



**T.C.
ŞIRNAK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİMDALI**

**UÇUCU KÜL KATKISININ ALÇILI KERPIÇ (ALKER)'İN
FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Hazırlayan
Barış ALTUN**

ŞIRNAK, 2023

**T.C.
ŞIRNAK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİMDALI**

**UÇUCU KÜL KATKISININ ALÇILI KERPIÇ (ALKER)'İN
FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Hazırlayan
Barış ALTUN**

**Danışman
Dr. Öğretim Üyesi Murat DOĞRUYOL**

ŞIRNAK, 2023

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu tez çalışmasının Şırnak Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırlandığını, bu tez çalışmasında yer alan tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu beyan ederim. Ayrıca, bahse konu bu kural ve ilkelerin gerektirdiği üzere, bu çalışmada özgün olmayan tüm bilimsel içerikleri kurallara uygun biçimde alıntılıyıp kaynak gösterdiğimi beyan ederim. Beyanımınla çelişen herhangi bir delil bulunduğu takdirde tüm sorumluluğu üstleneceğimi kabul ederim.

Bariş ALTUN

İmza:

TEZ YAZIM KILAVUZUNA UYGUNLUK

“Uçucu Kül Katkısının Alçılı Kerpiç (Alker)’ın Fiziksel Ve Mekanik Özelliklerine Etkisi”
adlı Yüksek Lisans tezi, Şırnak Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım
Kılavuzu’na uygun olarak hazırlanmıştır.

Tezi Hazırlayan

Barış ALTUN

Danışman

Dr.Öğr.Üyesi Murat DOĞRUYOL

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Başkanı

Dr. Öğr. Üyesi Sedat ÖZCANAN

ÖNSÖZ

Tez çalışmam boyunca çok kıymetli bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan, her daim olumlu tavırları ile beni cesaretlendiren, öğrencisi olmaktan gurur duyduğum sayın Dr. Öğretim Üyesi Murat DOĞRUYOL' a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca beni destekleyen, emeklerinin karşılığını asla ödeyemeyeceğim biricik annem Emine ALTUN ve babam Abdülhaluk ALTUN'a, bu süreçte her daim yanımda olan ve bana moral veren eşim Aynur ALTUN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Barış ALTUN



İÇİNDEKİLER

ÖZET	v
ABSTRACT.....	vi
TABLO LİSTESİ.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
SEMBOLLER	x
KISALTMALAR	xi
1 GİRİŞ.....	1
1.1 Amaç.....	6
1.2 Kerpicing Tanımlanması Ve Özellikleri	7
1.2.1 Kerpicing tanımı	7
1.2.2 Kerpicing tarihçesi.....	7
1.2.3 Kerpiç kullanım alanları	8
1.3 Yurtiçi.....	9
1.4 Yurtdışı.....	9
1.4.1 Kerpicing avantaj ve dezavantajları	11
1.5 Avantajlar	11
1.6 Dezavantajları	12
1.7 Kerpici Oluşturan Malzemeler	13
1.8 Kerpicing İyileştirilmesi	14
1.8.1 Toprak seçimi	15
1.8.2 Kireç katılması	15
1.8.3 Alçı katılması.....	15
1.8.4 Toprak içindeki agrega granülometrisinin iyileştirilmesi.....	16
1.8.5 Kerpicing sıkıştırılması	16
1.8.6 Geogrid kullanılması	16

1.8.7	Puzolonik malzemelerin kullanılması	17
1.9	Doğal Puzolanlar	17
1.10	Yapay Puzolanlar	17
1.11	Alçı Katkılı Kerpiç (Alker)	18
1.11.1	Alker tanımı.....	18
1.11.2	Tarihçesi	18
1.11.3	Fiziksel ve mekanik özellikleri.....	20
1.12	Alker Malzemesine Uçucu Kül Katkısı	23
1.12.1	Uçucu kül tanımı.....	23
1.12.2	Uçucu kül kullanım alanları	23
1.12.3	Yapı malzemesi olarak kullanılması	23
1.12.4	Uçucu külün çimento ve betonda kullanılması	24
1.12.5	Uçucu külün agrega olarak kullanılması.....	24
1.12.6	Uçucu külün tuğla üretiminde kullanılması.....	25
1.12.7	Uçucu külün gaz beton üretiminde kullanılması	25
1.12.8	Uçucu külün zemin uygulamalarında kullanılması.....	25
1.12.9	Uçucu külün diğer uygulamalarında kullanılması	25
2	Materyal Metod.....	27
2.1	Materyal	27
2.1.1	Toprak.....	27
2.1.2	Uçucu kül.....	27
2.1.3	Alçı.....	28
2.1.4	Kireç.....	30
2.1.5	Su	30
3	DENEYSEL ÇALIŞMA	31
3.1	Numunelerin Deneylere Hazırlanması	31

3.1.1	Toprak seçimi	31
3.1.2	Kalıpların hazırlanması	35
3.1.3	Karışımın hazırlanması	36
3.1.4	Numune ağırlıkları	39
3.1.5	Basınç dayanım deneyi	39
3.1.6	Ultrasonik ses deneyi	40
3.2	Mikro yapı incelemeleri	41
3.3	Sem-Edx	41
4	ARAŞTIRMA BULGULARI.....	42
4.1	Basınç Dayanımı.....	42
4.2	Ultrasonik Ses Hızı Deneyi Sonuçları.....	47
4.3	Mikro Yapı İncelemeleri.....	50
4.3.1	Sem-edx analizi	50
4.3.2	Xrd analizi	53
SONUÇ VE ÖNERİLER.....		55
KAYNAKÇA.....		57

ÖZET

UÇUCU KÜL KATKISININ ALÇILI KERPIÇ (ALKER)'İN FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

ALTUN, Barış

Yüksek Lisans, İnşaat Mühendisliği Bölümü

Danışman: Dr. Öğretim Üyesi Murat DOĞRUYOL

Temmuz 2023, 81 sayfa

İnsanoğlunun en temel ihtiyaçları başında barınma ihtiyacı gelir. İnsanlar ilk dönemlerde temel barınma ihtiyaçları için toprak yapılanlardan faydalanmışlardır. Toprak yapılar günümüzde de gelişen teknolojilerle birlikte konfor ve sağlık açısından oldukça önemli yapılar olarak kullanılmaktadır. En bilinen toprak yapı türü olan Kerpiç yapılar geçmişten günümüze dünya üzerinde en çok inşa edilmiş yapı türüdür. Kerpici oluşturan temel bileşenler killi toprak, saman ve sudur. Ancak kerpice mekanik performansı betonarme yapılara nazaran çok düşük kalmaktadır. Geçmişten günümüze bu denli çok kullanılan sağlıklı ve ekonomik yapı malzemesi olan toprak yapıların fiziksel ve mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi ve özellikle az katlı yapılarda uygulanabilirliğinin artırılması deprem dayanımı ve ekonomiklik açısından önemlidir. Bu amaçla kerpice nazaran çok daha mukavim özelliklere sahip modern toprak yapı türü olan ALKER(Alçılı-Kerpiç) üzerinden yapılacak çalışmalar önem kazanmaktadır. En çok kullanılan yapı malzemelerinden biri olan betonun mekanik özelliklerini arttırdığı bilinen sanayi atığı olan uçucu külün benzer şekilde ALKER malzemesi üzerindeki etkileri incelendi. Önceki çalışmalarda hali hazırda kerpice kıyasla 4 kattan daha fazla mukavim oluşu bilinen ALKER'in uçucu kül katımıyla mukavemet değerlerinin daha da arttırıp arttırmadığı gözlemlendi. ALKER karışımını oluşturan killi toprak, alçı, kireç ve su ile uçucu külün farklı oranlarının kombinasyonları üzerinden deneysel çalışmalar yapılarak en uygun karışım oranının belirlenmesi sağlandı. Farklı malzeme oranlarında karma işlemleri tamamlanan numunelere basınç ve ultrasonik ses deneyleri ile malzemelerin fiziksel ve mekanik özellikleri belirlendi. Aynı zamanda karışım oranlarına göre malzeme iç yapısının değişimini incelemeye yönelik olarak SEM-EDS, XRD analizleri yapıldı. Çalışma sonucu elde edilen veriler az katlı modern toprak yapıların yanı sıra ahır, kümes vb. diğer yapılarda uygulamaya altyapı sunacaktır. Böylelikle az katlı yapılarda betona en önemli alternatif olabilecek, aynı zamanda doğal, sağlıklı ve sürdürülebilir yapı malzemesi elde edilmesi hedeflendi.

Anahtar Kelimeler: Uçucu kül, kerpiç, alker, toprak yapılar.

ABSTRACT

THE EFFECT OF FLY ASH ADDITIVE ON THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF PLASTERED ADOBE (ALKER)

ALTUN, Barış

Master of Science in Department of Civil Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Öğretim Üyesi Murat DOĞRUYOL

July 2023, 81 pages

One of the most basic needs of human beings is the need for shelter. In the early periods, people benefited from the land made for their basic shelter needs. Soil structures are used as very important structures in terms of comfort and health with the developing technologies. Adobe structures, the most well-known earthen building type, are the most built building type in the world from past to present. The basic components that make up adobe are clay soil, straw and water. However, the mechanical performance of adobe remains very low compared to reinforced concrete structures. It is important in terms of earthquake resistance and economy to improve the physical and mechanical properties of soil structures, which are healthy and economical building materials that have been used so much from the past to the present, and to increase their applicability, especially in low-rise structures. For this purpose, studies to be carried out on ALKER (Plaster-Mud brick), which is a modern soil structure type with much more durable properties than adobe, gain importance. The effects of fly ash, an industrial waste known to increase the mechanical properties of concrete, which is one of the most used construction materials, on ALKER material were similarly investigated. In previous studies, it was observed whether the strength values of ALKER, which is already known to be more than 4 times stronger than adobe, increase with the addition of fly ash. Experimental studies were carried out on the combinations of clay soil, gypsum, lime and water and fly ash that make up the ALKER mixture, and the most suitable mixture ratio was determined. The physical and mechanical properties of the materials were determined by pressure and ultrasonic sound tests on the samples whose mixing processes were completed in different material ratios. At the same time, SEM-EDS and XRD analyzes were carried out to examine the change of material microstructure according to mixing ratios. The data obtained as a result of the study, as well as low-rise modern earthen structures, barns, coops, etc. It will provide infrastructure for the application in other structures. Thus, it is aimed to obtain a natural, healthy and sustainable building material that can be the most important alternative to concrete in low-rise buildings.

Keywords: Fly ash, adobe, alker, soil structures.

TABLO LİSTESİ

Tablo 1. Malzeme yarıçap sınırları	13
Tablo 2. Alkerin diğer toprak malzemeler ile karşılaştırılması.....	14
Tablo 3. Alkerin fiziksel özellikleri	20
Tablo 4. Çeşitli duvar türlerini yapı klimatoloisi yönünden nitelikleri.....	21
Tablo 5. Alkerin mekanik özellikleri	22
Tablo 6. Deney malzemelerinin kimyasal analizi	28
Tablo 7. Alçının özellikleri	29
Tablo 8. Elek Analizi Sonucu	33
Tablo 9. Alker tasarım değerleri	37
Tablo 10. Numunelerin ağırlıkları.....	39
Tablo 11. Basınç dayanım ortalamaları (MPa)	43
Tablo 12. Ultrases geçiş hızları (km/s)	47
Tablo 13. EDX analizine göre elementlerin kütlece oranı (%).....	52

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1. Cenne ulu camii.....	2
Şekil 2. Tamamı kerpiç olan İran'ın Bam şehri.....	2
Şekil 3. Bam Kalesi	3
Şekil 4. Şanlıurfa/ Viranşehir'de toprak-su kolektifinde alker karışımıyla yapılan evlerden birine ait duvar ve yapının bitmiş hali	4
Şekil 5. Sarvestan (İran)	8
Şekil 6. Eski golpa cami (iran)	8
Şekil 7. Jerf el Ahmar (Suriye /Menbic) dairesel evleri	10
Şekil 8. Modern toprak yapılar	11
Şekil 9. Çit desenli geogrid.....	16
Şekil 10. TÜBİTAK İNTAG TOKİ 622 Deneme II yapısı	19
Şekil 11. Alker malzemenin ısı depolama değerinin diğer duvar malzemeleri ile karşılaştırılması.....	22
Şekil 12. Kırmızı toprak granülometri eğrisi	27
Şekil 13. Kırmızı toprak toplanırken	31
Şekil 14. Toprağın kurutulması	32
Şekil 15. Elek analizi	33
Şekil 16. Konkansatör.....	34
Şekil 17. Agregat tepsisi	34
Şekil 18. 4x4x4 cm'lik küp numune kalıbı.....	35
Şekil 19. Deney için hazırlanan 4 cm'lik küp numunelerin genel görüntüsü.....	35
Şekil 20. Malzeme tartım işlemi.....	36
Şekil 21. Malzemelerin karıştırılması.....	36
Şekil 22. Deney için hazırlanan tasarım grupları	38

Şekil 23. Deney için hazırlanan tasarım grupları	38
Şekil 24. Basınç dayanım deneyi yapılan numune	40
Şekil 25. Numunenin basınç deneyi sonucu	40
Şekil 26. Ultrases geçiş hızı tayini.....	41
Şekil 27. Pres makinesinde bulunan numune	42
Şekil 28. Değerlerin karşılaştırılması	44
Şekil 29. Alkerin diğer toprak malzemeler ile mekanik karşılaştırılması	45
Şekil 30. 20 nolu A15-K5 tasarımın diğer toprak malzemeler ile yüzdelik olarak karşılaştırılması.....	46
Şekil 31. Birim hacim ağırlık-ultrasonik ses geçiş hızları arasındaki ilişki	49
Şekil 32. 16 numaralı A10-K2,5-UK20 numunesinin SEM görüntüsü.....	50
Şekil 33. 16 numaralı A10-K2,5-UK20 numunesinin EDX analiz grafiği	51
Şekil 34. 20 numaralı A15-K5 numunesinin SEM görüntüsü.....	52
Şekil 35. 20 numaralı A15-K5 numunesinin EDX analiz grafiği.....	52
Şekil 36. 16 nolu numune A10-K2,5-UK20 ait XRD faz analizi.....	53
Şekil 37. 20 nolu numune A15-K5 ait XRD faz analizi	54

SEMBOLLER

Al: Alüminyum

B: Bor

Mo: Molibden

Se: Selenyum

So4: Sülfat

H2: Hidrojen

Al2O3: Alüminyum Oksit

Ca: Kalsiyum

CaO: Kalsiyum Oksit

Fe: Demir

Fe2O3: Demir Oksit (Kırmızı)

K: Potasyum

Mg: Magnezyum

Na: Sodyum

Na2O: Sodyum Oksit

SiO2: Silisyum Dioksit

KISALTMALAR

UNESCO: Birleşmiş Milletler Eğitim, Bilim ve Kültür Kurumu

TÜBİTAK: Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu

SEM: Taramalı Elektron Mikroskobu

TOKİ: Toplu Konut İdaresi

İTÜ: İstanbul Teknik Üniversitesi

ASTM: Amerikan Malzeme ve Test Derneği (American Society for Testing and Materials)

TS: Türk Standartları

Vb.: Ve benzeri

DIN: Alman Standartlar Enstitüsü

GAP: Güneydoğu Anadolu Projesi

XRF: X-ışınları Floresans

TÜRK-KAK: Türk Akreditasyon Kurumu

EDX: Enerji dağıtıcı x-ışını

İBTAM: İnönü Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Merkezi

1 GİRİŞ

İnsanlığın zorunlu ihtiyaçlarından biri olan barınma ihtiyacı insanlık tarihi boyunca bir problem haline gelmiştir. İnsanoğlu ilk dönemlerde bu problemi çözmek için toprak yapılardan faydalanmışlardır. Tarihi, asırlar öncesine dayanan toprak yapılar günümüzde dahi gelişmekte olan teknolojilerle birlikte sağlık ve ekonomiklik açısından oldukça önemli yapılar olarak kullanılmaktadır.

Toprak yapılar insanoğlunun var oluşundan barınma ihtiyacını karşılamak için seçmiş olduğu ve günümüze kadar halen yaygın olarak kullanılan yapı çeşididir. Geçmişten günümüz toprak yapılar az katlı inşa edildiği gibi çok katlı apartman olarak ta inşa edilmiş olup tapınak ve kutsal alanlarda da kullanılmıştır. Toprak yapılar genellikle kerpiç olarak bilinir ve killi toprak, su ve saman karışımının güneşte kurutulması ile oluşan yapı malzemesidir. Toprak yapılar ekonomik olmasının yanı sıra sağlıklı ve doğal ısı yalıtım özelliğine sahiptir (Özgünler 2017). Ancak kerpicin mekanik performansı betonarme yapılara nazaran çok düşük kalmaktadır. Geçmişten günümüze bu denli çok kullanılan sağlıklı ve ekonomik yapı malzemesi olan toprak yapıların fiziksel ve mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi ve özellikle az katlı yapılarda uygulanabilirliğinin artırılması deprem dayanımı ve ekonomiklik açısından önemlidir. (Özgünler ve Gürdal, 2012).

Ülkemizde Kırsal kesimlerde yaygın kullanılan kerpiç yapılar ağır oldukları için deprem bölgelerinde olumsuz etkilenmektedir ve dinamik yük etkisinden göçmeler yaşanmaktadır. Türk Bina Deprem Yönetmeliği 2018 (TBDY 2018)'e göre de her türlü taş, toprak ve kerpiç yığma yapıların inşası uygun görülmemiştir. Bundan ötürü toprak yapıların geliştirilmesi mekanik özelliklerinin artırılması ve hafifletilmesi yönünde çalışmalar vardır (Perker ve Akkuş, 2019).

Orta Mali'de geçmişi 13. yüzyıla dayanan topraktan yapılmış olan Cenne camii (Şekil 1), 1988' yılında UNESCO tarafında Dünya Miras Listesine eklenen Cenne camii bölge halkı tarafından yağmurun ve rüzgârın yaptığı aşınmalara karşı çamurla sıvanır. Yapılan bu işlem camiye yağmurun ve rüzgârın açındırmasına karşın mantolama görevi de görür (Bedaux vd. 2003).



Şekil 1. Cenne ulu camii

Toprak yapı mimarisinin önemli örneklerinden biri olan Bam şehri İran'ın güneydoğusunda yer alır. Şekil 2'te gösterilen Bam şehri tamamı kerpiç 'ten inşa edilmiş olması ile dikkat çekmektedir. Şehrin merkezinde yer alan Bam kalesinin 12. yy. 'da inşa edildiği tahmin edilmektedir Kale 1850 yılında depremde büyük hasar görmüştür. 1993 yılında UNESCO tarafında Dünya Miras Listesine eklenen Bam kalesi, 2003 yılında Bam merkezli $M_w = 6,6$ büyüklüğündeki depremde şehir ve kalesi büyük yıkım yaşamıştır (Türkdemir vd.,2005). Deprem öncesi Bam kalesi Şekil 3'te gösterildi.



Şekil 2. Tamamı kerpiç olan İran'ın Bam şehri



Şekil 3. Bam Kalesi

Kerpiç yapı, dünya üzerinde üretilmiş en yaygın yapılardandır. Kerpiç, toprak ve samanın su ile karıştırılarak güneşte kurutulmasından oluşan geleneksel bir yapı malzemesi olduğu için günümüze kadar değişime uğramadan gelebilmiştir. Kerpiç yapıların ana malzemesi olan toprak malzemesinin en belirgin iki sakıncalı yönü, basınç dayanımının neredeyse yok denecek kadar az olması ve rutubete karşı duyarlılığının fazla olmasıdır. Ülkemizin birçok yöresinde iyi kalitede toprak bulmak mümkün olsa da daha iyi, yani, basınca daha dayanıklı, rutubete karşı duyarlılığı daha azaltılmış, suda dağılmayan, yüzeyleri düzgün ve toz üretmeyen kerpiç elde etmek maksadıyla, toprağa çimento, kireç, alçı ve diğer bazı katkı maddeleri katılabilir. Bunlar arasında alçı katkılı kerpiç üretimi, ülkemiz için daha uygun sonuçlar verdiği için tercih edildi. Bu bağlamda üretilen alçı katkısı ile nitelikleri iyileştirilmiş kerpice “ALKER” adı verilmiştir. Alker in hammaddesi toprak ve alçı yaygın bulunan malzemeler olduğu için alkerin üretimi ekonomik ve hızlıdır. Alker ile ilgili ilk çalışmalar Ruhi Kafesçioğlu'nun 1980 yılında yürüttüğü TÜBİTAK Bilim Kurulu MAG 505 kodlu çalışması ile başlamıştır. Alker malzemesinde kullanılan alçı malzemesinin hızlı priz almasından dolayı inşaat sahasında alker malzemesinin priz süresini uzatmak ve işlenebilirliğini arttırmak adına kireç katkısı kullanılmıştır. Bu bağlamda Alker benzer bir yapı malzemesi olan Harris Lowenhaupt ve Michael Frerking'e tescilli "Cast Earth" olarak nitelendirilen yapı malzemesinde ise priz geciktirmek için bazı kimyasal geciktiriciler kullanılmıştır (Matthew, 2008).

Alker yapılar yığma yapı oldukları için duvarları taşıyıcı elemanlardır. Bu yüzden dış duvarların genişliği kerpiç yapılarda en az 50cm iç duvarların genişliğinin en az 30 cm olmalıdır. Pencere ve Kapı açıklıklarında lentoları betonarme olsa dahi 100 cm genişliği geçmemesi gerekmektedir (Binici vd., 2010).

Bu çalışmadaki amaçlardan biride alker malzemeye uçucu kül katılarak dayanım performansının artması ile taşı duvarların genişliğini düşürülmesi iç hacim alanlarının genişlemesi de hedeflenmektedir. Alker yapıların Şanlıurfa İli Viranşehir İlçesinde uygulanması şekil 4'te gösterildi.



Şekil 4. Şanlıurfa/ Viranşehir’de toprak–su kolektifinde alker karışımıyla yapılan evlerden birine ait duvar ve yapının bitmiş hali (foto: solhan e.)

Alker ’in mekanik niteliklerini ve kuruma sırasında, büzülme olmadığı için, dışarı çıkan suyun bıraktığı boşlukların oluşturduğu gözenekli bünye sayesinde ısıl iletkenlik katsayılarında %10 alçı katkılı ve alçı katkısız numunelerin sırası ile 0.20 W/mK ile 0.290 W/mK olarak ölçülmüş ısı yalıtımında kerpice nazaran alkerin daha iyi performans sergilendiği hesaplandı.

Alker ‘in rötire değerleri, normal betonların rötresi mertebesinde dir. Yerinde dökümle duvar yapımında –beton gibi– kesintisiz, rötire derzi bırakmadan işlemler sürdürülebilir.

Alker ile alçı-kireç uyumu araştırıldı Alker içerisinde Elektron Manyetik Mikroskop (SEM) gözlemleri ile hidrasyon ürünleri gözlemlenip ve uyum içerisinde kerpiç dayanıma katkı sağladıkları anlaşıldı.

Alker ile yapılan mekanik çalışmalarda 100 günlük %10 alçı içeren Alkerin, alçı katkısız kerpiç karşısında basınç dayanımının yaklaşık %20 oranında fazla olduğu pres makinasında yenilme kaybı sonrası kırılması tıpkı beton kırılması gibi ikiz piramit şeklinde olduğu, katkısız numunenin hemen dağıldığı tespit edildi. Kayma dayanımları karşılaştırıldığında %10 Alçı ve %2,5 oranında kireç karıştırılan numunenin kireç katkının bünye içinde önemli değişimler ve gelişmeler sağlayan aktif roller üstlendiği ve en yüksek kayma dayanımını kazandığı tespit edildi.

Deniz Kuşaslan yüksek lisans tezi kapsamında Alker'li yapılarda durabilite ve hasar analizi üzerine çalışmalar yapmıştır. Bu kapsamda 1995 yılında Tübitak İNTAG TOKI 622 No'lu projesi olarak, İTÜ Maslak kampüsünde inşa edilen ALKER deneme yapısı üzerinde çalışılmıştır. Deprem etkisine bağlı olarak yapı da yeni çatlaklıkların oluşmadığı gözlenmiştir. Binanın yapım aşamasından 7 senelik süreç sonrasında atmosferik koşulların yapı üzerinde önemli etkiler yaratmadığı gözlenmiştir. Yağmur suyunun vurduğu ve karın biriktiği dış duvarlar da hasar oluşmadığı belirlenmiştir. Alker malzemenin suya karşı dayanıklı olduğu belirlenmiş ancak sürekli su etkisine maruz kaldığında hasar oluşumları gözlemlendiği ifade edilmiştir (Kuşaslan, 2002).

Beylem Aydınay yüksek lisans tezi kapsamında donatılı ve donatısız Alker duvarların kayma dayanımı üzerine deneysel çalışma yapmıştır. Çalışmalarda 75 cm x 75 cm x 30 cm boyutlarında biri donatılı olmak üzere üç farklı duvar numuneleri oluşturulmuştur. Donatı olarak duvarlar içerisine geogrid uygulaması yapılmıştır. Özentisiz hazırlanan bir numune grubunda geogrid malzemenin numunenin bütünlüğünü korunmasını sağladığı belirlenmiştir. Buna karşın kaymanın geogrid bölgesi civarında yoğunlaştığı ifade edilmektedir (Aydınay, 2002).

Bilge Işık ve Tuğşad Tülbentçi Kuzey Kıbrıs'ta sıklıkla kullanılan toprak yapılarda duvar malzemesi olabileceği düşünülen Alker'i adanın sürdürülebilir kalkınmasına katkı sunmak için incelemişlerdir. Çalışmada Kıbrıs'ın tarihi yapı malzemeleri ve çevresel kaynaklarının sosyo-kültürel, ekonomik ve çevreyle ilgili sürdürülebilirliğe nasıl bir katkı verebileceği incelenmiş ve belgelendirilmiştir. Yaptıkları araştırmalar sonucunda, ALKER duvar malzemesinin düşük depolama enerjisi, düşük ısı transfer değeri ve önemli sağlık avantajları ile bu bölgede sürdürülebilir konutlara büyük katkı sağlayabileceği sonucuna varılmıştır. Çalışma sonucunda elde ettikleri bu bilgiler ışığında halkın ve adadaki yapı endüstrisinin bu potansiyelden faydalanmaları ve bölgenin kültürel,

ekonomik ve çevresel sürdürülebilirlik alanında ileriye doğru bir adım atmasını sağlamayı hedeflemişlerdir (Işık ve Tülbentçi, 2008).

Ayşe Pekrioğlu Balkıs çalışmasında Kuzey Kıbrıs'ta Haspolat ve Taşkent'ten elde edilen iki farklı toprakla oluşturulacak ALKER yapısına katılan polimer elyaf ve atık mermer tozu içeriğinin ALKER' in basınç ve eğilme dayanımı üzerine olan etkisini incelemiştir. %0,5, %1,0, %1,5 ve %2,0 gibi farklı oranlarda polimer lif ve toprak kuru ağırlığının %10 ve %20'si oranında atık mermer tozu içeren toprak-lif-mermer tozu karışımlarının mekanik özellikleri kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Sonuçlar polimer fiberin ALKER yerine kerpiç yapıda kullanılmasının mekanik dayanım açısından da faydalı olacağını göstermiştir. Çalışmada ise en uygun karışım her iki toprak tipi içinde %0,5 polimer ve %10 mermer tozu katılarak elde edilmiştir. Önerilen karışımın da ASTM Türk Standartları gereği istenen minimum basınç ve eğilme mukavemeti değerlerini sağladığı belirtilmiştir (Pekrioğlu Balkıs, 2017).

Merve GÜNERİ yüksek lisans tezi kapsamında ayçiçeği sapı ilavesi ile kerpiç malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerinin araştırılması kapsamında yapılan çalışmada; Trakya bölgesinde bir atık olarak ortaya çıkan yöresel ayçiçeği saplarının kerpiç malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Yapılan testler sonucunda ayçiçeği sapı ilavesinin fiziksel ve mekanik özelliklerine olumlu etki sağladığı tespit edilmiş, yapı malzemesi olarak kullanılabilmesi için en uygun oranın %0,5 ayçiçeği sapı ilavesinde sağlandığı sonucuna varılmıştır. Bununla birlikte %1,25 ayçiçeği sapı katkısının suya dayanıklılığı en yüksek numune olduğu tespit edilmiştir (Güneri, 2023).

1.1 Amaç

En çok bilinen toprak yapı çeşidi olan Kerpiç yapılar dünya üzerinde en çok inşa edilmiş yapı türü olmaya devam etmektedir. Kerpiç temelde killi toprak, saman ve sudan oluşmaktadır. Fakat kerpice mekanik performansı son zamanlarda küresel sanayi tarafından ciddi manada desteklenen beton ve çelik malzemelere nazaran çok düşük kalmaktadır. Asırlar boyunca kullanılan sağlıklı ve ekonomik yapı malzemesi olan toprak yapıların fiziksel ve mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi ve özellikle az katlı yapılarda uygulanabilirliğinin artırılması deprem dayanımı ve ekonomiklik açısından önemlidir. Bu amaçla kerpice nazaran çok daha mukavim özelliklere sahip modern toprak yapı türü

olan ALKER(Alçılı-Kerpiç) üzerinden yapılacak çalışmalar önem kazanmaktadır. En çok kullanılan yapı malzemelerinden biri olan betonun mekanik özelliklerini arttırdığı bilinen sanayi atığı olan uçucu külün benzer şekilde ALKER karışımına katılarak mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi adına yapılan bu çalışmada Uçucu kül katkısının ALKER malzemesine olan katkısı incelenmektedir (Özcan, 2021).

1.2 Kerpicin Tanımlanması Ve Özellikleri

1.2.1 Kerpicin tanımı

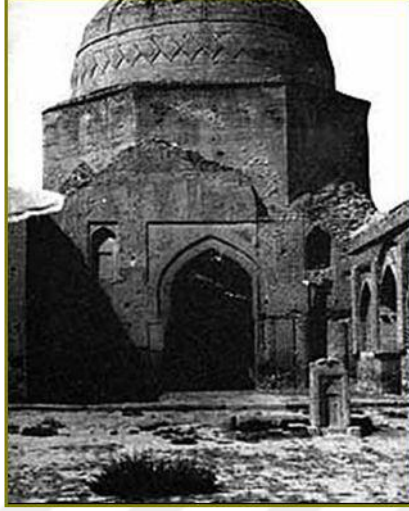
TS 2514’te bulunan tanımda belirtildiğine göre kerpiç; killi ve uygun nitelikteki toprağın içine saman veya diğer bitkisel lifler (saz türünden bitkiler, kaba ot, kenevir lifleri, ahır yemliklerinden toplanmış artık samanlar, kuru funda, çam iğneleri, ağaç dalları, testere, rende talaşları vb. maddeler) karıştırılıp su ile yoğrulduktan sonra kalıplara dökülerek şekillendirilmesi ve açık havada kurutulması ile elde edilen yapı malzemesidir (Doğruyol vd., 2022), (TS 2514, 1977)-

Bir diğer tanıma göre kerpiç taneciklerin birbirine bağlanmasına yetecek derecede kil içeren kumlu toprağa çeşitli katkı maddeleri eklenerek su ile karıştırılıp hamur haline getirilen yapı malzemesidir (Kuşaslan, 2002).

1.2.2 Kerpicin tarihçesi

Toprak asırlardan beri dünyanın her bölgesinde insanların barınma ihtiyaçlarını gidermek için kullandığı bir yapı malzemesidir. Yapılan araştırmalar sonucunda araştırmacılar ilk toprak yapıların Neolitik devrini sonlarına doğru ortaya çıktığını düşünmektedir. Başlarda katkı kulübeleri sıvamak için kullanmış olsalar da toprağı su ile karıştırıp blok kalıplara dökerek kullanmışlar ve zaman ilerledikçe insanların bilgi ve becerileri arttıkça kalıpların güneşte kurutularak veya hazırlanan çamur harcına ot, saz vb. bitkiler katılarak daha dayanıklı olan bloklarla barınma alanları, ibadet alanları vb. yaşam alanları yapmışlardır. Genellikle kullanılan blokların harçla üretilmesi şeklinde yapılan kerpiç yapılar çoğunlukta olsa farklı tekniklerle üretilen kerpiç yapılara da rastlanmaktadır. Örneğin kerpiç blokları tam kurutulmadan (rutubetli iken) üst üste örülerek yapılan Sarvestan. Şekil 5’te ve Eski Golpa Camisi Şekil 6 da gösterilmiştir. Daha sonraki dönemlerde ise

yaşanan teknolojik gelişmeler toprak malzemenin kullanımının azalmasına yol açmıştır (Aghazadeh, 2011), (Schroeder vd., 2005).



Şekil 5. Sarvestan (İran)



Şekil 6. Eski golpa cami (iran)

1.2.3 Kerpiç kullanım alanları

Babil’de bulunan Etemaniki Ziggurat kulesi 90m yüksekliğindedir ve kerpiçten yapılmıştır. Ayrıca tüm Urartu medeniyetindeki saraylar ve evler, Lidya kralı Croesus’un

sarayının duvarları, Dünyanın yedi harikası arasında olan, Karya kralı Mausolus'un Bodrum'da bulunan anıt mezarı kerpiçten yapılmış yapılardandır (Gürfıdan, 2007).

1.3 Yurtiçi

Ülkemizde genelinde yapılan kazılarda, Anadolu konut geleneğinin yaklaşık on bin yıllık bir zaman dilimine yayıldığı gözlemlenmektedir. Çayönü'nde yapılan kazılarda bulunan yaklaşık olarak 8000 m²'yi bulan kazı alanında ortaya çıkan yerleşim dokusunda, Neolitik Çağ'da yapıldığı düşünülen basit bir kulübenin, taş temel üstüne kerpiç tuğla duvarlı, düz damlı, bodrumlu, kapısı ve penceresi olan bir yapıya rastlanmıştır.

Anadolu'da yapılan kerpiç yapı uygulamalarında, balçık ve suyun yeterli miktarda bulunabildiği durumlarda, kerpiç harcının yerinde hazırlanarak kullanıldığı görüldü. Hazırlanan bu harca bitkisel liflerin bolca katıldığı da yapılan gözlemler arasında yer almaktadır (Tuztaş ve Çobanoğlu, 2006).

1.4 Yurtdışı

Suriye'deki kerpiç mimarisi 11.000 yıl öncesine uzanmaktadır. Kerpiç mimarisi; tarihsel süreç, konum, ekonomik, sosyal ve iklimsel özelliklere göre değişmektedir (Kandakji, 2017).

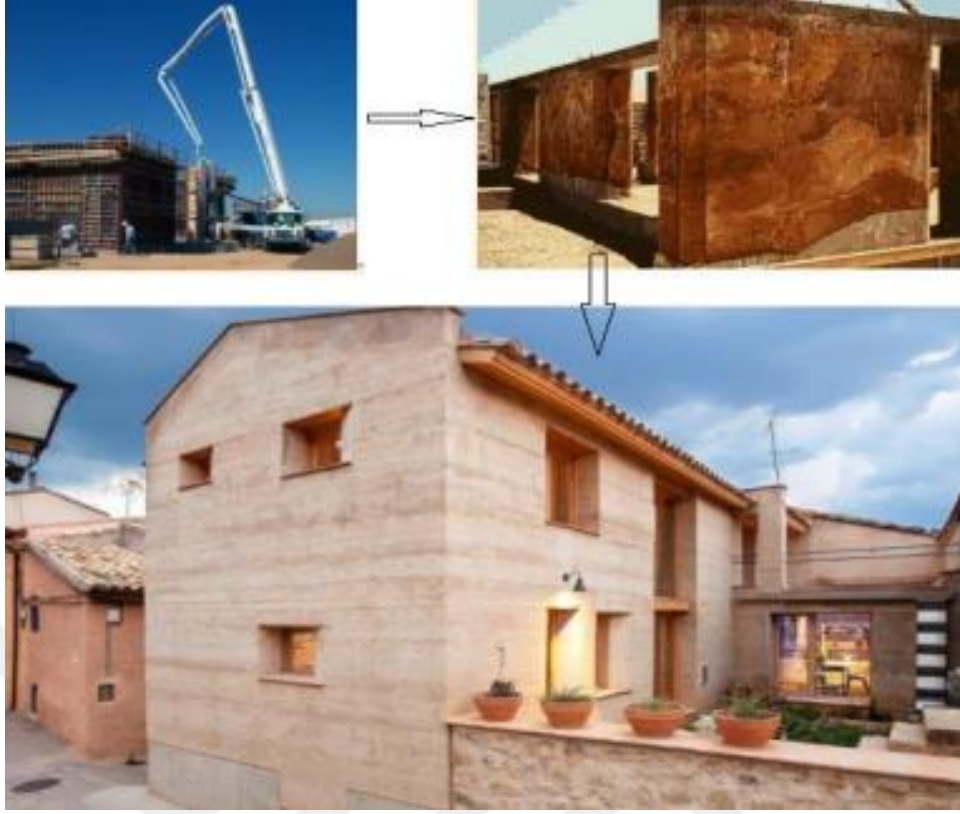
Kerpiç evler başlangıçta, dış koşullara dayanma ve savunma amacına ek olarak, mevcut hammaddelerin yapısına uygun olarak dairesel şekil almıştır. (Şekil 7) (Hasan ve Koç, 2022).





Şekil 7. Jerf el Ahmar (Suriye /Menbic) dairesel evleri (Joulani, 2018)

Amerikalı kimyacı Harris Lowenhaupt, 1992’de Türkiye’de üretilen patent alınmamış bir malzeme olduğunu belirttiği alker karışımına bir piriz geciktirici katarak, piriz süresinin uzamasını sağlamıştır. Hazır beton gibi, bir merkezde ürettiği ve “Cast Earth” adını verdiği malzemenin patentini almıştır. Şekil 8’de gösterildiği üzere hazır beton gibi şantiye dışında üretilen malzeme sahada pompalanabilir halde blok duvar olarak dökülebilmektedir (Kafescioğlu, 2016).



Şekil 8. Modern toprak yapılar

1.4.1 Kerpicin avantaj ve dezavantajları

Her yapı malzemesinde olduğu gibi kerpiç yapı malzemesinin kullanım avantajları ve dezavantajları vardır.

1.5 Avantajlar

- Kerpiç yapı malzemesini (toprak, saman, su vb.) temin etmek kolaydır. Malzemenin neredeyse tamamı ücretsiz veya çok düşük maliyetlidir. Ana ham maddesi olan toprağın hemen hemen her yerde bulunması inşaat nakliye maliyetinin de düşük olmasını sağlamaktadır.
- Üretim maliyetinin düşük olmasının yanı sıra üretimi için tesise ihtiyaç duyulmaz.
- Yıllık tadilat ve bakım ücretleri düşüktür.
- Kerpiç yapıların inşası kolay ve basit olduğundan profesyonel inşaatçılara, çok sayıda işçiye ihtiyaç yoktur. Bölge halkından kadın ve erkeklerin kısa zamanda ustalaştıkları ve gözlemlendi.

- DIN 18951 ve DIN 4102 göre kerpiç yapı malzemesi içeriğinde yanıcı bir katkı malzemesi bulundurmadığı takdirde yanmaz alev almaz koku ve duman çıkarmaz.
- Kerpiç yapı malzemesi yapısı gözenekli bir yapıya sahip olduğundan rutubet alır. Bu yüzden yazın serin kışın sıcak olur.
- Ses ve ısı yalıtımının yüksek olmasının yaşam konforunu olumlu yönde etkiler ısıtma ve soğutma maliyetlerini de diğer bina tiplerine nispeten düşürür.
- Tek veya birkaç katlı yapı yapmaya uygundur. Kümes ahır ve işyeri gibi...
- Kerpiç yapıların yıkım süreci zahmetsizdir ve kirliliğe neden olmaz. Kerpiç yapı malzemesi geri toprağa dönüştürülebildiği gibi işlenip tekrar kerpiç yapıların yapımında kullanılması da mümkündür (Kuşaslan, 2002; Binici vd.,2010; Yardımlı, 2021; Çavuş vd., 2010; Gürfidan, 2007; Hasan ve Koç, 2022).

1.6 Dezavantajları

- Herhangi bir güçlendirici katkı maddesi kullanılmayan kerpiç harcından inşa edilen yapıların dezavantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir:
- Kerpiç malzemesi yerden yükselen suya ve yağmura karşı zayıftır.
- Yapım sürecinde hava durumu belirleyici etkenlerden biridir. Yağışlı günler kerpiç yapı imalatı için uygun değildir.
- Darbelere, eğilmeye ve aşınmalara karşı dayanıksızdır.
- Yıllık bakım ihtiyacı vardır. Kış aylarında maruz kaldığı su etkisinden kaynaklı dış ve varsa iç yüzeyde aşınma bölgelerine çamur tabakası eklenmek sureti ile bakımı yapılmaktadır.
- Yaz aylarında kemirgen ve böceklerin çoğalmasını önlemek için havalandırılmalı ve güneşe maruz kalmalıdır (Yardımlı, 2021; Gürfidan, 2007; Hasan ve Koç, 2022).

1.7 Kerpici Oluşturan Malzemeler

Kerpiç yapı harcı temel olarak killi toprak ve bitkisel liflerden oluşur.

Toprak bünyesinde karışık olarak bulunan 4 bileşenden oluşmuştur. Bu dört bileşen; su, hava, organik maddeler ve minerallerdir. Katı kısmını irili ufaklı mineraller oluştururken kum ve çakıl gibi büyük parçalar olduğu gibi kil ve silt gibi çok küçük taneli yapılarda mevcuttur.

Toprakta bulunan ve boyutu 0,002 mm'den küçük taneli malzemeye kil adı verilir. Su çekme özelliği dolayısı ile sürekli nemlidir. Bağlayıcı özelliğinden dolayı kerpiç yapılarda genellikle killi toprak tercih edilir.

İsveçli kimyager Attererg'in sınıflandırmasına göre 0,002 mm'den büyük 0,02 mm'den küçük tanecikli malzemelere silt adı verilir. Silt de kil gibi su tutma özelliğine sahiptir fakat kilde olduğu gibi kohezyon özellikte değildir.

Tekstürel parçaların – birbirinden ayrı toprak parçaları – tablo 1'de gösterildiği gibi sınıflandırılması önerisi 1912 yılında İsveçli kimyager Attererg tarafından sunulmuştur.

Tablo 1. Malzeme yarıçap sınırları (Aghazadeh, 2011)

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

Bitkisel lif atıklarının da harca katılması ile birlikte dengeli, homojen bir kuruma sağlanmış olur. Dayanımı artar, çatlamlar azalır. Anadolu'da geçmişten günümüze kadar gelen kerpiç yapılarda saman ve benzeri bitkisel liflerin de sıkça kullanıldığı görüldü (Kafescioğlu, 2017), (Kafescioğlu vd., 1980).

1.8 Kerpicin İyileştirilmesi

Kerpiç özellikle kırsal bölgelerde sıkça tercih edilen bir malzemedir. Ancak doğa dostu ve ekonomik bir malzeme olmasının yanı sıra dayanımının da artırılıp mekanik özelliklerinin de güçlendirilmesi gerekmektedir. Kerpicin niteliklerinin iyileştirilmesi için dikkat edilmesi gereken bazı hususlar ve eklenebilecek katkı maddeleri vardır (Gürfidan, 2007).

Ruhi Kafescioğlu çalışmasında killi toprağın %10 alçı ve %5 kireç karışımı ile elde edilen alker malzemenin geleneksel kerpice oranla malzeme dayanımını %320' den fazla artırdığı gibi birim hacim ağırlığını yaklaşık %25'e kadar düşürdüğünü rapor edildi. Alkerin basınç dayanımı geleneksel kerpice göre bu denli yüksek olması kerpiç yapılar için uygun görülen 50 cm genişliğindeki taşıyıcı duvarların 45 cm genişliğine düşürülebilmesine olanak sağlamaktadır. Tablo 2'de gösterildiği üzere %10 alçı-%5 kireç karışımından oluşan numunenin geleneksel kerpice oranla basınç dayanımında %321 artış gözlemlendi (Kafescioğlu, 2018).

Tablo 2. Alkerin diğer toprak malzemeler ile karşılaştırılması.

Nitelikler		Ürünler		
		Katkısız Toprak	Alker (%10 alçı-%2,5 kireç)	Alker (%10 alçı-%5 kireç)
Birim hacim ağırlığı (g/cm ³)	1,70-1,99	1,88	1,60	1,50
Isı iletkenli katsayısı (w/nK)	-	0,215	0,290	0,250
Basınç Dayanımı (MPa)	0,78	2,82	2,952	3,288
Elastisi Modülü (MPa)	550	7777	8980	8480

1.8.1 Toprak seçimi

Kerpiç üretiminde kullanılan toprağın türü oldukça önemlidir. Kerpiç yapı üretimi için kullanılabilecek iyi toprak, yarı nemli avuç içinde sıkıldığı zaman ele yapışmalı, top şekline gelmeli, yere bırakıldığı zaman dağılmadan yüzeye yapışmalı dağılmadan kalabilmelidir.

Toprak içerisindeki kil miktarı ne az ne de çok olmalıdır az olduğu zaman kuruduğu zaman çatlar ve dağılır. Bu tür toprakları belli bir yükseklikten bırakınca dağılır. Bu türde bir toprağı uygun hale getirmek için kil eklenebilir.

Toprak içerisindeki kil miktarı çok olduğu zaman da toprak kurduğunda çatlar kil miktarının da çok olduğunu tayin etmenin en kolay yolu toprağın elinize yapışmasıdır. Bu türde bir toprağı da kullanıma uygun hale getirmek için kum eklemesi yapılabilir (Kafescioğlu, 2017).

1.8.2 Kireç katılması

Kirecin üretim aşaması iki aşamadan oluşur. Birinci aşama kireçtaşının yakılması ikinci aşama ise söndürülmesi işlemidir. Kireç hafif yandığı zaman suya karşı zayıftır fakat yüksek sıcaklıklarda yakıldığı zaman az reaktif duruma geçer ve su ile tepkimesi yavaştır. Kireci yakma işlemi kireç ocaklarında, söndürme işlemi ise kireç kuyularında veya fabrikalarda su püskürtülerek yapılır. Kireç söndürülürken, üzerine azar azar su döküp, soğuyup kabarmasını bekledikten sonra, yavaş yavaş su eklemeye devam edilir.

Kireç aderans özelliği yüksek olan bir malzemedir. Bu özelliği sayesinde kerpiç harcında kullanıldığı zaman kerpiç harcı içerisinde ortaya çıkan hava boşluklarını azaltarak geçirgenliğini de azaltır.

1.8.3 Alçı katılması

Alçı alçıtaşının pişirilip öğütülmesi ile ortaya çıkan inorganik maddeye denir.

Anadolu Selçuklularından beri duvar sıvası olarak, kubbe gibi yerlerde kullanılan alçı maalesef sonraki yıllarda unutulmuştur.

Geçtiğimiz yıllarda kerpiç harcına ilave olarak kullanılarak priz süresini kısalttığı, rötre oluşumuna engel olmasının yanı sıra ısı yalıtımı ve dayanım oranlarını da olumlu yönde etkilediği gözlemlendi (Gürfidan, 2007; Kafescioğlu, 1980; Işık, 1995; Özcan, 2021).

1.8.4 Toprak içindeki agrega granülometrisinin iyileştirilmesi

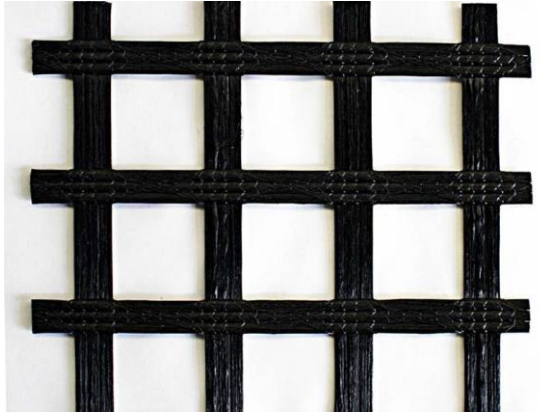
Agreganın harç içerisindeki temel görevi rötre oluşumunu ve çatlak oluşumunu önlemektir. Kerpiç yapı harçlarında bulunan agreganın büyüklük oranlarının ayarlanması harç içerisindeki boşluk oranını azaltacağından dolayı basınç dayanımına da olumlu katkıda bulunur (Gürfidan, 2007).

1.8.5 Kerpicin sıkıştırılması

Kerpiç harcının kalıplara döküldükten sonra tokmaklama tekniği ile sıkıştırılması kerpiç bloklarının bünyesinde bulunan boşlukların oluşmasını engeller ve yoğunluğunu artırır ve buda blokların dayanımlarını olumlu yönde etkiler.

1.8.6 Geogrid kullanılması

Geogrid genellikle istinat duvarlarının veya yolların alt temellerinin güçlendirilmesi amacı ile kullanılan geosentetik bir malzemedir. Şekil 9'da da bir çeşidi gösterilen geogrid özellikle yol inşaatlarında kullanılmaktadır. Geogrid zaman ile yolun kaymasını veya yol üzerine gelen yükler sebebi ile dağılmasının önlemek için kullanılır.



Şekil 9. Çit desenli geogrid

Üzerine uygulanan yükü dağıtması ve yük altında olan malzemenin dağılmasını önlemesi hasebi ile kerpiç yapılarda donatı olarak denendi (Aydınay, 2002).

1.8.7 Puzolonik malzemelerin kullanılması

Kimyasal olarak incelenecek olursa puzolanlar bünyesinde SiO_2 ve eser miktarda Al_2O_3 barındıran malzemelerdir. Su ile karıştırılıp çamur haline getirildikten sonra kurutulup eski haline getirilebilirler. Tek başlarına bağlayıcılık özellik göstermezken kireç ile karıştırıldıkları zaman bağlayıcılık özelliği kazanırlar. Puzolanların kireç harcı üzerinde önemli bir etki yaparak kirecin suya karşı olan dayanımını arttırdığından dolayı senelerce kullanılmıştır. Puzolanların çimentonun içerisinde de kullanıldığı ve günlük hayatta Portland çimento adı altında kullanıldığı bilinmektedir. Harca katılan puzolanın harca zarar vermeyecek oranlarda katılmasına dikkat edilmelidir.

Puzolanlar suni ve tabii olmak üzere iki sınıfa ayrılmıştır (Gürfidan, 2007).

1.9 Doğal Puzolanlar

Doğal puzolanlar çoğunlukla İtalya da ve Yunanistan'ın Santoren adalarında bulunur ülkemizde ise Nevşehir ve çevresinde bulunur. Temel olarak volkanik, tras ve gaize olarak üç gruba ayrılırlar.

- Volkanik Puzolanlar

Volkanik kül ve tozlardan meydana gelen tüflerdir. Genellikle küçük kayalar halinde bulunurlar.

- Tras

Ocaklardan çıkarılan tuffstein olarak isimlendirilen malzeme, öğütülünce “tras” olarak adlandırılır.

- Gaize

Gri tonlarında olup %80'e yakını silisten oluşan yumuşak bir kayadır (Gürfidan, 2007).

1.10 Yapay Puzolanlar

Uçucu kül, silis dumanı, yüksek fırın cürufu ve öğütülmüş tuğla yapay puzolanlar arasında gösterilebilir.

- Uçucu Kül

Kömürün termik santrallerde yakılması sonucu ultra-statik bacalarda tutularak atmosfere karışması engellenen küle uçucu kül denir. Uçucu kül çimento inceliğinde olup puzolanik

özelliğe sahiptir. (24) SiO₂ bulundurması ve ince yapılı olması nedeni ile çimento ve beton sanayinde dayanım kazandırmak için tercih edilmektedir.

-Silis Dumanı

Demir- çelik tesislerinde filtre bacalarında tutulan atık cüruf malzemedir. Mikrosilika olarak da bilinir. Silisyum ve ferrosilikon alaşımı üretiminin bir yan ürünü olarak toplanan ultra ince bir tozdur ve ortalama 150 nanometre partikül çapına sahip küresel partiküllerden oluşur. Ana uygulama alanı, puzolanik malzeme olarak yüksek performanslı betonda kullanılmasıdır.

-Yüksek Fırın Cürufu

Yüksek sıcaklıkta endüstriyel demir, çelik üretimi sırasında ortaya çıkan silis, kalsiyum alümin silis bileşiklerini içeren ergimiş halde olan atık yan üründür. İçeriğinde kristalize yapıların puzolanik (bağlayıcılık) özelliği sayesinde beton ve çimento sanayinde agrega ve bağlayıcı malzeme olarak tercih edilmektedir.

1.11 Alçı Katkılı Kerpiç (Alker)

1.11.1 Alker tanımı

Alker malzemesi belli oranda kil içeren topraklara belirli oranlarda kireç su ve alçı karıştırılarak herhangi bir ek işlem yapılmadan kerpiç harcına nispeten fiziksel ve mekanik olarak daha gelişmiş toprak kökenli bir yapı malzemesi olarak tanımlanabilir (Kafesçioğlu, 2016).

Alker malzeme kavramı, 1980 yılında yapılan araştırma sonucu alçı ve kerpiç sözcüklerinin ilk heceleri kullanılarak ALKER ismi türetilmiş ve Alkerin ilk reçetesi ortaya çıkmıştır. Bu reçeteye göre çorak toprak kullanılarak hazırlanacak karışıma %10 alçı, %2 kireç ve toprağın nemine göre %20 veya %24 oranında su eklenmesi ile oluşturulan harç yapı malzemesi olarak kabul görmüştür (Özcan, 2021).

1.11.2 Tarihçesi

Alker çalışmalarını içeren projeler, araştırmalar ve deneme yapıları tarihleri ile birlikte aşağıda sıralandı:

- İlk olarak 1980 yılında hazırlanan TÜBİTAK MAG 505 No.lu projede kırsal alanda bulunan toprak yapıların güçlendirilmesi ve bölgede bulunan konut sayısının arttırılması için toprak malzemesinin kullanılmasının yolları aranmış bu bağlamda alçı malzemesi ile güçlendirme olanakları araştırılmıştır. Hazırlanan alçı ve kireç katkılı numunelerin fiziksel ve mekanik değişimleri incelenmiştir.
- 1983 yılında yapılan Deneme I (İTÜ Anaokulu binası) 1980 yılında fiziksel ve mekanik özellikleri incelenen ve alker olarak adlandırılan malzemenin inşaata uyarlanmış halidir. Mimar Cemal Tanrıverdi tarafından hazırlanan “Alçılı Kerpicin Üretim Olanaklarının Araştırılması” adlı yüksek lisans tezi ile de kalıp seçenekleri ve blok döküm şartları araştırılmıştır.
- 1987 yılında 1983 yılında yapılan Deneme I Yapısının yıllık ve altı aylık sıcaklık ve nem ölçümleri yapılmış, ölçümler sonucunda Deneme I yapısının yıllık ortalama enerji tüketimi ve duvarın ısı geçiş katsayısı tayin edilmiştir.
- 1991 yılına gelindiğinde 1983 yılında yapılan Deneme I yapısının duvarları üzerine uygulanacak sıva araştırılması yapılmaya başlanmıştır. “Alker Duvar Üzerinde Hazır Sıvaların Davranışı” konulu çalışma beş yıl sürmüştür.
- 1995 yılında TÜBİTAK İNTAG TOKİ 622 No.lu proje kapsamında Deneme II Yapısı inşa edilmiştir. Yapıya ait



Şekil 10. TÜBİTAK İNTAG TOKİ 622 Deneme II yapısı

- 1997 yılında alker yapıların topluma kazandırılması amacı ile Deneme III yapısı (240 m² yazlık konut) inşa edilmiştir.
- 1999 yılında 1995 yılında yapımı tamamlanan Deneme II Yapısı üzerinde hasarsız deprem testi yapılarak alker yapıların depremde göstereceği tepkinin özellikle GAP Bölgesinde kullanılmaya uygun olup olmadığı incelenmiştir.
- 2000 yılında ise bölgede yapılan Birecik Barajı suyundan etkilenen yer değiştirilmesi zorunlu olan bölgelerde GAP projesi kapsamında bulunan İnsan yerleştirme projesine katkı sağlaması amacı ile yapılan Deneme IV (lojman) binası inşa edilerek toplu konutlarda kullanılabilirliğinin araştırılması yapılmıştır (Coşkun, 2005).

1.11.3 Fiziksel ve mekanik özellikleri

Alker, duvar elamanı oluşturması ön görülen malzemelerde olduğu gibi ısı ve ses yalıtımı, rötre seviyesi, su emilimi vb. değerlerde beklenen performans şartlarını karşılamaktadır. Alker malzemesinin fiziksel özellikleri tablo 3'te gösterilmiştir (Kafesçioğlu ve ark, 1980).

Tablo 3. Alkerin fiziksel özellikleri (Kafesçioğlu, R, 1980)

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

Alker malzemenin ısı ve ses yalıtım özelliği kazanması, karışım harcındaki malzemelerin kimyasal reaksiyonlarından meydana gelir. Karışımındaki alçı katkısı sayesinde harcın rötre yapma seviyesini düşürerek, harcın içerisindeki suyun buharlaşması ile meydana gelen hava boşlukları da bu özelliği oluşturur (Kafesçioğlu vd., 1980).

Alkerin sahip olduğu ısı ve ses yalıtım özelliği **TS 825** koşullarına uygundur. Isı kat sayısı yapılan araştırmalar neticesinde 0,4 W/mK olarak belirlendi. Bu veriler neticesinde, Alker ile oluşturulan mekanların konfor seviyesi arttırılmaktadır (Işık vd., 1995).

Alker harcındaki kireç katkısı oluşturulan malzemede su emilim miktarının azalmasını sağlamaktadır. Malzemenin fazla sudan kaynaklanan bozulmalardan ve dağılmalardan korumakta ve karışımındaki alçı katkısı ile reaksiyon göstererek harcın priz süresinin uzatılmasında da katkı sağlamaktadır. Bu sayede harcın işlenebilirliği artırılmış olmaktadır (Kafesçioğlu vd., 1980).

Harcın priz süresi göz edilerek su ilave edilmeden toprak, kireç ve alçı malzemelerin kuru karma yapılması ve su katıldıktan sonra harcın karılma işleminin tekrarlanması sonucu oluşturulan, Alker duvar elamanının kesitlerinin homojen olduğu görülmektedir. Bu karılma tekniğinden dolayı Alker, yapı fiziği olarak dengeli sonuçlara rastlanır (Kafesçioğlu vd., 1980).

Harcın içerisindeki malzemelerin özelliklerinden kaynaklı olarak Alker yüzeyleri, kimyasal ve fiziki eskime süresini en aza indirir ve küf gibi çeşitli mikroorganizmaların türemesini engeller (Kafesçioğlu vd., 1980).

Tablo 4'te belirtilen duvar türlerinin yapı klimatolojisi yönünden nitelik değerleri incelendiğinde Alker malzemesinin sahip olduğu özellikler diğer duvar türlerine kıyas ile ısı, ses ve su izolasyonuna gerek duymadığını göstermektedir.

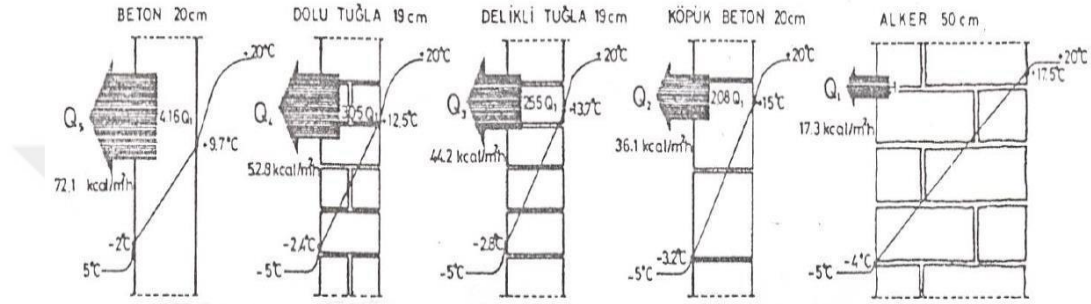
Tablo 4. Çeşitli duvar türlerini yapı klimatolojisi yönünden nitelikleri (Kafesçioğlu ve Gürdal, 1985)

Nitelik	Harman tuğlası	Delikli tuğla	Beton blok	Hafif beton blok	Alker
İç yüzey sıcaklığı (C)	12,44	13,70	9,68	14,85	16,30
Isı biriktirme kapasitesi (kJ/kgK)	75,24	54,34	110,00	57,60	139,80

Faz ötelemesi (h)	4,50	4,47	4,03	13,58	29,00
Soğuma süresi	14,29	12,87	13,97	17,28	66,68

İç ortam sıcaklığı +20 C, dış ortam sıcaklığı -5 C olarak belirlenmiştir.

Duvar elamanı olarak kullanılan yapı malzemelerinin ısı kaybı yönünden karşılaştırıldığında, Alker duvarın en az ısı kaybı değerine sahip olduğu sonucu ortaya çıktı (Şekil 10) (Kafescioğlu, 2017).



Şekil 11. Alker malzemenin ısı depolama değerinin diğer duvar malzemeleri ile karşılaştırılması

Alker teknolojisi çalışmaları sonucu yapılan deneme yapılarının tümünde, benzer yapı metrekaresine ve benzer coğrafi alanda bulunan diğer yapılardan kıyasla, ısınma ihtiyacı olarak daha az enerji kullanıldığı görüldü.

Karışımındaki alçı, priz süresinin kısa olmasından kaynaklı harcın kuruma sırasında meydana geleceği deformasyonu ve rötre oluşumunu önler. Bu sayede basınç dayanımı olumlu yönde artar (Kafescioğlu, 2017).

Alker duvar tercih edilen yapıda, yapı inşaat alanının %25'ni kaplar. Örnek olarak; yapı inşaat alanı 100 m² olan yapının, Alker duvar alanı 25 m² olmuş olur. Bu oran, yapının deprem direncini olumlu yönde etkiler (Özcan, 2021).

Alkerin, birim ağırlık basınç dayanımı ve kesme dayanımı gibi mekanik özellikleri tablo 5' de verilmiştir

Tablo 5. Alkerin mekanik özellikleri

ÖZELLİK	DEĞER
Birim Ağırlık (kg/1)	1,6-1,7
Basınç Dayanımı (N/mm ²)	2,0-4,0

Kesme Dayanımı (N/mm ²)	0,9-1,3
-------------------------------------	---------

1.12 Alker Malzemesine Uçucu Kül Katkısı

1.12.1 Uçucu kül tanımı

Termik santrallerde kömürün yakılması sonucunda ortaya çıkan baca gazları sayesinde taşınarak çeşitli filtrelerde toplanan yan ürüne uçucu kül denir. Kömürün yanması sonucunda oluşan ergimiş malzeme soğuyarak küresel şekilli tanecikler oluşturur oluşan bu kül tanecikleri çok ince olduğundan baca gazlarıyla hareket ettiğinden dolayı uçucu kül olarak isimlendirirler (Görhan vd., 2008).

Uçucu küllerin en çok kullanıldığı alanların başında inşaat sektörü gelmektedir. Beton, kerpiç çimento, cam-seramik gibi yapı malzemelerinin üretimi aşamasında ve daha birçok yerde kullanılır (Değirmenci, 2005).

İnşaat sektöründe bu kadar çok kullanılmasına karşın dünya genelinde 1 yılda boyunca üretilen uçucu külün %20-25'i ancak değerlendirilebilmektedir. Bu konuda Almanya, Belçika ve Hollanda'da üretilen uçucu kül toplamının yaklaşık olarak %95 inden fazlasını kullanırken, bu oran İngiltere'de yaklaşık olarak %50'dir. Öte yandan yüksek miktarlarda uçucu kül üretimi yapan Çin ve Amerika'da yıllık üretilen uçucu kül miktarının yaklaşık olarak Çin %40'ını Amerika ise %32'sini kullandığı görülmektedir.

Türkiye incelendiğinde ise 2010 verilerine göre yıllık yaklaşık olarak 55 milyon ton kömür kullanılmakta ve bunun sonucunda yaklaşık olarak 16 milyon ton uçucu kül açığa çıkmaktadır bunların yalnızca %2-3 lük kısmı kullanılmakta geri kalanı ise atık olarak doğaya bırakılmaktadır (Kaplan ve Gültekin, 2010).

1.12.2 Uçucu kül kullanım alanları

Endüstriyel atıkların birçoğunda olduğu gibi uçucu külden de yararlanma imkânları araştırılmıştır. Bu bağlamda çimento katkısı olarak, agrega olarak, tuğla üretiminde, gaz beton üretiminde zemin uygulamalarında ve daha birçok alanda kullanılmaktadır.

1.12.3 Yapı malzemesi olarak kullanılması

Bunların basında çimento ve betonda katkı maddesi olarak kullanılması gelir. Silindirle sıkıştırılmış betonlarda, beton blok ve boruların yapımında kullanım bulur. Çimento

hammaddesi olarak kullanılabilir. Özel işlemlerle uçucu külden dayanıklı hafif agregada elde edilebilir (Görhan vd., 2008).

1.12.4 Uçucu külün çimento ve betonda kullanılması

Beton özelliklerini iyileştirmek ve çimento malzemesinden tasarruf edebilmek adına çimento içerisine eklenen birçok malzeme çeşidi bulunmaktadır. Çimento ve beton üretiminde kullanılan yapay puzolanlardan biri de uçucu küllerdir.

Çimento ve betonda kullanılan mineral katkıları arasında olan puzolanik malzemelerin aktiviteleri silis içeriği ile doğru orantılıdır. Bundan dolayı genellikle silisli mineral türleri tercih edilir. Mineraller aynı karışım oranı ile farklı tepkimeler verebildiğinden puzolanik aktiviteyi sadece kimyasal orana bağlamak doğru değildir. Örneğin uçucu kül gibi yeterli miktarda silis içeren malzemelerin istenilen düzeyde puzolanik aktivasyonu gösterebilmeleri için aynı zamanda yeteri kadar ince taneli olmaları da gerekmektedir (Gürfidan, 2007), (Görhan vd., 2008).

Betonlarda genellikle düşük kireçli uçucu kül kullanılmaktadır. Yüksek kireçli uçucu küllerin betonlarda kullanılması durumunda yüksek CaO oranı betonların durabilitesini ve betonun stabilitesini bozabilmektedir. Uçucu küller içerisinde bulundurdıkları karbon ve sülfürden dolayı çimentoyla reaksiyona girdiklerinde beton içerisinde alkali oranını arttırmakta ve bunun neticesinde korozyonu hızlandırmaktadır. Uçucu kül içerisinde bulunan karbon miktarının artması betonun su ihtiyacını da arttırmaktadır. Bunun yanında yapılan bir dizi çalışma sonunda ise, %20-30 oranında uçucu kül kullanımının korozyon direnci ve beton dayanımı açısından olumlu sonuçlar verdiği belirtildi.

Kendiliğinden yerleşen betonlarda % 30 – 40 oranlarında, F sınıfı uçucu kül ikameli çimentoların kullanılması ile daha iyi dayanım özellikleri elde edilmektedir. Yüksek miktarda (% 50) uçucu kül kullanılarak ekonomik ve aynı zamanda 35 MPa'dan daha yüksek dayanıma sahip kendiliğinden yerleşen betonlar da üretildi (Görhan vd., 2008).

1.12.5 Uçucu külün agregada olarak kullanılması

Uçucu külün hafif olması münasebeti ile hafif beton tasarımı ve daha ekonomik beton üretimi yapmak mümkündür.

Bu bağlamda beton içerisinde bulunan ince agrega yerine F sınıfı uçucu kül kullanılabilir. Yapılan deneylerde basınç dayanımına, elastisite modülü değerine ve rötre değerlerine olumlu katkıları olduğu gözlemlendi (Görhan vd., 2008).

1.12.6 Uçucu külün tuğla üretiminde kullanılması

Uçucu külün çimento ve betonda kullanıldığı oranda tuğla sektöründe kullanılmamasının yanı sıra az da olsa bu alanda yapılan çalışmalar vardır. Cultrone ve Sebastian'ın 2009 yılında çalışmasında tuğla üretiminde kullandıkları uçucu külün gözeneklerdeki boşlukları küçülttüğünü ve bu sayede tuz kristalleşmesinden kaynaklı olarak oluşan bozulmaların azaldığının gözlemlendi (Görhan vd., 2008).

1.12.7 Uçucu külün gaz beton üretiminde kullanılması

Uçucu kül agrega olarak gaz beton üretiminde yeterli ince tane boyutuna sahip olduğundan öğütme işlemine gerek duymadan kum ilavesi olarak kullanılabilir. Yapılan çalışmalar uçucu kül kullanılarak üretilen gaz betonların kuvars kumu kullanılarak üretilen gaz betonlara oranla ısı yalıtımının daha yüksek olduğunu göstermektedir (Görhan vd., 2008).

1.12.8 Uçucu külün zemin uygulamalarında kullanılması

Uçucu Küller, zemin problemlerini iyileştirmek için doğal zemine ve uçucu küle bağlı olarak ürün verimliliğini geliştirmek için kullanılabilir. Uçucu kül özellikle hava ile temas etmeyen topraklarda; Bor (B), Molibden (Mo), Selenyum (Se) ve Alüminyum (Al) gibi elementleri toplama eğilimi göstermektedir. Bu elementlerin toplanması ürün alanlarında zehir seviyesinde önemli oranda azalmalar gerçekleştirerek insan ve hayvan sağlığına önemli katkı yaparlar.

Uçucu külün yolda tatbiki ile ilgili yapılan bir çalışmada ise farklı kimyasal katkıları kullanılmış ve bunun sonunda yolda kullanılan uçucu kül-kireç karışımına %1,5-2,5 oranındaki katkıların olumlu etkiler yaptığı ve erken yaslardaki dayanımları oldukça yükselttiği saptandı (Görhan vd., 2008).

1.12.9 Uçucu külün diğer uygulamalarında kullanılması

Diğer kullanım alanları arasında: beton ve asfalt yollarda, yol temel tabakalarında filler olarak, zemin stabilizasyonunda, kireç-kum taşı blokların, endüstriyel seramik ve

refrakterlerin, boyaların üretiminde, katı atıkların stabilizasyonunda ve bitki yetiştirilmesinde kullanımları sayılabilir.

Yapılan bir çalışmada; kompozitlerin mekanik özelliklerine kullanılan bağlayıcının davranışı etkisinin incelenmesi amacıyla, kloroplen kauçuk ve uçucu kül kullanılarak test edilmiş ve %1'lik bağlayıcı olarak uçucu kül kullanılarak kompozit bir malzeme üretilmiştir. Başka bir kompozit malzeme üretiminde ise; farklı uçucu kül ağırlık yüzdelere sahip epoksi reçine kompoziti yoğunluk, sertlik ve elektriksel özellikleri santrifüj kuvveti altında hazırlanarak elde edilip ve uçucu külün ağırlık yüzdesi artırılarak, malzemenin alternatif iletkenliğini ve izolatör sabitliği artırılmıştır (Görhan vd., 2008).

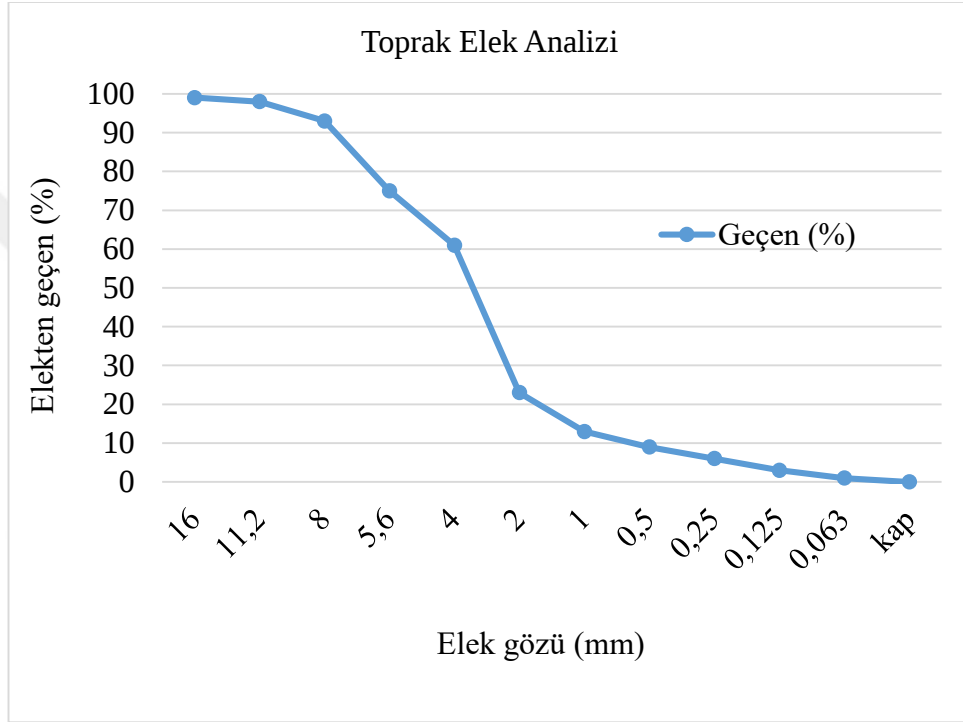
Lateks harçları basınç dayanımlarının uçucu kül oranının artmasıyla azalma göstermektedir. F ve C sınıfı uçucu kül ile çimento kullanılarak kompozit malzeme üretimi gerçekleştirildi. Elde edilen bulgulara göre C sınıfı uçucu kül kullanılan kompozitler F sınıfına göre daha düşük elastisite modülü değerleri vermiştir. F tipi uçucu kül ve çimento kompozitinin akışkanlığının, uçucu külün tane dağılımıyla yakından ilişkili olduğu da belirtildi (Görhan vd., 2008).

2 MATERYAL METOD

2.1 Materyal

2.1.1 Toprak

Hazırlanan kırmızı toprak numunelerinin laboratuvar ortamında yapılan analizleri sonucunda toprakta %17,48 Kum, %4,6 Silt, %0,8 Kıl elde edilmiştir. Şekil 12’de numune için seçilen toprağın granülometri eğrisi gösterildi.



Şekil 12. Kırmızı toprak granülometri eğrisi

2.1.2 Uçucu kül

Deneylerde kullanılan uçucu kül katkısı Silopi (Şırnak) Termik Santralinden temin edildi. Silopi (Şırnak) Termik Santralinden temin edilen Uçucu kül’e ait kimyasal bileşen analizleri yapıp toprak malzemesi ile karşılaştırması Tablo 6’da yapıldı.

Tablo 6. Deney malzemelerinin kimyasal analizi

Kimyasal Birleşenler (%)	Malzeme	
	Toprak	Uçucu Kül
SiO ₂	46,44	26,49
CaO	10,81	33,01
MgO	8,275	3,368
Al ₂ O ₃	13,63	7,704
Fe ₂ O ₃	14,16	5,649
SO ₃	0,0024	15,93
TiO ₂	2,218	0,632
Na ₂ O	1,758	0,15
K ₂ O	0,9672	3,87
Toplam tuzluluk oranı, µmhos/cm	180	
Kil Tayini (Metilen Mavisi)	26,25	
PH	8,38	

Silopi termik santralinden temin edilen uçucu kül kimyasal değerleri incelendiğinde SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃ = %39,84 < %70 olduğu için TS 639 ve ASTM C618 standartlarına göre kaliteli bir uçucu kül olmadığını göstermiştir.

2.1.3 Alçı

Alçı, alçıtaşının çeşitli derecelerde pişirilmesi sonucu elde edilen, su ile karıştırıldığında kısa sürede katılaşma özelliği gösteren, beyaz renkli, inorganik esaslı bir bağlayıcı türüdür. Bu çalışmada alçının daha yüksek basınç altında pişirilmesi ile oluşan alfa alçı kullanıldı.

Alfa alçının başlıca avantajları şunlardır:

- Hızlı dökümü sağlar ve yeterli dayanıma katkı sağlar: Hazır elemanlar, dökümden 15-20 dakika sonrası işlenebilecek sertliğe ulaşabilir ve 25 dakika sonra kaldırır.
- Alçının hafifçe genişmesi büzülme çatlağını önler.
- Herhangi sebeple ortaya çıkabilecek çatlaklar, hızlıca onarır.
- Alçı, fiziksel yönüyle hafif bir malzeme türüdür, kaldırılması ve taşınma maliyeti, diğer yapı malzemelerine göre daha düşüktür. Yoğunluğu taze alçı

ürünlerde 1200 kg/m³ civarında dolanırken kurumuş ürünlerde 950-1100 kg/m³ değerindedir.

Alfa alçının dezavantajları ise şu şekilde sıralanabilir:

- Alçı su içerisinde fazla olarak çözülür. Bu sebeple sulu hacimlerde suyla karşılaşma ihtimali olan mekânlarda ve dış ortam şartlarında kullanılmaz.
- Nemlenmiş alçı elemanların dayanımı, kuru malzemeye göre %33 oranında azalma görülür.
- Alçı kıvam için çok suya ihtiyaç duymaktadır. Bu da elemanlar için fazla sayıda boşluk suyu demektir.
- Alçı suya doygunluğu devam ederse, mekanik dayanaklığı düşer, kalınlığı fazla olan malzemede kuruma uzun sürebilir.

Tablo 7. Alçının özellikleri

Alçı Cinsi	Alfa Alçı	Döküm Alçı
Kıvam (alçı/su gr/gr)	2	1.66
Yayılma çapı(mm)	190 ±20	180 – 220
Donma başlangıcı(dk.)	10 ±3.5	10 ±2.5
Donma bitimi(dk.)	Max 30	30
Eğilme Mukavemeti(kgw/cm ²)	80	60
Basınç Mukavemeti(kgf/cm ²)	190	165
Sertlik (D)	75	65
Lineer Genleşme (%)	0.36	0.020
Su Emme (%)	25	30

Tablo 7’ de çeşitli değerleri belirtilen alfa alçı ve döküm alçı arasındaki farklar incelendiğinde alfa alçının özellikle basınç ve eğilme mukavemetinin yüksek olması döküm alçıya oranla alfa alçının daha çok tercih edilmesine olanak sağlıyor.

2.1.4 Kireç

Kireç, kireçtaşının yüksek sıcaklıklarda (850-1450 °C) pişirilmesiyle elde edilir. Suyla karıştırıldığında çeşidine göre hava ile veya suyla sertleşme özelliği gösteren, beyaz renkli türdür. Kireç, kâgir malzemesiyle fazla kenetlenme gösterebilmektedir ve kirecin deformasyon miktarı fazla olur. Bu nedenle plastik bünyeye sahip olan kireç harçlarının işlenebilme ve yerleşme özelliği fazladır. Kireç, genelde çok fazla kil miktarı bulunan plastik özellikli toprakta kullanılabilir. Toprağa kireç katılması iki çeşit sonuca sebep olabilir. Toprağa kil mineralleri karıştırıldığında, toprak dayanıklılığı yükselebilir ve porozitesi azalabilmektedir.

Sönmüş Kireç:

Sönmüş kireç rutubetli ortamda kil partikülleriyle bir araya geldiğinde, kili bünyesel bir değişikliğe uğratarak suda çözülmeyen, kalıcı yeni bir bünyeye dönüştürür. Kitleye deprem açısından çok önemli olan süneklik ve kayma dayanımının artmasını sağlar.

Bu çalışmada %5, %2,5 oranında kireç fabrikasının söndürölüp torba kireci kullanıldı.

2.1.5 Su

Belirli bir kirliliği olmayan, günlük yaşantımızda kullanılan şehir şebeke suları ve doğadaki akarsular kerpiç karışımında kullanılabilir.

Toprak numunelerin üretilmesinde sırasında 23 ± 2 °C, %20- %30 arasında şebeke suyu kullanılmıştır. Su miktarı seçilirken kıvamın sabit olmasına özen gösterildi.

3 DENEYSEL ÇALIŞMA

3.1 Numunelerin Deneylere Hazırlanması

3.1.1 Toprak seçimi

Yapacağımız alker karışımı kerpiç malzemenin içeriğinde bulunan kil oranı toprağın yapısı bakımından çok önemli olduğundan farklı farklı yerlerden toprak temin edildi. Toprak temin edildikten sonra ele yapışıp yapışmaması gibi toprağın yapısı hakkında kabaca bilgi alabileceğimiz basit deneylerle en uygun toprak seçimini yaptık. Sonra 2 mm delik çapında olan elekten elenerek, büyük çakıl, bitki, çöplerden temizlendi.

Çeşitli bölgelerden temin edilen toprak malzemesinin kimyasal analizi, tuz miktarı, PH, kil tayini ve Silopi Termik santralinden temin edilen uçucu külün kimyasal analizleri Kayseri KAY-YAP analiz firmasında XRF metodu kullanılarak yapıpıp sonuçları Tablo 6 'da gösterildi.

Kullanılan kırmızı toprağın yol kenarından toplanırken ki görselleri Şekil 13'te gösterildi.



Şekil 13. Kırmızı toprak toplanırken

Toprak araziden alındığında nemli olduğundan alçı ve kireç gibi bağlayıcılığı yüksek malzemeler ile birleştğinde aktive olacağından en doğru sonuçları alabilmek ve su oranının

takibini yapabilmek adına toprak 15 gün süresince yere serili olarak bekletilip tam olarak kuruması sağlandı. Yere serilen ve kurumaya bırakılan toprak Şekil 14’te gösterildi.



Şekil 14. Toprağın kurutulması

Kullanılacak toprağın kil silt ve agrega içeriği alker karışımı kerpiç malzeme için oldukça önemlidir. Çünkü kil oranının fazla olmasından dolayı yapılacak malzemeye fazla oranda su kullanmak gerekecektir. Alçı, kireç, toprak ve puzolanik maddenin bağlayıcılığı için gerekli olan miktardan fazla su kullanıldığı zaman ise bizim için çok önemli olan kerpiç yapının dayanımı düşürmektedir. Fakat killi malzeme oranı doğru ayarlandığı zaman da su tutucu özelliği sayesinde yağmurlu havalarda yapıyı sudan ve rutubetten koruyacaktır. Bu yüzden kil tayini için elek analizi deneyi yapıldı. Elek analiz cihazı ve yapılırken kaydedilen görüntü şekil 15’te ortaya çıkan analiz sonuçları ise tablo 8’ de gösterilmiştir.



Şekil 15. Elek analizi

Tablo 8. Elek Analizi Sonucu

Elek gözü (mm)	Her elekten kalan (gr)	Her elekten kalan kümülatif (gr)	Her elekten kalan (%)	Her elekten kalan kümülatif (%)	Geçen (%)
16	6,2	6,2	0,62	0,62	99
11,2	10	16,2	1,00	1,62	98
8	56	72,2	5,60	7,22	93
5,6	181,6	253,8	18,16	25,38	75
4	138	391,8	13,80	39,18	61
2	377,6	769,4	37,76	76,94	23
1	101,4	870,8	10,14	87,08	13
0,5	40	910,8	4,00	91,08	9
0,25	33,4	944,2	3,34	94,42	6
0,125	22,4	966,6	2,24	96,66	3
0,063	23,6	990,2	2,36	99,02	1
Kap	9,8	1000	0,98	100	0

1m³ lük toprağı en küçük göz olan 0,063mm ve 16mm eleklerden elenerek toprağın gradasyonu belirlendi. Çalışmada kullanılan toprak ise 2 mm’lik göz açıklıktan elenerek

kullanıldı. Tablo 8’de yapılan elek analizi sonucuna göre toprağın %23 ü alker toprağına uygun olarak değeriendirilebilir.



Şekil 16. Konkansatör

Tablo 8’de gösterilen elek analizi sonucuna göre %23 lük kısım uygun olarak görülmüş ve uygun görülen 2mm’lik açıklıktan geçebilen %23 lük kısmın oranını arttırmak için şekil 16’da gösterilen konkasör kullanılarak 2mm’lik gözden geçen malzeme şekil 17’de gösterilen agrega tepsisine döküldü.



Şekil 17. Agregat tepsisi

3.1.2 Kalıpların hazırlanması

Alker tasarımların yaş ve kuru ağırlıkları belirlendi. Şekil 18’de gösterilen 4x4x4 cm’lik küp numune kalıpları ile hazırlanan ve genel görüntüsü şekil 19’da olduğu gibi gösterilen numunelerin ultra ses geçirgenlikleri ile ses iletim hızları belirlendi ayrıca pres makinası ile kırılarak basınç dayanım değerleri tespit edildi.



Şekil 18. 4x4x4 cm’lik küp numune kalıbı



Şekil 19. Deney için hazırlanan 4 cm’lik küp numunelerin genel görüntüsü

3.1.3 Karışımın hazırlanması

Projenin deneysel çalışmaları İnşaat Mühendisliği Yapı Laboratuvarlarında gerçekleştirildi. Hazırlanan numuneler farklı oranlarda şekil 20 ‘de gösterildiği gibi hassas terazi kullanılarak şekil 21’de gösterildiği şekilde karıştırılarak hazırlandı. Oluşturulan Alker karışımları; killi toprağa alçı, kireç ve uçucu külü farklı oranlarda ekleyerek toplam 27 farklı tasarım oluşturulmuştur. Oluşturulan 27 farklı alker tasarımlarının karışım oranları Tablo 9’da gösterildi.



Şekil 20. Malzeme tartım işlemi



Şekil 21. Malzemelerin karıştırılması

Tablo 9. Alker tasarım değerleri

Alker tasarım değerleri									
No	Karışım yüzdesi (%)			Karışım Miktarı (gr)					
	Alçı	Kireç	UK	Alçı	Kireç	UK	Toprak	Su	Toplam Ağırlık
1	5%	2,50%	0%	69,75	34,88	0	1395	360	1859,63
2	5%	5%	0%	68,20	68,20	0	1364	360	1860,40
3	5%	7,00%	0%	67,00	93,80	0	1340	360	1860,80
4	5%	2,50%	10%	63,85	31,93	127,7	1277	350	1850,48
5	5%	5%	10%	62,50	62,50	125	1250	350	1850,00
6	5%	7,00%	10%	61,50	86,10	123	1230	340	1840,60
7	5%	2,50%	20%	58,80	29,40	235,2	1176	380	1879,40
8	5%	5%	20%	57,70	57,70	230,8	1154	380	1880,20
9	5%	7,00%	20%	56,85	79,59	227,4	1137	320	1820,84
10	10%	2,50%	0%	133,30	33,33	0	1333	300	1799,63
11	10%	5%	0%	130,50	65,25	0	1305	320	1820,75
12	10%	7,00%	0%	128,20	89,74	0	1282	320	1819,94
13	10%	2,50%	10%	122,50	30,63	122,5	1225	350	1850,63
14	10%	5%	10%	120,00	60,00	120	1200	350	1850,00
15	10%	7,00%	10%	118,00	82,60	118	1180	300	1798,60
16	10%	2,50%	20%	113,30	28,33	226,6	1133	300	1801,23
17	10%	5%	20%	111,20	55,60	222,4	1112	320	1821,20
18	10%	7,00%	20%	109,50	76,65	219	1095	360	1860,15
19	15%	2,50%	0%	191,55	31,93	0	1277	360	1860,48
20	15%	5%	0%	187,50	62,50	0	1250	370	1870,00
21	15%	7,00%	0%	184,50	86,10	0	1230	370	1870,60
22	15%	2,50%	10%	176,55	29,43	117,7	1177	370	1870,68
23	15%	5%	10%	173,25	57,75	115,5	1155	370	1871,50
24	15%	7,00%	10%	170,40	79,52	113,6	1136	380	1879,52
25	15%	2,50%	20%	163,50	27,25	218	1090	380	1878,75
26	15%	5%	20%	160,65	53,55	214,2	1071	380	1879,40
27	15%	7,00%	20%	158,40	73,92	211,2	1056	380	1879,52

Tasarım değerlerindeki su miktarını karıştırma işlemi bittikten sonra istediğimiz kıvama getirilmesi ile belirlendi. Tasarımda uçucu kül kullanımı su oranını artırıldı.



Şekil 22. Deney için hazırlanan tasarım grupları



Şekil 23. Deney için hazırlanan tasarım grupları

3.1.4 Numune ağırlıkları

İnşaat mühendisliği yapı laboratuvarında Alker numunelerin proje kapsamında TÜR-KAK tarafından kalibre edilmiş hassas terazide yaş ve kuru ağırlıkları ölçüldü.

Tablo 10. Numunelerin ağırlıkları

Numune No	Sembol	Ağırlık ortalamaları (gr)		Ağırlık Farkı	Birim Hacim Ağırlık
		YAŞ	KURU		
				gr	gr/cm ³
1	A5-K2.5	96,6	90,25	6,35	1,41
2	A5-K5	91,5	87,05	4,45	1,36
3	A5-K7	105,7	97,63	8,07	1,53
4	A5-K2,5-UK10	99,2	92,67	6,53	1,45
5	A5-K5-UK10	118	100,33	17,67	1,57
6	A5-K7-UK10	115,13	99,33	15,80	1,55
7	A5-K2,5-UK20	121,33	103,47	17,87	1,62
8	A5-K5-UK20	125,27	103,47	21,80	1,62
9	A5-K7-UK20	120,73	100,07	20,67	1,56
10	A10-K2,5	118,33	100,13	18,20	1,56
11	A10-K5	118,90	105,20	13,70	1,64
12	A10-K7	119,40	101,93	17,47	1,59
13	A10-K2,5-UK10	115,53	103,53	12,00	1,62
14	A10-K5-UK10	116,93	103,27	13,67	1,61
15	A10-K7-UK10	97,33	95,00	2,33	1,48
16	A10-K2,5-UK20	118,13	102,47	15,67	1,60
17	A10-K5-UK20	104,67	100,00	4,67	1,56
18	A10-K7-UK20	108,47	98,67	9,80	1,54
19	A15-K2,5	98,73	95,00	3,73	1,48
20	A15-K5	122,33	107,47	14,87	1,68
21	A15-K7	104,47	102,07	2,40	1,59
22	A15-K2,5-UK10	122,80	104,00	18,80	1,63
23	A15-K5-UK10	121,13	103,73	17,40	1,62
24	A15-K7-UK10	116,00	103,93	12,07	1,62
25	A15-K2,5-UK20	125,50	104,13	21,37	1,63
26	A15-K5-UK20	124,37	112,57	11,80	1,76
27	A15-K7-UK20	125,73	105,10	20,63	1,64

3.1.5 Basınç dayanım deneyi

İnşaat mühendisliği yapı laboratuvarında Alker numunelerin proje kapsamında TÜR-KAK tarafından kalibre edilmiş pres makinasında kırılarak basınç dayanım değerleri

tespit edildi. Deney esnasına ait şekil 24’te ve sonuçların gösterildiği ekran şekil 25’te gösterildi.



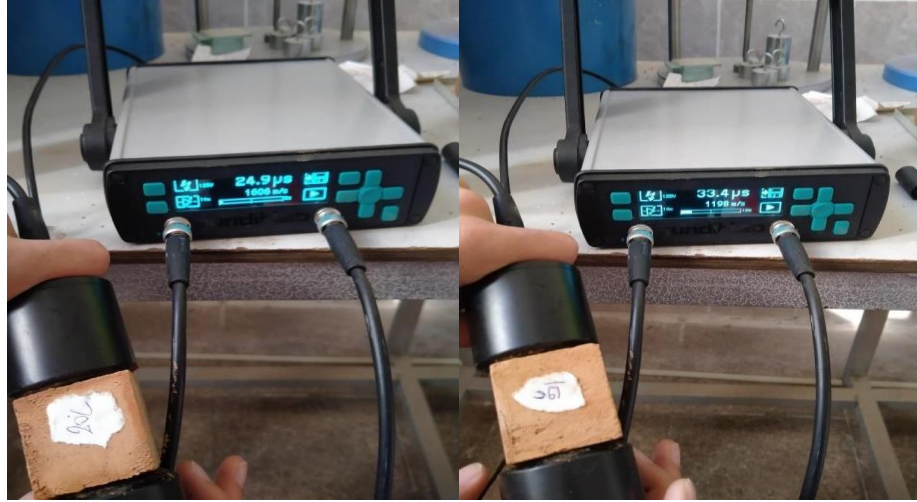
Şekil 24. Basınç dayanım deneyi yapılan numune



Şekil 25. Numunenin basınç deneyi sonucu

3.1.6 Ultrasonik ses deneyi

İnşaat mühendisliği yapı laboratuvarında bulunan ultra ses aleti yardımı ile numunelerin ses geçiş hızları ölçüldü. Ölçüm küp numunenin her iki tarafına karşılıklı olacak şekilde iki adet prob yerleştirilir ve bir probdan diğerine ses dalgasının hızı ölçülür. Ölçüm anına ait görüntüler şekil 26’da gösterildi.



Şekil 26. Ultrases geçiş hızı tayini

Ultrasonic ses cihazı ölçümleri küp numunelerin dik düzgün olan karşılıklı yüzlerinden alındı. Ölçüm alınırken sensörlerin karşılıklı aynı noktada olmaları ve birbirleriyle tam karşılıklı denk gelmeleri gerekmektedir. Ölçüm alınacak yüzeyler tozdan arındırılarak jel ile temizlendi. Sensör ile numune arasındaki boşluk kalmayacak biçimde tam teması sağlamak için jel kullanıldı. Ultrasonic ses cihazı deneyinden bir görüntü verilmiştir. Her bir numunenin üç farklı yerinden üç farklı Ultrasonic ses cihazı ölçümleri alınıp numunenin Ultrasonic ses cihazı değeri üç ölçümün ortalaması olarak ele alındı.

3.2 Mikro yapı incelemeleri

3.3 Sem-Edx

Alker numunelerde, hidrasyon ürünler elektron manyetik mikroskop (SEM) ile mikro yapısı gözlemlendi. Enerji dağıtım- X ışını (EDX) ile beton numunelerde oluşan elementel değişimler belirlendi. X-ışını kırınım yöntemi (XRD) ile her bir kristalin fazın kendine özgü atomik dizilimlerine bağlı olarak kimyasal değişimi incelendi. Basınç dayanım değerlerine göre en düşük çıkan 16 numaralı tasarım A10-K2,5-UK20 (%15 alçı %5 kireç %0 UK) grup ile dayanımı en yüksek çıkan 20 numaralı tasarım A15-K5 (%10 alçı %2,5 Kireç %20 UK) grup için mikro yapı incelemeleri yapıldı. Deneyler İnönü Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Merkezi (İBTAM)'da yapıldı.

4 ARAşTIRMA BULGULARI

4.1 Basınç Dayanımı

4x4x4 cm kp olarak hazırlanan numuneler her tasarımdan 3 er adet hazırlandı ve imento presinde şekil 27’de gösterildiği gibi kırılarak ortalama değerleri hesaplandı. Alker numunelere ait ortalama basınç dayanımları Tablo 11’de verildi.

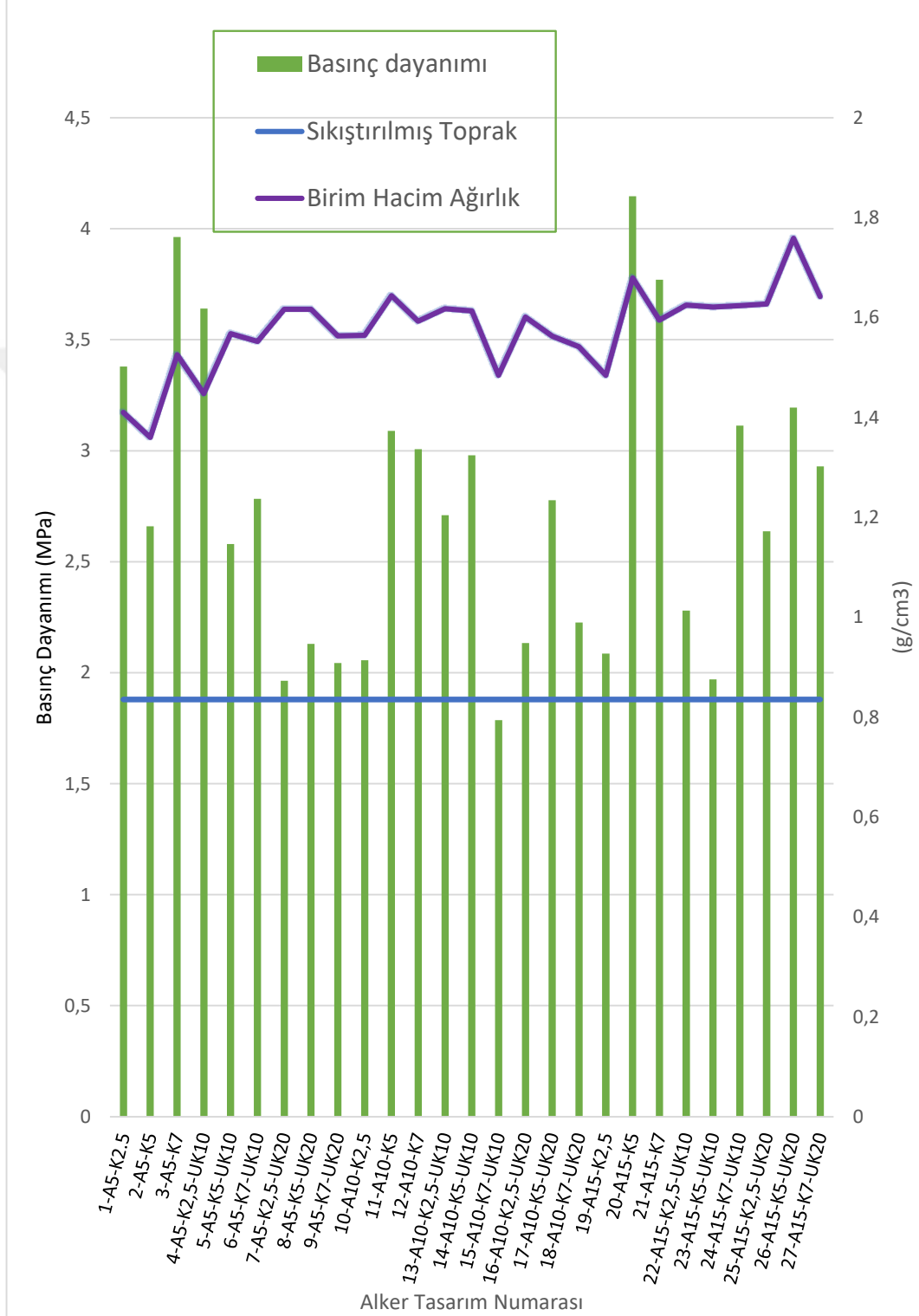


şekil 27. Pres makinesinde bulunan numune

Tablo 11. Basınç dayanım ortalamaları (MPa)

Deney Numune No	Sembol	Basınç Dayanımı Ortalaması (MPa)	Sıkıştırılmış Toprak Basınç Dayanımı (MPa)	Birim Hacim Ağırlık (gr/cm³)
1	A5-K2,5	3,38	1,88	1,41
2	A5-K5	2,66	1,88	1,36
3	A5-K7	3,96	1,88	1,53
4	A5-K2,5-UK10	3,64	1,88	1,45
5	A5-K5-UK10	2,58	1,88	1,57
6	A5-K7-UK10	2,78	1,88	1,55
7	A5-K2,5-UK20	1,96	1,88	1,62
8	A5-K5-UK20	2,13	1,88	1,62
9	A5-K7-UK20	2,04	1,88	1,56
10	A10-K2,5	2,06	1,88	1,56
11	A10-K5	3,09	1,88	1,64
12	A10-K7	3,01	1,88	1,59
13	A10-K2,5-UK10	2,71	1,88	1,62
14	A10-K5-UK10	2,98	1,88	1,61
15	A10-K7-UK10	1,79	1,88	1,48
16	A10-K2,5-UK20	2,13	1,88	1,60
17	A10-K5-UK20	2,78	1,88	1,56
18	A10-K7-UK20	2,23	1,88	1,54
19	A15-K2,5	2,09	1,88	1,48
20	A15-K5	4,15	1,88	1,68
21	A15-K7	3,77	1,88	1,59
22	A15-K2,5-UK10	2,28	1,88	1,63
23	A15-K5-UK10	1,97	1,88	1,62
24	A15-K7-UK10	3,11	1,88	1,62
25	A15-K2,5-UK20	2,64	1,88	1,63
26	A15-K5-UK20	3,20	1,88	1,76
27	A15-K7-UK20	2,93	1,88	1,64

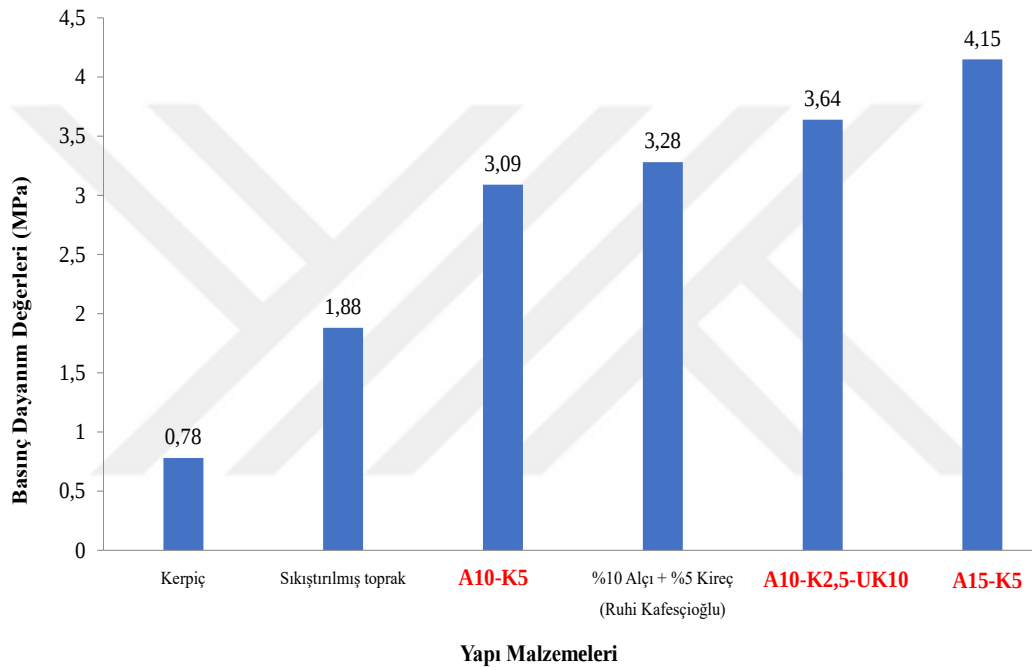
Alker tasarımlarının birim hacim ağırlık değerleri, basınç dayanım değerleri, sıkıştırılmış toprak ile karşılaştırılıp olarak tablo 11’de gösterildi.



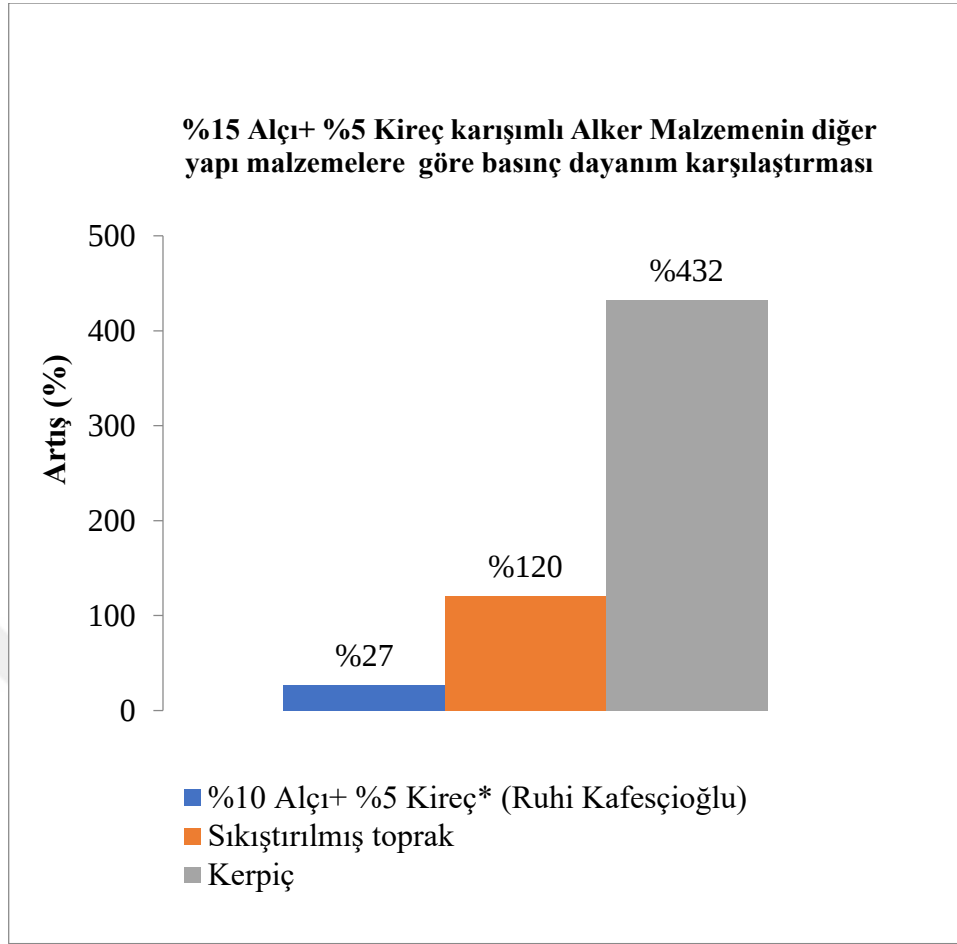
Şekil 28. Değerlerin karşılaştırılması

Tablo 11’de değeri gösterilen ve Şekil 28’de basınç dayanımları karşılaştırılan numuneleri incelendiğinde birim hacim ağırlık ve basınç dayanımı arasında birim hacim ağırlık artarken basınç dayanım değeri de artış olduğundan doğrusal bir ilişki olduğu görüldü. Numuneler arasında ise en yüksek basınç dayanımı 4,15 MPa ile 20-A15-K5 numune ve en yüksek birim hacim ağırlık değeri de aynı şekilde 1,68 g/cm³ ile 20-A15-K5 numunede rastlandı.

Şekil 29. Alkerin diğer toprak malzemeler ile mekanik karşılaştırılması



Şekil 29’a göre basınç dayanım değeri karşılaştırılmış, 20 nolu tasarım olan A15-K5 karışımının; 4 nolu numune olan A10-K2,5-UK10 karışımına, kerpiç, sıkıştırılmış toprak ve daha önce Ruhi Kafesçioğlu tarafından yapılan %10 alçı %5 kireç numunesi tasarımından daha yüksek bir basınç dayanım değeri sahip olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 30. 20 nolu A15-K5 tasarımın diğer toprak malzemeler ile yüzdelik olarak karşılaştırılması

Şekil 28'e göre %15 alçı %5 kireç olan 20 nolu tasarımın basınç dayanımının en yüksek performansı gösterdiği görüldü. Bu tasarımın kerpice oranla %432, sıkıştırılıp toprağa göre %120 artış sağladığı şekil 30'da tespit edildi.

Alker tasarımlarının basınç dayanımlarını belirlemek için pres makinasında kırma işlemi yapıldı. Bu deneylerde çıkan sonuçlar Alçı kireç oranının az olduğu puzolan (Uçucu kül) madde uçucu külün fazla olduğu tasarımların basınç dayanım değerlerinin düşük olduğu saptandı. Bunun nedenleri arasında uçucu kül oranının artması ile alçı ve kireç gibi bağlayıcılığı ve dayanıma olan katkısı yüksek olan iki malzemenin oranın düşmesi, aynı şekilde uçucu kül oranının artması ile toprak miktarının azalması ve bununla birlikte silisyumun oranının azaldığı azalan silisyum oranın ile C-S-H bağlarının da azaldığı ve bağlayıcılığın paralelinde dayanımın da azaldığı ve bir başka düşünce olarak ta külün katıldığı karışımlar da fazla oranda su aldığı buna bağlı olarak basınç dayanımı düşürdüğüdür.

Yaptığımız numunelerin kuru ve yaş ağırlıklarının farkını aldık. En çok su kaybeden 21,8 gr ile A5-K5-UK20 tasarım yani uçucu kül miktarı fazla olan karışım olmuştur. En az su kaybeden ise 2,3gr ile A10-K7-UK10 alçı miktarı fazla ve uçucu kül miktarı az olan numune olmuştur. Numunenin su içeriği hakkında bilgi veren bu değerlerden aldığımız sonuç uçucu küllü numunelerin bünyesinde daha çok su tuttuğu kanaatine varılmıştır.

Ruhi Kafescioğlu çalışmasında geleneksel kerpice küp numunesinin basınç dayanımı 0,78 MPa bulunmuştur. Alker ve kireç ile yapılan çalışmalarda ise en yüksek basınç dayanımı oranı 3,28 MPa çıkmıştır. Bu değerleri yakalamak ve daha da arttırmak için Alçı ve kireç oranlarını değiştirerek ve uçucu kül gibi katkı maddesi koyarak numuneler tasarlandı. Numuneler arasında A15-K5 numunesi 4,15 MPa çıkarak farklı oranlarla hazırladıklarımız arasından en iyi sonucu verdi. Geleneksel kerpice oranla malzeme dayanımını % 422' den fazla artırdığı ve Ruhi Kafescioğlu'nun bulmuş olduğu 3,28 MPa da %26,5 artırdığı anlaşılmaktadır.

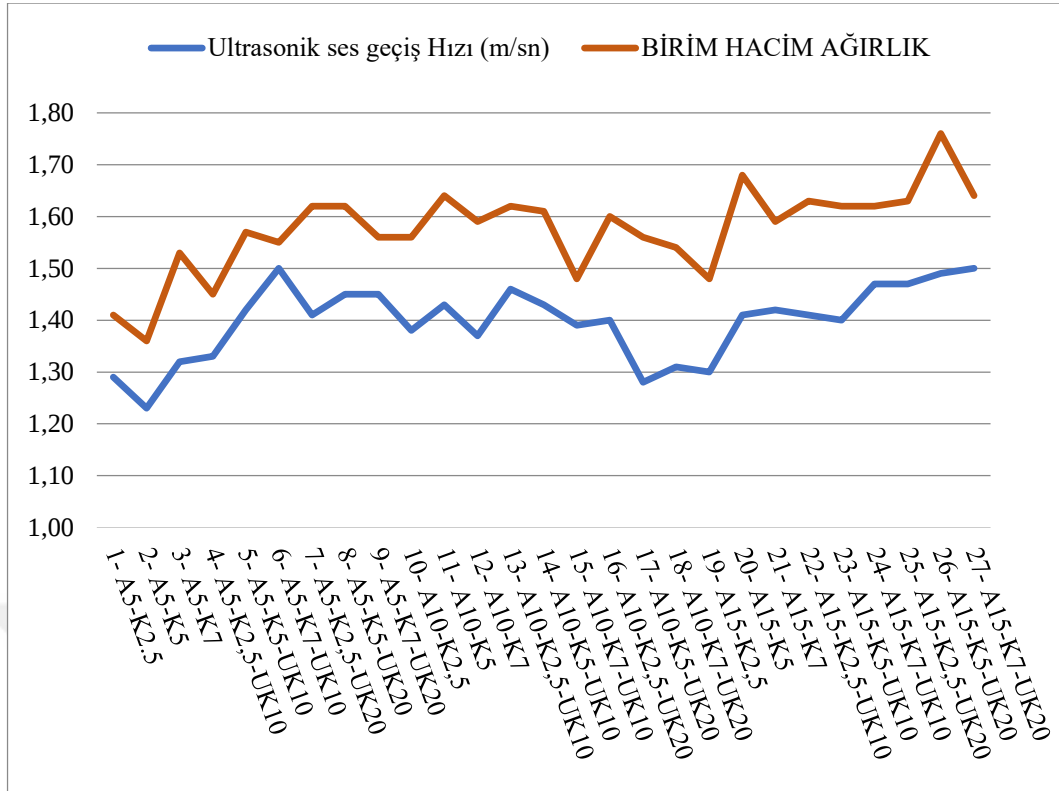
A10-K5-UK10 numunesi basınç dayanımı 1,8 MPa civarında çıkmıştır. Bu da geleneksel kerpice dayanımından % 130' dan fazla arttığını gösterir. Sonuç olarak alçı ve kirecin toprağa dayanım kattığı, uçucu külün ise dayanımını artırmada yetersiz kaldığı ve alçının dayanımda en büyük rolü oynadığını ortaya çıkarmaktadır.

4.2 Ultrasonik Ses Hızı Deneyi Sonuçları

Hazırlanan 4 cm'lik küp numuneler Proceq pundit lab ultrases cihazı ile alker numunelerin ses geçiş hızları tespit edildi. Alker numunelere ait ultrases geçiş hızları Tablo 12'de verildi.

Tablo 12. Ultrases geçiş hızları (km/s)

Deney No	Sembol	Km/s	Deney No	Sembol	Km/s
1	A5-K2.5	1,29	15	A10-K7-UK10	1,38
2	A5-K5	1,23	16	A10-K2,5-UK20	1,49
3	A5-K7	1,32	17	A10-K5-UK20	1,28
4	A5-K2,5-UK10	1,33	18	A10-K7-UK20	1,31
5	A5-K5-UK10	1,42	19	A15-K2,5	1,60
6	A5-K7-UK10	1,11	20	A15-K5	1,41
7	A5-K2,5-UK20	1,41	21	A15-K7	1,43
8	A5-K5-UK20	1,19	22	A15-K2,5-UK10	1,41
9	A5-K7-UK20	1,33	23	A15-K5-UK10	1,52
10	A10-K2,5	1,36	24	A15-K7-UK10	1,69
11	A10-K5	1,23	25	A15-K2,5-UK20	1,47
12	A10-K7	1,26	26	A15-K5-UK20	1,49
13	A10-K2,5-UK10	1,29	27	A15-K7-UK20	1,73
14	A10-K5-UK10	1,36			



Şekil 31. Birim hacim ağırlık-ultrasonik ses geçiş hızları arasındaki ilişki

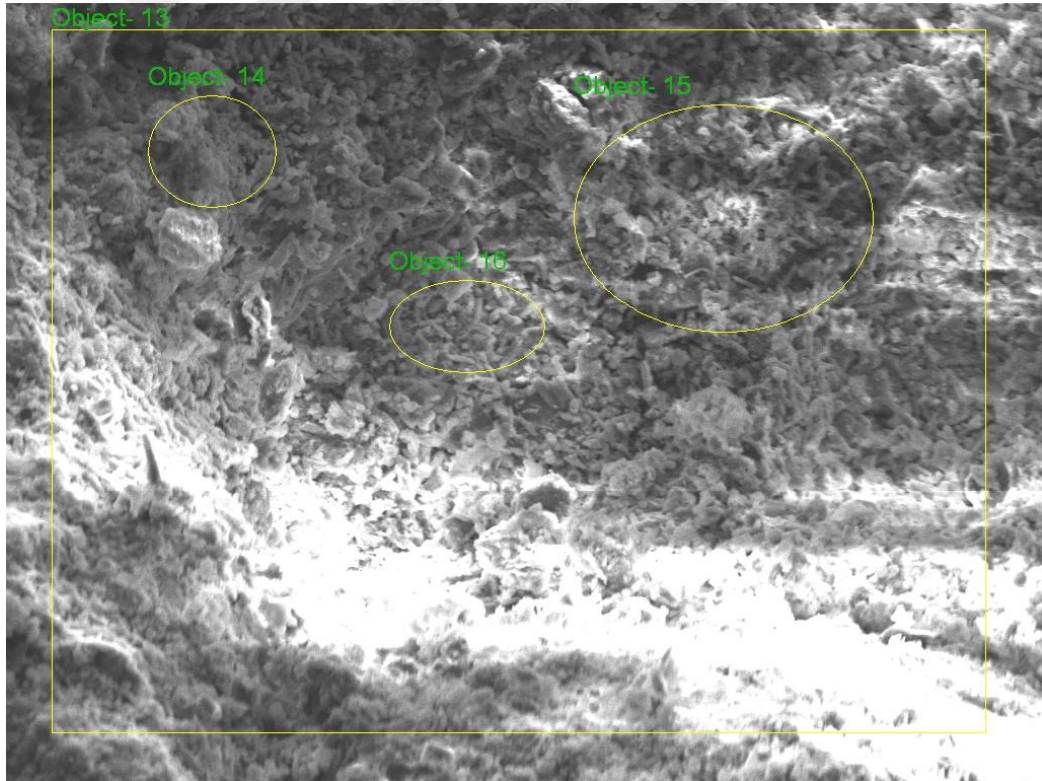
Şekil 31’de bulunan çizgi grafiği incelendiğinde 27 farklı numunede yapılan ultrasonik ses hızı deneyi sonucunda birim hacim ağırlık ile ultrasonik ses hızı değerlerinin orantılı olduğu sonucuna varılmıştır. Yapılan bir başka çalışmada;

Merve Güneri yüksek lisans tezi kapsamında ayçiçeği sapı ilavesi ile kerpiç malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerinin araştırılması kapsamında yapılan çalışmada lif oranı %0,75 olan numunenin ultra ses geçiş hızı %0,6 oranında, %1 lif içeren numunenin ultra ses geçiş hızının %2,8 oranında, %1,25 lif içeren numunenin ise ultrases geçiş hızının %6 oranında azaldığı tespit edilmiş ve bu azalışın sebebinin artan lif içeriği ile birlikte gözeneklilik oranının optimum düzeyin üstünde olduğu gözlemlenmiş ve gözeneklilikteki artışın artması ultrasonik hızının düşmesine neden olduğu sonucuna varılmıştır. Yani gözeneklilik ile ultrasonik hız arasında ters orantı olduğu sonucuna varılmıştır (Güneri, 2023).

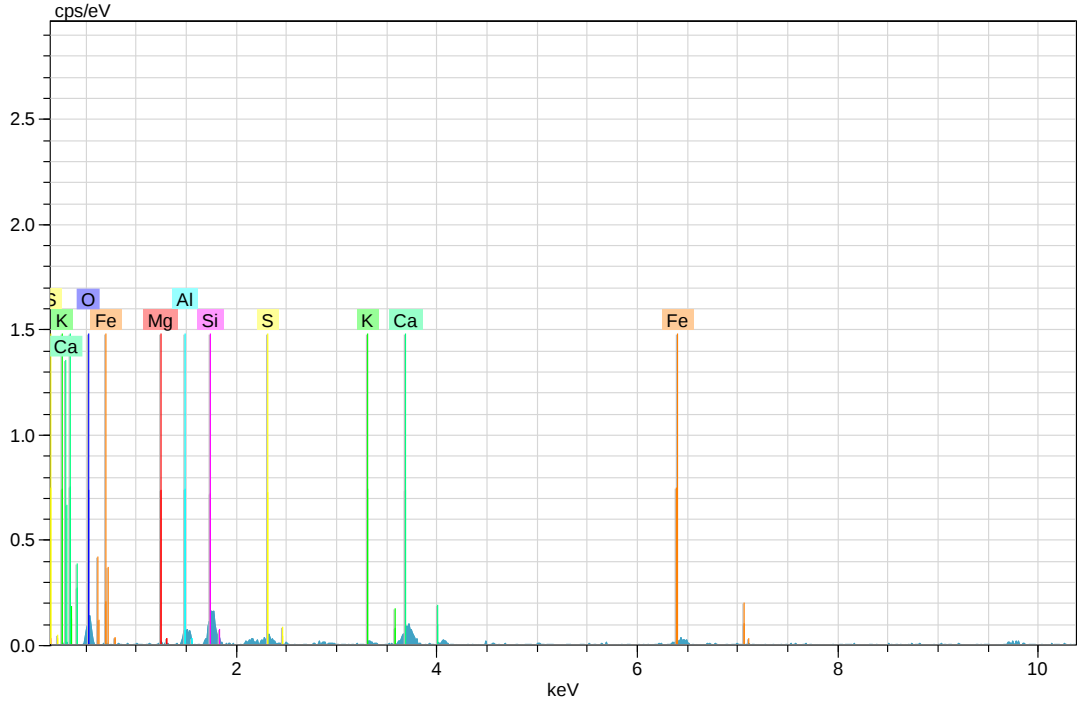
4.3 Mikro Yapı İncelemeleri

4.3.1 Sem-edx analizi

Dayanım artışına neden olan hidratasyon ürünü kalsiyum silikat hidrat (C-S-H) SEM görüntülerinde ağımsı bir görüntüye sahiptir. SEM-EDX analizleri kapsamında en düşük basma ve eğme dayanımı değerlerine sahip numunelerden biri olan 16-A10-K2,5-UK20 numune ile en yüksek basma ve eğme dayanımına sahip 20-A15-K5 numune karşılaştırmalı olarak incelendi (Şekil 32 ve Şekil 34). Şekil 32 ve Şekil 34 kıyaslandığında daha yüksek basınç dayanımına sahip A15-K5 numunesinin EDX analizinde yüksek oranda Kalsiyum (Ca), Silikat (Si) ve Oksit (O) atomlarının yer alması daha yüksek C-S-H ürünün oluşturduğunu ve dayanımının yüksek olduğunu göstermektedir.

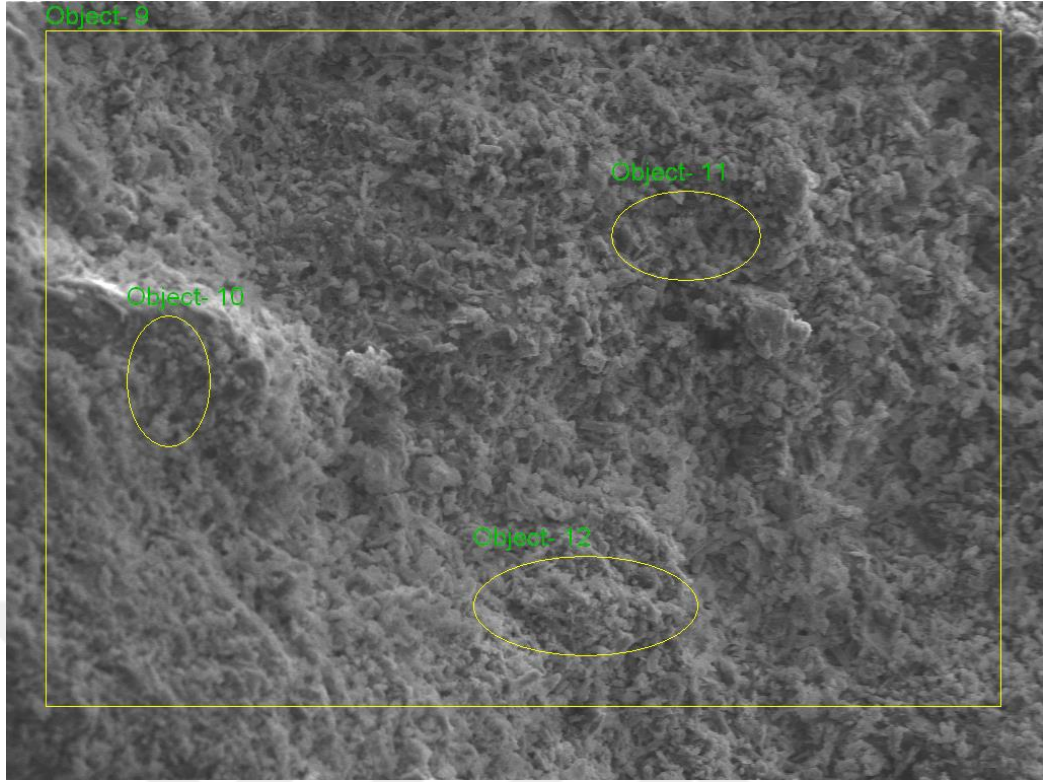


Şekil 32. 16 numaralı A10-K2,5-UK20 numunesinin SEM görüntüsü

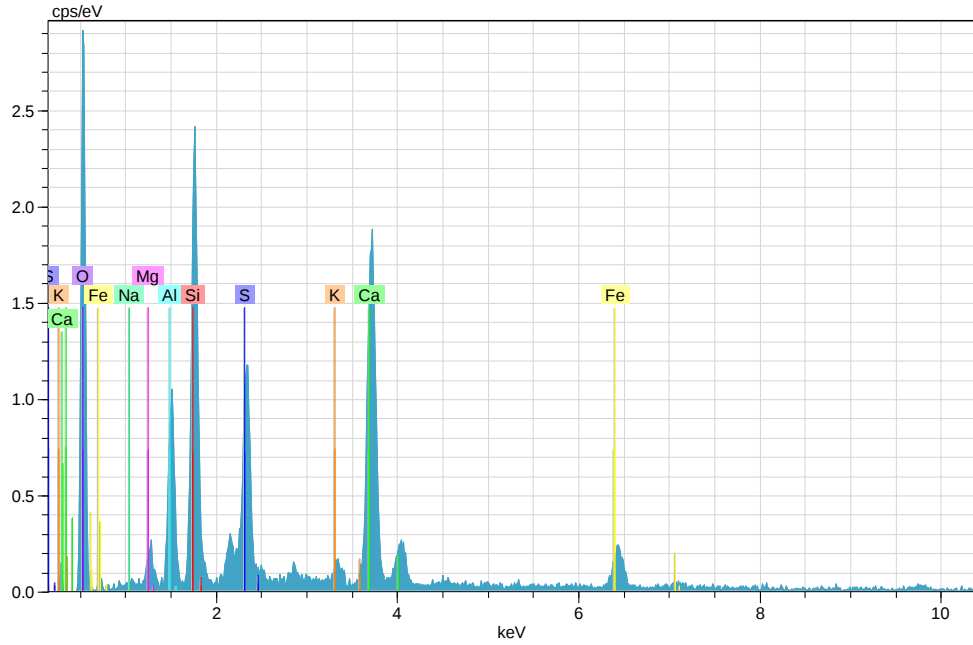


Şekil 33. 16 numaralı A10-K2,5-UK20 numunesinin EDX analiz grafiği

Doğada nadiren bulunan ancak önemli bir hidrasyon ürünü olan Etrenjit, hidratlanmış bir kalsiyum alüminyum sülfat hidroksittir C-A-S-H ($\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH}) \cdot 12.26\text{H}_2\text{O}$) bir mineraldir. Şekil 32’de EDX sonucuna göre Ca, Al, Si bulunması etrenjit oluşumuna işarettir. Dayanıma etkisi olmayan Etrenjit hacimsel genleşme meydana getirdiğinden dolayı durabiliteyi olumsuz etkileyen ürün olarak bilinmektedir. Uçucu külün alüminat içeriği, topraktakinden düşük olması uçucu kül kullanımının etrenjit miktarını azaltarak durabiliteyi artırabileceği düşünülmektedir.



Şekil 34. 20 numaralı A15-K5 numunesinin SEM görüntüsü



Şekil 35. 20 numaralı A15-K5 numunesinin EDX analiz grafiği

A15-K5 ve A10-K2,5-UK20 numuneleri için EDX analiz sonucu Tablo 13’de verilmiştir.

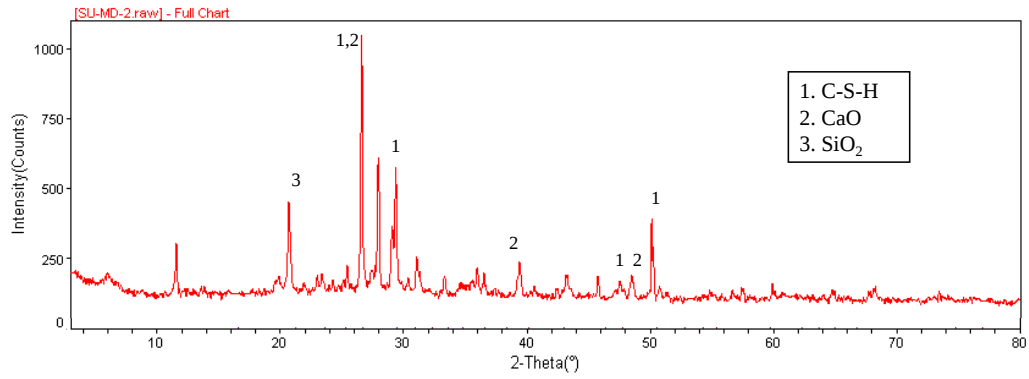
Tablo 13. EDX analizine göre elementlerin kütlece oranı (%)

Numune No	Ca	Si	S	Fe	Al	Mg	K	Na	O
20-A15-K5	12,39	8,29	5,22	4,72	3,47	0,44	0,37	0,01	65,08
16-A10-K2,5-UK20	1,74	1,63	0,33	1,90	0,73	0,01	0,07	-	93,58

Tablo 13’de Edx analiz sonucuna göre dayanım için önemli olan kalsiyum, silikat, hidrat (C-S-H) A15-K5 numunesinde daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Mekanik deneylerde dayanımın A15-K5 numunesinde yüksek çıkmasını desteklemektedir.

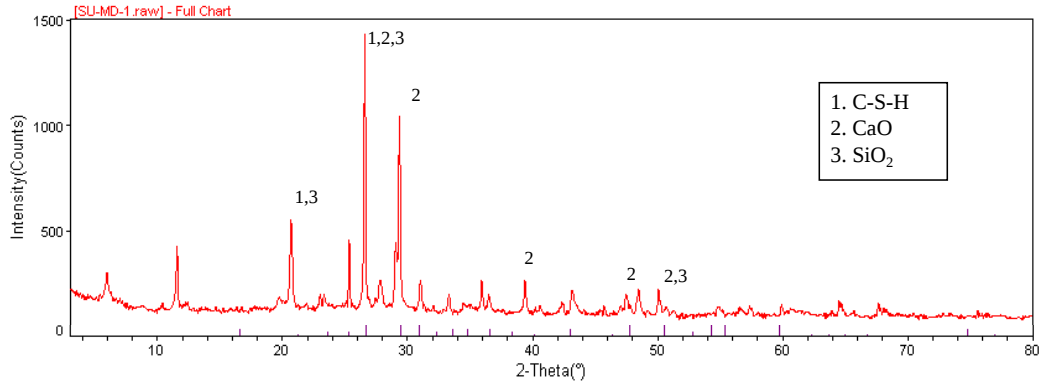
4.3.2 Xrd analizi

Tasarımların bağlayıcılık ürünlerinin karşılaştırılması için XRD faz analizleri yapıldı. Deneyde bağlayıcılığı etkisi olan kalsiyum-silikat-hidrat (C-S-H), kalsit (CaO) ve silikat (SiO₂) fazları dikkate alınmıştır



Şekil 36. 16 nolu numune A10-K2,5-UK20 ait XRD faz analizi

Şekil 36’da göre A10-K2,5-UK20 numunede 2 theta açılarında C-S-H ve SiO₂ pikleri oluştuğu ayrıca 8 adet CaO pikleri oluştuğu tespit edildi.



Şekil 37. 20 nolu numune A15-K5 ait XRD faz analizi

Şekil 36 ve Şekil 37 verilen XRD grafikleri şiddet olarak karşılaştırıldığı zaman A15-K5 numunesinin dayanım artıran piklerin şiddeti A10-K2,5-UK20 numunesinden yüksek olduğu görülmektedir. Deneyde kullanılan Silopi uçucu külünün SiO_2 içeriği ikame edildiği topraktaki değerden düşük olması, rötre çatlaklarının önüne geçilmesi adına düşük miktarda su kullanılması ve hava kürü uygulanması uçucu külün dayanım artıracak C-S-H bağını oluşturmada zayıf kalmasına neden olduğu düşünülmektedir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Toprak yapıların geçmişten günümüze barınma ihtiyacını karşılamak amacı ile en çok kullanılan yapı tipi olduğuna fakat zayıf yönlerinin olduğuna ve bunlardan dolayı TBDY 2018’de toprak, kerpiç yapılara izin verilmediği görülmektedir.

Toprak ile bağlayıcı olarak kullanılan alfa alçı az su kullanımı sayesinde rötre çatlakları oluşturmadığı gibi kireç ile beraber kullanıldığında sıkıştırılmış toprağın mekanik değerlerini iyileştirdiği sonucuna varılmıştır.

Toprak yapıların geri dönüştürülebilir çevreci, sağlıklı, ekonomik oluşu gibi avantajları göz önüne alındığında toprak yapıların zayıf yönlerini çeşitli bağlayıcı malzemeler kimyasal ve mineral katkılar ile güçlendirilebileceği, yapılan çalışmalar ile kanıtlanmıştır. Bu bağlamda toprak yapının dayanımının artırılması ile kütlece kullanımının düşürülebileceği, böylelikle daha ince yığma duvar örülmesine olanak sağlanarak yapı hafifletilmiş olacağı sonucuna da varılmıştır. Bu doğrultuda yapılan Alker malzemesinin geleneksel kerpice oranla ne kadar mukavemetli olduğu görülmüştür. Ancak Alker malzemesine Silopi uçucu kül katkısının beklenildiği ölçüde olumlu bir etki yaratmadığı tespit edilmiştir.

Deneylerde kullanılan Silopi uçucu külünün $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ (S+A+F)= %39,84 < %70 olduğu için TS 639 ve ASTM C618 standartlarına göre kaliteli bir uçucu kül olmadığını göstermektedir. Dayanımı artırmada kullanılacak olan uçucu külün S+A+F miktarı %70’den fazla olan F sınıfı bir uçucu kül olması önerilmektedir. Ayrıca dayanımı artıran C-S-H gibi hidratasyon ürünlerini artırmak için hava kürü yerine Alker numuneleri nemli bez ile sararak kür etmek dayanımı artırmada fayda sağlayacağı düşünülmektedir.

EDX analizleri dayanım artıran Kalsiyum ve silis elementlerinin ağırlıkça varlığı uçucu kül kullanılmayan A15-K5 numunesinde fazla olduğunu göstermiştir.

XRD faz analizleri A15-K5 numunesinin dayanım artıran C-S-H bağına bağlı piklerin şiddeti uçucu kül kullanılan A10-K2,5-UK20 numunesinden yüksek olduğunu göstermiştir.

EDX ve XRD analizleri değerlendirildiğinde toprakta SiO_2 miktarının Silopi uçucu külündekinden fazla olduğu buna bağlı olarak uçucu külün toprak ile ikame edilmesi durumunda numunelerde C-S-H bağını zayıflamasına neden olduğu düşünülmektedir.

Yapılan deneysel çalışma, %15 alçı ve %5 kireç ikame edilen A15-K5 olan 20 nolu Alker tasarımının basınç dayanımı en yüksek tasarım olduğunu göstermiştir. Bu tasarımın kerpice oranla %432, sıkıştırılmış toprağa göre %120 artış sağladığı tespit edilmiştir.



KAYNAKÇA

- Acun, S., Ve Gürdal, E. (2003). Yenilenebilir bir malzeme: kerpiç ve alçılı kerpiç. Türkiye Mühendislik Haberleri, 5, 71-77
- Aghazadeh, E. (2011). Kireç ve alçı içeren toprak yapı elemanlarının fiziksel ve mekanik zellikleri. Doktora, İstanbul Teknik Üniversitesi. İstanbul.
- Aktaş, V. (2020). Barak kerpiç konut mimarisinin sürdürülebilirlik açısından değerlendirilmesi. Yüksek lisan tezi. Hasan Kalyoncu Üniversitesi. Gaziantep.
- Alibeyoęlu, R. N., Ve kten, M. S. (2021). Sıkıştırılmış toprak yapılar üzerine bir inceleme. Türkiye evrimii Tasarım Sanatı ve İletişim Dergisi, 11(3), 1036-1057.
- Aruntaş, H. (2006). Uçucu küllerin inşaat sektöründe kullanım potansiyeli. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 21(1).
- Aydınay, B. (2002). Donatılı ve donatısız Alker duvarların kayma dayanımı üzerine deneysel bir araştırma. Yüksek lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Binici, H, Durgun, M, Yardım, Y., (2010). Kerpiç yapıların avantaj ve dezavantajları, 293, 80-88.
- Binici, H., Durgun, M. Y., Ve Yardım, Y. (2010). Kerpiç yapılar depreme dayanıksız mıdır? Avantajları ve dezavantajları nelerdir? KS Mühendislik Bilimleri Dergisi, 13(2), 3-9.
- Bozyel, Saatçi, (2022). Betonarme kullanıcılarının kerpiç yapılar hakkındaki görüşlerinin bilimsel veriler doğrultusunda incelenmesi. Yüksek Lisans. Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi. İstanbul.
- Bke, H., Akkurt, S., Ve İpekoğlu, B. (2004). Tarihi yapılarda kullanılan Horasan harcı ve sıvalarının zellikleri. Yapı Dergisi, 269, 90-95.
- Çavuş, M., Dayı, A. G. M., Ulusu, H., Ve Aruntaş, H. Y., (2015). Sürdürülebilir bir malzemesi olarak kerpiç. Sürdürülebilir Binalar Sempozyumu. Mayıs.
- Coşkun, M. (2005). Alker (alçı katkılı kerpiç) teknolojisinin püskürtme beton (shotcrete) tekniği ile uygulanabilirliğinin basınç dayanımı açısından

deneysel değerlendirmesi. Yüksek lisans tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi. İstanbul.

Değirmenci, N. (2005). Endüstriyel Atıkların Kerpiç Stabilizasyonunda Kullanılması. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 18(3), 505-515.

Doęruiyol, Durmaz, Gönül, Hansu, Tunçel, Yılmaz, Altun, (2022). Uçucu kül katkılı alçılı kerpiç (alker) yapı malzemesinin mekanik performansı ve Siirt ili yapılarında kullanılabilirliğinin araştırılması. SİU BAP Projesi, SİİRT

Görhan, G., Kahraman, E., Başpınar, M. S., Ve Demir, İ. (2008). Uçucu kül bölüm I: oluşumu, sınıflandırılması ve kullanım alanları. Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, 4(2), 85-94.

Güleç, A., Acun, S., Ve Ersen, A. (2005). A Characterization method for the fifth-century traditional mortars in the Land Walls of Constantinople, Yedikule. Studies in conservation, 50(4), 295-306.

Güneri, M. (2023). Ayçiçeği sapı ilavesi ile kerpiç malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerinin araştırılması. Yüksek lisans tezi. Trakya Üniversitesi. Edirne.

Gürfidan, A. (2007). Safranbolu evlerinde kullanılan kerpiç malzemenin yüksek fırın cürufu ile iyileştirilmesi. Yüksek lisans tezi. Sakarya Üniversitesi. Sakarya

Hasan, G. Ve Koç, C. (2022). Kuzey Suriye’de iç mülteciler için konut üretiminde kerpiç malzemenin rolü. Mimarlık Bilimleri ve Uygulamaları Dergisi, 7 (1), 442-463.

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.

Kafesçioğlu, R. (2017). Çağdaş yapı malzemesi toprak ve Alker, 1. 1-278

Kafesçioğlu, R., Gürdal, E., Toydemir, N., Ve Özuer, B. (1980). Yapı malzemesi olarak kerpiciin alçı ile stabilizasyonu. Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu Mühendislik Araştırma Gurubu, 505, 22-30.

Kafesçioğlu, R., Ve Gürdal, E. (1985). Çağdaş yapı malzemesi-Alker-alçılı kerpiç. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Enerji Dairesi Başkanlığı. Ankara.

- Kaplan, G., ve Gültekin, A. B. (2010). Yapı sektöründe uçucu kül kullanımının çevresel ve toplumsal etkiler açısından incelenmesi. Uluslararası Sürdürülebilir Binalar Sempozyumu. Mayıs, 26-28.
- King, B., (2008). Toprak mimarisinin yeniden doğuşu. Uluslararası Yığma Sistem Konferansı. İstanbul, 5-7 Kasım 2008.
- Koçu, N., Ve Korkmaz, S. Z. (2004). Kerpiç malzeme ile üretilen yapılarda deprem etkilerinin tespiti. Kampüs dergisi. Konya.
- Kuşaslan, D. (2002). Yapıda durabilite ve hasar analizi, alçı kerpiç yapı örneği üzerinde incelenmesi. Doktora tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi. İstanbul.
- Leblebici, Y., Ve Akıncı, A. (2020). Ekolojik yeni nesil kerpiç. Bilim armonisi, 4(2), 12-19.
- Mavi, Ö. (2000). Kireç harç ve sıvaların fiziksel ve mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi. Yüksek lisans tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi. İstanbul.
- Özcan S. (2021). Alker (alçı katkılı kerpiç) teknolojisinin endüstrileşmede hız ve kalite açısından değerlendirilmesi. Yüksek Lisans tezi. Hasan Kalyoncu Üniversitesi. Gaziantep.
- Özgünler, M (2017), kırsal sürdürülebilirlik bağlamında geleneksel köy evlerinde kullanılan toprak esaslı yapı malzemelerinin incelenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Mimarlık Bilimleri Ve Uygulamaları Dergisi. 2, 33-41.
- Özgünler, S. A., Ve Gürdal, E. (2012). Düünden bugüne toprak yapı malzemesi: Kerpiç. Restorasyon ve Konservasyon Çalışmaları Dergisi, (9), 29-37.
- Pekmezci, B. Y., Kafesçioğlu, R., Ve Agahzadeh, E. (2012). Improved performance of earth structures by lime and gypsum addition, Metu Jfa, 2, 205-221
- Schroeder, H., Schwarz, J., Chakimov, S. A., Ve Tulaganov, B. A. (2005). Traditional and current earthen architecture in Uzbekistan. Proceedings of the Earthen Architecture in Iran and Central Asia: Its Conservation, Management, and Relevance to Contemporary Society.

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

Tuztaş, U., Ve Çobancaoğlu, T. (2006). Anadolu’da kerpicing kullanım geleneği ve kerpiç konut yapım sistemlerinin karşılaştırılması. Tasarım+ Kuram, 3(5), 95-104.

Uysal, F. F., Ve Bahar, S. (2018). Cüruf çeşitleri ve kullanım alanları. Trakya Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 19(1), 37-52.

Yardımlı, S. (2021). Çevreci yaklaşımlarda malzeme ve yapım tekniği; çağdaş kerpiç yapılar. Kent Akademisi Dergisi, 14(2), 389-413.

