



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



ALÇI KATKILI SIKIŞTIRILMIŞ TOPRAK
YÜZEYİNE UYGULANAN DOĞAL
REÇİNEİNİN SU DAYANIMINA ETKİSİ

Durdane BALKIR

YÜKSEK LİSANS

Mimarlık Anabilim Dalı

Temmuz-2024
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Durdane BALKIR tarafından hazırlanan “Alçı Katkılı Sıkıştırılmış Toprak Yüzeyine Uygulanan Doğal Reçinenin Su Dayanımına Etkisi” adlı tez çalışması 05/07/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Doç. Dr. Sema ALAÇAM
(İstanbul Teknik Üniversitesi)

Danışman

Doç. Dr. Selçuk SAYIN
(Konya Teknik Üniversitesi)

Üye

Doç. Dr. İlhan KOÇ
(Konya Teknik Üniversitesi)

İmza

.....

.....

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Mevlüt UYAN
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

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

DECLARATION PAGE

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

Durdane BALKIR

Tarih: 05.07.2024

ÖZET

YÜKSEK LİSANS

ALÇI KATKILI SIKIŞTIRILMIŞ TOPRAK YÜZEYİNE UYGULANAN DOĞAL REÇİNEİNİN SU DAYANIMINA ETKİSİ

Durdane BALKIR

**Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Mimarlık Anabilim Dalı**

Danışman: Doç. Dr. Selçuk SAYIN

2024, 64 Sayfa

**Jüri
Doç. Dr. Selçuk SAYIN
Doç. Dr. Sema ALAÇAM
Doç. Dr. İlhan KOÇ**

Toprak malzeme, betonarmedeki gibi ek katmanlara ihtiyaç duyulmadan yapısal konfor koşullarını sağlaması, maliyetinin düşük olması, üretiminde ve kullanımında daha az enerji kullanılması, geri dönüştürülebilir olması, insan sağlığına ve çevreye zararsız olması ve ekolojik olması gibi sayısız avantajlı yöne sahiptir. Buna karşılık basınç dayanımının zayıf olması, suya karşı duyarlı olması, kalın duvarların mekândan kayıplara yol açması, işçilik ve zaman istemesi gibi olumsuz yönleri sahiptir. 1980 yılından bu yana İTÜ'de gerçekleştirilen kapsamlı çalışmalar, kerpice su dayanımı, basınç dayanımı ve hızlı üretim gibi çeşitli özelliklerini geliştirmiş ve bu süreçte alker yapı malzemesi önemli bir yenilik olarak ortaya çıkmıştır. Toprak karışımının içeriğine katılan kireç su dayanımını artırmada olumlu sonuçlar doğurmuştur. Alkerin yüzeyine uygulanacak kaplamanın, malzemenin suya karşı korunumuna katkısı literatürde eksik kalmış bir konudur. Sürdürülebilir olan toprak yapı malzemesinin niteliğini iyileştirmek için yüzeyine uygulanacak olan malzemenin çevre dostu sürdürülebilir bir malzeme olması önemlidir. Doğal reçineler su itici özelliği sayesinde uygulandığı yüzeyde su alımını azaltarak fiziksel dayanımı artırmaktadır. Çalışmada, geleneksel kerpice kıyasla su dayanımı yüksek olduğu bilinen alçı katkılı sıkıştırılmış toprağın yüzeyine uygulanacak doğal reçinenin su dayanımına etkisi incelenmiştir. Alker reçetesi uygun hazırlanan toprak karışımı 15 cm x 15 cm x 15 cm boyutlarında 6 adet çelik kalıp içerisinde

sıkıştırılmıştır. 3 adet reçineli ve 3 adet reçinesiz alker numunenin su emme deneyi gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonuçları, alçı katkılı sıkıştırılmış toprak yüzeyine doğal reçine uygulamasının malzemenin su emme miktarını azaltarak suya karşı dayanımını artırdığını ve aynı zamanda malzemenin doğal görünümünü koruyarak şeffaf ve geçirgen bir tabaka oluşturduğunu göstermektedir. Doğal reçinenin alker malzemesinin suya dayanımını artırmak için etkili bir alternatif olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Alker, doğal reçine, sıkıştırılmış toprak, su dayanımı



ABSTRACT

MS THESIS

THE EFFECT OF NATURAL RESIN APPLIED TO GYPSUM-STABILIZED RAMMED EARTH SURFACE ON WATER RESISTANCE

Durdane BALKIR

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Architecture**

Advisor: Assoc.Prof.Dr. Selçuk SAYIN

2024, 64 Pages

**Jury
Assoc.Prof.Dr. Selçuk SAYIN
Assoc.Prof.Dr. Sema ALAÇAM
Assoc.Prof.Dr. İlhan KOÇ**

Earth material has numerous advantageous aspects such as providing structural comfort conditions without the need for additional layers as in reinforced concrete, having low cost, using less energy in production and use, being recyclable, being harmless to human health and the environment, and being ecological. However, it also has negative aspects such as weak compressive strength, sensitivity to water, causing space loss with thick walls, requiring labor and time. Studies conducted at ITU since 1980 have contributed to the development of alker building material, which has improved in many aspects such as water resistance, compressive strength, and rapid production of earth building material. Additives incorporated into the content of the earth mixture have yielded positive results in increasing water resistance. The contribution of the coating to be applied to the surface of alker to the protection of the material against water remains a topic lacking in the literature. It is important for the material to be applied to the surface to be environmentally friendly and sustainable in order to improve the quality of sustainable earth building material. Natural resins increase biological resistance by reducing water intake on the applied surface thanks to their water-repellent properties. In the study, it was investigated whether the application of natural resin to the surface of gypsum-modified rammed earth, known to have high water resistance compared to adobe, would further affect its water resistance. The earth mixture prepared according to the alker recipe was compressed in 6 steel molds with dimensions of 15 cm x 15 cm x 15 cm. Water

absorption tests were performed on 3 resin-coated and 3 resin-free alker samples. The results of the study indicate that the application of natural resin to the surface of gypsum-modified rammed earth reduces water absorption and increases resistance to water, while also preserving the natural appearance of the material by forming a transparent and permeable layer. It has been concluded that natural resin is an effective alternative for increasing water resistance of alker material.

Keywords: Alker, natural resin, rammed earth, water resistance



ÖNSÖZ

Yüksek lisans ve tez çalışmam süresince değerli katkılarıyla bana destek olan ve yönlendiren danışman hocam Doç. Dr. Selçuk SAYIN'a minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

Deneyisel çalışmalar sırasında laboratuvar imkanı sunan ASÜ'ye ve deney sırasında Mühendislik Fakültesi, Yapı Malzemeleri Laboratuvarı'nda yardımlarını esirgemeyen ASÜ akademik personellerine teşekkürü borç bilirim.

Hayatım boyunca verdiğim tüm kararlarda beni destekleyen, emeklerinin karşılığını ödeyemeyeceğim canım annem Hacer DAĞ ve babam Halil DAĞ'a, canım kardeşlerime, bu süreçte her daim yanımda olan ve beni cesaretlendiren sevgili eşim Tunahan BALKIR'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Durdane BALKIR
KONYA-2024

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	vi
ÖNSÖZ	viii
İÇİNDEKİLER	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Amaç	3
1.2. Kapsam	3
1.3. Yöntem.....	4
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE.....	5
2.1. Toprak	5
2.1.1. Toprağın Bileşenleri	5
2.1.2. Toprağın Yapı Malzemesi Olarak Kullanılması	5
2.1.3. Toprak Yapıların Enerji Tasarrufu ve Sürdürülebilirlik Açısından Değerlendirilmesi.....	6
2.2. Geleneksel Kerpiç.....	7
2.2.1. Kerpiç Toprağı.....	7
2.2.2. Geleneksel Kerpici Olumlu Yönleri	8
2.2.3. Geleneksel Kerpici Olumsuz Yönleri	9
2.2.4. Geleneksel Kerpici Katkı Maddeleriyle İyileştirilmesi	10
2.2.4.1. Saman ve Benzeri Lifler Katılması.....	10
2.2.4.2. Kireç Katılması	11
2.2.4.3. Alçı Katılması	11
2.2.4.4. Çimento Katılması	11
2.3. Alker	12
2.3.1. Alkerin Mekanik ve Fiziksel Özellikleri	13
2.3.2. Alker Yapım Teknikleri.....	15
2.3.2.1. Alker Bloklar ile Duvar Örülmesi	16
2.3.2.2. Duvar Kalıbı İçinde Alkerin Tokmaklanması.....	17
2.3.3. Alker Çalışmaları	17
2.4. Sıkıştırılmış Toprak Duvar Tekniği	23
2.4.1. Sıkıştırılmış Toprak Duvar Tekniğinin Uygulama Aşamaları.....	23
2.4.1.1. Toprak Seçimi	24
2.4.1.2. Kalıp.....	25
2.4.1.3. Araçlar.....	26
2.4.2. Prefabrik Sıkıştırılmış Toprak Duvar Tekniği	28
2.4.3. Sıkıştırılmış Toprağın Katkı Maddeleriyle İyileştirilmesi	29
2.4.3.1. Çimento Katkısı ile İyileştirme	29
2.4.3.2. Kum ve Agregat Katkısı ile İyileştirme	30

2.4.3.3. Kömür Külü Katkısı ile İyileştirme	30
2.4.3.4. Saman ve Çim Lifi Katkısı ile İyileştirme	30
2.4.4. Sıkıştırılmış Toprak Duvarların Boyanmasında Performansı Etkileyen Faktörler.....	30
2.4.5. Sıkıştırılmış Toprak Duvarların Su Dayanımını Artırmaya Yönelik Yapılan Çalışmalar	31
2.5. Doğal Koruyucu Olarak Reçineler	32
3. MATERYAL VE METOD	34
3.1. Materyal.....	35
3.1.1. Toprak.....	35
3.1.2. Alçı.....	35
3.1.3. Kireç.....	35
3.1.4. Su	36
3.1.5. Reçine	36
3.2. Metod.....	36
3.2.1. Numunelerin Deneye Hazırlanması.....	36
3.2.1.1 Toprak Seçimi.....	36
3.2.1.2 Numune kalıplarının hazırlanması.....	39
3.2.1.3 Karışımın hazırlanması	40
3.2.1.4 Karışımın kalıplara dökülmesi ve sıkıştırılması	40
3.2.2. Su emme deneyi.....	41
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	47
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	58
5.1 Sonuçlar	58
5.2 Öneriler	60
KAYNAKLAR	61

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

- A_s : Deney numunelerinin suya temas ettirilen yüzeyinin brüt alanı, (mm²)
- $C_{w,s}$: Kapiler su emme katsayısı,
- $m_{dry,s}$: Deney numunesinin kurutma sonrasındaki kütlesi, (gr)
- $m_{s0,s}$: Deney numunesinin (t) süreyle suya temas ettirildikten sonraki kütlesi
- t_{s0} : Deney numunesinin suya temas ettirilme süresi, (dakika)



Kısaltmalar

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
Alker	: Alçı katkılı kerpiç
ARGE	: Araştırma ve Geliştirme
ASTM	: Amerikan Malzeme ve Test Derneği (American Society for Testing and Materials)
ASÜ	: Aksaray Üniversitesi
BKM	: Beşiktaş Kültür Merkezi
BRE	: Building Research Establishment
Diğ.	: Diğerleri
GAP	: Güneydoğu Anadolu Projesi
İTÜ	: İstanbul Teknik Üniversitesi
M.Ö	: Milattan önce
TOKİ	: Toplu Konut İdaresi
TS	: Türk Standartları
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu
USGBC	: Amerikan Yeşil Binalar Konseyi
Vb.	: Ve benzeri

1. GİRİŞ

Dünya genelinde yapı sektöründe malzeme tercihlerinde iki farklı seçimin olduğu görülmektedir. Gömülü enerjisi yüksek olan, sürdürülebilir olmayan beton, çelik gibi güncel malzemeler; bir diğeri, uzun yıllar kullanılan, gömülü enerjisi düşük olan, sürdürülebilir olan toprak, ahşap, taş gibi doğal malzemelerdir (Özgünler ve Gürdal, 2018).

II. Dünya savaşıdan önce doğal ve beşerî afetler sonucu evsiz kalanların barınma ihtiyacı toprak evler yapılarak geçici olarak sağlanmıştır. Buna karşılık günümüzde insan ve çevre sağlığına zararsız, sürdürülebilir doğal yapılar bilinçli kullanıcılar tarafından özel olarak tercih edilmektedir. Amerikan Yeşil Binalar Konseyi (USGBC) tarafından geliştirilen LEED sertifikasyonu ve İngiltere'de Building Research Establishment (BRE) tarafından geliştirilen BREEAM sertifikasyonu yapıların sürdürülebilir özelliklerini inceleyen sertifikasyon sistemleridir. Bu sistemler yeşil binaları, sürdürülebilirlik, enerji tasarrufu, su verimliliği, malzeme seçimi ve iç mekan kalitesi gibi kriterlere bağlı olarak değerlendirir, uygun kriterleri sağladıkları takdirde yeşil bina derecelerine göre belgelendirirler. Amerika Birleşik Devletleri (ABD) ve Batı Avrupa ülkelerinde, gelişmiş teknolojiler kullanılarak yapılan ve yeşil bina sertifikasyonuna sahip olan yapıların sayısı artmaktadır.

Türkiye’de ise II. Dünya Savaşı sonrasında doğal yapı malzemeleri arasında en çok tercih edilen toprak malzemenin gelişmişlikle ters düştüğü yargısı oluşmuştur. Geleneksel malzemeler ve yapım sistemleri unutulmuş, zamanla bu teknikleri bilen kişi sayısı azalmıştır. İmkânı olanlar evlerini tuğla, beton gibi günümüz yapı malzemeleriyle yaptırmıştır. İmkânı olmayanlar evlerini yeterli teknik bilgiye sahip olmadan yöredeki yapı malzemesini kullanarak yapmıştır. Ancak, yeterli teknik bilgiye sahip olmadan yapılan toprak yapılar, yaşanan depremlerde yıkılarak ve hasar alarak bu olumsuz algıları artırmıştır (Aksoy, 2017).

Toprak malzeme, betonarmedeki gibi ek katmanlara ihtiyaç duyulmadan yapısal konfor koşullarını sağlaması, maliyetinin düşük olması, üretiminde ve kullanımında daha az enerji kullanılması, geri dönüştürülebilir olması, insan sağlığına ve çevreye zararsız olması ve ekolojik olması gibi sayısız avantajlı yöne sahiptir. Buna karşılık basınç dayanımının zayıf olması, suya karşı duyarlı olması, kalın duvarların mekândan kayıplara yol açması, işçilik ve zaman istemesi gibi olumsuz yönleri vardır. Ayrıca gelişmişlikle

ters düştüğüne dair önyargılar olan bir yapı malzemesidir. Bu olumsuz yargılar artarak günümüzde toprak yapıların kötü bir imaja sahip olmasına neden olmuştur.

Türkiye'nin farklı iklim bölgelerinde farklı teknikler kullanılarak yapılan toprak yapılar için kerpiç terimi kullanılmaktadır. Kerpicein basınç dayanımının düşük olması ve suya karşı direncinin zayıf olması bilinen iki sakıncalı yönüdür (Özgünler ve Gürdal, 2018). Ayrıca kerpicein üretim aşamalarını oluşturan kalıplara dökme, gölgeye serme, çevirme, kurutma işlemleri hem işçilik isteyen hem de süreci yavaşlatan durumlardır (Özcan, 2005). Kerpiç yapı üretilirken, kerpicein özelliklerinin iyileştirilerek, metotların sürekli gelişimini içeren rekabetçi stratejilerin kullanılması; kalitenin artırılmasına, maliyetlerin düşürülmesine ve üretkenliğin çoğaltılmasına büyük katkı sağlamaktadır (Tülbentçi, 1998). Son zamanlarda kerpicein zayıf yönlerinin iyileştirilerek modern bir yapı malzemesi olarak kullanılabileceğini gösteren çok sayıda araştırma yapılmıştır (Çavuş ve diğ., 2015). Kerpiç toprağına alçı ve kireç gibi katkı maddeleri ilave edilerek basınç dayanımı yüksek, tozmayan, suya karşı daha az duyarlı ve daha hızlı üretilabilen alker malzeme elde edilmiştir (Özgünler ve Gürdal, 2018). Alker harcına ilave edilen kireç, malzemenin su emilim miktarını azaltarak, malzemeyi suya karşı daha dayanıklı hale getirir (Aydınay, 2002). Alker harcına ilave edilen alçı ise, harcın kuruma sırasında priz alma süresini hızlandırarak, rötre oluşumunu ve deformasyonu önleyerek kerpice kıyasla alkerin basınç dayanımının artmasını sağlar (Kafescioğlu ve diğ., 1980). Alker (alçı katkılı kireç) harcı bloklar halinde ve sıkıştırılmış toprak duvar tekniğıyle üretilmektedir. Sıkıştırılmış toprak tekniğı, endüstriyel kalıplar ve elektrikli tokmaklar kullanılarak alkerin daha kısa zamanda daha kolay üretimini sağlamaktadır.

Yapılan çalışmalarda kerpiç harcının katkı maddeleriyle iyileştirildiğı ve su dayanımının artırıldığı görülmüştür. Kerpice göre suya karşı daha dayanıklı hale gelen alker malzemenin uzun süreli kullanımında sudan kaynaklanan bozulmaları en aza indirmek ve malzemeyi daha dayanıklı hale getirmek amacıyla yüzeyinde koruyucu bir tabaka oluşturulması düşünülmüştür. Alker malzemenin yüzeyine uygulanacak kaplamanın, malzemenin suya karşı korunumuna katkısı literatürde eksik kalmış bir konudur. Çalışmada, reçine gibi doğal koruyucu katmanlar kullanmanın alker malzemenin su dayanımına etkisi araştırılmaktadır. Alker malzemenin yüzeyinde doğal koruyucu olarak çam reçinesi kullanılmasının malzemenin su dayanımını artıracığı hipoteziyle çalışma yapılmıştır.

1.1. Amaç

1980 yılından bu yana İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ)'nde yapılan çalışmalar toprak yapı malzemesinin su dayanımı, basınç dayanımı ve hızlı üretimi gibi birçok konuda gelişimini sağlamış, alker yapı malzemesi geliştirilmiştir. Toprak karışımının içeriğine katılan kireç ve alçı kerpicingin su dayanımını artırmada olumlu sonuçlar doğurmuştur. Ancak literatür taraması sonucunda, alker yapı malzemesinin yüzeyini kaplamak suretiyle iç ve dış yüzeyinde koruyucu bir tabaka oluşturarak malzemenin su dayanımını artırmaya yönelik bir çalışma yapılmadığı görülmüştür.

Sürdürülebilir toprak yapı malzemelerinin niteliklerinin iyileştirilmesi amacıyla, yüzey kaplama malzemelerinin de çevre dostu ve sürdürülebilir özellikler taşıması büyük önem taşımaktadır. Araştırmanın amacı, sıkıştırılmış toprak duvar tekniğiyle üretilen alker yapı malzemesinin yüzeyine uygulanacak şeffaf doğal reçinenin, sıkıştırılmış toprak duvarın estetik görünümünü ve sürdürülebilirliğini korumasının yanında malzemenin su dayanımına katkısını ölçmektir.

1.2. Kapsam

Bu tez kapsamında, alker harcının sıkıştırılmış toprak tekniğiyle üretiminden elde edilen numuneler üzerine doğal reçine uygulanarak malzemenin su dayanımına etkisi ölçülmüştür.

Hazırlanan tez çalışması kapsamında ilk bölümde konuya genel bir giriş yapılarak çalışmanın problemi ve hipotezi ortaya konulmuştur.

İkinci bölümde, alker, doğal reçine, sıkıştırılmış toprak ve su dayanımı anahtar kelimeleri kullanılarak konuyla ilgili genel bir kavramsal çerçeve oluşturulmuştur, beş ana başlıkta incelenmiştir. Alker malzemenin gelişimi, uygulama teknikleri ve doğal koruyucu olarak reçinelerle ilgili makaleler, tezler ve deneylere yer verilmiştir.

Üçüncü bölümde deneysel çalışmayı gerçekleştirmek için kullanılan materyaller ve deneysel metot aşamaları anlatılmıştır.

Dördüncü bölüm olan bulgular ve tartışmada ise deneysel sonuçlardan elde edilen bulgular analiz edilip tartışılmıştır.

Beşinci bölümde ise çalışmanın sonuçları ve yapılacak çalışmalara yön verecek öneriler yer almaktadır.

1.3. Yöntem

Çalışmada, alker yüzeyine doğal reçine uygulamasının, malzeme yüzeyinde şeffaf koruyucu tabaka oluşumunu sağlamak ve malzemenin su dayanımına katkısını belirlemek için, sıkıştırılmış toprak tekniği ile üretilmiş reçineli ve reçinesiz numunelerde su emme deneyi yapılmıştır.



2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Bu bölümde alker, doğal reçine, sıkıştırılmış toprak ve su dayanımı anahtar kelimeleri kullanılarak literatür araştırması yapılmış ve belirlenen anahtar kelimeler kapsamında bu bölüm beş alt başlığa ayrılmıştır.

2.1. Toprak

Toprak yeryüzü katmanlarının en üstünde bulunan, kolay şekillendirilebilen ve kohezyon özelliği bulunan gevşek katmandır (Çiçek, 2014).

2.1.1. Toprağın Bileşenleri

Toprak katı, sıvı ve gazlardan oluşur. Toprağın tanecikleri arasında bulunan gazlar, dış ortamdan alınan ya da organik maddelerin bozulması sonucu açığa çıkan gazlardır. Atmosferden yağmur yoluyla gelen su, canlıların toprağa bıraktıkları atıklar toprağın sıvı bileşenlerini oluşturur. Katı bileşenler ise toprağın büyük kısmını oluşturan, suda çözünmeyen organikler ve minerallerden oluşur. Toprağın içeriğinde bulunan bu katı, sıvı ve gazların oranı, toprağın kalitesini ve niteliğini oluşturur (Çiçek, 2014).

Toprak, agrega olarak isimlendirilen çakıl ve kum boyutundaki taneler ile bu taneler arasındaki boşluğu dolduran, bağlayıcılığı sağlayan kil ve siltten oluşmaktadır (Kafescioğlu ve diğ., 1980).

2.1.2. Toprağın Yapı Malzemesi Olarak Kullanılması

Tarihsel olarak, toprak yapı malzemesi dünyanın her yerinde nüfusun konut talebine bir cevap olmuştur (Jaquin ve diğ., 2008). Toprak, yapı malzemesi olarak, çimentonun bulunmasından ve betonarme yapıların inşasından yüzyıllar önce birçok medeniyet tarafından kullanılmıştır. Günümüzde toprak yapıların dış ortam faktörlerine karşı direncinin düşük olduğu, yapı malzemesi olarak yeterli performansı göstermediği ve düşük gelirli insanlar tarafından tercih edildiği kanısı vardır. İnsanlar daha dayanıklı ve modern olduğunu düşündükleri betonarme yapıları tercih etmektedirler (Akbulut ve Koç, 2018).

Toprak malzemenin geleneksel üretimi günümüz konfor koşullarını tam olarak karşılamamaktadır. Toprağın çağdaş yapı malzemesi olarak kullanılması için zayıf olan yönlerinin iyileştirilmesi ve uygulama tekniklerinin geliştirilmesi gerekmektedir (Tuztaş ve Çobancoğlu, 2006).

Toprak yapı denince ilk akla gelen geleneksel kerpiç yapılarıdır. Ancak kerpiç kavramı, farklı tekniklerle üretilen, nitelikleri geliştirilmiş toprak yapıları içermez. Toprak yapı günümüz teknolojiyle üretilen, pişirme işlemi uygulanmayan, gelişmiş yapı bileşeni olarak tanımlanır (Kafesçioğlu, 1949). Toprak yapı yöntemleri, yalnızca kırsal bölgelerde kullanılan ilkel bir yöntem olarak düşünülmemelidir. Bunun aksine toprak yapı sistemleri istenilen üst düzey konfor koşullarını büyük ölçüde sağlayabilen, düşük enerji ve maliyet imkanı sunan bir yapı türüdür (Özgünler ve Gürdal, 2018).

Geleneksel toprak yapım sistemlerinin yanı sıra günümüz konfor koşullarına göre özelliği iyileştirilmiş modern teknikler (alger) ve bu modern teknikler kullanılarak üretilmiş modern toprak yapılar da mevcuttur (Akbulut ve Koç, 2018). Bugün Avrupa ülkeleri başta olmak üzere pek çok ülkede modern tekniklerle toprak yapı malzemesinin kullanımı devam etmektedir. (Tuztaş ve Çobancoğlu, 2006).

2.1.3. Toprak Yapıların Enerji Tasarrufu ve Sürdürülebilirlik Açısından Değerlendirilmesi

Yapı sektörü enerjinin büyük oranda tüketildiği sektörlerden biridir. Yapı malzemesi seçiminde iki farklı yaklaşım vardır. Yaklaşımlardan biri atık oluşturarak çevreyi kirleten, sürdürülebilir olmayan kimyasal içerikli yapı malzemeleridir. Bir diğeri atık oluşturmayan, çevreyi koruyan ve doğal kaynakların korunarak gelecek nesillere aktarılmasını sağlayan doğal yapı malzemeleridir. Doğal kaynakların tükenebilir ve sınırlı olması sebebiyle malzeme seçimi ve üretimi konusunda çeşitliliğe ihtiyaç duyulur. Toprak, kolay ulaşılabilirlik ve bol miktarda bulunması açısından diğer doğal malzemelere göre daha avantajlıdır (Alibeyoğlu ve Ökten, 2021). Türkiye’de kentsel dönüşüm uygulamaları nedeniyle çıkarılan ve biriken hafriyat toprağı, yapıda kullanım için uygunluğu test edildikten sonra, doğal kaynakların ve enerjinin korunması açısından çevreci ve ekolojik sonuçlar elde edilen modern toprak yapıların inşasında kullanılabilir (Koç ve Akbulut, 2017). Yapı malzemesinin üretiminde, yapım esnasında ve yapının kullanımı boyunca enerji tüketilir. Isıtma, soğutma gibi iklimik ihtiyaçlar için yapının kullanımı süresince harcanan enerji devamlıdır. İklimatik konfor koşulları göz önüne

alındığında yapı malzemesinin seçimi ve üretimi için harcanan enerji fazla olabilir. Fakat bu seçimin uzun süreli enerji tasarrufu sağlaması ilk harcamayı amorti edebilir. Toprak yapılar ısıtma ve soğutmada büyük ölçüde enerji tasarrufu sağladığı için olumludur (Aksoy, 2017). Toprak yapılar mevsimlerin tamamında yapı içerisindeki nemi dengeler, istenilen ısıl konforu oluşturur ve ek bir ısı yalıtım malzemesine ihtiyaç duymayarak bu yönüyle ömür boyu tasarruf sağlar (Çavuş ve diğ., 2015).

2.2. Geleneksel Kerpiç

Kerpiç, Anadolu’da çoğunlukla bitkisel ya da organik topraklar dışında kil oranı uygun olan topraklara saman, yün, bitki sapları, yonga gibi lifli katkıların eklendiği yapı malzemesidir (Perker ve Akkuş, 2019). Özgünler ve Gürdal (2018) ise kerpici doğada hazır bulunan killi toprağın bağlayıcı olarak kullanıldığı hem dolgu hem sıva malzemesi şeklinde kullanılabilen, üretim ve tüketim safhasında az enerji kullanan, çevreyi kirletmeyen ekonomik ve ekolojik yapı malzemesi olarak tanımlar.

Kerpiç ve üretim aşamaları, Türk Standartları Enstitüsünün (TSE) belirlediği tanıma göre şöyle belirtilmektedir; *“Killi ve uygun nitelikte toprağın içine saman veya diğer bitkisel lifler vb. diğer katkı maddeleri karıştırılıp ve su ile yoğrulup kalıplara dökülerek şekillendirmek ve açık havada kurutulmak suretiyle elde edilen ve inşaatla kullanılabilecek hale gelen mamullerdir”* (TS 2514, 1997).

Kerpiç, doğadan alınan toprağa, bağlayıcı olarak saman ilave edilerek üretilen toprak bloklardır (Kafescioğlu, 1949). Kerpiç, yerel imkanlarla tesis ihtiyacı olmadan ve enerji kullanılmadan basit aletler yardımıyla kolayca üretilen; üretiminde, kullanımında ve servis ömrünü doldurduğunda atık madde oluşturmayan, çevreyle uyumlu bir yapı malzemesidir (Çavuş ve diğ., 2015).

2.2.1. Kerpiç Toprağı

Kerpiç oluşumunda agregayı birbirine bağlayarak rijitliği sağlayan, karışıma eklenen kimyasal maddelerle reaksiyona girerek stabilizasyonu sağlayan maddeler kil ve silttir. Toprağı oluşturan birbirinden ayrı zerreler ‘tekstürel parça’ adı verilir. Bu parçaların karışımıyla oluşan agregalar, toprağın strüktürel yapısını meydana getirir. Toprak bilgini İsveçli Atterberg, tekstürel parçaların Çizelge 2.1 ‘deki gibi sınıflandırılmasını önermiştir (Kafescioğlu ve diğ., 1980).

Çizelge 2.1. Toprağı oluşturan yapısal parçaların sınıflandırılması (Kafescioğlu ve diğ., 1980)

Malzeme	Çap Sınırları
Çakıl	60,00-2,00 mm
Kum	2,00-0,02 mm
Silt	0,02- 0,002 mm
Kil	0,002 mm den küçük

American Society for Testing and Materials (ASTM) E2492’de yapı malzemesi olarak kullanılacak toprak karışımı; kil, silt, kil silt karışımı veya kum ve çakıl içeren kıvamlı toprak olarak belirtilmektedir. ASTM E2492’de toprak karışımında bulunan kil, silt, kum ve çakıl için belirtilen granülometri aralıkları Çizelge 2.2 ‘de gösterilmiştir. Bu karışım doğada hazır halde bulunacağı gibi farklı oranlardaki topraklar karıştırılarak da elde edilebilir. Yapı malzemesi olarak kullanılacak toprağın, tarım toprağı olmamasına dikkat edilmelidir (ASTM E2492).

Çizelge 2.2 Toprak karışımının granülometri aralıkları

Kil	Silt	Kum	Çakıl
0.005 mm	0.05 mm	2.00 mm	20.00 mm

Kerpiç harcı, killi toprak ve bitkisel liflerden oluşmaktadır. Toprakta bulunan kil su çekme özelliğine sahiptir. Bu yönüyle bağlayıcılık sağladığından kerpiç toprağı için killi toprak tercih edilir (Kafescioğlu ve diğ., 1980).

Kerpişte bağlayıcılık sağlayan kilin fiziksel, kimyasal özelliği ve toprak karışımındaki granülometri oranı önemlidir. Geleneksel kerpiç üretiminde kullanılan topraktaki kil oranı %30 civarında olmalıdır (Işık, 2000). Kil oranının istenilenden fazla olması durumunda, toprak karışımı daha fazla su emer ve molekül düzeni değişir. Bunun sonucunda, elde edilen kerpişte rötre çatlakları meydana gelir ve dökülmeler oluşur. Yöreden elde edilen toprağın kil oranı uygun değilse, toprağa kum veya kil ilave edilir. (Kafescioğlu ve diğ, 1980).

2.2.2. Geleneksel Kerpiciin Olumlu Yönleri

Kerpiğin birçok avantajlı yönü bulunmaktadır. Bunlar:

- Kerpiç, pişme enerjisi kullanılmadan üretilen çevre dostu bir yapı malzemesidir. Çevreci olmasının yanında, insan sağlığına uygun olması kerpiciin en büyük avantajlarından biridir. İnsan sağlığı için, mekandaki yapı elemanlarının ve mekânın

sıcaklığı arasında büyük farkların olmaması gereklidir. Suyun enerji depolama kapasitesinden sonra, en iyi enerji depolama kapasitesine sahip olan malzemelerden biri topraktır. Bu özelliği sayesinde, mekânı çevreleyecek olan toprak duvar, ısınma enerjisini bünyesinde depolar. Mekânın ısıtılması sona erdiğinde, toprak duvarlar bünyesinde depoladığı enerjiyi ortama vererek ortamdaki sıcaklığı dengede tutar (Işık, 2000)

- Kerpiç boşluklu yapısı sayesinde iç mekânda bulunan fazla nemi içine alır ve ihtiyaç halinde bünyesinde bulunan nemi iç mekâna verir. Bu özelliğiyle iç mekânda nemi dengeler ve iç mekânın çok kuru ya da çok rutubetli olmasını engeller. Ortamdaki nemi dengelemesiyle yüzeylerde küflenme, mantar, mikropların üremesi gibi olumsuz durumlar oluşmaz. Ayrıca yüksek izolasyon kapasitesi sayesinde dış ortamdaki sıcaklığı ve soğukluğu yapı içerisine geçirmez. Bu yönüyle ısıtma ve soğutma giderleri için oldukça az enerjiye ihtiyaç duyulur. Maliyet ve doğada sınırlı bulunan kaynakların korunması açısından olumlu neticeler verir (Özcan, 2005).

- Kerpiç üretimi için maliyet oldukça düşüktür. Üretim için tesis ihtiyacı yoktur. Kerpiç üretiminde ve kullanımında çok az enerji harcanır (Akkaş, 2011).

- Kerpiç gerek üretiminde gerek malzeme ömrünü tamamladığında çevreye zarar vermez. Yıkımı diğer yapı malzemelerine oranla fazla enerji gerektirmez ve geri dönüşümlü bir malzemedir. (Akkaş, 2011). Kerpiç, üretim aşamalarında, kullanım ömrünü tamamladığında atık oluşturmaz ve çevreyi kirletmez.

- Temel kazısından çıkarılan hafriyat toprağı, taşıma masrafı olmadan kerpiç üretiminde kullanılabilir. Bu sayede yapı ekonomisinde ek bir tasarruf sağlanmış olacaktır. Ayrıca hafriyat toprağı da yapıda kullanılarak değerlendirilmiş olacaktır (Akkaş, 2011).

2.2.3. Geleneksel Kerpiciin Olumsuz Yönleri

Kerpiç yapıların belirtilen olumlu yönlerinin yanında, çeşitli yöntemlerle iyileştirilebilen, fiziksel özelliklerinden ileri gelen bazı sakıncalı ve olumsuz yönleri de vardır.

- Suya karşı dayanıksız olduğundan yağışlı havalarda kerpiç üretilemez. Kerpiç üretimi sadece iklim koşulları uygun olduğunda gerçekleşebilir (Aghazadeh, 2011).

- Kerpiciin basınç dayanımının zayıf olması iyileştirilmesi gereken bir yönüdür (Kuşaslan, 2002).

- Ayrıca kerpicing üretim aşamalarını oluşturan kalıplara dökme, gölgeye serme, çevirme, kurutma işlemleri hem işçilik isteyen hem de süreci yavaşlatan durumlardır (Özkan, 2005).

- Geleneksel kerpiç yapılar, yığma sistem, hımış yapı ve karma sistem olarak 3 grupta toplanır. Yöreğe özgü özellikler sonucu kerpiç konutlarda yapısal farklılıklar ortaya çıkmıştır. Şehir merkezinde yapılan ahşap iskeletli kerpiç dolgulu yapılar kırsal alanda yapılan yığma yapılara göre daha dayanıklıdır. Kırsal alanda inşa edilen yığma kerpiç yapıların zemin ve çatıyla bağlantısı zayıftır. Çatı ve zeminle bağlantısı zayıf olan yığma yapılar sudan ve nemden daha fazla etkilenirler. Ayrıca düz damlı yapılarda her yıl yenilenen toprak dam, döşemelere fazladan yük oluşturur, statik dengesi bozulan yapılar depreme karşı dayanıksız hale gelir. Anadolu’da köklü bir geçmişe sahip olan kerpiç yapı sistemleri bu tür olumsuzluklar sonucunda unutulmuştur (Tuztaş ve Çobancoğlu, 2006).

2.2.4. Geleneksel Kerpicing Katkı Maddeleriyle İyileştirilmesi

Kerpiç yapı üretilirken, kerpicing özelliklerinin iyileştirilerek, metotların sürekli gelişimini içeren rekabetçi stratejilerin kullanılması; kalitenin artırılmasına, maliyetlerin düşürülmesine ve üretkenliğin çoğaltılmasına büyük katkı sağlayacaktır (Tülbentçi, 1998). Kerpiç toprağına çimento, alçı ve kireç gibi katkı maddeleri ilave edilerek basınç dayanımı yüksek, toz oluşturmeyen, neme karşı daha az duyarlı ve daha hızlı üretilebilen geliştirilmiş kerpiç malzeme elde edilir (Özgünler ve Gürdal, 2018).

2.2.4.1. Saman ve Benzeri Lifler Katılması

Kerpiç toprağına saman katılması malzemenin dayanımını artırır. Saman, toprağın içerisinde borucuklar oluşturarak kerpicing içerisindeki rutubetin dışarı çıkmasını kolaylaştırır. Bu sayede, homojen bir şekilde kuruyan kerpişte çatlama meydana gelmez ve malzemenin dayanımı artmış olur (Kafescioğlu ve diğ., 1980).

Kerpiç toprağında, samanın yanı sıra ot, bitki sapları, talaş, ahşap elyafı, kamış artığı gibi benzeri lifler de katkı maddesi olarak kullanılmaktadır (Kafescioğlu ve diğ., 1980).

2.2.4.2. Kireç Katılması

Kireç inorganik bir maddedir ve aderans özelliği fazladır. Karışımdaki toprağın kil oranına bakılarak uygun miktarda kireç ilavesi yapılır. Karışıma eklenen kireç, toprak harcında meydana gelecek hava boşluklarını azaltarak malzemenin genel aderansını ve geçirgenliğini azaltmaktadır (Özcan, 2021).

Kerpice az miktarda yapılan kireç ilavesi, kerpice suya karşı direncini artırmaktadır (Kafescioğlu ve diğ., 1980).

Millogo ve diğ. (2008), yaptıkları çalışma kapsamında, kerpiç tuğlalara kireç katkısı yaparak tropik kuşakta yağmur suyunda bekletmiştir. 4 günlük gözlemin ardından tuğlaların su emilim düzeyinde azalma olduğu görülmüştür.

2.2.4.3. Alçı Katılması

Alçı inorganik bir maddedir. Toprak karışımının içerisine katılan alçı karışımın hızlı priz almasını sağlar ve rötre oluşumunu engeller. %10 alçı katkısı, kerpice yağmur etkisine dayanımını arttırmakta ve yıpranma alçı oranı arttıkça azalmaktadır. Yüzeydeki bozulmalar karışımdaki alçı oranı arttıkça azalmaktadır. Alçı katkı oranı arttıkça eğilmede çekme dayanımı artmaktadır. Katkısız kerpiç daha büyük oranda deformasyona uğrarken, alçı katkısı ile deformasyon azalmakta, malzemenin rijitliği artmaktadır (Kafescioğlu ve diğ., 1980).

Toprağa katılan alçı miktarı arttıkça basınç dayanımının arttığı gözlenmiştir. Ancak alçının %10'dan fazla eklenmesi halinde basınç dayanımının düşmeye başladığı görülmüştür. %10'luk alçı katkısı istenilen koşulları sağlamakta yeterli olmaktadır (Kafescioğlu ve diğ., 1980).

2.2.4.4. Çimento Katılması

Alkan (1969) araştırmasının sonucunda, kullanılacak toprak miktarı baz alınarak 1/10 veya 1/18 oranında çimento eklenmesini önermiştir. Çalışma sonucunda çimento ilavesinin su, basınç ve donma çözülme dayanımı açısından yarar sağladığı belirtilmiştir.

Toprak karışımını stabilize etmek için çimento ve puzolan kullanmanın avantajlarından biri, çok daha geniş bir alt toprak yelpazesinin kullanılmasına olanak sağlamasıdır. Ayrıca, çimento ile stabilize etme yöntemi, geleneksel toprak uygulamaları

için uygun toprak bulunmayan bölgelerde, yerel toprak malzemelerini kullanarak yapısal duvarların inşa edilmesine katkı sağlar (Windstorm ve Schmidt, 2013).

Portland çimentosu toprakta daha hızlı bir stabilizasyon sağlar. Stabilizatör olarak portland çimentosu kullanmanın dezavantajlarından biri toprağın düşük gömülü enerjisi ve sürdürülebilirliğini negatif olarak etkilemesidir. (Bui ve diğ., 2009).

2.3. Alker

Alker, istenilen düzeyde kohezyon özelliği bulunan killi topraklara, uygun oranlarda alçı, su, kireç ve gerekli durumlarda piriz geciktirici maddeler katılarak, fiziksel ve mekanik özellikleri iyileştirilen toprak yapı malzemesidir. Alker ismi, alçı ve kerpiç kelimelerinin ilk heceleri kullanılarak türetilmiştir (Kafesçioğlu, 1985).

Yapılan çalışmalar neticesinde alker için bir reçete hazırlanmıştır. Karışım için kullanılacak çorak toprak miktarına göre karışıma %10 alçı, %2 kireç ve toprağın nem durumuna göre %20-%24 arası su eklenmesi uygun görülmüştür (Işık, 2018).

Alker üretimi için kullanılacak malzemelerin karışım ölçüsü;

- 15 kürek toprak
 - 2 kürek alçı (toprak miktarının %10'u)
 - 1 silme kürek kireç (toprak miktarının %2'si)
- olarak belirlenmiştir (Işık, 2002).

KERPİÇ ÜRETİM TEKNOLOJİLERİ SÜREÇ KARŞILAŞTIRMASI											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
İSVİCRE											
FRANSA											
ANADOLU											
622											

Şekil 2.1 Kerpiç üretim teknolojileri süreç karşılaştırması (Işık ve diğ, 1995)

Niteliği geliştirilerek, kısa zamanda daha kolay üretimi sağlanan alkerin, kerpice kıyasla fiziksel ve mekanik özellikleri gelişmiştir. Kerpiç yağışlı havalarda, kışın soğuk

zamanlarında ve yazın aşırı sıcak günlerinde üretilemez (Yakup, 2002). Alker toprağının içerisinde bulunan alçı, toprakta istenilen özellikleri daha kısa zaman diliminde stabilize ettiği için üretim daha hızlı gerçekleşir ayrıca yağışlı havalarda da üretim gerçekleşir. Kerpiç üretim safhasında gerekli olan ön proses, öğütme işlemi, yağmurdan koruma gibi aşamalar alker üretiminde gerekli değildir (Çizelge 2.3). Kerpiç toprağı içerisinde bulunan taşlar kerpicingin mukavemetini zayıflattığı için eleme işlemine ihtiyaç duyulur. Bunun aksine, yapılan çalışmalar neticesinde Şekil 2.1’ de gösterilen 622 nolu alker toprağında eleme ihtiyacı duyulmamıştır. Kerpiç üretiminde gerekli olan eleme işlemi kaldırılarak süreç hızlanmıştır. Kerpiç 15-21 günde mukavemet kazanırken, alker 20 dakika gibi kısa bir zaman diliminde mukavemet kazanır (Işık ve diğ, 1995).

Çizelge 2.3. Geleneksel ve Alker yapı teknolojilerinin karşılaştırılması (Işık ve diğ, 1995).

Geleneksel kerpiç yapı teknolojisi	Alçı katkılı kerpiç yapı teknolojisi
Kerpiç kesme: yağışsız-yaz	4 mevsim üretim
Kerpiç kurutma: yağışsız-yaz	-
İnşaat dönemi: yağışsız-yaz	4 mevsim üretim
Dinlendirme gerekir	-
Kerpiç kesimi için geniş alan	Duvara döküm
Kurutma için geniş alan	-
15-21 günde mukavemet kazanır	20 dakikada mukavemet kazanır
%30 kil	%10 kil
Duvarın dışı yağmurdan korunmalı	Açık bırakılabilir
Yağmurlu bölgelerde yapılamaz	Yapılır

2.3.1. Alkerin Mekanik ve Fiziksel Özellikleri

Alker malzemenin içeriğinde bulunan alçı ve kirecin, malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerinde meydana getirdiği değişimler Çizelge 2.4’te gösterilmiştir (Akkaş, 2011).

Çizelge 2.4 Toprağın alçı ile sağlamlaştırılması (Akkaş, 2011)

TOPRAĞIN ALÇI İLE SAĞLAMLAŞTIRILMASI	Performansı etkileyen faktörler	performans kriterleri	Basınç dayanımı	Su emme	Suda dağılma süresi	İşlenebilirlik	Kalıptan alınma süresi
	Alçı katkısı	katkı miktarındaki artış	▲	▲	▲	▼	▼
	Alçı +Kireç katkısı	kireç katkı miktarındaki artış	▼	▼	▲	▲	

Toprak harcına katılan alçı, harcın kuruma sırasında hızlı priz almasını sağlayarak, rötre oluşumunu ve deformasyonu önler. Bu durum, alkerin basınç dayanımının artmasını sağlar. Alker malzemenin mekanik özellikleri aşağıda verilen Çizelge 2.5'te gösterilmiştir (Kafescioğlu ve diğ., 1980).

Çizelge 2.5. %10 Alçı Katkılı Alkerin Mekanik Özellikleri

Özellik	Değer
Basınç Dayanımı	4.2 MPa
Elastisite modülü	$1.4 \cdot 10^6 \text{ kN/m}^2$

Alkerin ses, ısı yalıtımı, su emilimi, rötre seviyesi vb. performans değerleri, duvarı oluşturacak yapı malzemelerinden beklenen şartları karşılamaktadır. Alker malzemenin fiziksel özellikleri aşağıda verilen Çizelge 2.6'da gösterilmiştir (Kafescioğlu ve diğ., 1980).

Çizelge 2.6. Alkerin fiziksel özellikleri (Kafescioğlu, 1980)

Özellik	Değer
Rötre (%)	1,0-1,5
Su emme (%)	Kerpice kıyasla düşük
Isı geçiş katsayısı(W/mK)	0,4
Isı depolama(kJ/kgK)	1,0
Uzun süreli su etkisi (yüzey darbesi hariç)	erozyon yok

Alker karışımındaki alçı, harcın kuruması sırasında rötre oluşumunu engeller. Harcın içerisinde bulunan su buharlaşırken hava boşlukları meydana gelir. Oluşan hava boşlukları malzemenin ısı ve ses yalıtımı özelliği kazanmasını sağlar. Alker harcında bulunan alçı oranı arttıkça yüzeydeki bozulmalar azalmaktadır. Bu sayede, alker duvarın

yüzeyinde meydana gelecek kimyasal ve fiziki eskimeler en aza iner ve malzeme küf gibi çeşitli mikroorganizmaların oluşumundan korunur (Kafescioğlu ve diğ., 1980).

Alker harcına katılan kireç, malzemenin su emilim miktarını azaltarak, malzemeyi sudan kaynaklanan dağılmalardan ve bozulmalardan korur. Ayrıca harca katılan kireç, alçının priz süresini uzatmak için kullanılır. Bu sayede priz süresi uzayan harcın işlenebilirlik süresi de artmaktadır (Aydınay, 2002).

Alker harcı oluşturulurken priz süresi göz önünde bulundurularak su ilavesinden önce, toprak alçı ve kireçten oluşan kuru karışım karılır. Daha sonra kuru karışıma su ilavesi yapılarak harcın karılma işlemi tamamlanır. Bu işlemler sonucunda alker duvarda homojen bir kesit elde edilmesi, dengeli bir yapı fiziği oluşmasını sağlar (Kafescioğlu ve diğ., 1980).

2.3.2. Alker Yapım Teknikleri

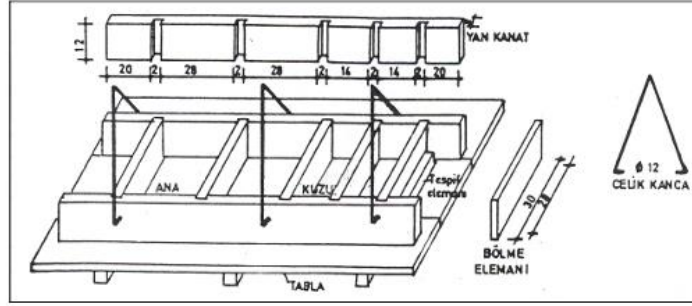
Bugüne kadar alker malzeme ile bina yapımında 2 farklı teknik kullanılmıştır. Bunlardan ilki, alker harcının tuğla boyutunda şekillendirilmesiyle elde edilen alker bloklar ile duvar örülmesi tekniğidir. Bir diğeri ise, alker harcının duvar kalıbı içinde tokmaklanması tekniğidir. Bunlara ek olarak, alker harcının püskürtme beton tekniği ile uygulanabilirliğini araştıran çalışmalar da yapılmıştır.

Coşkun (2005) alçı katkılı toprağın püskürtme beton teknolojisiyle uygulanması çalışmasında, püskürtülen toprağın kalıbın içine homojen dağıldığını gözlemlemiştir. Ayrıca alkerin püskürtme tekniğiyle uygulanmasında, sıkıştırılmış toprak tekniğinde olduğu gibi basınca dayanıklı desteklenmiş kalıplara ihtiyaç olmadığı görülmüştür. Böylece, püskürtme tekniği sayesinde kalıp kurulumu aşamasında daha düşük maliyet avantajı ortaya çıkmıştır. Ayrıca sıkıştırılmış toprak tekniğiyle alker duvar üretiminde günde 3 m³ üretim yapılırken, püskürtme tekniğinde saatte 3 m³ üretim yapılmıştır. Püskürtme tekniğinin sıkıştırılmış toprak tekniğine göre daha hızlı olduğu görülmüştür. Buna karşılık, püskürtme tekniğiyle alker duvar üretiminin basınç dayanımı, sıkıştırılmış toprak tekniğiyle alker duvar üretiminin basınç dayanımına kıyasla daha düşük olduğu görülmüştür. Püskürtme tekniğiyle üretilen numunelerin, sıkıştırılmış toprağa kıyasla

daha fazla su emdiği gözlenmiştir. Sonuç olarak püskürtme tekniğiyle alker duvar üretimi sıkıştırılmış toprak tekniğine kıyasla daha hızlı ve daha az maliyetli olması yönünden avantajlıyken; basınç dayanımının düşük olması ve daha fazla su emmesi sebebiyle dezavantajlıdır.

2.3.2.1. Alker Bloklar ile Duvar Örülmesi

Alçı katkılı kerpiç toprağının tuğla boyutundaki kalıplara dökülerek şekillendirilmesiyle bloklar halinde üretimi gerçekleştirilir (Şekil 2.2). 1983'te yapılan Deneme I Alker Yapısı tuğla boyutundaki alker bloklar ile yapılmıştır (Tanrıverdi, 1984).



Şekil 2.2 İTÜ Anaokulu binası yapımında kullanılan alker blok kalıp elemanları (Tanrıverdi, 1984)

I. Deneme yapısında kullanılacak alker bloklar, çevredeki beton tesislerinden mekanik araç temini yapılarak, daha az iş gücü kullanılarak, kısa sürede ve hızlı bir şekilde üretilmiştir (Şekil 2.3) (Işık,1995).



Şekil 2.3 İTÜ Anaokulu binası (Işık ve diğ, 1995)

2.3.2.2. Duvar Kalıbı İçinde Alkerin Tokmaklanması

Alker harcının, sıkıştırılmış toprak tekniği ile uygulanması bir diğer yapım yöntemidir (Şekil 2.4). Sıkıştırılmış toprak tekniği; uygun içeriğe sahip toprağın seçimi, yeterli miktarda bağlayıcı ve su ilavesi, kalıp oluşturulması, karışımın kalıp içerisine dökülmesi ve uygun aletler yardımıyla toprağı döverek sıkıştırma işlemlerinden oluşmaktadır (Alibeyoğlu ve Ökten, 2021).



Şekil 2.4. Duvar kalıbı içinde alker toprak sıkıştırması aşamaları (URL-1)

2.3.3. Alker Çalışmaları

1980 yılında İTÜ’ de Prof. Ruhi Kafescioğlu ile başlayarak günümüze kadar devam eden, Alker malzemeye yönelik çalışmalar ve alker ile yapılan deneme yapıları kronolojik sıraya göre aşağıda verilmiştir.

- 1980’de İTÜ’de Prof. Ruhi Kafescioğlu ve çalışma arkadaşlarının tamamladıkları TÜBİTAK MAG 505 nolu projede, kırsal yapı malzemesi olan kerpicingin zayıf yönlerinin iyileştirilmesi amacıyla, Anadolu’da kullanılan alçı katkılı sıva ve

kireçten ilham alınarak, kerpiç toprağının alçı ile stabilizasyonu fikri ortaya konulmuştur. ‘Yapı Malzemesi Olarak Kerpicingin Alçı ile Stabilizasyonu’ konulu araştırmanın sonucunda malzemeye Alker adı verilerek, malzemenin tanımı ve reçetesi oluşturulmuştur. Çalışma kapsamında, alker için uygun toprak seçimi, toprağın deneysel olarak değerlendirilmesi, alkerin mekanik ve fiziksel özellikleri ortaya konulmuştur (Kafescioğlu ve diğ., 1980).

- 1983’de Mimar Cemal Tanrıverdi, yüksek lisans tez konusu olarak ‘‘Alçılı Kerpicingin Üretim Olanaklarının Araştırılması’’ başlıklı tezi yazmıştır. Çalışmada, alker için uygun toprak seçimi, alker harcının hazırlanma süreci, uygun kalıp tercihi ve alker yapım teknikleri araştırılmıştır. Çalışma sonucundaki veriler, alkerin I. Deneme yapısı olan İTÜ Anaokulu binasının inşa uygunluğuna katkı sağlamıştır. (Tanrıverdi,1984).

- 1987’de alkerin ısı ve nem karşısında gösterdiği performansı belirlemek için, I. Deneme yapısı olan İTÜ Anaokulu binası (Şekil 2.5) üzerinde bir buçuk yıl süren ölçümler yapılmıştır. Çalışma sonucunda yapının yıllık enerji kullanımı ve alker duvarın ısı geçiş katsayısı belirlenmiştir (Işık, 2000).



Şekil 2.5. 1.Deneme Yapısı (Işık, 2000)

- 1995’ de Bilge Işık tarafından ‘‘Alçı Katkılı Kerpiç Yapı Malzemesine Uygun Mekanize İnşaat Teknolojisinin ve Standartların Belirlenmesi’’ konulu araştırma yapılmıştır. TÜBİTAK tarafından desteklenen, alker malzemenin toplu konutlara entegrasyonu amacıyla yapılan araştırma kapsamında II. Deneme yapısı olan HABİTAT II yapısı inşa edilmiştir. HABİTAT II yapısı, alker harcının duvar kalıbı içinde

tokmaklanması tekniğiyle yapılmıştır (Şekil 2.6). İnşa sırasında, endüstriyel betonarme kalıbı, harcın sıkıştırılması için benzinli kompaktör gibi modern inşaat araç ve teknikleri kullanılmıştır. Deneme yapısının inşa sürecine dair uygulama verileri ve alker malzemeye yönelik yapılan araştırmaların sonuçları TÜBİTAK İNTAG TOKİ 622 nolu proje olarak sunulmuştur (Işık,1995).



Şekil 2.6. Deneme II Yapısı (Işık, 1995)

- 1996’da inşasına başlanarak 1997’de tamamlanan Altınoluk Yazlık projesi, III. Deneme yapısı olarak inşa edilmiştir (Şekil 2.7). Mimari projesi ve şantiye süreci Prof. Dr. Bilge Işık tarafından yürütülen deneme yapısının, alker yapıların bilinirliğini arttırması hedeflenmiştir (Işık,2000).



Şekil 2.7. Altınoluk’ ta TÛTNAR Ailesi Zeytinlik Evi (Işık, 2000)

- 1999 yılında İTÜ İnşaat Fakültesi’nden Prof Dr. Hasan BODUROĞLU ve Dr. Pınar ÖZDEMİR, II. Deneme yapısı üzerinde deprem dayanım testi yapmışlardır. Bu çalışma kapsamında, alker malzemenin GAP bölgesinde yapılması planlanan proje için

uygunluğu incelenmiştir. GAP bölgesi jeolojik yapısı itibariyle deprem kuşağında yer aldığından bu araştırmaya ihtiyaç duyulmuştur. Araştırma sonucunda olumlu sonuçlara ulaşılarak, alker malzemenin bu bölgede kullanılabileceği belirlenmiştir (Işık,2000).

- 2000’de Birecik barajının açılmasıyla su altında kalacağı belirlenen bölge halkı için yeni bir yerleşim yeri ve konut ihtiyaç ortaya çıkmıştır. Prof. Dr. Bilge Işık yürütücülüğünde “Birecik Barajından Etkilenen Nüfusun Yeniden Yerleşimi, İştihadını ve Ekonomik Yatırımı İçin Planlama ve Uygulama Projesi” başlıklı proje gerçekleştirilmiştir. IV. Deneme yapısı (şekil 2.8) olarak hayata geçirilen proje sayesinde, alker malzemenin toplu konut yapımında kullanılabilişliği belirlenmiştir. IV Deneme yapısı, betonarme karkas ve alker bloklar ile duvar örülmesi tekniğiyle yapılmıştır. İnşa sırasında kullanılacak 60.000 adet alker blok, beton parke taşı üretim tesisindeki makinede hızlı bir şekilde üretilmiştir. Bu deneme yapısı, alker harcının içine imento eklenmesi yönüyle diğer deneme yapılarından ayrılmıştır (Işık,2000).



şekil 2.8. Birecik barajının açılmasıyla su altında kalacağı belirlenen bölge halkı için toplu konut projesi (Işık, 2000)

- 2002’ de Mimar Beylem Aydınay tarafından “Donatılı ve Donatısız Alker Duvarların Kayma Dayanımı zerine Deneysel Bir Araştırma” başlıklı yüksek lisans tezi yazılmıştır. Çalışmada donatılı ve donatısız alker duvarların, iki eksenli yükleme halinin incelenmesine yönelik deneyler yapılmıştır. Çalışma sonucunda, donatılı ve donatısız alker duvarların, avantaj ve dezavantajları ortaya konulmuştur.

- 2005’de Mimar Ece zcan tarafından “Konut Sektöründe Hafif elik ve Alker Yapım Teknolojilerinin Birlikte Kullanılabilişliği” başlıklı yüksek lisans tezi yazılmıştır.

Çalışma kapsamında, alkerin yapım aşamasını hızlandırmak ve kalın duvarların neden olduğu mekan kayıplarından kazanç sağlamak için hafif çelik sistemlerle kullanımı araştırılmıştır. Çalışma sonucunda olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Kerpice kıyasla daha hızlı üretilen alkerin, fabrikada üretilip şantiyede kuru montaj yöntemiyle kurulan hafif çelik sistemle birlikte kullanımı süreci daha da hızlandırmıştır. Ayrıca hafif çelik sistem ve alkerin birlikte kullanımı, düşük işgücünün yüksek performansta kullanılmasını sağlamaktadır.

- 2005’de Mimar Kevser Coşkun tarafından “Alker (Alçı Katkılı Kerpiç) Teknolojisinin Püskürtme Beton (shotcrete) Tekniği ile Uygulanabilirliğinin Basınç Dayanımı Açısından Deneysel Değerlendirmesi” başlıklı yüksek lisans tezi yazılmıştır. Çalışmanın sonucunda, püskürtme beton tekniği kullanımının olumlu ve olumsuz sonuçları olduğu görülmüştür. Püskürtme tekniğiyle alker duvar üretimi sıkıştırılmış toprak tekniğine kıyasla daha hızlı ve daha az maliyetli olması yönünden avantajlıyken; basınç dayanımının düşük olması ve daha fazla su emmesi sebebiyle dezavantajlıdır.

- 2015’de Şanlıurfa Göbeklitepe’de yapılan ziyaretçi merkezi kompleksi (Şekil 2.9), alker malzemenin duvar kalıbı içinde tokmaklanması tekniğiyle inşa edilmiştir. Alker harcının duvar kalıbı içinde sıkıştırılmasında kompaktör (otomatik tokmaklama) kullanılmıştır (Işık, 2018).



Şekil 2.9. Göbeklitepe ziyaretçi merkezi (Işık,2018)

- 2015’de Muğla Köyceğiz ilçesinde Beşiktaş Kültür Merkezi (BKM) platosu adı verilen alker yapı inşa edilmiştir. Yapının inşasında, kompaktör (otomatik tokmak) ile tokmaklama tekniği, püskürtme beton tekniği ve alker bloklar ile yapım tekniği olmak üzere 3 farklı uygulama tekniği kullanılmıştır (Işık,2018).

- 2021’de Sinan Talha Özcan tarafından “Alker (alçı katkılı kerpiç) Teknolojisinin Endüstrileşmede Hız ve Kalite Açısından Değerlendirilmesi” başlıklı yüksek lisans tezi

yazılmıştır. Çalışmada, teknolojik yapım yöntemi olan püskürtme beton tekniği kullanılarak, alker malzemenin üretim yöntemlerinin geliştirilmesi hedeflenmiştir. Yapılan araştırma, Shotcrete ile Alker inşasının hızlı ve kaliteli olmasındaki iş gücünün etkisini ortaya koymuştur.

2023’de Doç. Dr. Sema Alaçam yürütücülüğünde, İTÜ öğretim üyeleri, mezunları, öğrencileri ve gönüllülerden oluşan ekip, Malatya Doğanşehir’de toprak yapı pilot projesine başlamıştır. Yapının inşasında, alker malzemenin duvar kalıbı içinde tokmaklanması tekniği kullanılmıştır (Şekil 2.10). Çalışmanın amacı, 6 Şubat depremleri sonrasında, yapı stoğunu büyük ölçüde kaybetmiş deprem bölgelerine yardımcı olmak ve kerpiç malzemesinin yeniden yaygınlaşmasını sağlamaktır.



a) Kalıp kurulması



b) Kuru karışıma su ilavesi



c) Karışımının kalıba dökülmesi



d) Alker duvar

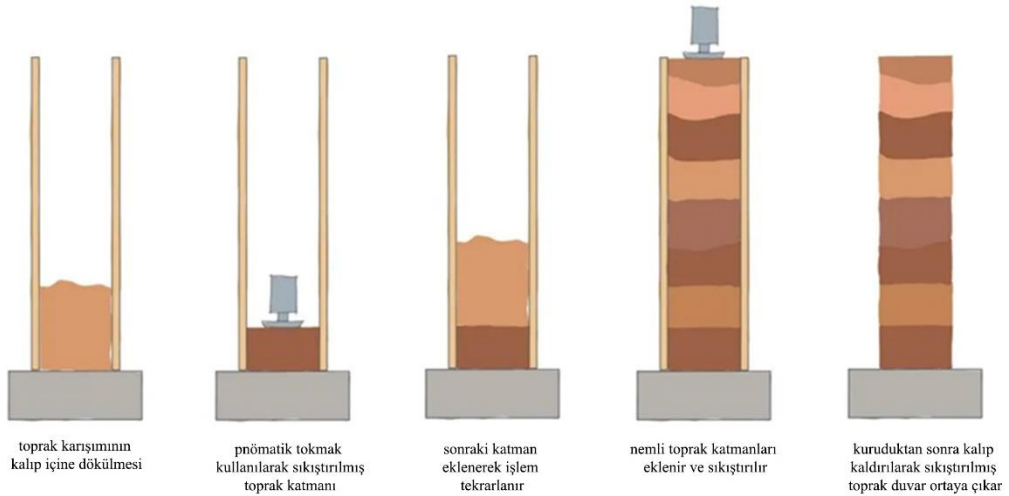
Şekil 2.10. Pilot projenin inşa sürecine ait fotoğraflar, Doğanşehir, Malatya

2.4. Sıkıştırılmış Toprak Duvar Tekniği

Sıkıştırılmış toprak, geleneksel duvar inşaat tekniği olarak beş kıtada yüzyıllardır kullanılmıştır. Sıkıştırılmış toprağın temelleri M.Ö 5000 yılı kadar öncesine dayanır (Minke, 2006). Yakın tarihte ise sanayi devrimi sırasında diğer modern inşaat tekniklerinin kullanılmasıyla sıkıştırılmış toprak kullanımı azalmıştır (Jaquin ve diğ., 2008). Buna karşılık geleneksel sıkıştırılmış toprak teknikleri gelişmekte olan birçok ülkede hala kullanılır. Endüstrileşmiş ülkelerde ekolojik ve bazen de ekonomik nedenlerle sıkıştırılmış toprak teknolojisi uygun bir alternatif olarak kullanılır. Amerika Birleşik Devletleri (ABD) ve Avustralya'daki birçok firma bu teknolojiyi kullanmaktadır (Minke, 2006).

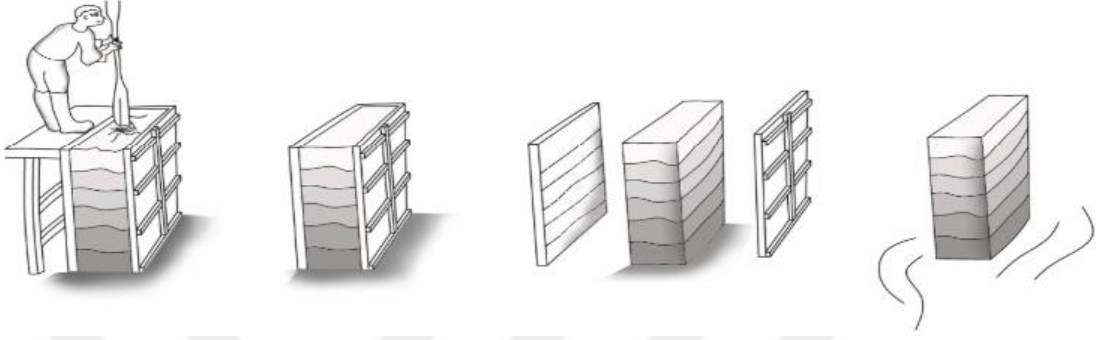
2.4.1. Sıkıştırılmış Toprak Duvar Tekniğinin Uygulama Aşamaları

Akipek (2018), sıkıştırılmış toprak yöntemini kalıplar içerisine dökülen toprağın el tokmaklarıyla ya da titreşimli makinelerle katman katman sıkıştırılarak (Şekil 2.11) oluşturulduğu, kalıptan çıkarıldığı haliyle rengini ve dokusunu hissettiren, doğal güneş ve hava ortamında kuruyup, yazın serin kışın sıcak tutan, oldukça az enerji harcayan yapı malzemesi olarak tanımlar.



Şekil 2.11 Toprağın katman katman sıkıştırılması (URL-2)

Sıkıştırılmış toprak tekniği; uygun içeriğe sahip toprağın seçimi, yeterli miktarda bağlayıcı ve su ilavesi, kalıp oluşturulması, karışımın kalıp içerisine dökülmesi ve uygun aletler yardımıyla toprağı döverecek sıkıştırma işlemlerinden oluşmaktadır (Şekil 2.12) (Alibeyoğlu ve Ökten, 2021).



Şekil 2.12. Karışımın Sıkıştırılması, Kalıp İçerisinde Beklemeye Alınması ve Kalıbın Alınması
(Alibeyoğlu ve Ökten, 2021)

2.4.1.1. Toprak Seçimi

Sıkıştırılmış toprak yapı tekniği içeriği kil, kum, çakıl, stabilizatör ve sudan oluşan toprak karışımının ahşap bir kalıba dökülerek katmanlar halinde sıkıştırılması işlemidir (Serrano ve diğ., 2015). Sıkıştırılmış toprak karışımı, toprak bileşimine bağlı olarak karışım esnasında daha yüksek veya daha düşük miktarlarda suya ihtiyaç duyar ve bu nedenle sıkıştırılmış toprak binalarda kullanılan toprağın uygun bir malzeme karakterizasyonu her yeni inşaatta gerekli olacaktır (Serrano ve diğ., 2015).

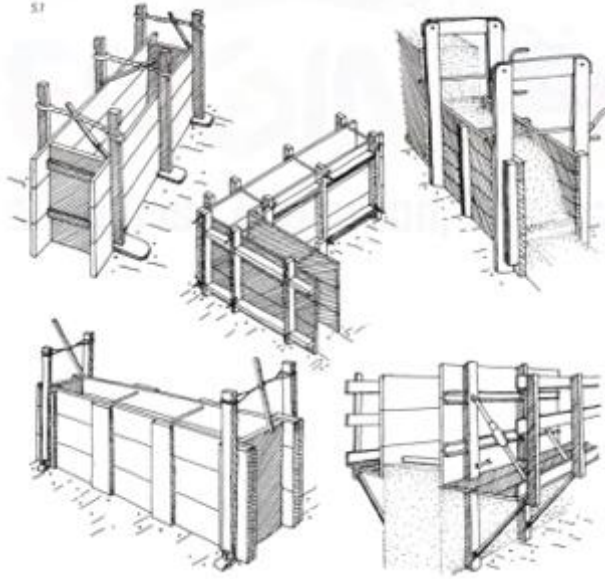
Yapı malzemesi olarak kullanılacak toprak, yapının inşa edileceği araziden alınmaktadır. Yapıda kullanım için seçilecek toprağın, organik bileşenler bakımından zayıf, mineral içermesi yönünden zengin olması gerekir. Ayrıca toprağın temini sırasında tarım arazilerine herhangi bir zarar vermekten kaçınılmalıdır. Toprak yapı üretimi için kullanılacak toprak, alt toprak tabakasıdır. Kazılar esnasında çıkarılan bitkisel topraklar ayrılarak, yapı üretiminde kullanılmaz (Şekil 2.13)(Alibeyoğlu ve Ökten, 2021).



Şekil 2.13.Toprağın alt katmanlardan alınması ve elenmesi (Alibeyoğlu ve Ökten, 2021)

2.4.1.2. Kalıp

Sıkıştırılmış toprak tekniğinde en fazla zaman ve işgücü istenen safha kalıp kurulması kısmıdır (Alibeyoğlu ve Ökten, 2021). Geleneksel kalıp işçiliğinde, karşılıklı ayrı taraflarda bulunan ahşap paneller, ara parçalarla birbirine bağlanarak kalıp oluşturulur (Minke, 2006) (Şekil 2.14). Toprağın basınçla sıkıştırılması işlemi özellikle kalıbın alt kısımlarında basıncı karşılayabilecek sağlamlıkta olmasını gerektirir.



Şekil 2.14. Kalıplama tekniği (Minke, 2006)

Sıkıştırılmış toprak için beton teknolojisinde yaygın kullanılan çelik kalıp sistemleri de kullanılabilir fakat genellikle bu sistemler çok ağır ve pahalı olur (Şekil 2.15). Kereste paneller kullanmak daha hesaplı olmaktadır. Avrupa'da çoğunlukla 19 mm kalınlığında kereste paneller kullanılmaktadır. Bu paneller kullanıldığında toprak düşeyde 75 cm aralıklarla sıkıştırılmalıdır. Bu yapılmazsa sıkıştırma anında kalıplar

patlayabilir. Beton teknolojisinde yaygın olan 30-40 mm kalınlığındaki kalıplar kullanarak 100-150 cm aralıklarla sıkıştırma yapılabilir (Minke, 2006).



Şekil 2.15. Endüstriyel kalıplara döküm yapılması (Işık ve diğ, 1995)

2.4.1.3. Araçlar

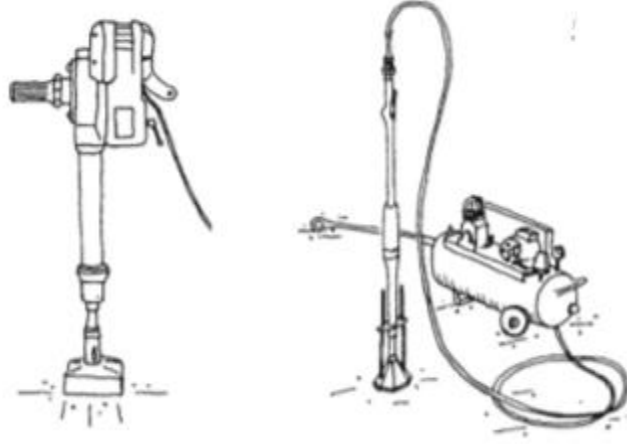
Geleneksel sıkıştırılmış toprak duvarlar oluşturulurken sıkıştırma işlemi farklı geometrilere sahip tokmaklar yardımıyla insan gücüyle yapılırdı (Perker ve Akkuş, Toprak, konik, kama şeklinde veya düz tabanlı araçlar yardımıyla elle sıkıştırılırdı (Şekil 2.16). Yeterli nem olması şartıyla konik veya kama şeklindeki tokmaklar kullanıldığında katmanlar arasında daha sıkı bir bağ oluşur ancak bu tokmaklarla sıkıştırmak, düz tabanlı tokmağa göre daha uzun zaman alır (Minke, 2006).



Şekil 2.16. Tokmaklar (Minke, 2006)

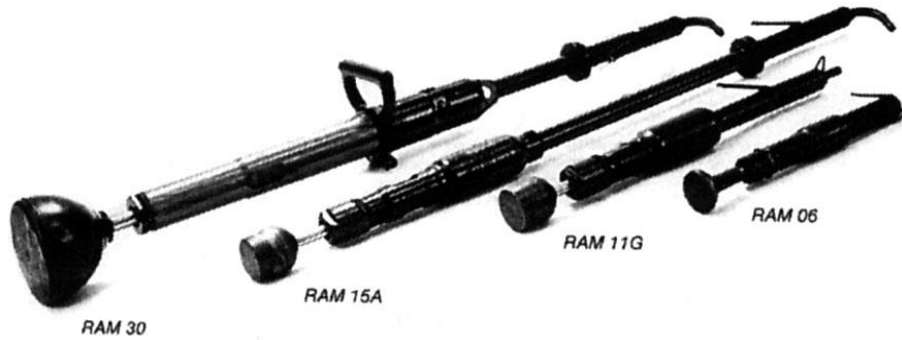
Günümüzde sıkıştırma işlemi işgücünü azaltan elektronik ve pnömatik aletler vasıtasıyla yapılır. (Perker ve Akkuş, 2019). Yaygın kullanılan gelişmiş sıkıştırma aletleri

çok sayıda vuruş özelliğiyle sıkıştırma süresini de azaltmaktadır (Alibeyoğlu ve Ökten, 2021).

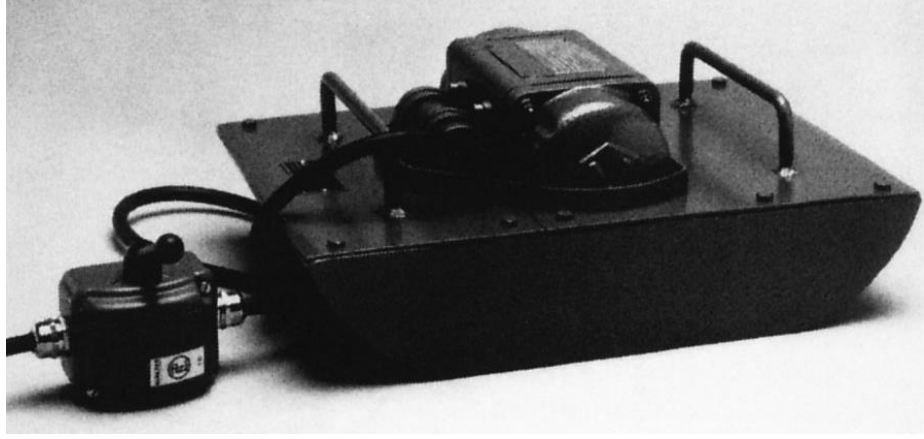


Şekil 2.17. Elektrikli ve pnömatik sıkıştırma araçları (Minke, 2006)

Elektrikli ve pnömatik sıkıştırma araçları 20. yy'ın ikinci çeyreğinde Almanya, Fransa ve Avusturalya'da kullanılmaya başlamıştır (Şekil 2.17). Elektrikli tokmak dakikada 540 vuruşa ve 33 mm'lik sıkıştırma gücüne sahiptir. Çok etkili bir araçtır fakat tek dezavantajı 24 kg olduğu için kullanımının zor olmasıdır. Pnömatik sıkıştırma aleti ise 1950'lerde Avustralya'da kullanılmaya başlamıştır (Şekil 2.18). Dakikada 160 vuruşa sahiptir ve 11 kg ağırlığında olan alet bir delici çekiç gibi çalışmaktadır. Yol yapımında kullanılan bu tokmak toprağın sıkıştırılması için de kullanılır. Bina Araştırma Laboratuvarı (BRL) tarafından niteliği geliştirilen yeni pnömatik araç Heiser firması tarafından üretilmiştir (Şekil 2.19). Bu tokmağın en önemli kısmı kalıp içerisinde kendi hareket ederek toprağı sıkıştıran özel şekilli tabanıdır. Geliştirilen tokmak dakikada 1000-1200 vuruş yapabilen bir motora sahiptir (Minke, 2006).



Şekil 2.18. Pnömatik sıkıştırma aracı (Minke, 2006).

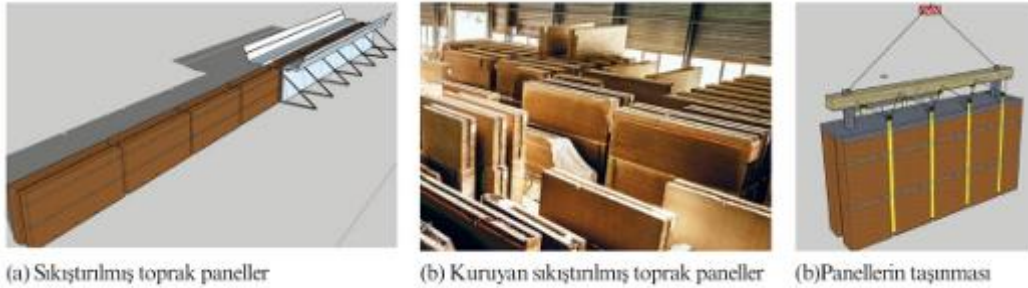


Şekil 2.19. Heiser firması tarafından geliştirilen pnömatrik tokmak (Minke, 2006)

Yapılan bir çalışmada mekanik olarak sıkıştırılan numunelerin basınç dayanımının, elle sıkıştırılan numunelerin basınç dayanımından %10 daha yüksek olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Serrano ve diğ., 2015).

2.4.2. Prefabrik Sıkıştırılmış Toprak Duvar Tekniği

Lehm Ton Erde Baukunst GmbH gibi şirketler, sıkıştırılmış toprak yapılarında prefabrikasyonun avantajlarından faydalanmaktadır. İlk prefabrik sıkıştırılmış toprak duvar 1997 yılında kötü hava koşullarından korunurken üretilmiştir. Ardından prefabrik sıkıştırılmış toprak tekniği gelişmeye devam etmiştir ve prefabrikasyon yöntemiyle inşaa hızlanmıştır. Prefabrikasyonun potansiyelini kullanabilmek için prefabrikasyon adımlarının doğru bir şekilde ilerlemesi gerekir (Şekil 2.20) (Kapfinger ve Sauer, 2015).



Şekil 2.20 Sıkıştırılmış toprak duvar üretiminde prefabrikasyon adımları

2.4.3. Sıkıştırılmış Toprağın Katkı Maddeleriyle İyileştirilmesi

Sıkıştırılmış toprak duvarlar stabilize olanlar ve stabilize olmayanlar olarak ikiye ayrılır. Stabilize olmayan geleneksel sıkıştırılmış toprak içerik olarak kil, silt, kum, çakıl ve sudan oluşur. Stabilize edilmiş sıkıştırılmış toprak ise özelliklerini iyileştirmek için eklenmiş ilave malzemeler içerir (Bui ve diğ., 2009).

2.4.3.1. Çimento Katkısı ile İyileştirme

Sıkıştırılmış toprak karışımını stabilize etmek için çimento kullanmanın avantajlarından biri mümkün olandan çok daha geniş bir alt toprak yelpazesinin kullanımına izin vermesidir. Ayrıca çimento ile stabilize etmek, geleneksel sıkıştırılmış toprak için uygun topraklara sahip olmayan yerlerde yapısal duvarlar inşa etmek için yerel toprak malzemenin kullanılmasına katkı sağlar. Her yeni toprak karışımı, minimum şartları karşılamak ve gereken uygun çimento miktarını belirlemek için kil-silt içeriği, parçacık boyutu dağılımı açısından analiz edilmeli ve test edilmelidir (Windstorm ve Schmidt, 2013).

Portland çimentosu fiziko-kimyasal bir stabilizatör görevi görür. Üretimi çok fazla enerji tüketir ve taş ocaklarında büyük bir çevresel etkiye sebep olan artık toz oluşturur. Stabilizatör olarak portland çimentosu kullanmanın dezavantajlarından biri yeniden kullanımı mümkün olan sıkıştırılmış toprağı geri dönüştürülemez hale getirmesidir (Bui ve diğ., 2009). Sıkıştırılmış toprağın düşük gömülü enerjisi ve sürdürülebilirliği negatif olarak etkilenmektedir.

Genel olarak, çimento ile stabilize edilmiş sıkıştırılmış toprak stabilize edilmemiş sıkıştırılmış toprağı göre şu yönleriyle avantaj sağlar:

1. Daha az kil içerir,
2. Ağırlıkça %15 daha azdır,
3. Eşit parçacık boyutu dağılımı sağlar,
4. Daha yüksek basınç dayanımına sahiptir. (Windstorm ve Schmidt, 2013).

Daha yüksek basınç dayanımına sahip olduklarından, daha yüksek bir kırılma modülüne sahip olacakları ve ayrışma veya donma/çözülme hasarından kaynaklanan erozyonun etkilerine daha az eğilimli olacakları güvenle varsayılabilir (Windstorm ve Schmidt, 2013).

2.4.3.2. Kum ve Agregat Katkısı ile İyileştirme

Yapılan çalışmada sıkıştırılmış toprak duvarda kullanılacak harca kum ve agregat katkı maddelerinin ilavesinin, hava direncini büyük ölçüde artırdığı görülmüştür. Yapıda kullanımı uygun olmayan toprak, uygun miktarda kum ve agregat katkısı ile yapı için uygun hale getirilebilir (Patty, 1940).

2.4.3.3. Kömür Külü Katkısı ile İyileştirme

Yapılan çalışmada sıkıştırılmış toprak duvarlarda kullanılacak harca kömür külü ilavesinin hava direncini, kum katkı maddeleri ile benzer şekilde artırdığı görülmüştür. Kömür külü, duvarın yüzeyinde daha belirgin bir şekilde görünmektedir. Çalışmada, kum katkısı ile kömür külü katkısının malzemenin dayanımına etkisi karşılaştırıldığında, kömür külü ilavesiyle hazırlanan numunelerin dayanıklılığının kum katkılı numunelere göre %5 veya daha az düşük olduğu belirtilmektedir (Patty, 1940).

2.4.3.4. Saman ve Çim Lifi Katkısı ile İyileştirme

Yapılan çalışmada toprak harcına saman ve çim lifi katkısı ile sıkıştırılmış toprak numuneler oluşturulmuştur. Numuneler üzerinde yapılan basınç deneyleri sonucunda saman ve çim lifi katkısının mukavemeti artırdığı görülmüştür (Patty, 1940).

2.4.4. Sıkıştırılmış Toprak Duvarların Boyanmasında Performansı Etkileyen

Faktörler

Patty 1940 yılında yapmış olduğu çalışmada, çeşitli boya türlerinin dış toprak duvarlar üzerindeki performansını değerlendirmek ve bu performansı etkileyen faktörleri belirlemek için çeşitli boya panelleri oluşturarak, 8 ila 100 metrekare arasında değişen alanlarda testler yapmıştır. Sıkıştırılmış toprak duvarların boyanması sürecinde duvar yüzeyinin kalitesi, kullanılan boya türleri ve boyanın uygulama yöntemlerinin önemi vurgulanmıştır. Bu faktörlerin, boyanın dayanıklılığı ve performansı üzerinde önemli etkileri olduğu görülmüştür. Özellikle yüksek kaliteli duvar yüzeyi ve uygun boya katmanlarının seçimi, boyanın uzun süreli dayanıklılığı için kritik öneme sahiptir (Patty, 1940).

2.4.5. Sıkıştırılmış Toprak Duvarların Su Dayanımını Artırmaya Yönelik Yapılan Çalışmalar

Sıkıştırılmış toprak duvarların suya dayanımını artırmak amacıyla, toprak harçlarına katkı maddeleri eklendiği ve uygun yüzey kaplamalarının geliştirildiği çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalara aşağıda yer verilmiştir.

Meek ve diğerlerinin 2020’de yaptığı çalışmada Batı Avusturalya’da sıklıkla kullanılan çimento stabilizesi yerine alternatif malzemelerle stabilize edilmiş sıkıştırılmış toprak malzemelerinin dayanıklılık özelliklerini değerlendirerek, su itici bir katkı maddesi olan Plasticure'un bu özellikler üzerindeki etkisini incelemiştir. Plasticure katkısı, çimento ile stabilize edilmiş sıkıştırılmış toprak numunelerde kütleli kaybı önemli ölçüde azaltmıştır. Buna karşılık alternatif malzemelerle stabilize edilmiş numunelerde Plasticure'un kütleli kayba belirgin bir etkisi gözlenmemiştir. Mikroyapısal analizler, Plasticure ilave edilen çimento ile stabilize edilmiş sıkıştırılmış toprak numunelerde gözenek ağının bağlantısının daha düşük olduğunu ve bu durumun su emilim hızını azalttığını göstermiştir. Plasticure ilave edilen alternatif malzemelerle stabilize edilmiş sıkıştırılmış toprak numunelerde ise daha yüksek su emilimi gerçekleşirken, reaksiyona girmemiş parçacıkların daha yüksek miktarda olduğu tespit edilmiştir. Çalışmanın sonucu, Plasticure'un belirli sıkıştırılmış toprak karışımları için faydalı olduğunu ancak potansiyel iyileştirme alanlarının da bulunduğunu vurgulamaktadır (Meek ve dig., 2020).

Gomes ve diğerleri 2018’de yaptıkları çalışmada, kaplama malzemesi olarak kullanılan farklı bağlayıcılarla oluşturulmuş toprak harçların, sıkıştırılmış toprak yüzeylerindeki kapiler su emilimi üzerine etkilerini incelemiştir. Ayrıca yapılan çalışmada bu harçların yapısal dayanıklılığını artırmak ve sürdürülebilir yapı malzemeleri geliştirmek hedeflenmiştir. Çalışmada farklı toprak malzemelerine kenevir lifleri, hidratlı hava kireci, hidrolik kireç, doğal çimento ve Portland çimentosu gibi bağlayıcılar ekleyerek formüle edilmiş harçların mekanik, fiziksel ve hidrik özellikleri değerlendirilmiştir. Çalışmanın sonuçları, liflerin eklenmesinin harçların termal iletkenliğini azalttığını, özellikle kil topraktan yapılan harçlar için bu durumun önemli bir avantaj olduğunu ve harçların kuruma sürecini yavaşlattığını göstermektedir. Ayrıca,

mineral bağlayıcıların eklenmesinin harçların hidrik davranışını olumsuz yönde etkilediği, su emilim katsayısını artırdığı ve bağlayıcı miktarının artmasıyla kuruma sürecinin daha da yavaşladığı belirtilmiştir (Gomes ve diğ., 2018).

Stazi ve diğerlerinin 2016'da yaptığı çalışmada yağışlı iklimlerde toprak yapıların dış yüzeylerinin su erozyonundan korunması hedeflenmiştir. İtalya'nın Arcevia bölgesinden alınan topraklar, çeşitli katkı maddeleri ile birleştirilerek on farklı sıva elde edilmiştir. Hazırlanan harçlar laboratuvar ortamında sıkıştırılmış toprak duvar panellere ve küçük numunelere uygulanmıştır. Üretilen sıva numuneleri üzerinde basınç dayanımı, su buharı geçirgenliği, yüzey rengi, ıslanabilirlik, su emilimi, erozyon, çekme ve yapışma mukavemeti gibi fiziksel ve mekanik özelliklerinin incelendiği deneyler yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda silan-siloksan katkı maddesi ile oluşturulmuş sıvanın en iyi performansı gösterdiği tespit edilmiştir. Bu sıva tipolojisi, su itici özellikleri ve su erozyonuna karşı yüksek direnci ile öne çıkmıştır (Stazi ve diğ., 2016).

2.5. Doğal Koruyucu Olarak Reçineler

Doğal reçinelerin ve doğal yağların uygulandığı yüzeyde su alımını azalttığı, rutubeti %20'nin altında tutarak biyolojik dayanımı arttırdığı belirlenmiştir (Koski 2008).

Çam reçinesi, çam ağaçlarının farklı yöntemlerle yaralanması sonucu elde edilmektedir. Çam reçinesi kolofan (%80) ve terebentin (%20) olmak üzere iki bileşenden oluşmaktadır (Var, 1994). Reçine yapısında bulunan uçucu kısma terebentin adı verilir. Reçine asitleri içeren ve geriye kalan katı kısma ise kolofan adı verilmektedir (Deniz ve diğ., 2019). Kolofan uçucu özellikte olmayan ve kristalleşebilen özelliğe sahiptir. Kolofan suda çözünmeyen yapıya sahiptir. Tiner, benzin, terebentin, alkol, aseton, eter ve petrol eteri gibi çözücülerde çözünür. Rutubete ve su alımına karşı koruyucu tabaka oluşturmaktadır. Ağırlık bakımından %10 kolofan katkısı %90 çözen madde ile karıştırılarak kullanılmaktadır (Var, 1994). Çam reçinesi, destilasyon işlemi sonrasında terebentin ve kolofan olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Bakır kapta ateş destilasyonu işlemine tabi tutulan reçineden koyu renkli kolofan elde edilmektedir. Su buharı destilasyonu sonucunda ise reçineden, açık renkli ve daha kaliteli kolofan elde edilmektedir. Çam reçinesi yaygın olarak, kızılçam, sarıçam ve karaçamdan üretilmektedir. Bunlar arasında reçine üretimi için en uygun olanının kızılçam olduğu belirtilmektedir (Var, 1994).

Literatür incelendiğinde sıkıştırılmış toprak duvarların su dayanımını artırmaya yönelik çalışmalar yapıldığı görülmüştür. Toprak harcına katkı maddesi ilavesi ve sıkıştırılmış toprak yüzeyine sıva kaplama yöntemleriyle malzemenin su dayanımını artırmaya yönelik çalışmalar yapılmıştır. Sıkıştırılmış toprak yüzeyine uygulanan farklı bağlayıcılarla oluşturulmuş toprak sıva tiplerinin avantajlı ve dezavantajlı yönlerinin olduğu görülmüştür. İçeriğindeki bağlayıcıya göre bazı sıva harçları malzemeye su iticilik özelliği kazandırırken bazıları malzemenin su emilim katsayısını artırmıştır. Ayrıca sıkıştırılmış toprak yüzeyine uygulanacak sıva kaplamalarının doğal malzemeler kullanılarak geliştirildiği sonucuna ulaşılmıştır.

Yapılan çalışmalarda, sıkıştırılmış toprak duvarın kalitesi yüzeye uygulanacak boyanın ve sıvanın performansını büyük ölçüde etkilemiştir. Sıkıştırılmış toprak duvarın kalitesini artırmak amacıyla çeşitli katkı maddeleriyle stabilizasyon sağlanmıştır. Sıkıştırılmış toprak duvarın sürdürülebilirliğini korumak için, Batı Avusturalya’da sıklıkla kullanılan çimento yerine alternatif stabilizasyon maddelerinin kullanıldığı ve geliştirilmeye çalışıldığı görülmüştür.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde duvarın kalitesini artırmak için doğal ve sürdürülebilir olan alçı ve kireç stabilizasyonu ile üretilen alker toprağının kullanılması uygun görülmüştür. Alker harcının içerisinde bulunan alçı, harcın kuruma sırasında hızlı priz almasını sağlayarak, rötre oluşumunu ve deformasyonu önler, kaliteli bir duvar yüzeyi oluşmasını sağlar. Literatürdeki çalışmalarda sıva kaplaması olarak toprak sıvaların performansı incelenmiştir. Toprak sıvalar doğal ve sürdürülebilir olması yönüyle avantajlı bulunmuştur. Ancak sıkıştırılmış toprak yüzeyinin doğal görünümünü engellemiştir.

Bu tez çalışmasında yüksek kalitede sıkıştırılmış toprak duvar üretimi için çimento stabilizasyonu yerine alçı ve kireç stabilizasyonu ile üretilen alker harcı tercih edilmiştir. Ayrıca kaplama malzemesi olarak doğal, sürdürülebilir ve su itici özelliğe sahip olan malzemenin estetik görünümünü koruyacak şeffaf doğal reçine tercih edilmiştir.

3. MATERYAL VE METOD

Çalışmada, alker yüzeyine doğal reçine uygulamasının, malzeme yüzeyinde şeffaf koruyucu tabaka oluşumunu sağlamak ve malzemenin su dayanımına katkısını belirlemek için, reçineli ve reçinesiz numunelerde su emme deneyi yapılmıştır. Araştırmanın deneysel çalışmaları, Aksaray Üniversitesi (ASÜ) Mühendislik Fakültesi Yapı Malzemeleri Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir.

Alker yüzeyine doğal reçine uygulamasının, malzemenin kılcallıkla su emme miktarına etkisini incelemek için TS EN 772-11 (2012) ‘‘Kâgir birimler- Deney yöntemleri- Bölüm 11: Betondan, gazbetondan, yapay ve doğal taştan yapılmış kâgir birimlerde kapiler su emme ve kil kâgir birimlerde ilk su emme hızının tayini’’ standardına uygun su emme deneyi gerçekleştirilmiştir. Ülkemizde toprak yapıya yönelik standartlar yürürlükten kaldırıldığı için su emme deneyi için bu standart tercih edilmiştir.

İlk olarak deneyde kullanılacak numunelerin üretimi için literatürde ve TS EN 772-11 standardında belirtilen kriterlere uygun malzemeler seçilmiştir. Alker malzemenin karışım ölçüsü olarak; 15 kürek toprak, 2 kürek alçı (toprak oranının %10'u), 1 silme kürek kireç (toprak oranının %2'si) ve %20-25 oranında su katkısı belirlenmiştir (Işık,2002). TS EN 772-11 standardında numune sayısının en az 6 olması kriteri yer almaktadır. Bu reçeteye uygun hazırlanan toprak karışımı, 15 cm x 15 cm x 15 cm boyutlarında çelik kalıp içerisinde sıkıştırılarak standartta belirtilen adette olmak üzere, 6 adet alker numune üretilmiştir. Deneyde kullanılacak malzemeler ve numunelerin üretimi 3.1 Materyal başlığı altında verilmiştir.

Hazırlanan numuneler üzerinde TS EN 772-11 standardına uygun su emme deneyi gerçekleştirilmiştir. Numunelerin deneye hazırlanması ve yapılan su emme deneyi 3.2 Deneysel Çalışma başlığı altında verilmiştir.

Numunelerin reçine uygulanan yüzeyindeki su emme miktarını tayin edebilmek için diğer yüzeyleri taban hizasından başlayarak 3 cm yüksekliğe kadar parafinlenmiştir. Numunelerdeki su emme seviyesini gözlemlemek için numunelerin üzerine 1 cm aralıklarla paralel çizgiler çizilmiştir. Ardından numuneler su dolu tepsiye yerleştirilmiştir. TS EN 772-11 standardında numunelerin belirli aralıklarla sudan çıkartılarak yüzeyindeki serbest suyun kurulanması, tartılması ve tekrar suya temas ettirilmesi belirtilmiştir. Standartta numunelerin suda bekletme süresiyle ilgili belirli bir süre tanımlanmamıştır, belirli aralıklarla tartılması belirtilmiştir. Literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde, alker malzemenin kılcallıkla su emme deneyi sırasında yarım

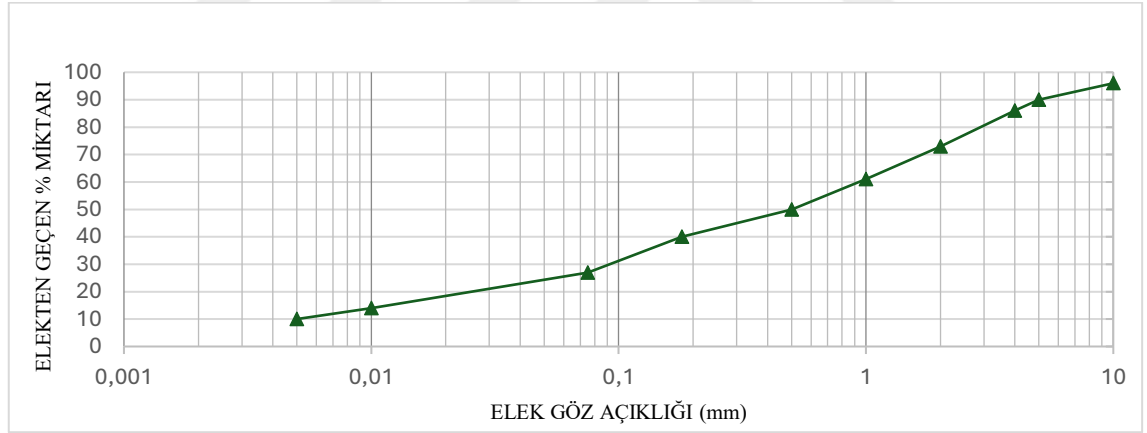
saat aralıklarla 3,5 saat gözlemlendiği görülmüştür (Coşkun, 2005 ve Özcan, 2021). Böylece, hazırlanan numuneler su dolu tepsiye yerleştirilmiş, yarım saat aralıklarla sudan çıkarılarak tartılmak üzere 3,5 saat boyunca su emme miktarı gözlemlenmiştir.

3.1. Materyal

Bu bölümde deneysel çalışmayı gerçekleştirmek için kullanılan malzemelerin özellikleri anlatılmıştır.

3.1.1. Toprak

Numunelerin hazırlanmasında kullanılacak olan toprak, Aksaray ili Merkez ilçesinden temin edilmiştir. ASÜ Mühendislik Fakültesi Ulaştırma Laboratuvarı'nda gerçekleştirilen elek analizi sonucunda toprakta %51 çakıl (en iri tane çapı 19 mm), %29 kum, %14 silt, %6 kil bulunmuştur (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Deneyde kullanılacak toprağın granülometri eğrisi

3.1.2. Alçı

Su ile karıştırıldığında kısa sürede sertleşme özelliği gösteren ve priz süresi karışıma katıldıktan sonra 8-10 dk arasında olan kartonpiyer alçı kullanılmıştır. Karışımda %10 oranında alçı kullanılmıştır.

3.1.3. Kireç

Karışımda %2,5 oranında söndürülmüş torba kireci kullanılmıştır.

3.1.4. Su

Karışımın hazırlanmasında 23 ± 2 °C, %20- %30 arasında temiz şebeke suyu kullanılmıştır. Su miktarı ayarlanırken sabit bir kıvam elde etmeye özen gösterilmiştir.

3.1.5. Reçine

Çalışmada çam ağacı reçinesi kullanılmıştır. Toprak numunelerin yüzeyine uygulanacak olan reçine %10 oranında kolofan ve çözen madde olarak %90 oranında selülozik tiner kullanılarak elde edilmiştir.

3.2. Metod

Bu bölümde deneysel çalışmada kullanılacak numunelerin hazırlanma süreci ve numuneler üzerinde gerçekleştirilen su emme deneyi anlatılmıştır. İki alt başlığa ayrılmıştır.

3.2.1. Numunelerin Deneye Hazırlanması

Deneyde kullanılacak numunelerin üretimi için uygun toprak seçimi, toprak karışımının hazırlanması, kalıpların hazırlanması ve toprağın kalıp içinde sıkıştırılması aşamaları anlatılmıştır.

3.2.1.1 Toprak Seçimi

Karışımın hammaddesi olan toprak, Aksaray ili Merkez ilçesindeki yol kenarında bulunan hafriyat toprağından alınmıştır. Toprağın yol kenarından toplanırken ki görselleri Şekil 3.2’de gösterilmiştir. Araziden alınan toprak nemli olduğundan tam kuruması için 15 gün boyunca yere serili olarak bekletilmiştir. Ardından 20 mm delik çapındaki elekten geçirilerek bitki, büyük çakıl ve çöplerden temizlenmiştir (Şekil 3.3).



Şekil 3.2. Toprak alınan saha



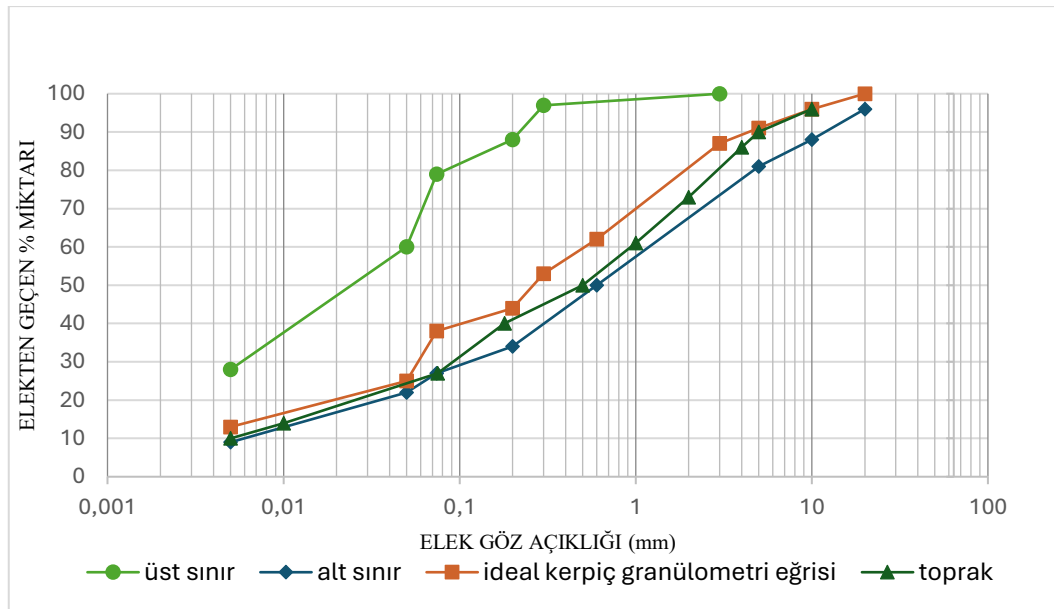
Şekil 3.3. Toprağın elenmesi

ASÜ Mühendislik Fakültesi Ulaştırma Laboratuvarı'nda gerçekleştirilen elek analizi sonucunda ulaşılan çakıl, kum, silt ve kil oranları grafiğe aktarılarak toprağın granülometri eğrisi elde edilmiştir. Kullanılan elekler Şekil 3.4'te gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Elekler

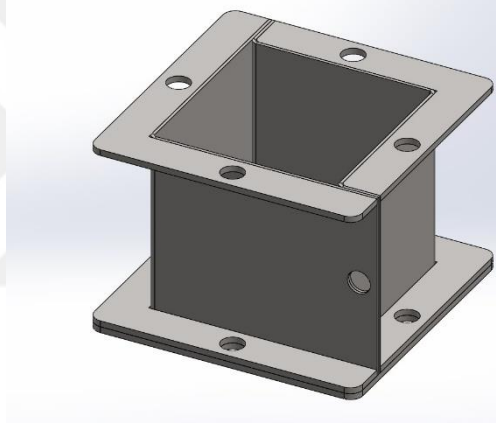
Karışımında kullanılacak toprağın granülometri eğrisi (tane boyutlarının dağılışını gösteren eğri) Prof. Dr. Bilge Işık ve diğ. tarafından 1995 yılında hazırlanan ideal kerpiç granülometri eğrisi ile birlikte Şekil 3.5'te gösterilmiştir. Kullanılacak toprak ideal kerpiç granülometri eğrisine yakın olduğundan deney için kullanımı uygun bulunmuştur.



Şekil 3.5. Toprağın granülometri eğrisinin ideal granülometri eğrisiyle birlikte gösterilmesi

3.2.1.2 Numune kalıplarının hazırlanması

TS EN 772-11 standardında deneyde kullanılacak kalıp boyutları için kesin bir ölçü verilmemiştir. Literatürde yer alan alker çalışmaları incelendiğinde, alker malzemenin kılcallıkla su emme deneyi için 15 cm x 15 cm x 15 cm boyutlarında plastik ve çelik kalıplar kullanıldığı görülmüştür (Coşkun, 2005 ve Özcan, 2021). Literatüre dayalı olarak deneyde 15 cm x 15 cm x 15 cm boyutlarında çelik kalıp kullanılmıştır. Numunelerin kalıptan kolayca çıkarılmasını sağlamak ve basınca dayanıklı olacak şekilde sıkıştırma esnasındaki kuvveti karşılamak amacıyla, çelik kalıp Ömeroğlu Kalıp Ltd. Şti. tarafından özel olarak tasarlanmıştır (Şekil 3.6). Kalıp uygulama öncesinde ve sonrasında tozlardan arındırmak için temizlenmiştir. Ayrıca numunelerin kolay çıkarılabilmesi için uygulama öncesinde kalıp yağı ile yağlanmıştır (Şekil 3.7).



Şekil 3.6. Ömeroğlu Kalıp Ltd. Şti tarafından hazırlanan çelik kalıbın tasarımı



Şekil 3.7. Kalıbın yağlanması

3.2.1.3 Karışımın hazırlanması

Alker üretimi için kullanılacak malzemelerin karışım ölçüsü;

- 15 kürek toprak
- 2 kürek alçı (toprak miktarının %10'u)
- 1 silme kürek kireç (toprak miktarının %2'si)

olarak belirlenmiştir (Işık, 2002).

Belirlenen miktarlara uygun olarak kuru karışım hazırlanmıştır. Karışımın içeriğinde bulunan alçının priz durumundan kaynaklı, kuru karışımdan yalnızca sıkıştırılacak miktar alınarak su (karışımın %20- %30'u kadar) ilavesi yapılmıştır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Kuru karışıma su ilavesi yapılması

3.2.1.4 Karışımın kalıplara dökülmesi ve sıkıştırılması

Toprak, alçı ve kireç ile oluşturulan kuru karışımdan sıkıştırılacak miktarda alınarak su ilavesi yapılmıştır. Su ilavesi yapılan karışım 1-2 dk içinde hızlı bir şekilde çelik kalıba dökülmüştür. Ardından tokmak yardımıyla dövülerek sıkıştırılmıştır. Her numune üretimi için bu işlem 5-6 kez tekrarlanarak, katman katman olacak şekilde sıkıştırılma işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.9. Kalıptan çıkarılan numune

Sıkıştırma işlemi tamamlandıktan sonra kalıp yavaşça ve dikkatli bir şekilde açılmıştır (Şekil 3.9). TS EN 772-11 standardında numune sayısının en az 6 olması kriteri yer almaktadır. Bu doğrultuda, 15 cm x 15 cm x 15 cm boyutunda 6 adet numune üretilmiştir (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Numuneler

3.2.2. Su emme deneyi

Alker yüzeyine doğal reçine uygulamasının, malzemenin kılcallıkla su emme miktarına etkisini incelemek için TS EN 772-11 (2012) “Kâgir birimler - Deney yöntemleri - Bölüm 11: Betondan, gazbetondan, yapay ve doğal taştan yapılmış kâgir birimlerde kapiler su emme ve kil kâgir birimlerde ilk su emme hızının tayini”

standardına uygun 15 cm x 15 cm x 15 cm boyutunda 3 adet reçineli ve 3 adet reçinesiz alker numunenin su emme deneyi gerçekleştirilmiştir. TS EN 772-11 standardına göre numuneler değişmez kütleye ulaşıncaya kadar etüvde bekletilmelidir. Değişmez kütleye ulaşılması için, kurutma süreci sırasında 24 saat arayla tartımlar yapılır ve belirlenen kütleler arasındaki farkın toplam kütlenin % 0,1’inden az olması gerekmektedir (TS EN 772-11, 2012). Hazırlanan numuneler 3 gün açık havada kurumaya bırakılmıştır. Ardından 24 saat 52  C etüvde bekletilen numuneler tartıldığında değişmez kütleye ulaşıldığı görülmüştür ve numunelerin tam kuruması sağlanmıştır (şekil 3.11).



şekil 3.11. Numunelerin etüve bırakılması

Suyun yükselme miktarını gözlemlemek için numunelerin yüzeyine keçeli kalemle 1 cm aralıklarla paralel çizgiler çizilmiştir (şekil 3.12). Ardından toprak numunelerin su ile temas edecek olan yüzeyleri taban hizasından 3 cm ykseklіėe kadar parafinlenmiştir (şekil 3.13).



Şekil 3.12. 1 cm aralıklarla çizgi çizilmesi



Şekil 3.13. Numunelere eritilmiş parafin sürülmesi

6 adet sıkıştırılmış toprak numuneden 3 adedinin su ile temas edecek olan alt yüzeyi çam reçinesi ile kaplanmıştır (Şekil 3.14). Ayrıca reçinenin alker için şeffaf bir kaplama yüzeyi oluşturup oluşturmadığını gözlemlemek için numunelerden bir tanesinin su ile temas etmeyecek bir yüzeyine reçine sürülmüştür. Reçine içeriği literatüre bağlı olarak %10 kolofan ve %90 selülozik tiner ile oluşturulmuştur (Var, 1994). TS EN 772-

11 standardında numunelerin yüzey boyutlarının ölçülmesi için TS EN 772-16 (2012) “Kâğır Birimler - Deney Yöntemleri - Bölüm 16: Boyutların Tayini ” standardının kullanılması gerektiği belirtilmiştir. Numunelerin suya temas edecek yüzeylerinin boyutları belirtilen şekilde ölçülerek yüzey alanı hesaplanmıştır (TS EN 772-16 ,2012). Numunelerin su dolu kabın iç yüzeyine temas etmemesi için numunelerin altına cam çubuklar koyulmuştur. Kabın içerisine parafinle kaplanan yüzeyleri geçmeyecek seviyede ve sadece alt yüzeyleri suya temas edecek şekilde su doldurulmuştur.

Alker numunelerin yarım saatte bir su emme seviyesi kayıt altına alınmıştır ve toplam 3,5 saat gözlemlenerek su emme deneyi gerçekleştirilmiştir. Her yarım saatte bir numuneler sudan çıkarılarak yüzeylerindeki serbest su kurulanmıştır ve hassas terazi ile tartılmıştır. Deney sonrasında numuneler tam kuruması için 1 hafta açık havada bırakılıp ardından 24 saat 52 °C etüvde bekletilmiştir (TS EN 772-11, 2012).



Şekil 3.14. Numunelere reçine sürülmesi

Reçineli ve reçinesiz alker numunelerin su emme miktarları Çizelge 3.1’de gösterilmiştir. Reçineli ve reçinesiz alker numunelerin zamana bağlı ağırlıklarındaki değişim Çizelge 3.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Numunelerin zamana bağlı su emme miktarları

SU EMME MİKTARI (g)						
	Reçinesiz numuneler			Reçineli numuneler		
Zaman	1.numune	2.numune	3. numune	1.numune	2.numune	3. numune
30 dk	128,3	93,5	63,9	9,9	13,2	10,8
60 dk	45,8	30,2	26,5	4,2	5,9	6,8
90 dk	28,5	18,2	11,8	8,2	9,4	10,3
120 dk	23,8	11,8	10,2	7,3	7,7	9,2
150 dk	19,6	10,7	7,5	4,2	5,9	6,7
180 dk	18,2	7,7	9,9	8,1	5,9	6,2
210 dk	13,7	7,8	6,2	4,1	5,3	3,9

Çizelge 3.2. Numunelerin zamana bağlı ağırlıkça artışı

AĞIRLIK (g)						
	Reçinesiz numuneler			Reçineli numuneler		
Zaman	1.numune	2.numune	3. numune	1.numune	2.numune	3. numune
0 dk	4178,2	3904,5	4414,2	4376,2	4276,1	4370,4
30 dk	4306,5 (+ %3,1)	3998,0 (+ %2,4)	4478,1 (+ %1,4)	4386,1 (+ %0,2)	4289,3 (+ %0,3)	4381,2 (+ %0,2)
60 dk	4352,3 (+ %1,1)	4028,2 (+ %0,7)	4504,6 (+ %0,6)	4390,3 (+ %0,1)	4295,2 (+ %0,1)	4388,0 (+ %0,1)
90 dk	4380,8 (+ %0,7)	4046,3 (+ %0,4)	4516,4 (+ %0,3)	4398,5 (+ %0,2)	4304,6 (+ %0,2)	4398,3 (+ %0,2)
120 dk	4404,6 (+ %0,5)	4058,1 (+ %0,3)	4526,6 (+ %0,2)	4405,8 (+ %0,2)	4312,3 (+ %0,2)	4407,5 (+ %0,2)
150 dk	4424,2 (+ %0,4)	4068,8 (+ %0,3)	4534,1 (+ %0,2)	4410,0 (+ %0,1)	4318,2 (+ %0,1)	4414,2 (+ %0,1)
180 dk	4442,4 (+ %0,4)	4076,5 (+ %0,2)	4544,0 (+ %0,2)	4418,1 (+ %0,2)	4324,1 (+ %0,1)	4420,4 (+ %0,1)
210 dk	4456,1 (+ %0,3)	4084,3 (+ %0,2)	4550,2 (+ %0,1)	4422,2 (+ %0,1)	4329,4 (+ %0,1)	4424,3 (+ %0,1)

Kapiler su emme katsayısı, TS EN 772-11 standardında belirtilen ve aşağıda verilen eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$C_{w,s} = \frac{m_{so,s} - m_{dry,s}}{A_s \sqrt{t_{so}}} \times 10^6 \quad \text{gr}/(\text{m}^2 \times \text{s}^{0.5})$$

$C_{w,s}$ = Kapiler su emme katsayısı,

$m_{dry,s}$ = Deney numunesinin kurutma sonrasındaki kütlesi, gr

$m_{so,s}$ = Deney numunesinin (t) süreyle suya temas ettirildikten sonraki kütlesi

A_s = Deney numunelerinin suya temas ettirilen yüzeyinin brüt alanı, mm²

t_{so} = Deney numunesinin suya temas ettirilme süresi, dakika

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Deney sonrası 1 hafta açık havada bırakılıp ardından 24 saat 52 °C etüvde bekletilerek tam kuruması sağlanan numunelerin bütünlüğünde bir bozulma ve numunelerde dağılma gözlenmemiştir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Deney sonrası kuru numuneler

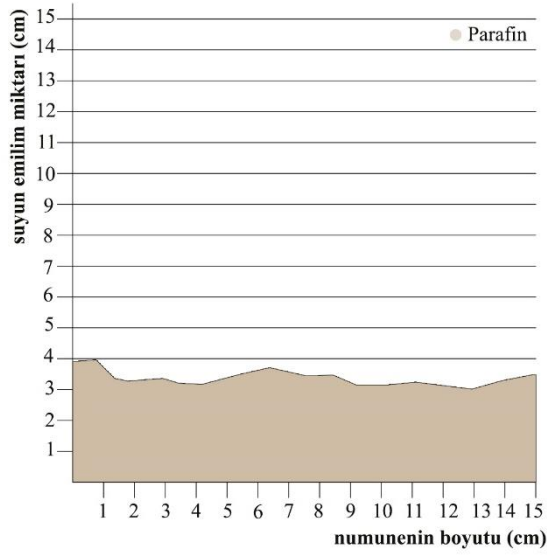
Su emilimi parafin seviyesinin altında kaldığı için reçineli numunelerde 90. dakikaya kadar (Şekil 4.2, Şekil 4.4, Şekil, 4.6, Şekil 4.8, Şekil 4.10, Şekil 4.12) reçinesiz numunelerde ise 30. dakikaya kadar (Şekil 4.3, Şekil 4.5) dışardan su yükselme seviyesi gözlenmemiştir. Numunelerdeki su emilim miktarı tartımlar sonucunda ölçülmüştür.

Deney boyunca reçineli numunelerde su emme seviyesi ilk olarak 120. dakikanın sonunda (Şekil 4.14, Şekil 4.16), reçinesiz numunelerde ise 60. dakikanın sonunda (Şekil 4.7, Şekil 4.9) gözlemlenmiştir.

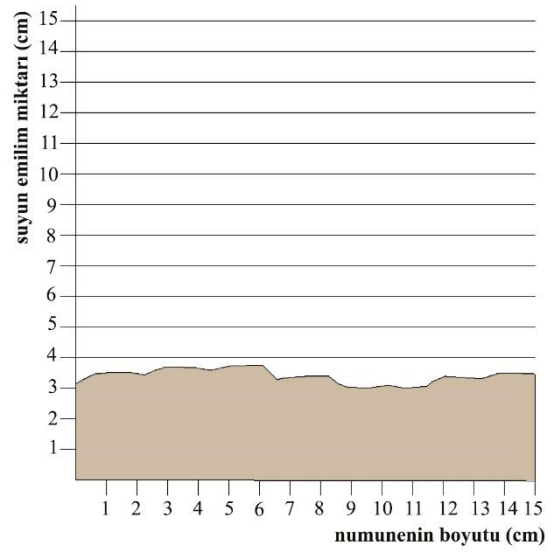
Deney sonucunda reçineli ve reçinesiz alker numunelerin 210. dakikaya kadar su emdikleri (Şekil 4.2-29) ve bu yüzden numunelerin ağırlığında devamlı artış olduğu gözlemlenmiştir. Deney boyunca numunelerin ağırlığında bir azalma görülmemiştir ve numunelerde su emilimine bağlı çökme gözlenmemiştir

Bu deney sonucunda reçinesiz alker numunelerin Şekil 4.30'de görüldüğü gibi hızlı bir şekilde suyu emdiği ve en fazla su emiliminin 30. dakikanın sonunda gerçekleştiği gözlemlenmiştir.

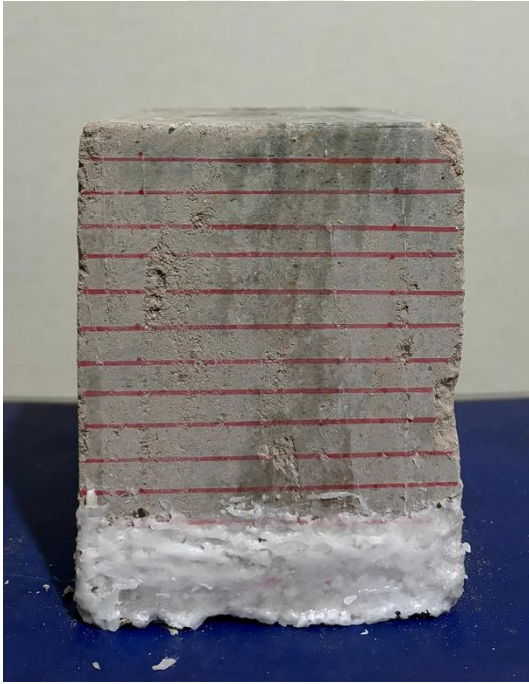
30. dk'da numunelerde su emme miktarı



Şekil 4.2. 30. dk'da reçineli alker numune



Şekil 4.3. 30. dk'da reçinesiz alker numune

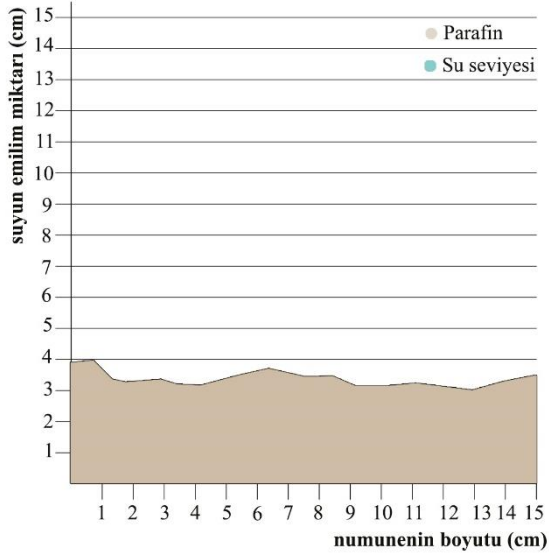


Şekil 4.4. Reçineli alker numune

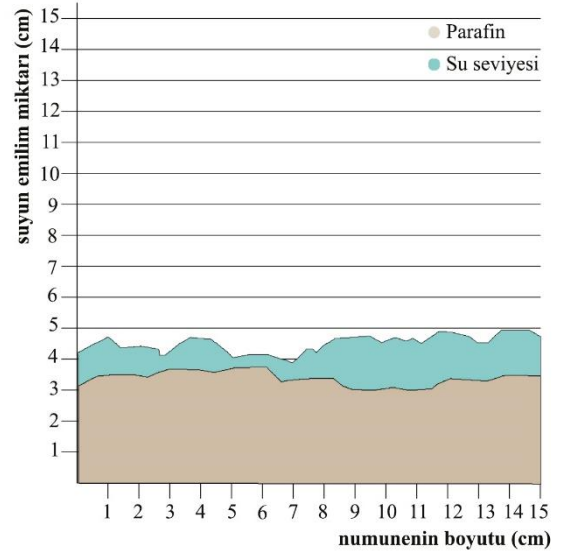


Şekil 4.5. Reçinesiz alker numune

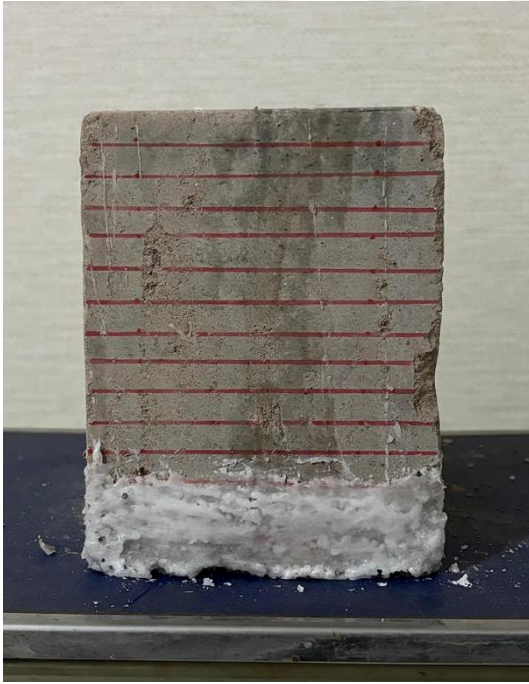
60. dk'da numunelerde su emme miktarı



Şekil 4.6. 60. dk'da reçineli alker numune



Şekil 4.7. 60. dk'da reçinesiz alker numune

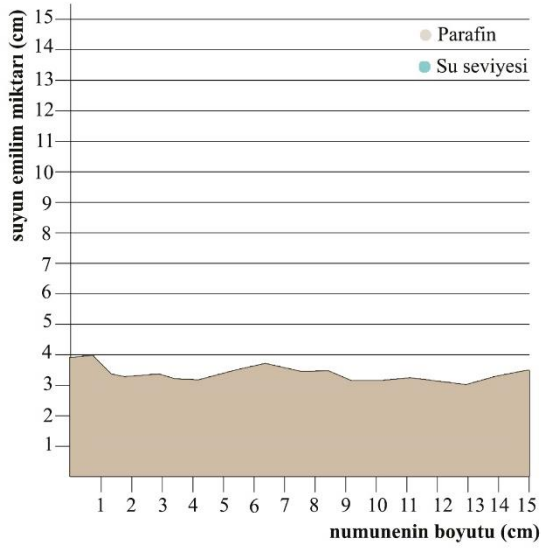


Şekil 4.8. Reçineli alker numune

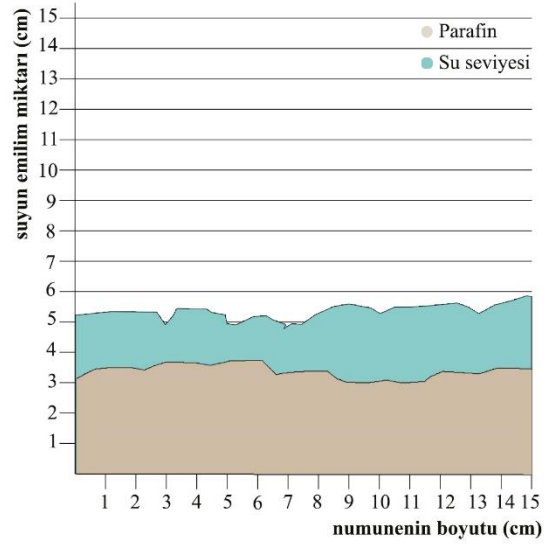


Şekil 4.9. Reçinesiz alker numune

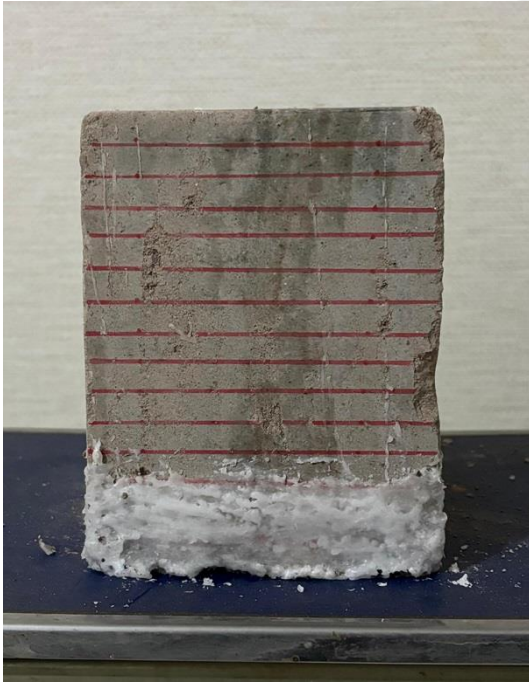
90. dk'da numunelerde su emme miktarı



Şekil 4.10. 90. dk'da reçineli alker numune



Şekil 4.11. 90. dk'da reçinesiz alker numune

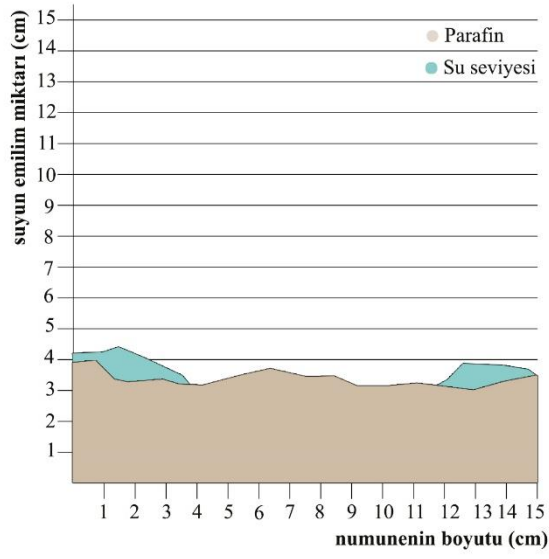


Şekil 4.12. Reçineli alker numune

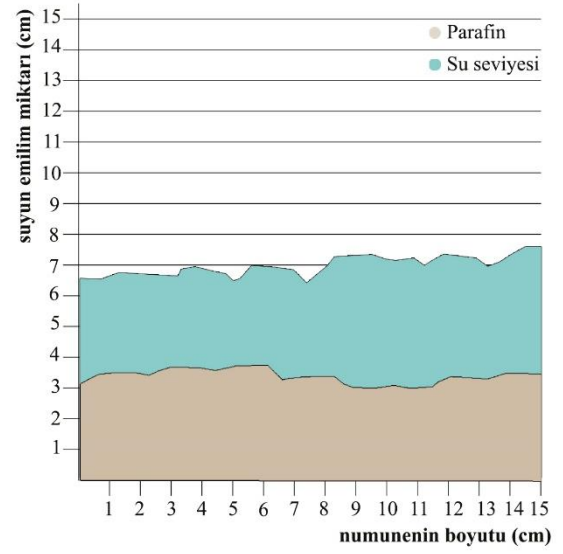


Şekil 4.13. Reçinesiz alker numune

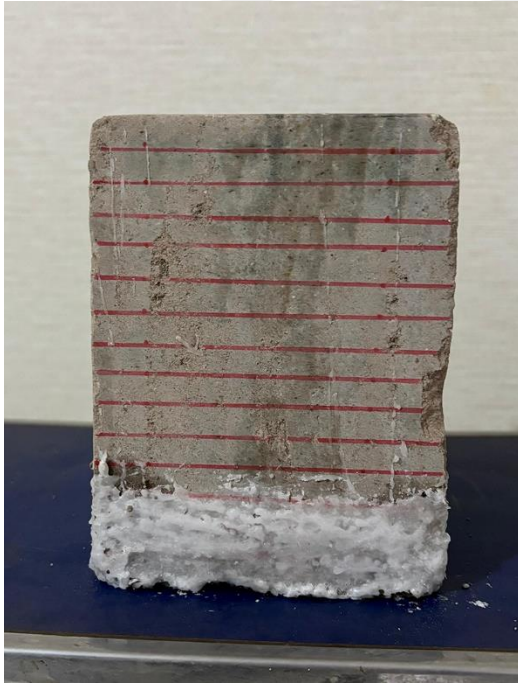
120. dk'da numunelerde su emme miktarı



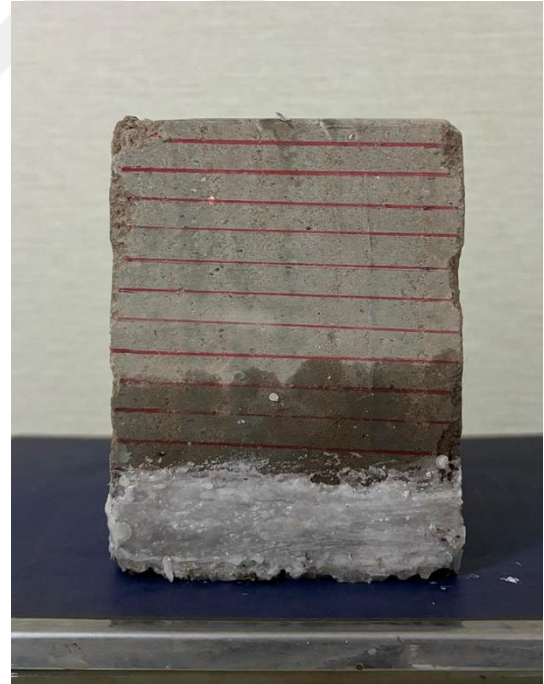
Şekil 4.14. 120. dk'da reçineli alker numune



Şekil 4.15. 120. dk'da reçinesiz alker numune

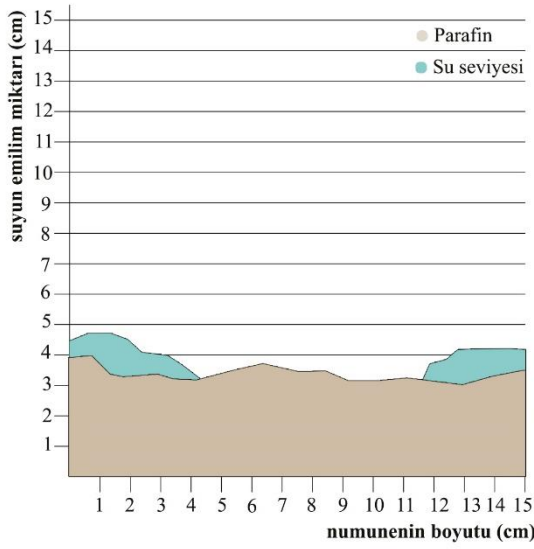


Şekil 4.16. Reçineli alker numune

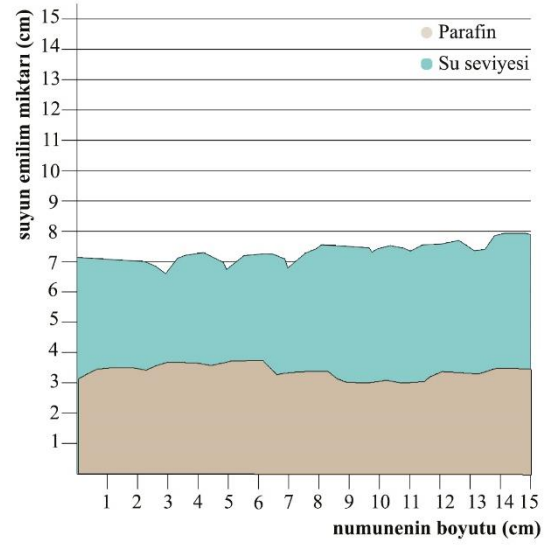


Şekil 4.17. Reçinesiz alker numune

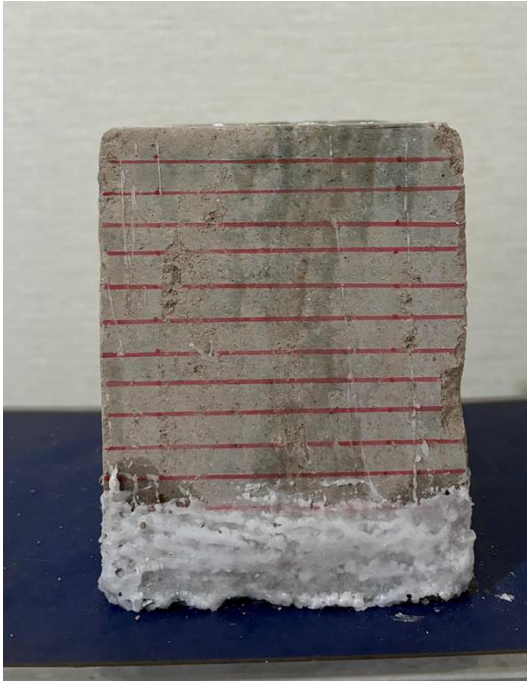
150. dk'da numunelerde su emme miktarı



Şekil 4.18. 150. dk'da reçineli alker numune



Şekil 4.19. 150. dk'da reçinesiz alker numune

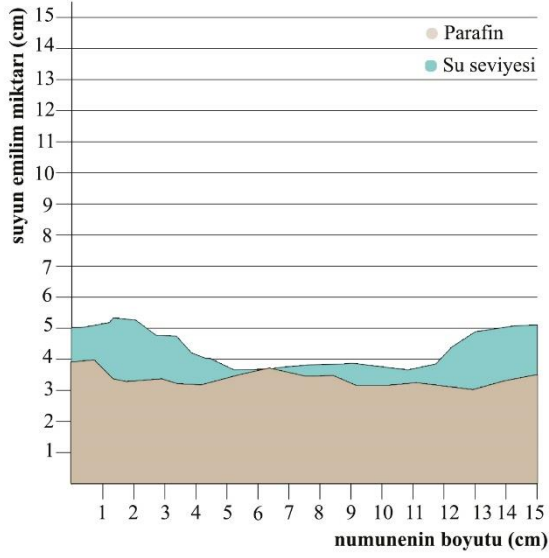


Şekil 4.20. Reçineli alker numune

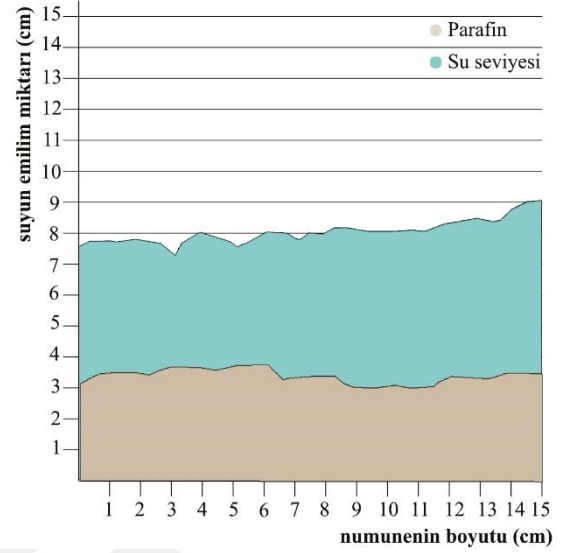


Şekil 4.21. Reçinesiz alker numune

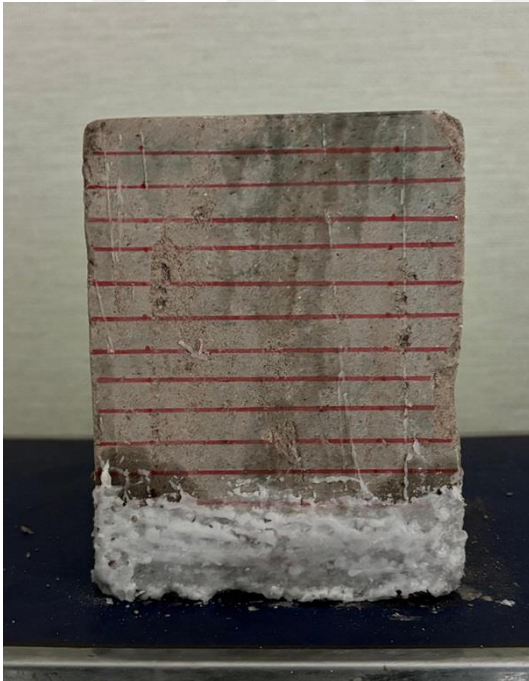
180. dk'da numunelerde su emme miktarı



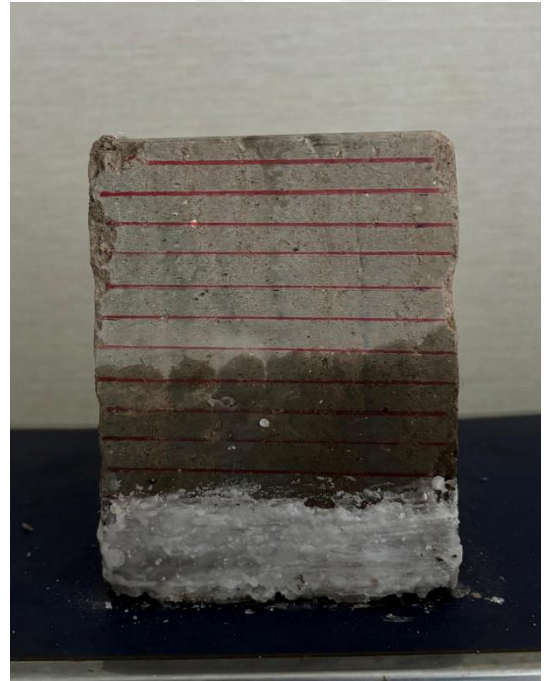
Şekil 4.22. 180. dk'da reçineli alker numune



Şekil 4.23. 180. dk'da reçinesiz alker numune

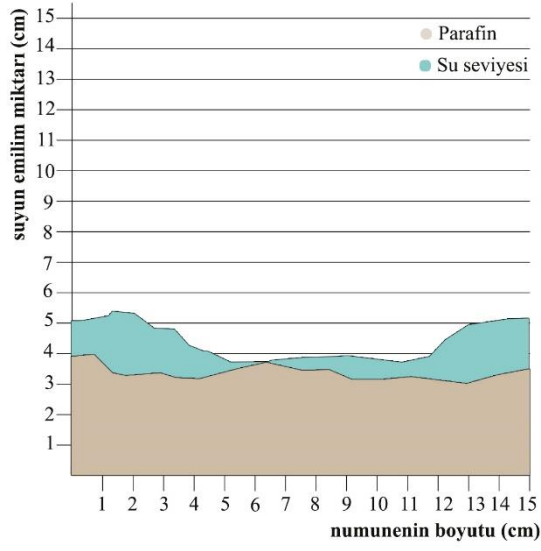


Şekil 4.24. Reçineli alker numune

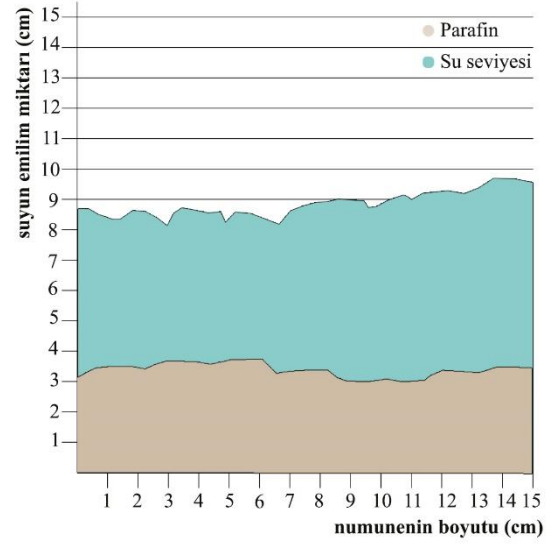


Şekil 4.25. Reçinesiz alker numune

210. dk'da numunelerde su emme miktarı



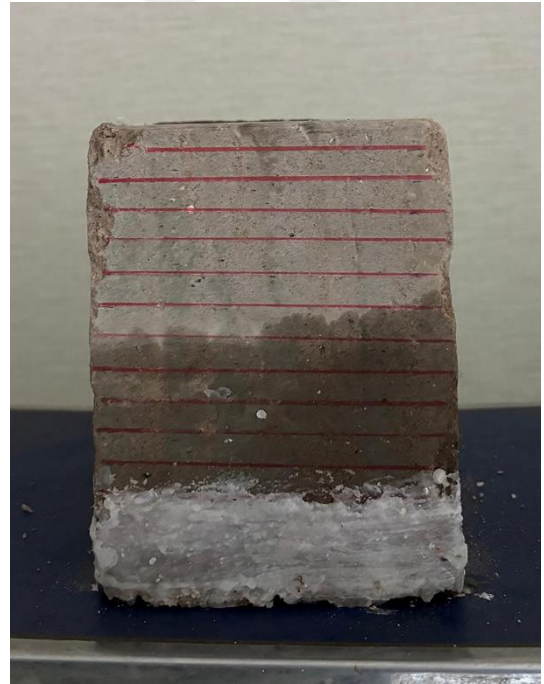
Şekil 4.26. 210. dk'da reçineli alker numune



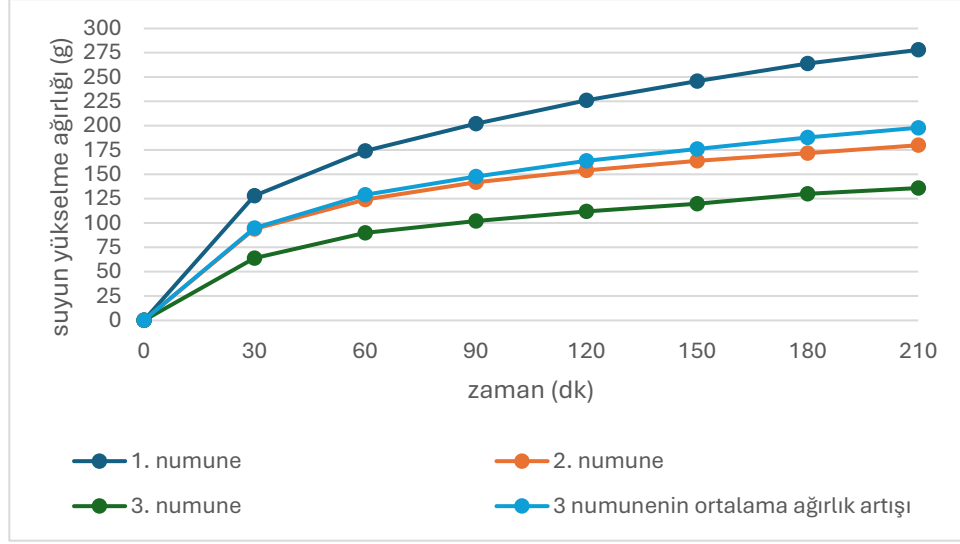
Şekil 4.27. 210. dk'da reçinesiz alker numune



Şekil 4.28. Reçineli alker numune

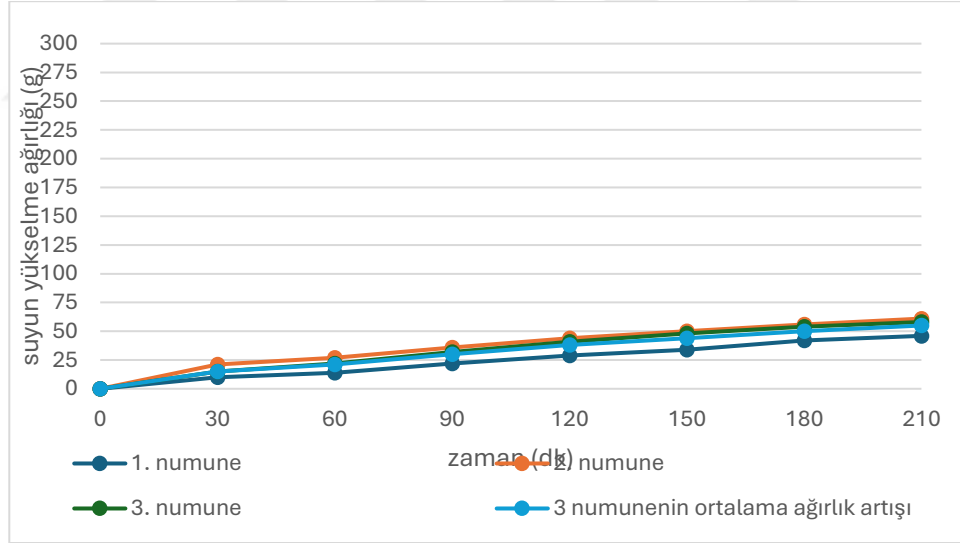


Şekil 4.29. Reçinesiz alker numune

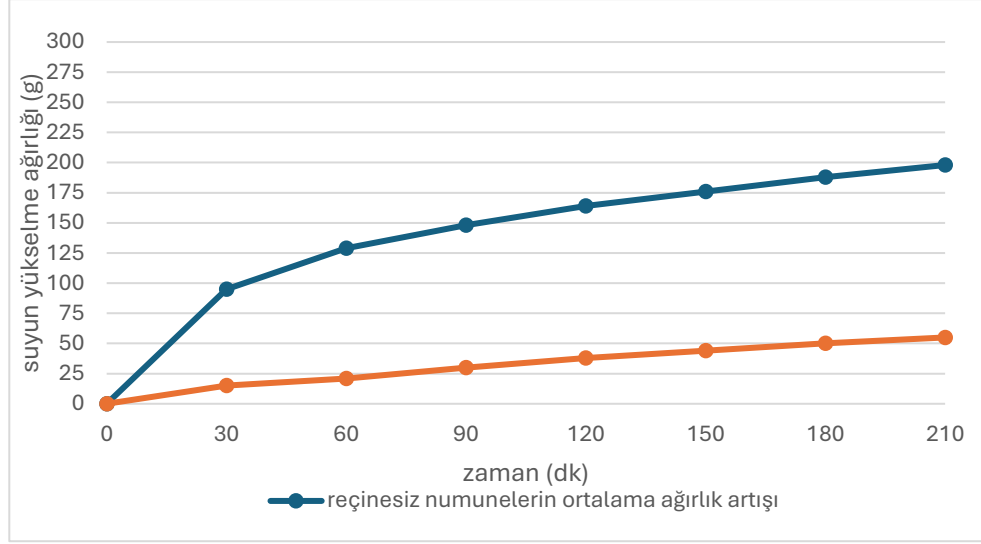


Şekil 4.30. Reçinesiz alker numunelerde suyun yükselme ağırlığı

Deney sonucunda reçineli alker numunelerin Şekil 4.31' de görüldüğü gibi yavaş bir şekilde suyu emdiği ve en fazla su emiliminin 30. dakikanın sonunda gerçekleştiği gözlemlenmiştir.



Şekil 4.31. Reçineli alker numunelerde suyun yükselme ağırlığı



Şekil 4.32. Reçineli ve reçinesiz alker numunelerde suyun yükselme ağırlığı

Deney sonucunda, reçineli ve reçinesiz alker numunelerin kapiler su emme katsayıları Çizelge 4.1’te gösterilmiştir. Zamana bağlı olarak numuneler arasında kılcallıkla en yavaş su emen numunenin 1. numune (reçineli) olduğu gözlemlenmiştir. Reçineli alker numunelerin kılcallıkla su emme katsayısı ortalama 0.01 iken, reçinesiz numunelerin kılcallıkla su emme katsayıları 0.05, 0.06, 0.09 $\text{gr/m}^2/\text{s}^{0.5}$ olarak ölçülmüştür.

Çizelge 4.1 Reçineli ve reçinesiz alker numunelerin kapiler su emme katsayıları

KILCALLIKLA SU EMME KATSAYISI ($\text{gr/m}^2/\text{s}^{0.5}$)						
	Reçinesiz numuneler			Reçineli numuneler		
Zaman	1.numune	2.numune	3. numune	1.numune	2.numune	3. numune
30 dk	0,10	0,08	0,05	0,008	0,01	0,008
60 dk	0,10	0,07	0,05	0,008	0,01	0,01
90 dk	0,09	0,07	0,05	0,01	0,01	0,01
120 dk	0,09	0,06	0,05	0,01	0,01	0,01
150 dk	0,09	0,06	0,04	0,01	0,02	0,02
180 dk	0,08	0,06	0,04	0,01	0,02	0,02
210 dk	0,08	0,05	0,04	0,01	0,02	0,02
ORTALAMA	0,09	0,06	0,05	0,01	0,01	0,01

Reçineli numunelerin zamana bağlı olarak kılcallıkla su emme katsayısı değerinin düştüğü, reçinesiz numunelerde ise bu değerin yükseldiği gözlenmiştir.



Şekil 4.33. Reçinesiz ve reçineli yüzeyler

Deney sonucunda numunenin üzerine uygulanan reçinenin yüzeyde şeffaf bir katman oluşturduğu ve toprak görünümünü koruduğu gözlemlenmiştir. Buna karşılık reçineli yüzey reçinesiz yüzeylere göre daha koyu bir renk almıştır (Şekil 4.33).

Gomes ve diğerlerinin 2018’de yaptığı çalışmada sıkıştırılmış toprak yüzeyine uygulanan toprak sıvanın malzemenin su emme katsayısını artırdığı görülürken, yapılan bu çalışmada alçı katkılı sıkıştırılmış toprak yüzeyine uygulanan doğal reçinenin malzemenin kılcallıkla su emme katsayısını düşürdüğü görülmüştür.

Patty, 1940 yılında gerçekleştirdiği çalışmada, sıkıştırılmış toprak duvarların boyanması sürecinde duvar yüzeyinin kalitesi ile kullanılan boya türlerinin önemini vurgulamıştır. Bu tez çalışmasında, çelik kalıp kullanımı sayesinde yüksek kaliteli bir toprak yüzey elde edilmiş ve reçinenin yüzeye düzgün bir şekilde uygulanması sağlanmıştır. Ayrıca, çam reçinesi alker malzemenin yüzeyine kolaylıkla entegre olmuştur. Bu nedenlerle, bu iki çalışma birbirini tamamlayıcı özellikler taşımaktadır.

Stazi ve diğerlerinin 2016 yılında gerçekleştirdiği çalışmada, yağışlı iklimlerde toprak yapıların dış yüzeylerinin su erozyonundan korunmasında silan-siloksan katkı maddesi ile oluşturulan sıvanın su itici özellik gösterdiği belirlenmiştir. Aynı şekilde, alker malzemesinin yüzeyinde kullanılan çam reçinesinin de su itici özellik taşıdığı gözlemlenmiştir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Günümüzde enerji kullanımının en aza indirilmesi, doğal kaynakların korunmaya çalışılması, insan sağlığı ve çevrenin korunması gibi sebeplerle düşük gömülü enerjiye sahip doğal yapı malzemelerinin kullanımı büyük önem taşımaktadır. Toprak malzeme, betonarmedeki gibi ek katmanlara ihtiyaç duyulmadan yapısal konfor koşullarını sağlaması, maliyetinin düşük olması, üretiminde ve kullanımında daha az enerji kullanılması, geri dönüştürülebilir olması, insan sağlığına ve çevreye zararsız olması ve ekolojik olması gibi sayısız avantajlı yöne sahiptir.

Türkiye'nin farklı iklim bölgelerinde farklı teknikler kullanılarak yapılan toprak yapılar için kerpiç yapı terimi kullanılmaktadır. Kerpici basıncı dayanımının düşük olması ve suya karşı direncinin zayıf olması bilinen iki sakıncalı yönüdür. Türkiye'de kerpici niteliği geliştirilerek, fiziksel ve mekanik özellikleri iyileştirilen, kısa zamanda ve daha kolay üretimi sağlanan alker malzeme geliştirilmiştir. Kerpiç harcına katılan alçı, malzemenin basıncı dayanımını artırırken, harca katılan kireç, malzemenin su emilim miktarını azaltarak malzemeyi sudan kaynaklanan dağılmalardan ve bozulmalardan korumaktadır. Alkerin fiziksel ve mekanik özelliklerini geliştirmeye yönelik çalışmalar, 1980 yılında Prof. Ruhi Kafescioğlu ile başlayarak günümüze kadar devam etmektedir.

Bu tez çalışmasında, alker malzemesinin fiziksel ve mekanik özelliklerini geliştirmek amacıyla, alçı katkılı sıkıştırılmış toprak yüzeyine uygulanan doğal reçinenin su dayanımına etkisi incelenmiştir. ASÜ Mühendislik Fakültesi Yapı Malzemeleri Laboratuvarı'nda yapılan araştırmalar neticesinde aşağıda verilen sonuçlar elde edilmiştir:

- Reçineli ve reçinesiz alker numunelerin tamamında, deney sonuna kadar su emiliminin devam ettiği görülmüştür. Reçine uygulamasının alker yüzeyinde geçirimsiz bir tabaka oluşturmaması, kerpiç duvarların sahip olduğu buhar geçirgenliği özelliğini devam ettireceğini göstermektedir. Bu durumda, alker duvarların reçine uygulamasından sonra da iç mekanın nem dengesini koruyacağı ve iç hava kalitesini iyileştirebileceği öngörülmektedir.

- Reçineli ve reçinesiz alker numunelerin tamamında en fazla su emilimi ilk 30 dk sonunda gerçekleşmiştir. Reçineli alker numuneler 3,5 saat sonunda ortalama 51,1 g,

reçinesiz alker numuneler ise ortalama 197,9 g su emmiştir. Reçineli alker numunelerin reçinesiz alker numunelere göre çok daha yavaş bir şekilde ve daha az miktarda su emdiği gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, alker numunelerin yüzeyine reçine uygulanmasının malzeme yüzeyinde su itici etkinliği arttırdığı sonucuna varılmıştır.

- Reçineli alker numunelerin kılcallıkla su emme katsayısı ortalama $0.01 \text{ gr/m}^2/\text{s}^{0.5}$ iken, reçinesiz numunelerin kılcallıkla su emme katsayıları $0.05 \text{ gr/m}^2/\text{s}^{0.5}$, $0.06 \text{ gr/m}^2/\text{s}^{0.5}$, $0.09 \text{ gr/m}^2/\text{s}^{0.5}$ olarak ölçülmüştür. Reçineli alker numunelerin kılcallıkla su emme katsayılarının, reçinesiz alker numunelere göre daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Alker numunelerin yüzeyine reçine uygulanmasının malzemenin su emilim miktarını azalttığı sonucuna ulaşılmıştır.

- Deney boyunca numunelerin ağırlığında bir azalma görülmemiştir. Deney sonunda numunelerde su emilimine bağlı dağılma, ayrılma veya çökme gözlenmemiştir. Deney bulguları göstermiştir ki alker malzeme, yüzeyinde herhangi bir koruyucuya ihtiyaç duymadan su dayanımı sağlamaktadır. Bunun yanında, reçine uygulamasının alker malzemeye su iticilik özelliği kazandırmasının, malzemenin su dayanımını daha da artıracığı düşünülmektedir. Böylece reçine uygulamasının, malzemede suya bağlı meydana gelecek uzun vadedeki olumsuz etkileri en az seviyeye indirmesi beklenmektedir.

- Alker numuneye uygulanan reçinenin yüzeyde şeffaf bir tabaka oluşturduğu ve malzemenin toprak görünümünü koruduğu gözlemlenmiştir. Buna karşılık reçineli yüzeylerin reçinesiz yüzeylere göre daha koyu bir renk aldığı görülmüştür. Bu durum, kullanıcı tercihi göre olumlu ya da olumsuz olarak nitelendirilebilir.

Genel bir değerlendirme yapılırsa, alker malzemesinin yüzeyine çam reçinesi uygulanması, malzemenin su emilim miktarını azaltarak suya karşı dayanımını artırmış ve malzemenin toprak görünümünü koruyarak şeffaf ve geçirgen bir tabaka oluşturmuştur. Sonuç olarak, alker malzemenin yüzeyinde doğal koruyucu olarak çam reçinesi kullanılması malzemenin su dayanımını artırır hipotezi desteklenmiştir. Alker harcının sıkıştırılmış toprak tekniğiyle üretildiği yapı malzemesinin su dayanımını daha da artırarak uzun süreli kullanımda sudan kaynaklanan eskime ve bozulmalara karşı bir çözüm getirilmiştir.

5.2 Öneriler

Reçineli numunelerin zamana bağlı olarak kılcallıkla su emme katsayısı değerinin düştüğü, reçinesiz numunelerde ise bu değer yükseldiği gözlenmiştir. Bu durumda, reçinesiz numunelerde zamanla numunenin suya doyduğu ve su emiliminin yavaşladığı düşünülmektedir. Buna karşılık reçineli numunelerde, yüzeydeki reçinenin su iticilik özelliğinden kaynaklı, öncelikle su emiliminin yavaş olduğu, ardından suyun yüzeyi geçerek malzeme içinde daha hızlı ilerlediği düşünülmektedir. Zamana bağlı olarak numunelerde meydana gelen kılcallıkla su emme katsayılarındaki değişimin sebebi araştırılmayı bekleyen bir konudur.

Çalışmada reçineli yüzeylerin reçinesiz yüzeylere göre daha koyu bir renk aldığı görülmüştür. Alker yüzeyine uygulanan çam reçinesinin renk ve parlaklık açısından değerlendirilmesi ve bu özelliğinin diğer alternatif yüzey koruyucularıyla karşılaştırılması önerilebilir.

Çalışma sırasında, alker yüzeyine uygulanacak reçinenin içeriği, literatüre dayalı olarak %10 kolofan ve %90 selülozik tiner kullanılarak oluşturulmuştur. Bu karışımın farklı oranlarda hazırlanmasıyla elde edilen reçine karışımlarının, ekonomikliği, suya dayanımına etkisi ve yüzeye yapışma mukavemeti araştırılabilir.

Çam reçinesinin alker malzeme üzerindeki üst yüzey performansının iç ve dış hava koşullarına karşı değerlendirilmesi ve alternatif doğal koruyucularla karşılaştırılması araştırılabilir.

Çalışmada reçinesiz numunelerin su emme oranları arasında fark görülmüştür. Gerçekleşen bu farkın numune üretimindeki sıkıştırma kuvveti farklılığından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu tez çalışmasındaki deneyler 6 adet numune üzerinde gerçekleştirilmiştir. Numune adedi artırılarak su emme deneyi gerçekleştirilebilir.

KAYNAKLAR

- Akipek, F. Ö., Akbulut, D. E., & Koç, Z. G. (2018). *Mimar.ist*, (62), 28-40.
- Akkaş, F. (2011). *Lif katkılı kerpiç panel duvar üretilme olanaklarının araştırılması* [Yüksek lisans tezi]. İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü .
- Aksoy, Y. (Ed.) (2017). *Yaşamın her karesinde toprak*. İstanbul Aydın Üniversitesi.
- Alibeyoğlu, R. N., & Ökten, M. S. (2021). Sıkıştırılmış toprak yapılar üzerine bir inceleme. *The Turkish Online Journal of Design Art and Communication*, 11 (32), 1036-1057. *Doi no: 10.7456/11103100/017*
- Ataç, A. (2019). *Mimarlıkta biyomalzemelerin kullanımı: Sıkıştırılmış toprak blokların performansının mikorizal mantar kullanılarak geliştirilmesi* (Tez No. 582396) [Yüksek lisans tezi, İstanbul Bilgi Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>
- Aydınay, B. (2002). *Donatılı ve donatısız alker duvarların kayma dayanımı üzerine deneysel bir araştırma* [Yüksek lisans tezi]. İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü .
- Beckett, C. T.S., Cardell-Oliver, R., Ciancio, D., & Huebner, C. (2017). Measured and simulated thermal behaviour in rammed earth houses in a hot-arid climate. Part A: Structural behaviour. *Journal of Building Engineering*, 15, 243-251. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2017.11.013>
- Bui, Q. B., Morel, J.C., & Hans, S. (2009). Compression behaviour of non-industrial materials in civil engineering by three scale experiments: The case of rammed earth. *Materials and Structures*, 42 (8), 1101-1116. *Doi: 10.1617/s11527-008-9446-y*
- Coşkun, K. (2005). *Alker (alçı katkılı kerpiç) teknolojisinin püskürtme beton (shotcrete) tekniği ile uygulanabilirliğinin basınç dayanımı açısından deneysel değerlendirmesi* [Yüksek lisans tezi]. İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Çavuş, M., Dayı, M., Ulusu, H., & Aruntaş, H. Y. (2015, Mayıs 28-30). *Sürdürülebilir bir yapı malzemesi olarak kerpiç*. International Sustainable Buildings Symposium, Ankara, Türkiye.
- Çiçek, B. (2014, Mayıs 16-18). *Çağdaş bir yapı malzemesi olarak toprak*. Sürdürülebilir Mimari Tasarımda Kerpiç Malzeme Kullanımı Paneli, Selçuk Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, Konya.
- Deniz İ., Pekgözlü K.A., Dönmez İ.E., Karaoğlu E., Yılmaz B., Ceylan E., & Aydın, İ. (2019). *Ülkemizde Üretilen Kolofanların Kimyasal Özellikleri*. Kolofan ve Türevleri Çalıştayı, , İstanbul, Türkiye.
- Gomes, M.I., Faria, P., Tittarelli, F., & Gonçalves T.D. (2018). Earth-based mortars for repair and protection of rammed earth walls. Stabilization with mineral binders and fibers. *Journal of Cleaner Production*, 172, 2401-2414. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.170>

- Gürdal, E., & Kafesçioğlu, R., (1985). *Çağdaş yapı malzemesi alker*. Shell Yayını.
- Işık, B. (2000). *Türkiye’de kerpiç yapı kültürü ve alçı ile stabilize edilen kerpiç alker yapılar*. III. Ulusal Alçı Kongresi, İstanbul, Türkiye.
- Işık, B., Akın, A., Kuş, H., Çetiner, İ., Göçer, C., & Arıoğlu, N. (1995). *Alçı katkılı kerpiç yapı malzemesine uygun mekanize inşaat teknolojisinin ve standartlarının belirlenmesi*. TÜBİTAK İNTAG TOKİ 622, İstanbul, Türkiye.
- Kafescioğlu, R., (1949). *Orta Anadolu’da köy evlerinin yapısı*. İstanbul Matbaacılık.
- Kafesçioğlu, R., (2018). *Çağdaş toprak yapılar ve alker*. İTÜ Vakfı Yayınları.
- Patty, R.L., (1940). *Paints and Plasters for Rammed Earth Walls*. South Dakota State University Agricultural Experiment Station.
- Kafesçioğlu, R., Gürdal, E., Toydemir, N., Ve Özür, B. (1980). *Yapı malzemesi olarak kerpiciin alçı ile stabilizasyonu*. Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu Mühendislik Araştırma Gurubu, 505, 22-30.
- Kapfinger, O., & Sauer, M. (2015). *Martin Rauch Gebaute Erde Gestalten & Konstruieren mit Stampflehm*. Detail.
- Koç, Z. G. (2017). *Ekotasarım kapsamında toprak yapım sistemleri ve yönetmeliklerin irdelenmesi* (Tez No. 478581) [Yüksek lisans tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>
- Koç, Z. G., & Akbulut, D. E. (2017). Ekolojik tasarım kapsamında dünyada ve Türkiye’de toprak yapı standart ve yönetmeliklerinin değerlendirilmesi. *Megaron*, 12(4), 647-656. *Doi: 10.5505/MEGARON.2017.48615*
- Koski, A. (2008). *Applicability of Crude Tall Oil for Wood Protection* [PhD Thesis]. University of Oulu.
- Kuşaslan, D. (2002). *Yapıda durabilite ve hasar analizi, alçılı kerpiç yapı örneği üzerinde incelenmesi* [Yüksek lisans tezi]. İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Meek, A.H., Beckett, C.T.S., & Elchalakani, M. (2020). Alternative stabilised rammed earth materials incorporating recycled waste and industrial by-products: Durability with and without water repellent. *Construction and Building Materials*. 265, 120629. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120629>
- Minke, G., (2006). *Building with earth: Design and technology of a sustainable architecture*. Birkhäuser.
- Özcan, E. (2005). *Konut sektöründe hafif çelik ve alker yapım teknolojilerinin birlikte kullanılabilirliği* [Yüksek lisans tezi]. İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü .

- Özgünler, S. A., &Gürdal, E. (2012). Dünden bugüne toprak yapı malzemesi: Kerpiç. *DergiPark*, (9), 29-37.
- 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.
- Serrano, S., Rincon, L., Navarro, A., Bosch, M., & Munafò, P. (2016). Rammed earth walls in Mediterranean climate: material characterization and thermal behaviour. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 12 (3), 281-288. <https://doi.org/10.1093/ijlct/ctw022>
- Stazi, F., Nacci, A., Tittarelli, F., Pasqualini, E., &Cabeza L.F. (2017). An experimental study on earth plasters for earthen building protection: The effects of different admixtures and surface treatments. *Journal of Cultural Heritage*, 17, 27-41. <http://dx.doi.org/10.1016/j.culher.2015.07.009>
- Tanrıverdi, C. (1984). *Alçılı Kerpicin Üretim Olanaklarının Araştırılması* [Yüksek Lisans Tezi]. İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Taylor, P., &Luther, M. B. (2004). Evaluating rammed earth walls: a case study. *Solar Energy*, 76 (1-3), 79-84. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2003.08.026>
- Tuztaş, U., &Çobancaoğlu, T. (2006). Anadolu’da kerpicin kullanım geleneği ve kerpiç konut yapım sistemlerinin karşılaştırılması. *Tasarım + Kuram*, (5), 95-103.
- Tülbentçi, T. (1998). *Yapı üretiminde toplam kalite yönetimi ve kerpiç yapı üretiminde uygulanması* [Yüksek lisans tezi]. İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Tülbentçi, T. (1998). *Yapı üretiminde toplam kalite yönetimi ve kerpiç yapı üretiminde uygulanması* [Yüksek lisans tezi]. İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- URL-1. http://www.kerpic.org/alker_buildings.html Erişim tarihi: 12.05.2024
- URL-2. <https://www.atticlab.in/post/rammed-earth-construction-in-kerala-a-sustainable-and-cultural-building-technique>. Erişim tarihi: 20.04.2024
- Var, A. A. (1994). *Doğal reçine (Kolofan) kullanımının ağaç malzemenin su itici özellikleri üzerine etkisi* [Yüksek Lisans Tezi]. K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Windstorm, B, &Schmidt, A. (2013). A Report of Contemporary Rammed Earth Construction and Research in North America. *Sustainability*, (5), 400-416. [Doi:10.3390/su5020400](https://doi.org/10.3390/su5020400)
- Yakup, N. (2002). *Plan tipolojisi ve üretim teknolojisi bakımından Gönyeli’de kerpiç konutlar* [Yayınlanmamış yüksek lisans tezi]. Yakın Doğu Üniversitesi.