleştirilir. (Parvez, 2019).

Ayçiçeği saplarının ve kerpiç numunelerin gözenekli yapısını ve morfolojisini incelemek için Fei Quanta Feg 250 mikroskobu kullanılmıştır. Numuneler iletken özellik taşımadığı için altın-palladyum ile kaplanmıştır. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak hem ayçiçeği sapının hem de kerpiç numunelerin mikroyapısal özellikleri incelenmiştir. Bu mikroyapısal araştırmalar ayçiçeği sapı için 5 kV, kerpiç numuneler için 10 kV ile gerçekleştirilmiştir. Kerpiç numunelerin ayçiçeği sapı ile toprak arasındaki ilişkisi analiz edilmiştir.

BÖLÜM 5

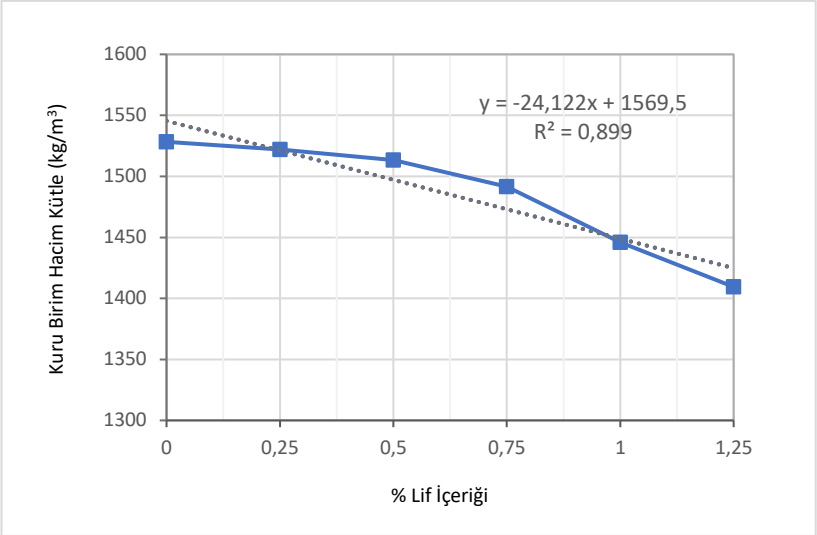
DENEYSEL BULGULAR

5.1. Birim Hacim Kütle Deney Sonuçları

Numunelerin 28. günde TS EN 1015-10 standardına göre kuru birim hacim ağırlıkları bulunmuştur. Ortalama karışım kompozisyonlarından her biri için üç örnek üzerinde test yapılarak sonuçlar elde edilmiştir. Kerpiç örneklerinden elde edilen kurumaya göre yoğunluk analizi sonuçları Çizelge 5.1.'de görülebilir. Kerpiç örneklerinin yoğunlukları 1528 kg/m^3 (%0 lif içeriği) ile 1409 kg/m^3 (%1,25 lif içeriği) arasında değişmektedir. Kerpiçlerin kuru yoğunluklarının numunenin içerdiği ayçiçeği sapı lifi oranı arttıkça azaldığı gözlemlenmiştir. Kontrol numuneye göre %0,25 lif içeriği için yaklaşık olarak %0,4, %0,50 lif içeriği için %1, %0,75 lif içeriği için %2,4, %1 lif içeriği için %5,4, %1,25 lif içeriği için %7,8 oranında birim hacim kütle değeri azalmıştır. Ayçiçeği sapı lifi yoğunluğundaki azalma lif kerpiç yoğunluğuna bakıldığında düşük olarak tanımlanmaktadır. Liflerin dahil edilmesi yoğunluğun azalmasına neden olmaktadır.



Şekil 5.1. N4-1 (%0,5 Lif İçeriğine Sahip) Kurumuş Numunenin Kütlesi



Şekil 5.2. Numunelerin Birim Hacim Kütlesinin Çizgi Grafiği

Çizelge 5.1. Numunelerin Birim Hacim Kütle Değerleri

Lif İçeriği (%)	Numune 1 Ağırlık (g)	Numune 2 Ağırlık (g)	Numune 3 Ağırlık (g)	Ortalama Ağırlık (g)	Hacim (m^3)	Ortalama Birim Hacim Ağırlık (kg/m^3)
0	2655,79	2614,10	2652,90	2640,93	0,00173	1528
0,25	2650,23	2624,36	2617,16	2630,58	0,00173	1522
0,5	2649,90	2606,70	2588,80	2615,13	0,00173	1513
0,75	2533,40	2612,90	2586,10	2577,47	0,00173	1492
1	2430,20	2518,50	2547,12	2498,61	0,00173	1446
1,25	2474,00	2417,30	2415,30	2435,53	0,00173	1409

Taze Harcın Birim Hacim Kütlesi

Çizelge 5.2. Taze Harcın Birim Hacim Ağırlık Değerleri

Lif İçeriği (%)	Ağırlık (g)	Hacim (cm^3)	Birim Hacim Ağırlık (g/cm^3)
0	156,2	83	1,88
0,25	155,8	83	1,88
0,5	155,3	83	1,87
0,75	154,6	83	1,86
1	154,1	83	1,86
1,25	153,2	83	1,85

5.2. Basınç Dayanımı Deney Sonuçları

Kerpiç numunelere 28. ve 56. günde, Şekil 5.3.'te gösterilen basınç dayanımı testleri yapılmıştır. Her bir deney serisinden 3 tane numunenin kırılma anındaki kuvvet değerleri ortalaması alınarak ortalama dayanım (N/mm^2) sonuçları elde edilmiştir. Basınç dayanımı testinden elde edilen sonuçlar Çizelge 5.3.'te verilmiştir.

TS 2514'e uygun olarak hazırlanmış ve 28 günlük kuruma sonrası dayanım testi uygulanan numunelerin ortalama basınç dayanım değerleri 2,74 ile 3,27 MPa aralığında değişim göstermiştir. Laboratuvar koşullarında 56 gün bekletilmiş numunelerin ortalama basınç dayanım sonuçları ise 2,81 ile 3,67 MPa aralığındadır. Lif içeriğinin belli bir noktaya kadar basınç dayanımını arttırdığı gözlenmiştir. En yüksek basınç değeri %0,5 lif içeriğine sahip numunelerden elde edilmiştir. Dayanımın lif içeriğinin %0,5'in üzerine çıktığı %0,75, %1 ve %1,25 lif içerikli numunelerde azalmış olduğu görülmüştür. Elde edilen veriler TS 2514'te belirtilmiş olan en küçük mukavemet değeri 8 kgf/cm^2'nin üzerindedir. Ayrıca numunelerin ortalama dayanım değerleri de 10 kgf/cm^2'den yüksek olup standardın üstündedir.



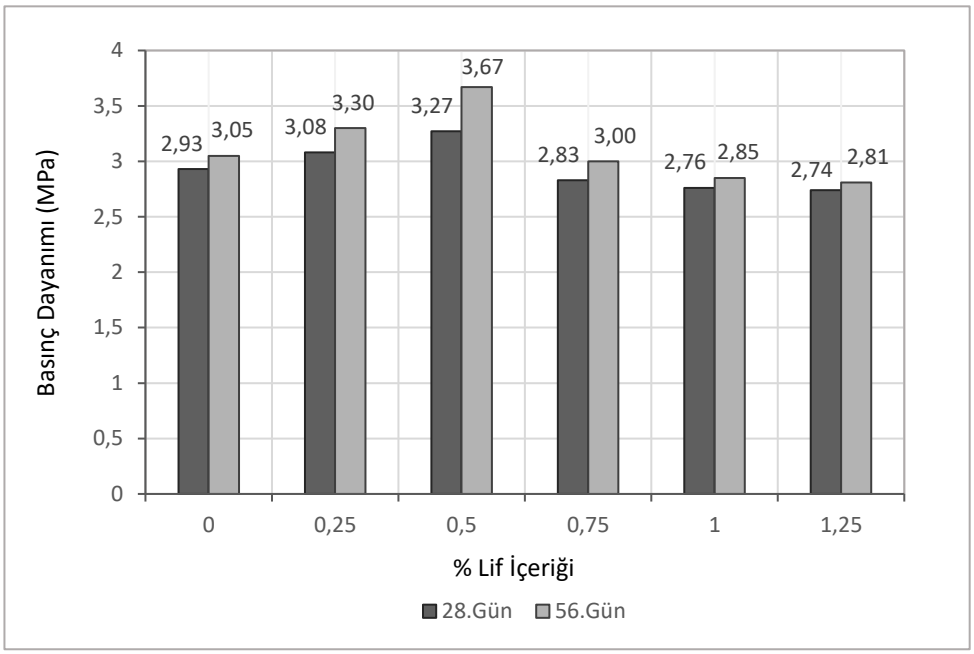
Şekil 5.3. N5-2 Kodlu Numunenin Basınç Dayanımı Deneyi

Çizelge 5.3. Basınç dayanımı sonuçları

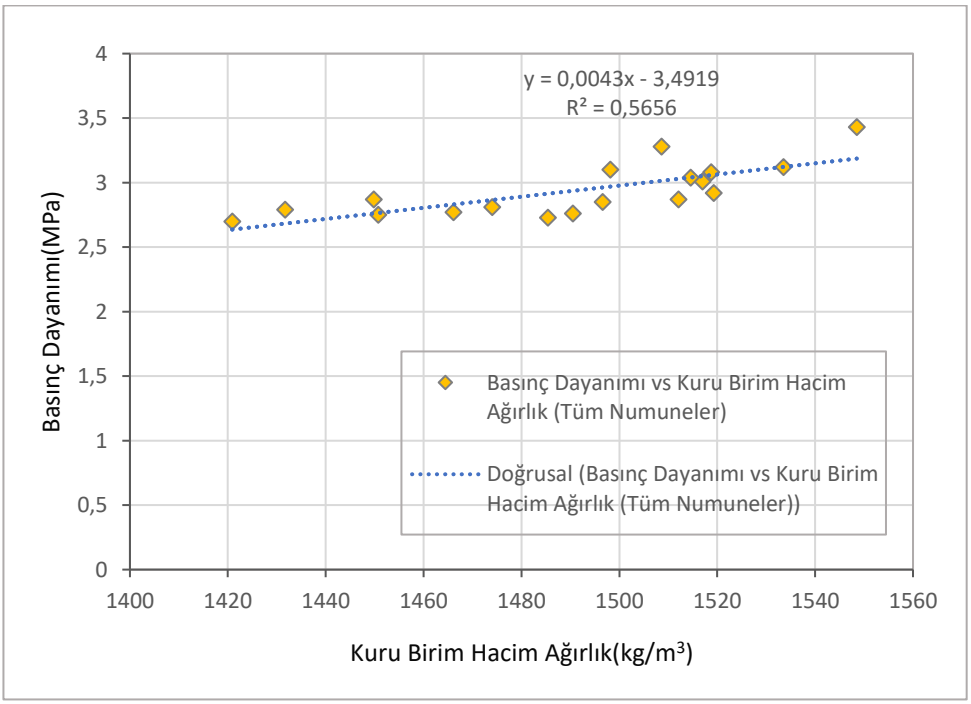
BASINÇ DAYANIMI DENEY SONUÇLARI				
Numune Kodu	28 Günlük		56 Günlük	
	Dayanım (N/mm^2)	Ortalama Dayanım (N/mm^2)	Dayanım (N/mm^2)	Ortalama Dayanım (N/mm^2)
N1-1	2,87	2,93	3,08	3,05
N1-2	2,92		3,03	
N1-3	3,01		3,05	
N2-1	3,12	3,08	3,26	3,30
N2-2	3,08		3,31	
N2-3	3,04		3,34	
N3-1	3,28	3,27	3,70	3,67
N3-2	3,10		3,64	
N3-3	3,43		3,69	
N4-1	2,85	2,83	2,93	3,00
N4-2	2,77		2,97	
N4-3	2,87		3,10	
N5-1	2,81	2,76	2,87	2,85
N5-2	2,73		2,77	
N5-3	2,76		2,83	
N6-1	2,70	2,74	2,74	2,81
N6-2	2,79		2,84	
N6-3	2,75		2,86	

Çizelge 5.3.'te verilen dayanım sonuçlarına göre 28 gün sonunda kontrol numuneye göre %0,25 lif içeren numunelerde basınç dayanımı yaklaşık olarak %6 , %0,5 lif içerikli numunelerde ise %12 oranında artmıştır. 56 gün sonucunda kontrol numuneye göre %0,25 lif içeren numunelerde basınç dayanımı yaklaşık olarak %8, %0,5 lif içerikli numunelerde ise %20 oranında artmıştır. Yapılan analizler doğrultusunda dayanımın lif ilavesiyle birlikte %0,50 lif içeriğine kadar kademeli olarak arttığı görülmektedir. %0,50 lif içeriğinin aşılmasıyla birlikte lifler üst üste binmektedir bu durum lifler ile toprak arasında zayıf kohezyona sebep olmaktadır. Ayrıca lif miktarının artışıyla numunenin kuruma hızı artmakta bunun sonucu olarak da kerpiç numune içsel olarak zayıflamaktadır (Piani vd., 2018). Ayçiçeği sapları ilavesinin optimum %0,50 oranının üzerine çıktığı

örneklerde yukarıda açıklanan nedenlerden dolayı basınç dayanımının azaldığı düşünülmektedir.



Şekil 5.4. Numunelerin 28 Günlük ve 56 Günlük Basınç Dayanımı Sonuçları



Şekil 5.5. Basınç Dayanımı ve Kuru Birim Hacim Ağırlık Arasındaki İlişki

Toprak blokların basınç dayanımı ile kuru birim hacim ağırlığı arasındaki ilişki yapı malzemesinin uygunluğu açısından önemlidir (Jannat vd., 2022). Deneylerden elde edilen basınç dayanımı ile kuru birim hacim ağırlık arasındaki korelasyon Şekil 5.4.'te verilmiştir. Kaba doğrusal (R^2=0,56) bir korelasyon elde edilmiştir.

5.3. Eğilme Dayanımı Deney Sonuçları

Ayçiçeği sapının eğilme dayanımı üzerindeki etkisini değerlendirmek için TS EN 1510-11 standardı uygulanarak üç noktalı eğilme dayanımı testi yapılmıştır. Numuneler mesnet açıklığı 150 mm olan 10 mm çaplı iki silindir üzerine yerleştirilmiş ve 0,01 mm/s yük uygulanarak, Şekil 5.6.'da gösterildiği gibi kırılmıştır. Numunelere alabilecekleri maksimum yüke kadar kuvvet uygulanmıştır. Maksimum kuvvet sonrasında yükte ani bir düşüş ve sınırlı bir kırılma meydana gelmiştir.

Çizelge 5.4.'te görüldüğü üzere 28 günlük kuruma sonrası dayanım testi uygulanan numunelerin ortalama eğilme dayanım değerleri 1,19 ile 2,08 MPa aralığında değişim göstermiştir. Laboratuvar koşullarında 56 gün muhafaza edilmiş numunelerin ortalama eğilme dayanım sonuçları ise 1,28 ile 2,17 MPa aralığındadır. TS 2514'te ve TS EN 1510-11 standardında eğilme dayanımıyla ilgili sınır değerine rastlanmadığı için güncel literatürde sıklıkla rastlanılan NZS 4298 alınmıştır. NZS 4298'e göre bina yapımında kullanılacak olan toprak yapı malzemesinin eğilme dayanımı minimum 0,25 MPa olmalıdır. Test yapılan tüm numunelerin eğilme dayanımı bu değerin üzerindedir.



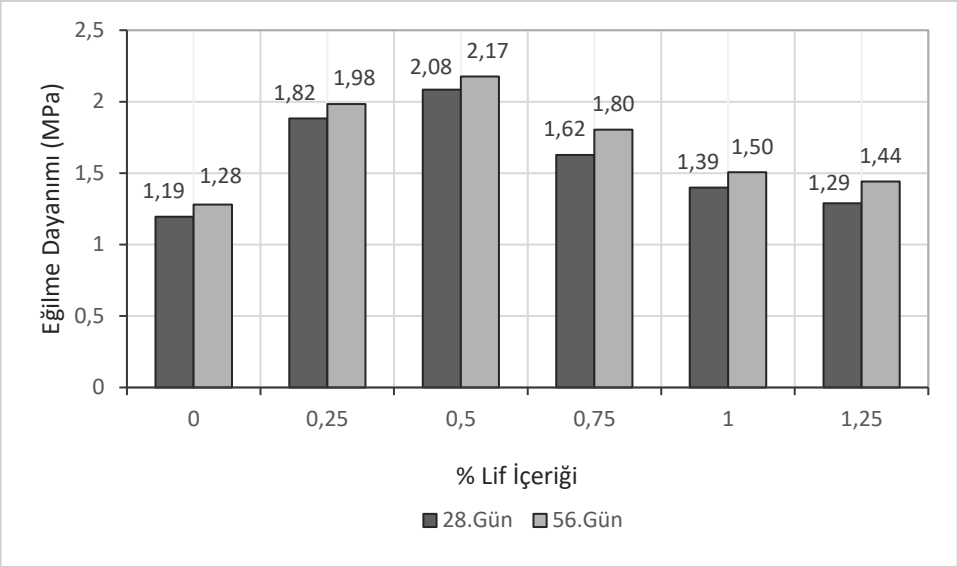
Şekil 5.6. %0.25 Lif İçeriğine Sahip Numunenin Eğilme Dayanımı Deneyi

Numunelerden elde edilen 28 günlük ve 56 günlük eğilme dayanımı sonuçları Çizelge 5.4.'te verilmiştir. Ayçiçeği sapı ilavesinin eğilme dayanımı üzerinde olumlu etkilere yol açtığı görülmüştür.

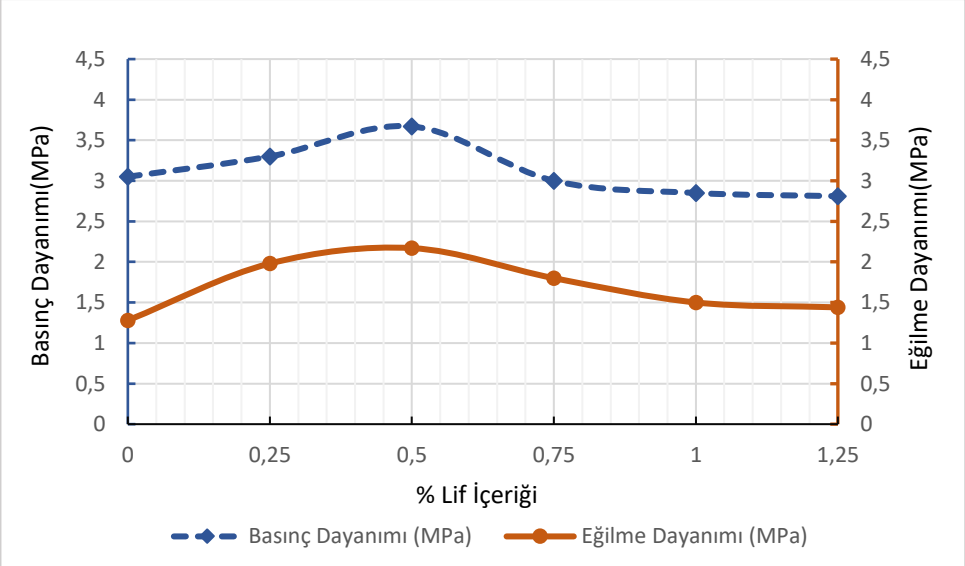
Kontrol numuneye göre 28 günlük %0,25 lif içeren numunelerde eğilme dayanımı yaklaşık olarak %53, %0,5 lif içeren numunelerde %75, %0,75 lif içeren numunelerde %36, %1 lif içeren numunelerde %18, %1,25 lif içeren numunelerde %10 oranında artmıştır. Kontrol numuneye göre 56 günlük %0,25 lif içeren numunelerde eğilme dayanımı yaklaşık olarak %54, %0,5 lif içeren numunelerde %70, %0,75 lif içeren numunelerde %40, %1 lif içeren numunelerde %17, %1,25 lif içeren numunelerde ise %13 oranında artmıştır. En yüksek eğilme dayanımı lif içeriğinin %0,5 oranında olduğu 56 günlük numunelerden elde edilmiştir.

Çizelge 5.4. Eğilme Dayanımı Sonuçları

EĞİLME DAYANIMI DENEY SONUÇLARI				
Numune Kodu	28 Günlük		56 Günlük	
	Eğilme Dayanımı (MPa)	Ortalama Eğilme Dayanımı (MPa)	Eğilme Dayanımı (MPa)	Ortalama Eğilme Dayanımı (MPa)
N1-1	1,12	1,19	1,42	1,28
N1-2	1,14		1,19	
N1-3	1,32		1,24	
N2-1	1,90	1,82	1,93	1,98
N2-2	1,82		1,97	
N2-3	1,76		2,04	
N3-1	2,12	2,08	2,20	2,17
N3-2	2,05		2,13	
N3-3	2,15		2,18	
N4-1	1,73	1,62	1,75	1,80
N4-2	1,51		1,78	
N4-3	1,62		1,87	
N5-1	1,46	1,39	1,57	1,50
N5-2	1,35		1,43	
N5-3	1,38		1,51	
N6-1	1,24	1,29	1,39	1,44
N6-2	1,35		1,45	
N6-3	1,28		1,48	



Şekil 5.7. Numunelerin 28-56 Günlük Eğilme Dayanımı Sonuçları



Şekil 5.8. 56 Günlük Numunelerin Ortalama Basınç ve Eğilme Dayanımı Arasındaki İlişki

Ortalama basınç ve eğilme dayanımı arasındaki ilişki Şekil 5.8.'de gösterilmiştir. Grafikten ortalama basınç ve eğilme dayanımı arasında paralellik olduğu görülmektedir. Ayçiçeği sapı ilavesiyle birlikte numunelerin mekanik özelliklerinde iyileşme söz konusudur. Eğilme dayanımındaki iyileşme toprakla liflerin birbirine iyi yapışması ve iyi dağılım göstermesi ile bağlantılıdır (Babe vd., 2020).

Çizelge 5.5. Numunelerin Kuru Birim Hacim Ağırlık, Basınç ve Eğilme Dayanımı Sonuçları

Lif İçeriği (%)	Numune	Kuru Birim Hacim Ağırlık (kg/m$^{3)}$		Basınç Dayanımı (MPa)		Eğilme Dayanımı (MPa)	
		Sonuçlar	Ortalama	Sonuçlar	Ortalama	Sonuçlar	Ortalama
0	N1-1	1512	1528	2,87	2,93	1,12	1,19
	N1-2	1535		2,92		1,14	
	N1-3	1536		3,01		1,32	
0,25	N2-1	1533	1522	3,12	3,08	1,90	1,82
	N2-2	1518		3,08		1,82	
	N2-3	1514		3,04		1,76	
0,50	N3-1	1508	1513	3,28	3,27	2,12	2,08
	N3-2	1498		3,10		2,05	
	N3-3	1533		3,43		2,15	
0,75	N4-1	1496	1492	2,85	2,83	1,73	1,62
	N4-2	1466		2,77		1,51	
	N4-3	1512		2,87		1,62	
1	N5-1	1474	1446	2,81	2,76	1,46	1,39
	N5-2	1406		2,73		1,35	
	N5-3	1457		2,76		1,38	
1,25	N6-1	1397	1409	2,70	2,74	1,24	1,29
	N6-2	1431		2,79		1,35	
	N6-3	1398		2,75		1,28	

Kuru birim hacim ağırlık, basınç dayanımı ve eğilme dayanımı sonuçları Çizelge 5.5'te verilmiştir. Deneyler her test grubu için üç numunede gerçekleştirilmiş olup ortalamaları alınarak sonuçlar elde edilmiştir.

Numunelerin eğilme dayanımı test sonucundaki görünümü Şekil 5.9.-Şekil 5.14. aralığında gösterilmiştir. Lif içermeyen kontrol numune yük etkisiyle iki parçaya ayrılırken, lif içeren numuneler kuvvet etkisiyle parçalanmamıştır.



Şekil 5.9. Kontrol Numunenin Test Sonucu Görünümü



Şekil 5.10. %0,25 Lif İçeriğine Sahip Numunenin Test Sonucu Görünümü



Şekil 5.11. %0,50 Lif İçeriğine Sahip Numunenin Test Sonucu Görünümü



Şekil 5.12. %0,75 Lif İçeriğine Sahip Numunenin Test Sonucu Görünümü



Şekil 5.13. %1 Lif İçeriğine Sahip Numunenin Test Sonucu Görünümü

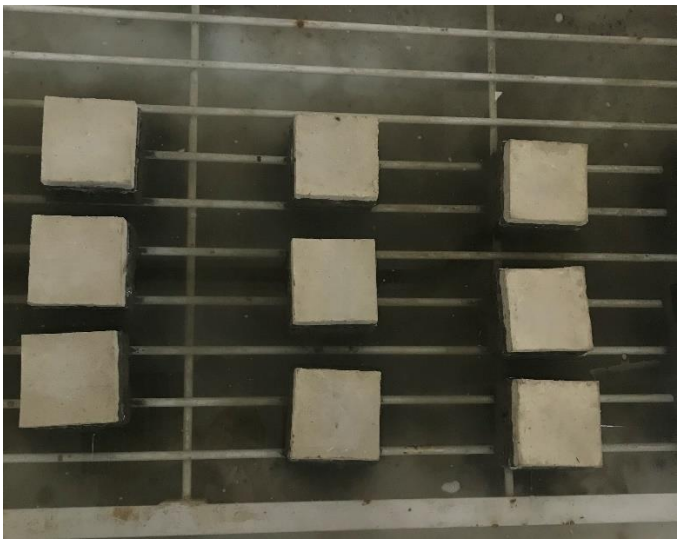


Şekil 5.14. %1,25 Lif İçeriğine Sahip Numunenin Test Sonucu Görünümü

5.4. Suya Dayanıklılık Deney Sonuçları

Kerpicin en büyük dezavantajlarından biri suya karşı göstermiş olduğu zayıf dirençtir. Bu nedenle kerpicin suya karşı davranışının araştırılması gerekmektedir. Bu çalışmada numuneler, Şekil 5.15.'te gösterildiği gibi yarısına kadar su gelecek şekilde su dolu bir kaba konulmuştur. Numunelerin su içerisinde dağılıncaya kadar geçen süreleri gözlenmiştir.

Suya dayanıklılık testi sonuçları ile ayçiçeği sapı ilavesinin olumlu etkiler ortaya çıkardığı görülmüştür. Lifler ile toprağın oluşturduğu bağ sayesinde numunelerin suya karşı direnci artmıştır. Suyun hareketi kompozitin mikroyapısına bağlıdır. Lif içeriğinin artmasıyla birlikte numunelerdeki açık gözeneklilik de artış göstermektedir. Bu durum su emme kinetiğinin yavaşlamasına sebep olmaktadır. Kompozitlerle karşılaştırıldığında güçlendirilmemiş kerpiç su karşısında güçlü bir şekilde aşınmaktadır (Ouedraogo vd., 2019).



Şekil 5.15. Su İçerisinde Numunelerin 30 dk Sonundaki Görünümü

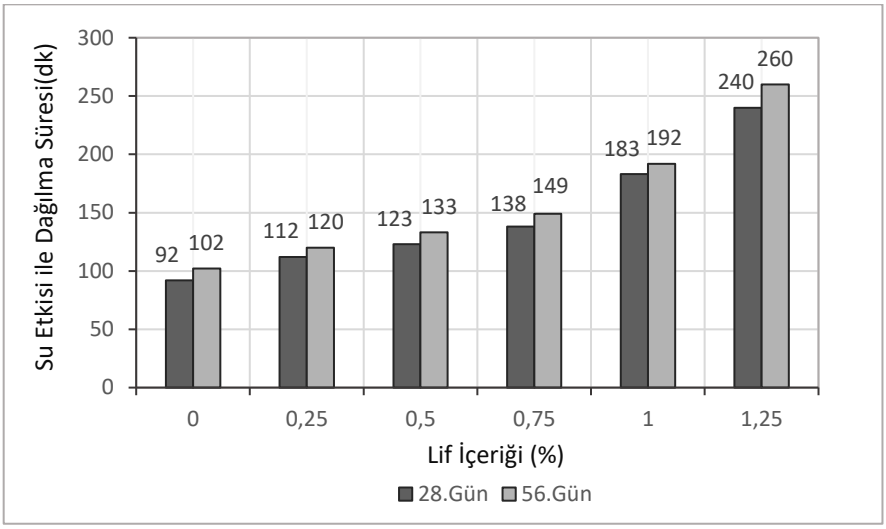
Ayçiçeği saplarının toprak ile yapışmasıyla birlikte suyun numune içine nüfuz etmesi zorlaşır. Liflerin göstermiş olduğu bu davranış kerpicin su emmesini azaltmaktadır. Lif içermeyen 28 günlük numunelerin ortalama dağılma süresi 92 dk, 56 günlük numunelerin ise 102 dakikadır. Bu durum suyun kılcallıkla yükselmesinin hızlı olması anlamına gelmektedir. Bu süre ayçiçeği sapı ile güçlendirilmiş örneklerle karşılaştırıldığında suya daha az dayanıklı olduklarını göstermektedir.

Çizelge 5.6. Numunelerin Suya Dayanıklılık Deneyi Sonuçları

SU ETKİSİYLE DAĞILMA SÜRESİ				
Numune Kodu	28 Günlük		56 Günlük	
	Süre (dk)	Ortalama Süre (dk)	Süre (dk)	Ortalama Süre (dk)
N1-1	89	92	106	102
N1-2	91		98	
N1-3	96		103	
N2-1	115	112	116	120
N2-2	112		119	
N2-3	109		125	
N3-1	123	123	139	133
N3-2	120		128	
N3-3	126		132	
N4-1	137	138	146	149
N4-2	134		149	
N4-3	143		153	
N5-1	177	183	2,87	192
N5-2	183		2,77	
N5-3	189		2,83	
N6-1	234	240	254	260
N6-2	248		259	
N6-3	238		267	

Numunelerdeki lif içeriği artışının suya karşı dayanıklılığı arttırdığı Çizelge 5.6.'da ve Şekil 5.16.'da görülmektedir. Numunelerin su etkisiyle ortalama dağılma süreleri TS 2514'te verilen 45 dk değerinin üstündedir. Su etkisiyle dağılma süresi 28 günlük numunelerde ortalama 92 dk ile 240 dk arasında değişim göstermektedir. 56 günlük numunelerde ise ortalama 102 dk ile 260 dk arasındadır. Kontrol numuneye göre 28 günlük %0,25 lif içeren numunelerde su etkisiyle dağılma süresi yaklaşık olarak %22, %0,5 lif içeren numunelerde %32, %0,75 lif içeren numunelerde %50, %1 lif içeren numunelerde %99, %1,25 lif içeren numunelerde ise %160 oranında artmıştır. Kontrol numuneye göre 56 günlük %0,25 lif içeren numunelerde su etkisiyle dağılma süresi yaklaşık olarak %18, %0,5 lif içeren numunelerde %30, %0,75 lif içeren numunelerde %46, %1 lif içeren numunelerde %89, %1,25 lif içeren numunelerde ise %155 oranında

artmıştır. Şekil 5.17.- 5.20.'de numunelerin su içerisindeki farklı aşamalarının görünümü verilmiştir.



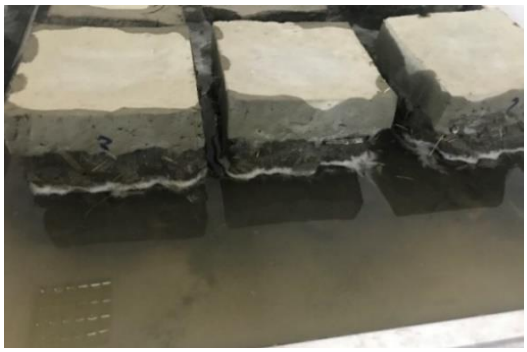
Şekil 5.16. Numunelerin Su Etkisiyle Dağılma Süreleri



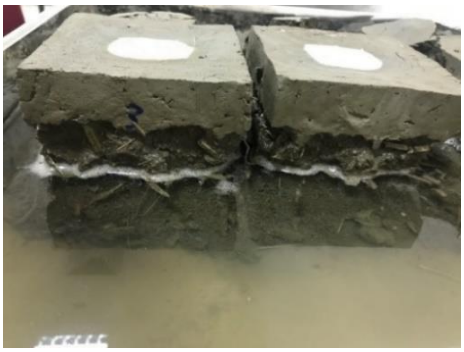
Şekil 5.17. N1-1 Numunesinin Su İçerisinde 60 dk Sonundaki Görünümü



Şekil 5.18. N1-1 Numunesinin Su İçerisinde 90 dk Sonundaki Görünümü



Şekil 5.19. N6-1, N6-2, N6-3 Numunelerinin Su İçerisinde 180 dk Sonundaki Görünümü



Şekil 5.20. N6-1, N6-2, Numunelerinin Su İçerisinde 240 dk Sonundaki Görünümü

5.5. Ultrases Geçiş Hızı Deney Sonuçları

Ultrases geçiş hızı deneyi farklı içeriklere sahip numune serilerinin her birinden üç tane numuneye ASTM C 597-02 standardına uygun olarak yapılmıştır. Teste başlamadan önce transdüserler sabit bir geçiş süresi elde edilene kadar blok yüzeyine sıkıca yerleştirilmiştir. Deney yapılırken numunenin karşılıklı iki yüzeyine yerleştirilen alıcı ve verici transdüserin üzerine boşluk kalmasını önlemek ve daha iyi temas sağlamak için jel uygulanmıştır. Ultrasonik dalganın kat ettiği mesafe ve geçiş süresi kaydedilmiştir. Ultrases geçiş hızı deneyi Şekil 5.21.'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.7. Numunelerin Ultrases Geçiş Hızı Deney Sonuçları

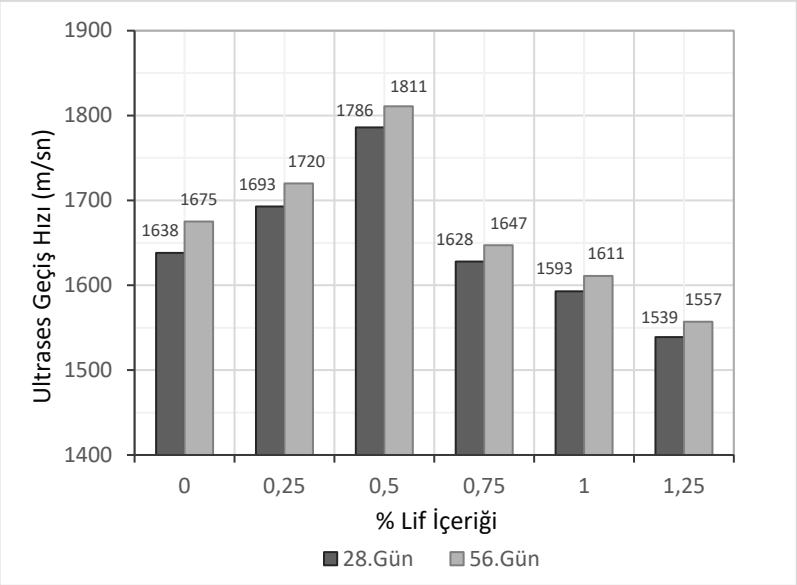
ULTRASES GEÇİŞ HIZI DENEY SONUÇLARI				
Numune Kodu	28 Günlük		56 Günlük	
	Ses Geçiş Hızı (m/sn)	Ortalama Ses Geçiş Hızı (m/sn)	Ses Geçiş Hızı (m/sn)	Ortalama Ses Geçiş Hızı (m/sn)
N1-1	1545	1638	1780	1675
N1-2	1667		1560	
N1-3	1703		1685	
N2-1	1757	1693	1657	1720
N2-2	1707		1727	
N2-3	1616		1776	
N3-1	1768	1786	1858	1811
N3-2	1765		1783	
N3-3	1827		1792	
N4-1	1640	1628	1594	1647
N4-2	1575		1667	
N4-3	1669		1681	
N5-1	1605	1593	1624	1611
N5-2	1584		1597	
N5-3	1590		1612	
N6-1	1526	1539	1557	1557
N6-2	1557		1546	
N6-3	1534		1573	



Şekil 5.21. Ultrases Geçiş Hızı Deneyi

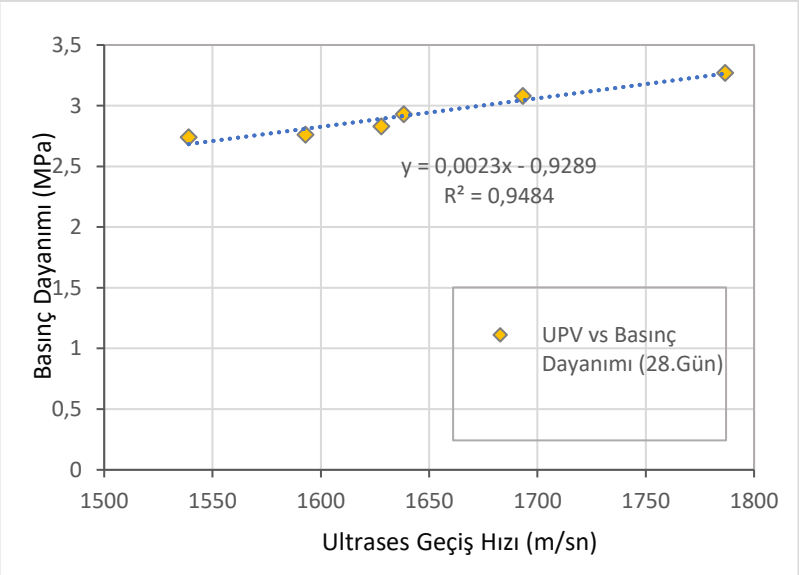
Ultrases geçiş hızı testi sonuçları Çizelge 5.7.'de verilmiştir. Ultrases geçiş hızı değerleri 28 günlük numunelerde 1539 ile 1786 m/sn arasında değişim göstermektedir. Kontrol numuneye göre %0,25 lif içeren numunelerde ultrases geçiş hızı yaklaşık olarak %3,4, %0,5 lif içeren numunelerde ise %9 oranında artmıştır. Bunun yanı sıra kontrol numuneye göre %0,75 lif içeren numunelerde ultrases geçiş hızı yaklaşık olarak %0,6, %1 lif içeren numunelerde %2,8, %1,25 lif içeren numunelerde ise %6 oranında azalmıştır. Bu azalışın sebebi artan lif içeriğiyle malzeme içindeki gözenekliliğin optimum düzeyin üstüne çıkmasından kaynaklanıyor olabilir. Gözeneklerin şekli, boyutu ve sayısı dalga yayılımını etkilemektedir. Gözeneklilikteki artış ne kadar büyük olursa, ultrasonik hız o kadar düşük olmaktadır. Ultrases geçiş hızıyla gözeneklilik arasında ters orantı vardır (Jannat vd., 2022).

Ultrases geçiş hızı değerleri 56 günlük numunelerde 1557 ile 1811 m/sn arasındadır. Kontrol numuneye göre %0,25 lif içeren numunelerde ultrases geçiş hızı yaklaşık olarak %2,8, %0,5 lif içeren numunelerde ise %8,2 oranında artmıştır. Kontrol numuneye göre %0,75 lif içeren numunelerde ultrases geçiş hızı yaklaşık olarak %1,6, %1 lif içeren numunelerde %3,8, %1,25 lif içeren numunelerde ise %7 oranında azalmıştır.



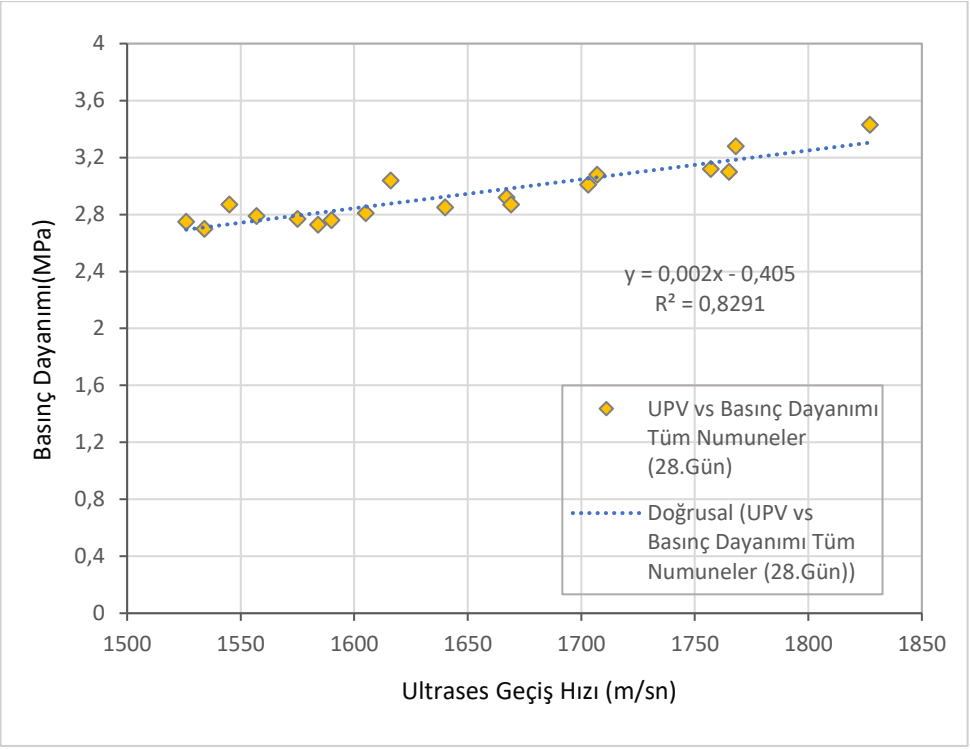
Şekil 5.22. Ultrases Geçiş Hızı Sonuçları

Şekil 5.22'de gösterildiği üzere en yüksek ses geçiş hızı %0,5 içeriğe sahip numunelerden elde edilmiştir. Ses geçiş hızının yüksek olduğu bu grubun numuneleri içerisindeki boşluk oranının diğer gruplara göre az olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Boşlukların azalmasıyla numunelerde kompakt ve daha yoğun bir bileşim oluşmakta bunun sonucunda hız artmaktadır.

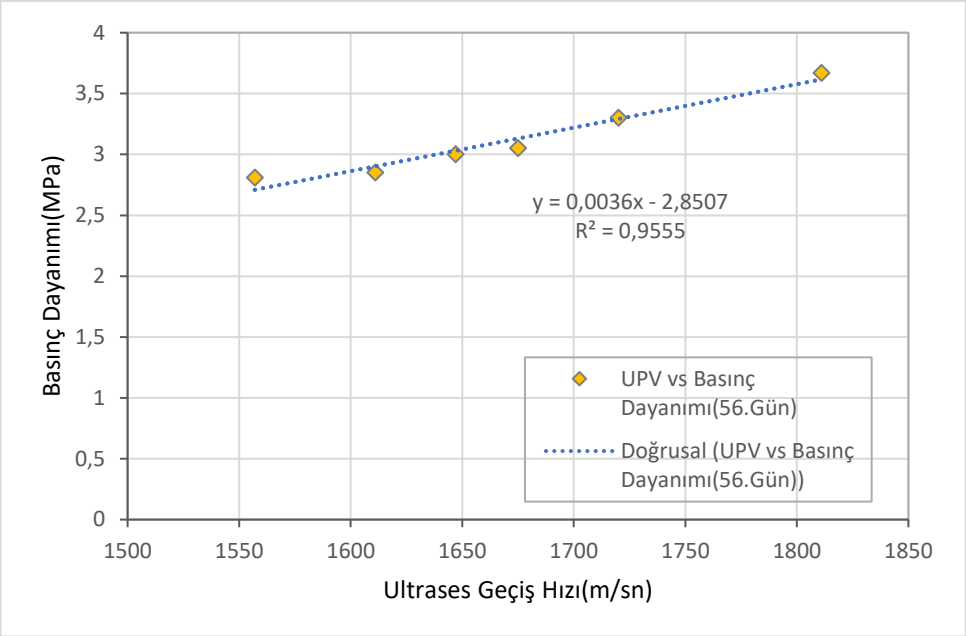


Şekil 5.23. Numunelerin Ortalama Ultrases Geçiş Hızı ve Basınç Dayanımı Arasındaki İlişki (28.Gün)

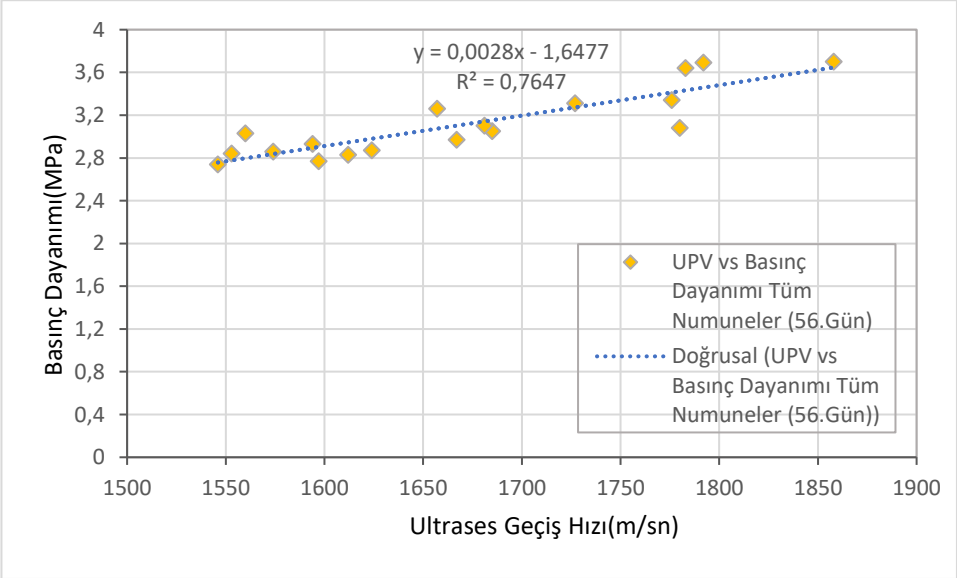
Ultrases geçiş hızıyla basınç dayanımını ilişkilendirmek için grafikler yapılmıştır. Şekil 5.23.'de 28 günlük ve Şekil 5.25.'de 56 günlük numunelerin ortalama basınç dayanımlarıyla ses geçiş hızı arasındaki ilişki gösterilmiştir. Ortalama basınç dayanımının artmasıyla birlikte ultrases geçiş hızı ortalamaları artmıştır. Aralarında sırasıyla güçlü doğrusal bir korelasyon (R^2=0,94) ve (R^2=0,95) mevcuttur. Böylece ultrases geçiş hızının basınç dayanımı hakkında güvenilir bir tahmin sağlayacağı görülmüştür. Şekil 5.24'te ve Şekil 5.26'da ise tüm numunelerin ultrases geçiş hızıyla basınç dayanımı arasındaki ilişki verilmiştir. Tüm numunelere bakıldığında ise sırasıyla yine doğrusala yakın bir korelasyon (R^2=0,82) ve (R^2=0,76) elde edilmiştir.



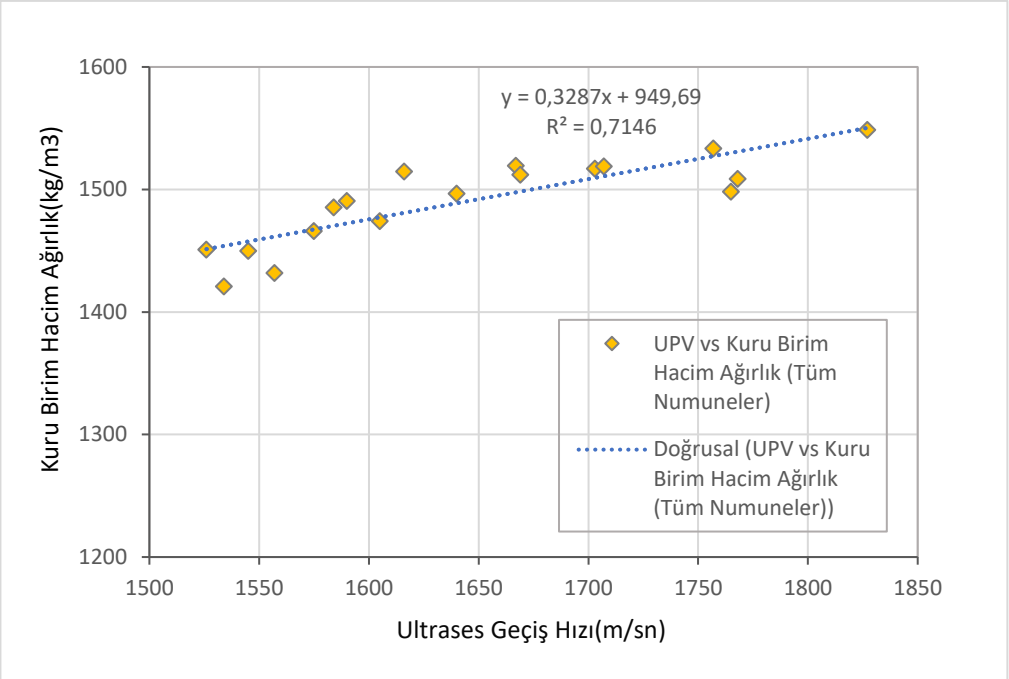
Şekil 5.24. Ultrases Geçiş Hızı ve Basınç Dayanımı Arasındaki İlişki Tüm Numuneler (28.Gün)



Şekil 5.25. Numunelerin Ortalama Ultrases Geçiş Hızı ve Basınç Dayanımı Arasındaki İlişki (56.Gün)



Şekil 5.26. Ultrases Geçiş Hızı ve Basınç Dayanımı Arasındaki İlişki Tüm Numuneler (56.Gün)



Şekil 5.27. Ultrases Geçiş Hızı ve Kuru Birim Hacim Ağırlık Arasındaki İlişki Tüm Numuneler (56.Gün)

Şekil 5.27'den görülebileceği gibi ultrases geçiş hızı ile kuru birim hacim ağırlık doğrusal olarak ilişkilidir. Numunelerdeki yoğunluğun artmasıyla birlikte ses geçiş hızının da arttığı görülmektedir. Ultrases geçiş hızıyla kerpiç bloklarının mekanik özellikleri arasındaki bağlantı irdelenmiştir. Sonuç olarak, tahribatsız test yöntemlerinden biri olan ultrases geçiş hızı toprak bloklarının kalitesini niteliksel olarak değerlendirmek için kullanılabilir.

Son yıllarda kerpicin iyileştirilmesi amacıyla doğal ve sentetik liflerin kullanılmasına yönelik bir dizi çalışma yapılmıştır. Çizelge 5.8.'de doğal liflerin kullanıldığı çalışmaların basınç ve eğilme dayanımları karşılaştırılmıştır. Kontrol numuneye göre ortalama basınç dayanımının artış yüzdesi foino lifi için %8 ile %12, muz lifi için %34 ile %49, millet lifi için %38, palmiye lifi için %17 ile %50 ve ayçiçeği lifi için %8 ile %20 aralığında değişmektedir. Kontrol numuneye göre ortalama eğilme dayanımının artış yüzdesi ise foino lifi için %9 ile %18, muz lifi için %79 ile %114, millet lifi için %9, palmiye lifi için %53 ile %104 ve ayçiçeği lifi için%10 ile %75 değer aralığındadır. Bununla birlikte en yüksek basınç ve eğilme dayanımları bulunmuştur. En yüksek basınç dayanımı artışı %50 ile palmiye lifinden elde edilmiştir. En yüksek eğilme

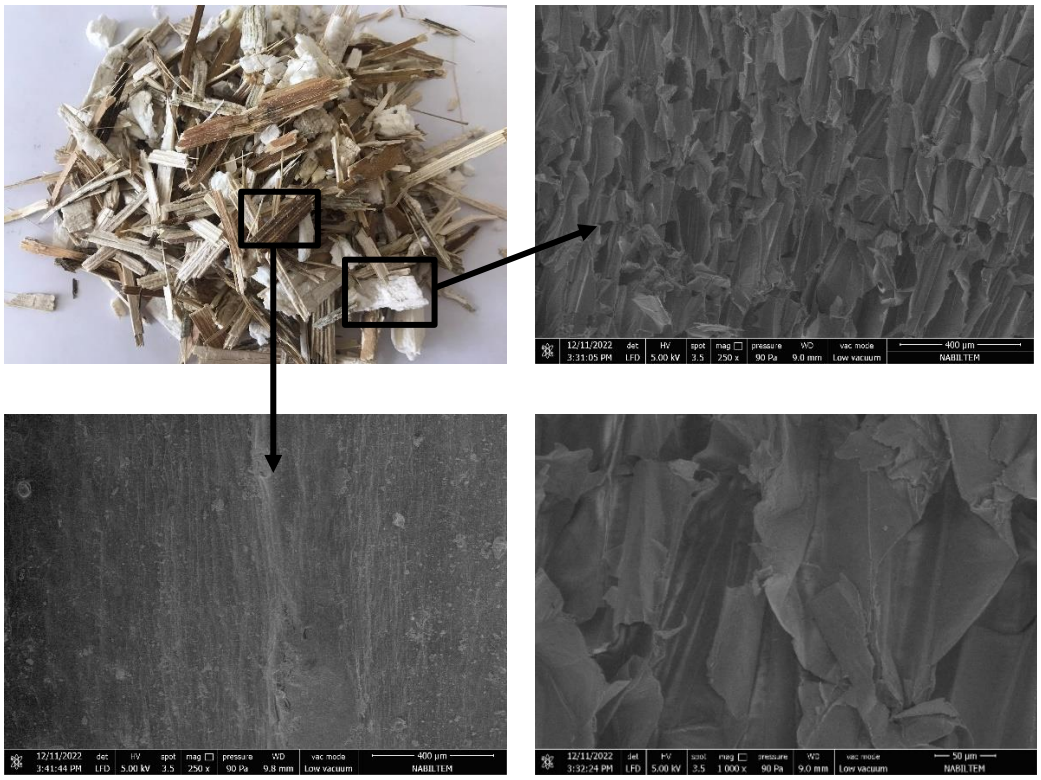
dayanımı artışı %114 ile muz lifinde kaydedilmiştir. Analiz edilen çalışmalarda ilave edilen liflerin çoğu kerpiç malzemede önemli gelişmelere yol açmıştır.

Çizelge 5.8. Lif Takviyeli Kerpiç Blokların Mekanik Özellikleri Üzerine Yapılan Deneysel Çalışmaların Sonuçları

Katkı Maddesi	İçerik (%)	Lif İçeriği (%)	Basınç Dayanımı (MPa)		Eğilme Dayanımı (MPa)		Referans
			Sonuçlar	Artış Yüzdesi (%)	Sonuçlar	Artış Yüzdesi (%)	
Foino lifi	0-1	0	2,60	-	1,10	-	(Ouedraogo vd.,2019)
		0.2	2,80	8	1,30	18	
		0.4	2,90	12	1,20	9	
		0.6	2,50	-4	1,10	0	
		0.8	2,40	-8	1,0	-9	
		1	2,30	-12	0,80	-27	
Muz Lifi	0-1	0	1,18	-	0,14	-	(Ige vd., 2021)
		0,25	1,58	34	0,25	79	
		0,5	1,70	44	0,30	114	
		0,75	1,76	49	0,26	86	
		1	1,61	36	0,25	79	
Millet Lifi	0-4	0	4,69	-	0,15	-	(Babe vd., 2020)
		1	4,12	-12	0,09	-40	
		2	6,50	38	0,17	9	
		3	4,21	-10	0,14	-10	
		4	3,67	-21	0,12	-20	
Palmiye Lifi	0-1	0	3,36	-	0,55	-	(Eslami vd., 2022)
		0,25	5,03	50	0,84	53	
		0,5	4,75	41	0,99	80	
		0,75	4,43	32	1,08	96	
		1	3,94	17	1,12	104	
Ayçiçeği Lifi	0-1	0	3,05	-	1,19	-	(Güneri, 2022)
		0,25	3,30	8	1,82	53	
		0,5	3,67	20	2,08	75	
		0,75	3,00	-2	1,62	36	
		1	2,85	-6	1,39	18	
		1,25	2,81	-8	1,29	10	

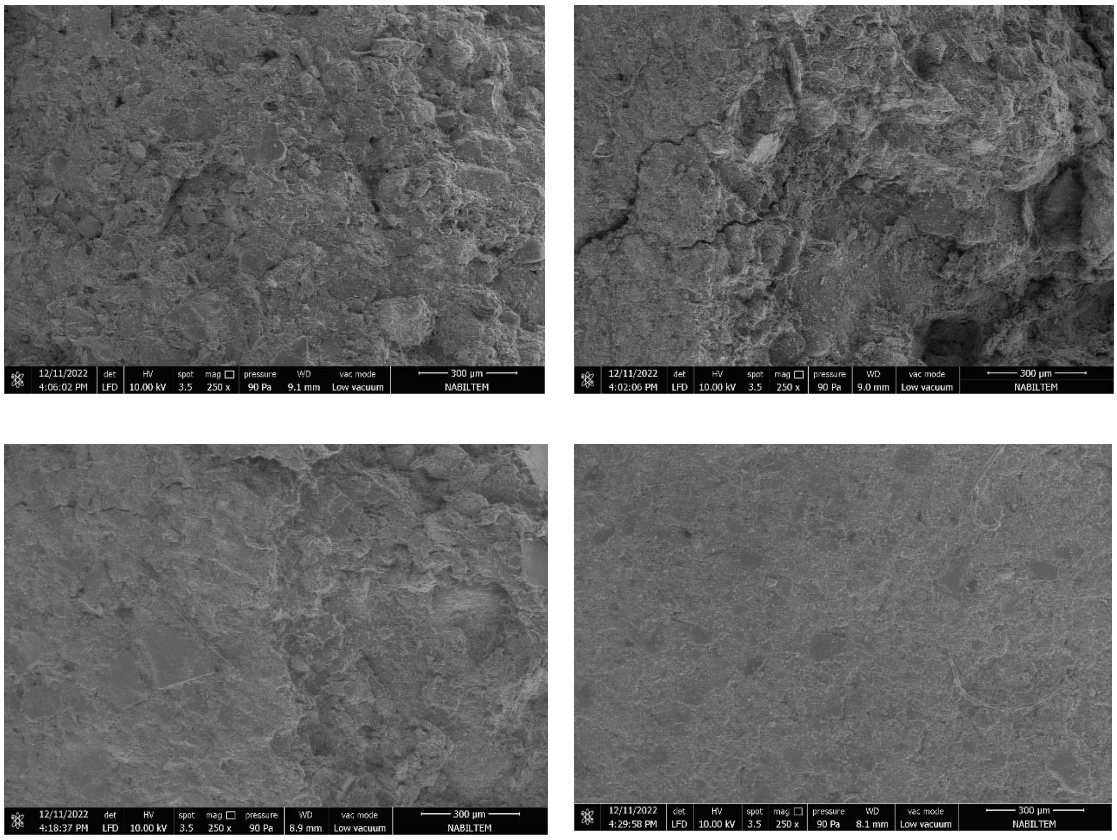
5.6. SEM Analizi Sonuçları

Ayçiçeği sapının ve kerpiç numunelerin SEM görüntülemesi yapılarak iç yapısı analiz edilmiştir, Şekil 5.28.'de ayçiçeği sapının SEM görüntülemesi verilmiştir. Ayçiçeği sapı, sert kabuk kısmı ve yumuşak iç bölüm olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Sert kabuk kısmın çevreden merkeze yapısı şu şekildedir: epidermise karşılık gelen yoğun bir zarf, odunsu ve bu nedenle sklerenkima adı verilen sert doku ve esas olarak hücresel bir materyal olan parankim olan selülozdan oluşmaktadır. İç kısım ise süngerimsi dokuya sahip mikro petek yapıdan oluşmaktadır (Knapik, Stopa, 2018). Mikro gözenekler gövdeden radyal olarak dağılım göstermektedir. Gözenek boyutları gözlemlenebileceği gibi farklı bölümler için SEM fotoğraflarından tahmin edilmiştir. Dış kısım birkaç küçük gözenek türüne sahip, pürüzlü ve düzensiz bir yüzey gösterir ve odunsu bir yapıdadır. İç kısmın ise gözeneklerinin boyutu yaklaşık 10 mm'dir (Pennec vd., 2013).



Şekil 5.28. Ayçiçeği Sapının SEM Görüntülemesi

Kerpiç numunelerin SEM görüntüleri incelendiğinde ayçiçeği sapı lifleriyle toprak matrisi arasındaki ilişki değerlendirilmiştir. Şekil 5.29.'da verilen görüntüleme sonucunda liflerin toprak matrisine gömülü olduğu ortaya çıkarılmıştır (Ige, Danso, 2021). Toprak matrisiyle liflerin kurduğu bağda mikro boşluklar tespit edilmiştir. Bu boşlukların ana sebebi karışımdaki suyu emen liflerin kuruma esnasında büzülmesidir. Fakat bu boşluklar kompozit malzeme üzerinde negatif etkiye sahip olamayacak kadar çok küçüktür (Danso vd., 2017). Hatta malzemelerin daha iyi kohezyonuna sebep olabilmektedir. SEM görüntüleme sonrasında tespit edilen liflerin pürüzlü yapısının toprak matrisiyle oluşturduğu kohezyon sayesinde kerpiç numunelerin basınç ve gerilme dayanımı artmıştır. Yapılan diğer çalışmalarda da bu sürtünmenin kerpiç numunelerin özelliklerini geliştirdiği görülmüştür (Danso, Manu, 2020). Ancak lif ve toprak matrisi arasındaki kohezyon ve sürtünme yüksek lif içeriğinden olumsuz etkilenmektedir. Matristeki lifler köprüleme etkisi oluşturarak kuvvetin aktarımına sebep olmaktadır. Bu durum da mekanik özelliklerin düşmesine yol açmaktadır (Ige, Danso, 2021).



Şekil 5.29. Numunelerin SEM Görüntülemesi

BÖLÜM 6

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında, Trakya bölgesinde bir atık olarak ortaya çıkan yöresel ayçiçeği saplarının kerpiç malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla farklı ayçiçeği sapı içeren numuneler üretilmiş ve çeşitli testlere tabi tutulmuştur.

Elde edilen verilere dayanılarak, aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır:

Kerpiç numunelerinin kuru birim hacim kütlesi 1409 kg/m^3 ile 1528 kg/m^3 aralığındadır. Ayçiçeği sapı ilavesinin artmasıyla numunelerin kuru birim hacim kütlesi azalmıştır. Bu durumda malzemenin kontrol numuneye göre %0,4 ile %7,8 arasında kuru birim hacim kütlesinin azalmış olduğu tespit edilmiştir.

Kontrol numunelerin 28 günlük ortalama basınç dayanımı 2,93 MPa, %0,5 ayçiçeği sapları ile iyileştirilmiş kerpiç numunelerin ise 3,27 MPa'dır. Kontrol numunelerin 56 günlük ortalama basınç dayanımı 3,05 MPa, %0,5 ayçiçeği sapları ile iyileştirilmiş kerpiç numunelerin ise 3,67 MPa'dır. En yüksek basınç dayanımı 3,70 MPa olarak %0,5 ayçiçeği sapı içeren numunede elde edilmiştir. Ayçiçeği sapıyla %0,5 içeriğinde iyileştirilmiş 28 günlük numunelerin basınç dayanımı kontrol numunelere göre ortalama %12 oranında artmıştır. Ayçiçeği sapıyla %0,5 içeriğinde iyileştirilmiş 56 günlük numunelerin basınç dayanımı ise kontrol numunelere göre ortalama %20 oranında artmıştır. Optimum basınç dayanımı ayçiçeği içeriğinin %0,5 oranında ilave edilmesi ile bulunmuştur. Ayçiçeği sapı içeriğinin %0,5'ten %1,25'e çıkarılmasının basınç dayanımında düşüşlere yol açtığı gözlemlenmiştir.

Kontrol numunelerin 28 günlük ortalama eğilme dayanımı 1,19 MPa, %0,5 ayçiçeği sapları ile iyileştirilmiş kerpiç numunelerin ise 2,08 MPa'dır. Kontrol numunelerin 56 günlük ortalama eğilme dayanımı 1,28 MPa, %0,5 ayçiçeği sapları ile iyileştirilmiş kerpiç numunelerin ise 2,17 MPa'dır. Kontrol numunelerle karşılaştırıldığında ayçiçeği sapı ilavesi ortalama eğilme dayanımını arttırmıştır. En yüksek eğilme dayanımı 2,20 MPa olarak lif içeriğinin %0,5 oranında olduğu 56 günlük numuneden elde edilmiştir. Ayçiçeği sapıyla %0,5 içeriğinde iyileştirilmiş 28 günlük numunelerin eğilme dayanımı kontrol numunelere göre ortalama %75 oranında artmıştır. Ayçiçeği sapıyla %0,5 içeriğinde iyileştirilmiş 56 günlük numunelerin eğilme dayanımı ise kontrol numunelere göre ortalama %70 oranında artmıştır. Ayçiçeği sapı içeriğinin %0,5'ten %1,25'e çıkarılmasının eğilme dayanımında düşüşe sebep olduğu görülmüştür.

Su etkisiyle dağılma süresi 28 günlük numunelerde ortalama 92 ile 240 dk arasında değişim göstermektedir. 56 günlük numunelerde ise ortalama 102 ile 260 dk arasındadır. Kontrol numunelere göre ayçiçeği sapıyla iyileştirilmiş 28 günlük numunelerin suya karşı dayanım sürelerinin artış oranı %22 ile %160 arasındadır. Kontrol numunelere göre ayçiçeği sapıyla iyileştirilmiş 56 günlük numunelerin ise suya karşı dayanım sürelerinin artış oranı %18 ile %155 arasındadır. Su karşısında en çok dayanımı %1,25 oranında ayçiçeği sapı ilavesinin olduğu 56 günlük numuneler göstermiştir. Suya dayanıklılık testi sonucunda lif ilavesinin olumlu etkiler ortaya çıkardığı görülmüştür.

Numunelerin 28 günlük ultrases geçiş hızı sonuçları 1539 ile 1786 m/sn aralığında değişmektedir. Ultrases geçiş hızı değerleri 56 günlük numunelerde ise 1557 ile 1811 m/sn arasındadır. En yüksek ses geçiş hızı değerleri %0,5 ayçiçeği sapı içeren 56 günlük numunelerden elde edilmiştir. Ayçiçeği sapıyla %0,5 içeriğinde iyileştirilmiş 28 günlük numunelerin ultrases geçiş hızı kontrol numunelere göre ortalama %9 oranında artmıştır. Ayçiçeği sapıyla %0,5 içeriğinde iyileştirilmiş 56 günlük numunelerin ultrases geçiş hızı ise kontrol numunelere göre ortalama %8,2 oranında artmıştır. Tahribatsız test yöntemlerinden biri olan ultrases geçiş hızıyla numunelerin fiziksel ve mekanik özellikleri hakkında bilgiler elde edilebilmektedir. Ultrases geçiş hızı basınç dayanımı ve kuru birim hacim ağırlık arasında korelasyon analizi yapılmıştır ve doğrusal olarak ilişkili olduğu bulunmuştur.

Kerpiç numunelerin SEM görüntüleri incelendiğinde, ayçiçeği sapı liflerinin toprak matrisine gömülü olduğu tespit edilmiştir. Toprak ile liflerin oluşturmuş olduğu bağda mikro boşluklar görülmüştür. Bu boşlukların boyutu kompozit malzeme üzerinde negatif etkiye sebep olamayacak kadar çok küçüktür, malzemelerin daha iyi kohezyon yapmasını sağlamıştır. SEM görüntüleme sonrasında tespit edilen liflerin pürüzlü yapısının toprak matrisiyle oluşturduğu kohezyon sayesinde kerpiç numunelerin basınç ve gerilme dayanımı artmıştır.

Yapılan testler sonucunda ayçiçeği sapı ilavesi ile numunelerin mekanik özelliklerinin ve dayanıklılık parametrelerinin güçlendirilmiş olduğu görülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre yapı malzemesi olarak kullanım için en uygun oran %0,5 ayçiçeği sapı ilavesi olarak bulunmuştur. Bunun yanı sıra bu oran suya dayanıklılık açısından %1,25 ayçiçeği sapı ilavesi olarak tespit edilmiştir. Kullanılan yerel malzemeler ve atık olan ayçiçeği sapları üretim maaliyetinde herhangi bir yüke sebep olmamıştır.

Bu çalışma ayçiçeği saplarının toprağa kütlece %0 ile %1,25 oranında ve 2-3 cm boyutlarında ilave edilmesiyle yapılmıştır. Benzer çalışmalar yapılırken; ayçiçeği saplarının ilave oranı ve uzunlukları değiştirilebilir. Bunun yanı sıra kerpiç numunelerin ısı geçirgenlik direnci, buhar difüzyon direnç katsayısı ve ses yalıtım değerleri de farklı çalışmaların inceleneme konusu olarak seçilebilir. Ayrıca kullanılan malzemelerin kimyasal yapısı ve mineralojik yapısı da araştırma konusu olarak değerlendirilebilir.

KAYNAKLAR

Adam, E.A., Agib, A.R.A. (2001) Compressed Stabilised Earth Block Manufacture in Sudan. Printed by Graphoprint for the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, UNESCO, Paris, 11.

Akkaş F. (2011). Lif Katkılı Kerpiç Panel Duvar Üretilme Olanaklarının Araştırılması. İstanbul Teknik Üniversitesi/ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Anon., (1993). VKF Vereinigung Kant. Feuerversicherungen, Brandschutzregister, Ausgabe.

Anon., SIA 181, Schallschutz im Hochbau, SIA 381/1 Baustoffkennwerte.

Archdaily, (2006). 23 Ocak 2021 tarihinde https://www.archdaily.com/508294/nk-mip-desert-cultural-centre-dialog adresinden erişildi.

Archdaily, (2017). 23 Ocak 2021 tarihinde https://www.archdaily.com/882468/sanbaopeng-art-museum-dl-atelier adresinden erişildi.

Arpacıoğlu, Ü. (2006). *Geçmişten Günümüze Kerpiç Malzeme Üretim Teknikleri ve Güncel Kullanım Olanakları*. 3.Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi ve Sergisi, İstanbul.

ASTM C 597-02, (2003). Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete. Annual Book of ASTM Standards, United States.

Ataç A. (2019). Mimarlıkta Biyomalzemelerin Kullanımı: Sıkıştırılmış Toprak Blokların Performansının Mikorizal Mantar Kullanılarak Geliştirilmesi. İstanbul Bilgi Üniversitesi, İstanbul.

Bab´e, C., Kidmo, D.K., Tom, A., Mvondo, R.R.N., Bernard, K., Djongyang, N. (2021). Effect of Neem (Azadirachta Indica) Fibers on Mechanical, Thermal and Durability Properties of Adobe Bricks. *Energy Reports*, 7, 686-698.

Bab´e, C., Kidmo, D.K., Tom, A., Mvondo, R.R.N., Boum, R.B.E., Djongyang, N. (2020). Thermomechanical Characterization and Durability of Adobes Reinforced with Millet Waste Fibers (Sorghum Bicolor), *Case Studies in Construction Materials*, 13.

Balkıs 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.

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

Bıllong, N., Mello. U. C. & Njopwouo, D., (2008), Properties of compressed lateritic soil stabilized with a burnt clay–lime binder: Effect of mixture components, Construction and Building Material, 23 (2009), pp 2457-2460.

Binici H., Aksoğan O., Bodur M. N., Akca E., Kapur S. (2007). Thermal Isolation and Mechanical Properties of Fibre Reinforced Mud Bricks as Wall Materials. *Construction and Building Materials,* 21, 901–906.

Binici H., Aksoğan O., Kaplan H. (2005). Utılısatıon of Alternatıve Materıals ın Manufacturıng of Mud Brıck. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi,* Cilt 11, Sayı 2, 309-316.

Binici H., Aksoğan O., Kaplan H. (2006). Kerpiç Üretimi İçin Uygun Killerin Mekanik Özelliklerinin Araştırılması. *GAP V. Mühendislik Kongresi Bildiriler Kitabı,1-8.*

Binici H., Aksoğan O., Shah T. (2005) Investigation of Fibre Reinforced Mud Brick as a Building Material. *Construction and Building Materials,*19, 313-318.

Binici, H., Aksoğan, O., Dinçer A., Luga, E., Eken, M., Işıkaltun, Ö. (2020). The Possibility of Vermiculite, Sunflower Stalk and Wheat Stalk Using for Thermal Insulation Material Production. *Thermal Science and Engineering Progress,* 18.

Blondet, M., Brzeu, S., Garcia. M. (2003). Earthquake-Resistant Construction of Adobe Buildings: A Tutorial. Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, California.

Bouchefra, I., Bichri, F.Z.E., Chehouani, H., Benhamou, B. (2022). Mechanical and Thermophysical Properties of Compressed Earth Brick Rienforced by Raw and Treated Doum Fibers. *Construction and Building Materials,* 318.

Calabria, J.A., Vasconcelos, W.L., Boccaccini, A.R. (2009). Microstructure and Chemical Degradation of Adobe and Clay Bricks. *Ceramics International,* 35, 665-671.

Calatan G., Hegyi A., Dico C., Mircea C. (2016). Determining the Optimum Addition of Vegetable Materials in Adobe Bricks. *Procedia Technology,* 22, 259 – 265.

Can Ö. (2008). Ferrokrom Curufunun Kerpicin Mühendislik Özelliklerine Etkisi. *Selçuk-Teknik Dergisi,* Cilt 7, Sayı:2,175-185.

Chan, C.M. (2011). Effect of Natural Fibres Inclusion in Clay Bricks: Physico-Mechanical Properties, *International Journal of Civil and Environmental Engineering,* 3(1), 51–57.

Çakır K. (2010). Doğal Puzolan Katkılı Kireç Harcı İle Toprak Karışımının Kerpiç Yapılarda Dış Sıva Olarak Kullanılabilmesi Üzerine Deneysel bir Araştırma. Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi/ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Çelebi, R., (2012), Anadolu Kerpiç Mimarlığı, T.C. İstanbul Kültür Üniversitesi.

Çepel, N. (1988). *Toprak İlmi.* İstanbul: İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi.

Çiçek, B., (2014). *Çağdaş Bir Yapı Malzemesi Olarak Toprak.* Selçuk Üniversitesi Mimarlık Fakültesi-Konya "Sürdürülebilir Mimari Tasarımda Kerpiç Malzeme Kullanımı" Paneli.

Çoşkun K. (2005). Alker (Alçı Katkılı Kerpiç) Teknolojisinin Püskürtme Beton (Shotcrete) Tekniği İle Uygulanabilirliğinin Basınç Dayanımı Açısından Deneysel Değerlendirmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

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, İstanbul.

Danso H., Martinson D. b., Ali M., Williams J. (2015). Effect of Fibre Aspect Ratio on Mechanical Properties of Soil Building Blocks. *Construction and Building Materials*, 83, 314-319.

Danso, H., Manu, D. (2020). Influence of Coconut Fibres and Lime on the Properties of Soil-Cement Mortar. *Case Studies in Construction Materials*, 12, 1-12.

Danso, H., Martinson, D.B., Ali M., Williams, J.B. (2017). Mechanisms by Which the Inclusion of Natural Fibres Enhance the Properties of Soil Blocks for Construction. *Journal of Composite Materials*, 51(27) 3835-3845.

Davıdovıts, J., (2002), 30 Years of Successes and Failures in Geopolimer Applications, Geopolimer 2002 Conference. 28-29 October 2002 Australia. CD: ISNB 0-9750242-0-5.

De Sensi, B. (2003). Terracruda, La Diffusione Dell'architettura Di Terra (Soil, Dissemination of Earth Architecture).

Değirmenci N. (2005). The Use of Industrıal Wastes ın Adobe Stabılızatıon. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 18, 505-515.

Dobson, S., (2004). Continuity of Tradition: New Earth Building. Earth Building Research Forum Universitiy of Technology Sydney, Avustralya.

Durmuş, C., (1988). Çeltik Kavuzu Katkısıyla Kerpiç Üretimi Üzerine Bir Araştırma, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi/ Fen Bilimleri Enstitüsü, 1-9, Ankara.

Eartharchitecture (2007). 23 Aralık 2021 tarihinde http://eartharchitecture.org/?m=200711 adresinden erişildi.

Eartharchitecture (2009). 23 Ocak 2021 tarihinde http://eartharchitecture.org/?p=514 adresinden erişildi.

Elborgy, R. (2019). Use Palm Leaves Added to Adobe for Applications in The Restoration Process Adobe Houses. *Seventh International Conference Kerpiç'19 Earthen Heritage, New Technology, Management,*Volume 1, 253-265.

Erdoğan, Y, T., (2003). Beton, O.D.T.Ü. Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.ş. Ankara.

Eriç, M., (1994). Yapı Fiziği ve Malzemesi, Literatür Yayınları:2, İstanbul.

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

Faraj, R.H., Ahmed, H.U., Hama, H.F., Sherwani, A.F.H. (2022). Fresh and Mechanical Properties of Concrete Made with Recycled Plastic Aggregates. *Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering*, 167-185.

Fotouhi, M., Bahrami P. (2019). "The Role of Cotton Seed Oil as an Additive Material in Adobe: Ardakan's Adobe Structure Samples". *Seventh International Conference Kerpiç'19 Earthen Heritage, New Technology, Management,*Volume 1, 335-339.

GlobalABC, UNEP, IEA. (2018) Global Status Report: Towards A Zero-Emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector. 73.

Gül, T. (2011). Cam Elyaf Ve Hava Sürükleyici Katkı Kullanılarak Geliştirilmiş Kerpiç. İstanbul Teknik Üniversitesi/ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Güneri, M., Umaroğulları F., (2022). *Scientific Studies on Improvement of The Properties of Adobe Material,* Re-Thinking Earthen Architecture for Sustainable Development, 9th International Conference, İstanbul Turkey.

Gürbüz Göknil (2005). Toprak Yapı Malzemesinin Stabilizasyonu Ve Toprak Bina Yapım Teknikleri Üzerine Bir Araştırma. Gazi Üniversitesi /Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

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

Gürfidan, A. (2006). Safranbolu Evlerinde Kullanılan Kerpiç Malzemenin Yüksek Fırın Cürufu İle İyileştirilmesi. Sakarya Üniversitesi/ Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

Hall, M.R., Lindsay, R., Krayenhoff, M. (2012). "Modern Earth Buildings Metarials, Engineering, Construction and Applications", UK, Woodhead Publishing Limited.

Helvacı G. (2001).Gap Bölgesinde İnsan Yerleşmelerinin İyileştirilmesi Amacıyla Alçı Katkılı Kerpiç Ve Tuğla Duvarın Şanlıurfa Toplu Konut Projesi Üzerinde Karşılaştırılması. İstanbul Teknik Üniversitesi/ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Holmes, S., & Wıngate, M., (2000), *Building with Lime, Intermediate Technology Publications,* London, ISNB 1-85339-384-3.

Houben, H., Guillaud, H. (1994). *Earth Construction: A Comprehensive Guide.* UK: Intermediate Technology Publications.

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.

Işık, B., (2003). *"Depreme Dayanıklı Yapı Elde Edilmesi için Alker Duvarın Tasarım Kriterlerinin araştırılması",* CD Bildiri No: AE-048, Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 26-30 Mayıs 2003, İstanbul.

Işık, B., (2011). Conformity of Gypsum Stabilized Earth- Alker Construction with 'Disaster Code 97' in Turkey, Cyprus International University, *International Journal of Civil & Environmental Engineering,* 11(02), N-Cyprus.

Işık, B., Akın, A., Kuş, H., Çetiner, İ., Göçer, C., Arıoğlu, N., (1995). Alçı Katkılı Kerpiç Yapı Malzemesine Uygun Mekanize İnşaat Teknolojisinin ve Standartlarının Belirlenmesi, TÜBİTAK İNTAG TOKİ 622, İstanbul.

İlisu, K., (1973). Yağ Bitkileri ve Islahı, Çağlayan Basımevi, Çağaloğlu İstanbul.

Jadhoa, P. D. & Nagarnaık, P. B., (2008). Strenght Characteristics of Soil Fly ash Mixtures Reinforced with Randomly Oriented Polypropylene Fibers, First International Conference on Emerging Trends in Engineering and Technology. 16-18 July 2008 India.

Jannat, N., Mufti, R.L.A., Hussien, A., Abdullah, B., Cotgrave, A. (2022). Influences of Agro-Wastes on the Physico-Mechanical and Durability Properties of Unfired Clay Blocks. *Construction and Building Materials,* 318.

Kafesçioğlu R., Gürdal E. (1985). *Çağdaş Yapı Malzemesi "Alçılı Kerpiç" (ALKER),* Ankara.

Kafesçioğlu, R. (1980). *Yapı Malzemesi Olarak Kerpicin Alçı ile Stabilizasyonu. TÜBİTAK MAG 505*, İstanbul.

Kafesçioğlu, R., (2008), Gypsum-Stabilized Adobe (Alker) Structures: An Evaluation of Their Social, Economic and Environmental Advantages, 8th

International Seminar on Structural Masonry, 5-7 Kasım 2008 İstanbul: İTÜ Yayınları.

Kılınçkale F., Gül T. (2013). Cam Elyaf Ve Hava Sürükleyici Katkı İle Geliştirilmiş Kerpiç. *Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi,* 31, 289-297.

Kıvrak J. (2007). Silis Dumanı Katkılı Kerpiçlerin Mekanik Ve Fiziksel Özelliklerinin Araştırılması. Gazi Üniversitesi/ Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Kıvrak S., Kıvrak J. (2013). Silis Dumanı Katkılı Kerpiçlerin Basınç Dayanımının Araştırılması. *SDU International Technologic Science*, Vol. 5, No 1, 63-66.

Knapik, E., Stopa, J. (2018). Fibrous Deep-Bed Filtration for Oil/Water Separation Using Sunflower Pith as Filter Media. *Ecological Engineering,* 121, 44-52.

Koç Z.,G., Akbulut ,D. E., (2017). "Ekolojik Tasarım Kapsamında Dünyada ve Türkiye'de Toprak Yapı Standart ve Yönetmeliklerinin Değerlendirilmesi", *Megaron,* 12(4) DOI: 10.5505/megaron.2017.48615.

Kohnke, H. (1968). *Soil Physics.* New York: McGraw-Hill Inc.

Kömürcüoğlu, E.A., (1962). Yapı Malzemesi Olarak Kerpiç ve Kerpiç inşaat Sistemleri, İstanbul Teknik Üniversitesi.

Kuşaslan D. (2002). Yapıda Durabilite Ve Hasar Analizi, Alçılı Kerpiç Yapı Örneği Üzerinde İncelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Letelier, G.A., Riedel, J.C., Antico, F.C., Valdes, C., Caceres, G. (2018). Influence of Natural Fiber Dosage and Length on Adobe Mixes Damage-Mechanical Behavior. *Construction and Building Materials,* 174, 645-655.

Melia, P., Ruggieri, G., Sabbadini, S., Dotelli, G. (2014). Environmental Impacts of Natural and Conventional Building Materials: A Case Study on Earth Plasters. *Journal of Cleaner Production,* 80, 179-186.

Millogo Y., Morel J., Aubert J., Ghavami K. (2014). Experimental analysis of Pressed Adobe Blocks reinforced with Hibiscus cannabinus fibers. *Construction and Building Materials,* 52 (2014) 71-78.

Millogo, Y., Aubert, J. E., Hamard, E., Morel, J. C. (2015). How Properties of Kenaf Fibers from Burkina Faso Contribute to the Reinforcement of Earth Blocks. *Materials,* 8.

Minke, G. (2006). Building with earth, Basel, Berlin, Boston: Birkhauser-Publishers For Architecture.

NZS 4298, (1998). Materials and Workmanship of Earth Buildings, New Zealand Standards.

Ouedraogo, M., Dao, K., Millogo, Y., Aubert, J. E., Seynou, A. M., Zerbo, L., Gomina, M. (2019). Physical, Thermal and Mechanical Properties of Adobes Stabilized with Fonio (Digitaria Exilis) Straw, *Journal of Building Engineering.* 23, 250–258.

Parra-Saldıvar, M.L. ve Batty, W. (2006). Thermal Behaviour of Adobe Constructions, *Building and Environment*, 41.

Parvez, K. (2019).Characterization Techniques of Two-Dimensional Nanomaterials. *Micro and Nano Technologies,* 29-41.

Paul, S., Islam, M.S., Elahi, T.E. (2022). Comparative Effectiveness of Fibers in Enhancing Engineering Properties of Earth as a Building Material: A review. *Construction and Building Materials,* 332.

Pedergnana E. A. (2015). Physıcal and Thermal Propertıes of Pıne-Needle Lıghtweıght Loam. Orta Doğu Teknik Üniversitesi/ Fen bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Pennec, F., Alzina, A., Doyen, N.T., B. Naït-Ali, B., Baouche, N.M., Baynast, H., Smith, D.S. (2013). A Combined Finite-Discrete Element Method for Calculating the Effective Thermal Conductivity of Bio-Aggregates Based Materials. *International Journal of Heat and Mass Transfer,* 60, 274-283.

Perker, Z.S., Akkuş, K., (2019). Toprak Yapı Malzemesi ile Mimarlık: Çağdaş Uygulamalar Üzerine Bir Değerlendirme. *Online Journal of Art and Design*, 7(4), 160-172.

Ragassi, V. (1985). *Compressed Earth Blocks*, Germany: A Publication of the Deutsches Zentrum für Entwicklungstechnologien.

Rangan, B. V. & Hardjjıto, D., (2005). "Development and Properties of Low Calcium Fly Ash Based Geopolymer Concrete", J Master Sci , 43, pp 824–831.

Reddy, B. V. & Lokras, S. S., (1998). Steam-Cured Stabilised Soil Bloks For Masonry *Construction, Energy and Buildings*, 29 (01). pp. 29-33 .

Reddy, B.V., Kumar, P. (2010). Embodied Energy in Cement Stabilised Rammed Earth Walls. *Energy Buildings*, 42(3), 380–385.

Saidi, M., Cherif, A.S., Zeghmati, B., Sediki, E. (2018). Stabilization Effects on the Thermal Conductivity and Sorption Behavior of Earth Bricks. *Construction and Building Materials,* 167, 566–577.

Schonnopp, G. (1943). *Die Lehmbau Weisen Teil I und II,Industrie*. Hamburg: Industrie- Und Handelsverlag G.M.B.H.

Shukla, A., Tiwari, G.N., Sodha, M.S. (2009). Embodied Energy Analysis of Adobe House. *Renewable Energy,* 34, 755-761.

Siyahi, B. (1986). *Ultrases Geçiş Süresi Yönteminin Betona Uygulanması*. (Yüksek Lisans Tezi). Anadolu Üniversitesi/ Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

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

Toledo, F. (1997). Natural Fibre Reinforced Mortar Composites: Experimental, Characterisation. (Ph.D. Thesis). DEC-PUC-Rio Brazil, 472 pp.

Torgal, F., Jalali, S. (2012). Earth Construction: Lessons from the Past for Future Eco-Efficient Construction. *Construction and Building Materials,* 29, 512-519.

TS 2514 (1977). ," Kerpiç Bloklar ve Yapım Kuralları" , Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1-11.

Tülbentçi D. (2002). Yapı Üretiminde Toplam Kalite Yönetimi Ve Kerpiç Yapı Üretiminde Uygulanması. İstanbul Teknik Üniversitesi/ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

UNESCO. 04 Ocak 2021 tarihinde https://whc.unesco.org/en/list/1208/ adresinden erişildi.

UNESCO. 04 Ocak 2021 tarihinde https://whc.unesco.org/en/list/1405/gallery/ adresinden erişildi.

UNESCO. 04 Ocak 2021 tarihinde https://whc.unesco.org/en/list/192/gallery/ adresinden erişildi.

UNESCO. 04 Ocak 2021 tarihinde https://whc.unesco.org/en/list/444/gallery/&maxrows=44 adresinden erişildi.

Vandna S., Hemant K. V., Bhanu M. M. (2015). Enhancing Sustainability of Rural Adobe Houses of Hills by Addition of Vernacular Fiber Reinforcement. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 4, 348-358.

Yang, J., Liu, W., Zhang, L. & Xiao, B., (2009). Preparation of load-bearing building materials from autoclaved phosphogypsum, *Construction and Building Materials*, 23 (2009) pp 687–693.

Yardımlı, S., (2021). Çevreci Yaklaşımlarda Malzeme ve Yapım Tekniği; Çağdaş Kerpiç Yapılar. *Kent Kültürü ve Yönetimi Dergisi*, 14(2), 398-413.

Yetgin Ş., Çavdar Ö., Çavdar A. (2008).The Effects of The Fiber Contents on The Mechanic Properties of The Adobes. *Construction and Building Materials*, 22, 222-227.

Zami, M.S., Lee, A. (2009). Use of Stabılısed Earth ın the Constructıon of Low Cost Sustaınable Housıng ın Afrıca – an Energy Solutıon ın the Era of Clımate Change. *International*



Özgeçmiş

KİŞİSEL

İsim	**Merve GÜNERİ**
Doğum Tarihi	**1995**
Doğum tarihi	**Alanya/ANTALYA**
Cinsiyet	**Kadın**
Medeni durum	**Bekar**

Eğitim ve Nitelikler

Eyl 2009 - Haz 2013 — **Lise**
Hasan Çolak Anadolu Lisesi, Alanya/ANTALYA

Eyl 2014 - Tem 2018 — **Lisans - Mimar**
Trakya Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, Merkez/EDİRNE

Oca 2019 - Halen — **Yüksek Lisans**
Trakya Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, Merkez/EDİRNE

İş Deneyimi

Tem 2015 - Ağu 2015 — **Şantiye Stajı**
Yaka İnşaat, Merkez/EDİRNE
Mimari Proje Analizi
Uygulama Kontrolü

Tem 2017 - Ağu 2017 — **Ofis Stajı**
Adil Okur Mimarlık, Alanya/ANTALYA
Mimari Proje Çizimi
3D Mimari Görselleştirme

Oca 2019 - Ara 2021 — **Kontrol Elemanı**
EDR Yapı Denetim, Merkez/EDİRNE
Proje Kontrolü
Şantiye Denetimi

Mar 2022 – Halen — **Araştırma Görevlisi**
Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Güzel Sanatlar Mimarlık ve Tasarım Fakültesi
Yapı Bilgisi Anabilim Dalı

Programlar

AutoCAD

Adobe Photoshop

SketchUp

Lumion

Archicad

3ds Max

Microsoft Word

Microsoft Excel

İlgi Alanları

Sürdürülebilir Yapı Malzemeleri, Toprak ve Lif Bazlı Kompozit Malzemeler

Diller

İngilizce

Almanca