

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KİREÇ VE ALÇI İÇEREN TOPRAK YAPI ELEMANLARININ FİZİKSEL  
VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Ebrahim AGHAZADEH**

**Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği**

**Programı : Yapı Mühendisliği**

**HAZİRAN 2011**



**Sevgili annem, babam ve kardeşlerime,**



## ÖNSÖZ

Okul hayatım boyunca her zaman yanımda olan, başta annem ve babam, Mahboubeh ve Ahmad AGHAZADEH, kardeşlerim olmak üzere yüksek öğrenim sırasında benden desteğini eksik etmeyen aileme,

Tez çalışmalarımnda bilgi ve birikimlerini benimle paylaşıp çoğu zaman beni olası hatalara düşmeden uyararak ve her zaman uyarılarında haklı çıkan değerli danışmanım Yrd. Doç. Dr. Bekir Yılmaz PEKMEZCİ'ye, deneysel çalışmalar sırasında bana yardımcı olan İTÜ Yapı Malzemesi Laboratuvar'ı çalışanlarına teşekkürü bir borç bilirim.

Haziran 2011

Ebrahim AGHAZADEH  
(İnşaat Mühendisi)



## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>v</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>vii</b>
<b>ÇİZELGE LİSTESİ</b> .....	<b>vii</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	<b>xiii</b>
<b>ÖZET</b> .....	<b>xv</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>xvii</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1 Amaç .....	1
1.2 Kapsam.....	2
1.3 Yöntem.....	2
<b>2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI</b> .....	<b>3</b>
2.1 Toprak Yapılar .....	3
2.1.1 Tarihte toprak yapılar .....	3
2.1.1.1 Afrika.....	5
2.1.1.2 Avrupa ve Akdeniz.....	7
2.1.1.3 Ortadoğu.....	8
2.1.2 Günümüzde toprak yapılar .....	13
2.2 Toprağın Yapı Malzemesi Olarak Kullanılması - Kerpiç .....	15
2.2.1 Toprak .....	16
2.2.1.2 Toprağın yapısı ve dokusu .....	17
2.2.1.2 Toprağın bileşenleri .....	18
2.2.1.3 Toprağı oluşturan kil minerallerinin yapısı ve özellikleri.....	20
2.2.1.4 Kilin suyla olan ilişkisi ve su içeriği .....	24
2.2.2 Geleneksel kerpiçin yapım tekniği.....	27
2.2.3 Kerpiçin yapı malzemesi olarak üretim yöntemleri .....	27
2.2.3.1 Tuğla örme tekniği (blok kerpiç) .....	29
2.2.3.2 Yerinde döküm tekniği (yığma kerpiç) .....	31
2.2.3.3 Omurgalı kerpiç tekniği .....	32
2.2.4 Kerpiç kullanımının sağladığı yararlar.....	36
2.2.5 Geleneksel kerpiç malzemenin özellikleri ve kullanımının sakıncalı yönleri.....	37
2.3 Yapı Malzemelerinde Hasar Oluşumu .....	39
2.3.1 Malzeme dayanımları.....	39
2.3.2 Mekanik etkenler.....	40
2.3.2.1 Düşey yük.....	40
2.3.2.2 Düzlem dışı yük .....	40
2.3.2.3 Kayma (makaslama) ve basınç-çekme etkisi .....	42
2.3.3 Fiziksel etkenler.....	41
2.3.3.1 Sıcaklık ve rötre.....	41
2.3.3.2 Nem etkileri.....	42
2.4 Kerpiçin Sağlamlaştırılması .....	42
2.4.1 Mekanik iyileştirme .....	42
2.4.1.1 Granülometrinin iyileştirilmesi .....	42

2.4.1.2 Kompaksiyon (sıkıştırma) ile sağlamlaştırma.....	42
2.4.1.3 Toprağın dinlendirilmesi ve kendi bünyesinde iyileştirilmesi .....	42
2.4.2 Fiziksel iyileştirme .....	43
2.4.2.1 Lif Donatı ile sağlamlaştırma .....	43
2.4.3 Kimyasal iyileştirme .....	43
2.4.3.1 Çimento ile sağlamlaştırma .....	43
2.4.3.2 Kireç ile sağlamlaştırma .....	44
2.4.3.3 Bitüm emülzeri katkı ile sağlamlaştırma.....	45
2.4.3.4 Çeşitli endüstri atıkları katkısı ile sağlamlaştırma .....	45
2.4.3.5 Alçı ile sağlamlaştırma .....	45
2.5 Alçı ve Kireçle (ALKER) Sağlamlaştırılmış Kerpiç.....	46
2.5.1 Alkerin üretim süreci.....	46
2.5.1.1 Toprak seçimi .....	46
2.5.1.2 Su oranının belirlenmesi.....	47
2.5.1.3 Karışımın hazırlanması .....	47
2.5.1.4 Kalıplama.. .....	47
2.5.2 Alkerin mekanik ve fiziksel özellikleri .....	48
<b>3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....</b>	<b>51</b>
3.1 Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri .....	51
3.1.1 Toprak .....	51
3.1.2 Alçı.....	51
3.1.3 Kireç.....	51
3.1.4 Karışım suyu .....	51
3.2 Numunelerin Deneylere Hazırlanması .....	52
3.2.1 Toprak seçimi .....	52
3.2.2 Kalıpların hazırlanması .....	57
3.2.3 Karışımın hazırlanması .....	58
3.2.4 Karışımın kalıplara dökülmesi .....	58
3.2.5 Kürleme .....	60
3.3 Numuneler Üzerinde Yapılan Deneyler .....	60
3.3.1 Basınç dayanımı deneyi .....	60
3.3.1.1 Prizma numunelerde basınç dayanımı deneyi.....	60
3.3.1.2 Silindir numunelerde basınç dayanımı deneyi .....	61
3.3.2 Su emme deneyi .....	63
3.3.3 Rötren deneyi.....	64
3.3.4 Eğilme deneyi ve kırılma enerjisi hesabı .....	64
3.3.5 Isı iletkenlik deneyi.....	65
3.3.6 Kayma dayanımı deneyi.....	66
<b>4. DENEY SONUÇLARI.....</b>	<b>71</b>
4.1 Basınç Dayanımı Deneyi Sonuçları .....	71
4.1.1 Prizma numunelerde basınç dayanımı deneyi sonuçları .....	71
4.1.2 Silindir numunelerde basınç dayanımı deneyi sonuçları.....	71
4.2 Kılcal Su Emme Deneyi Sonuçları.....	71
4.2.1 Kılcal su emme miktarı .....	71
4.2.2 Kılcallıkta Islaklık Boyutu ( numune boyutu 280 x 70 x 70 mm ) .....	72
4.3 Rötren Deneyi Sonuçları .....	73
4.4 Isı İletkenlik Deneyi Sonuçları.....	73
4.5 Eğilme Deneyi ve Kırılma Enerjisi Hesabı Sonuçları.....	73
4.6 Kayma Dayanımı Deneyi Sonuçları.....	74
<b>5. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ .....</b>	<b>75</b>

5.1 Basınç Dayanımı Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi .....	75
5.1.1 Prizma numunelerde basınç dayanımı deneyi sonuçları değerlendirilmes .	75
5.1.2 Silindir numunelerde basınç dayanımı deneyi sonuçları değerlendirilmesi	75
5.2 Kılcalık ve Su Emme Deneyi Sonuçları Değerlendirilmesi .....	76
5.2.1 Numunelerin kılcalık değerlendirilmesi .....	76
5.2.2 Islaklık boyutu (280 x 70 x 70 mm) değerlendirilmesi.....	81
5.3 Rötire Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi .....	82
5.4 Isı İletkenlik Deneyi Sonuçları.....	83
5.5 Eğilme Deneyi ve Kırılma Enerjisi Hesabı Sonuçları.....	83
5.6 Kayma Dayanımı Deneyi Sonuçları.....	85
<b>6. GENEL SONUÇLAR .....</b>	<b>89</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>91</b>



## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

Çizelge 2.1 : Malzeme va çap sınırları. ....	17
Çizelge 2.2 : Alkerin mekanik ve fiziksel özellikleri. ....	49
Çizelge 2.2 : Geleneksel kerpiç ile alçı katkılı kerpiç farkları. ....	49
Çizelge 4.1 : Pirizma basınç deneyi sonuçları. ....	71
Çizelge 4.2 : Silindir basınç deneyi sonuçları. ....	71
Çizelge 4.3 : Kılcal su emme miktarı. ....	72
Çizelge 4.4 : Islaklık boyutu değerleri.....	72
Çizelge 4.5 : Rötrenin deneyi sonuçları. ....	73
Çizelge 4.6 : Isı iletkenlik deneyi sonuçları.....	73
Çizelge 4.7 : Eğilme enerjileri ve eğilme dayanımları sonuçları.....	73
Çizelge 4.8 : Rijitlik Modülü (MPa).....	74



## ŞEKİL LİSTESİ

sayfa

Şekil 2.1 : Eski Golpa Camisi (İran).....	4
Şekil 2.2 : Sarvestan (İran). ....	4
Şekil 2.3 : Burkino Faso (Coockson, B. C, Living in Mud).....	6
Şekil 2.4 : İmhotep Tapınağı Afrika. ....	6
Şekil 2.5 : Çankırı (Kafesçioğlu arşivi). ....	9
Şekil 2.6 : Harran(Coockson, B. C, Living in Mud) ....	10
Şekil 2.7 : Gonbad-e Qabus (Gülistan-İran) . . .	11
Şekil 2.8 : Sheikh Lotf Allah Camisi (İsfahan-İran).....	11
Şekil 2.9 : Bam Şehri (İran).....	12
Şekil 2.10 : Bam Şehri (İran). ....	12
Şekil 2.11 : Şiraz Botanik Bahçesi(İran). ....	13
Şekil 2.12 : İZMİR/Altınoluk- 3. Deneme Evi - Proje - Uygulama. ....	14
Şekil 2.13 : Toprağın ana horizonları ....	16
Şekil 2.14 : Kaolinit mineralinin kimyasal yapısı . . .	20
Şekil 2.15 : Montmorillonit mineralinin kimyasal yapısı.....	22
Şekil 2.16 : İllite mineralinin kimyasal yapısı. ....	23
Şekil 2.17 : Şerit Deneyi. ....	28
Şekil 2.18 : Küre Deneyi ....	29
Şekil 2.19 : Tuğla örme tekniği (blok kerpiç) . . .	30
Şekil 2.20 : Kerpicin kalıba yerleştirilmesi, yüzeyinin düzeltilmesi ve kalıptan çıkarılması.....	31
Şekil 2.21 : İTÜ-TOKİ 622, yapı 1995.....	32
Şekil 2.22 : Püskürtme ile uygulanan toprak yapılar. ....	33
Şekil 2.23 : Püskürtme ile uygulanan toprak yapılar. ....	34
Şekil 2.24 : Püskürtme ile uygulanan toprak yapılar. ....	34
Şekil 2.25 : Püskürtme ile uygulanan toprak yapılar. ....	35
Şekil 2.25 : Hafif toprak yapılar . . .	35
Şekil 2.27 : Hafif toprak yapılar. ....	36
Şekil 2.28 : Depreme Dayanıklı Örnekler. ....	41
Şekil 3.1 : Ayazağa Arazisi Toprağının Granülometri Eğrisi.....	51
Şekil 3.2 : Ayazağa Arazisi Toprağı.....	52
Şekil 3.3 : Labaratuardaki toprak.....	53
Şekil 3.4 : Kum.....	53
Şekil 3.5 : Hidrometry Analizi . . .	54
Şekil 3.6 : Elekler. ....	55
Şekil 3.7 : Elekler . . .	55
Şekil 3.8 : Ayazağa Arazisi Toprağının Granülometri Eğrisiyle İdeal Granülometri Eğrisinin karşılaştırılması.....	56
Şekil 3.9 : Ayazağa Arazisi Toprağının Granülometri Eğrisi, İdeal Granülometri Eğrisi ve Kumun Granülometrik Eğrisi.....	56

Şekil 3.10 : Alternatif karışım oranları.....	57
Şekil 3.11: Silindir kalıp .....	57
Şekil 3.12 : Plak kalıp .....	57
Şekil 3.13 : Prizma ve blok kalıplar.....	57
Şekil 3.14 : Tartı. ....	58
Şekil 3.15 : Karıştırıcı.....	58
Şekil 3.16 : Kalıba konulmuş numuneler.....	59
Şekil 3.17 : Kalıba konulmuş numuneler.....	59
Şekil 3.18 : Numunelerde alt ve üst başlık yapılması .....	60
Şekil 3.19 : Başlıklı numuneler.....	60
Şekil 3.20 : Başlıklı numuneler.....	61
Şekil 3.21 : silindir numune.....	62
Şekil 3.22 : silindir numunede çatlak oluşumu.....	62
Şekil 3.23 : silindir numunede çatlaklar. ....	62
Şekil 3.24 : Silindirlerin patlamasi .....	63
Şekil 3.25 : Dört farklı numune ... ..	63
Şekil 3.26 : numuneler plastik kaptaki.....	63
Şekil 3.27 : Numunelerin altına demir ızgara ve suyun konulması.....	64
Şekil 3.28 : Rötire ölçümü çerçeve sistemi. ....	64
Şekil 3.29 : Üç noktalı Temsili Mesnet. ....	65
Şekil 3.30: Eğilme deneyi kurulumu. ....	65
Şekil 3.31 : Numune .....	66
Şekil 3.32 : Numunelerin çizgisel görünümü ... ..	67
Şekil 3.33 : Alt ve üst başlık.....	67
Şekil 3.34 : Alt ve üst başlık.....	68
Şekil 3.35 : Numune. ....	68
Şekil 3.36 : LVDT yerleştirilmesi .....	68
Şekil 3.37 : Numunenin üzerine yapılan deney.....	69
Şekil 3.38 : Numunede Kayma oluşumu. ....	69
Şekil 3.39 : Numunenin kayma sonrası. ....	69
Şekil 5.1 : Prizma numunelerde basınç dayanımı.....	75
Şekil 5.2 : Silindir numunelerde basınç dayanımı ... ..	76
Şekil 5.3 : Katkısız numunede tarama ile zaman arasındaki grafiği.....	77
Şekil 5.4 : Katkısız numunenin çökmesi .....	77
Şekil 5.5 : %10 Alçı numunede tarama ile zaman arasındaki grafiği.....	78
Şekil 5.6 : %10 Alçılı numunenin 60.dakikadan önce çökmesi .....	78
Şekil 5.7 : %10 Alçılı numunenin 60.dakikadan önce çökmesi .....	79
Şekil 5.8 : %10 Alçı , %2.5 Kireç numunede tarama ile zaman arasındaki grafiği. 79	
Şekil 5.9 : %10 Alçı , %2.5 Kireç numunede çökme meydana gelmemiş ... ..	80
Şekil 5.10 : %10 Alçı , %5 Kireç numunede Ağırlık artış ile zaman grafiği. ....	80
Şekil 5.11 : %10 Alçı , %5 Kireç numunede çökme meydana gelmemiş. ....	81
Şekil 5.12 : Numuneler boyut değişimi. ....	81
Şekil 5.13 : Numunelerin son boyutları .....	81
Şekil 5.14 : Islaklık Boyutu değerlendirilmesi. ....	82
Şekil 5.15 : Rötire Deneyi Sonuçlarının değerlendirilmesi .....	82
Şekil 5.16 : Numunelerin Yük-Sehim İlişkisi .....	83
Şekil 5.17: Numunelerin kırılma enerjisi sonuçları.....	84
Şekil 5.18 : Numunelerin eğilme dayanımı sonuçları.....	85
Şekil 5.19 : Numunelerin kayma gerilme ve kayma kesme grafiği.....	86
Şekil 5.20 : Numunelerin Rijitlik Modülü grafiği. ....	87

## **KIREÇ VE ALÇI İÇEREN TOPRAK ELEMANLARININ FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ**

### **ÖZET**

Toprak yapılar Mezopotamya bölgesi başta olmak üzere, tarihten bu yana dünyanın bir çok bölgesinde öncelikle barınma ihtiyacını gidermek için uygulanmıştır. Toprağın yapı malzemesi olarak kullanılması diye adlandırılan kerpicingin yüksek termal performansı, düşük maliyetli üretimi ve sağlıklı olması yararlı yönleri olarak nitelendirilebilir. Fiziksel olarak suya ve rutubete karşı çok duyarlı olan geleneksel kerpiç yapılar, mekanik olarak da zayıf, ağır ve kırılabilir olmasından dolayı, düşey ve yatay yüke karşı koyma dayanımı düşüktür. Bu tez kapsamında, 1980 yılında İ.T.Ü.'de Ruhi Kafesçioğlu ve ekibinin araştırdığı ve MAG505 projesi kapsamında Tübitak'ın kabul ettiği Kerpicingin alçı ile stabilizasyonu olan ALKER'in mekanik ve fiziksel özelliklerinin araştırılması ile ilgili araştırma ve deneysel çalışmalar yapılmıştır. Bu tez 1980'den bu yana süren Alker ile ilgili araştırmaların devamı olarak görülebilir. Bu araştırma kapsamında granülometrisi düzeltilen toprak ile %10 alçı - % 2.5 kireç katkı, %10 alçı - % 5 kireç katkı, %10 alçı katkı ve katkısız olarak 4 farklı numune üretilmiştir. Üretilen bu numuneler üzerinde kuruma sürecinde rötre deneyi, kuruduktan sonra basınç dayanımı deneyi, su emme deneyi, ısı iletkenlik deneyi, kayma dayanımı deneyi ve eğilme deneyi ve kırılma enerjisi hesabı yapılmıştır. Bu deneyler için farklı boyutlarda toplam 51 numune üretilmiştir. Kırılma enerjisinin ve eğilme dayanımının belirlenmesi için RILEM TC 50-FMC Teknik Komitesinin önerisine göre numuneler üzerinde üç noktalı eğilme deneyleri yapılmıştır. Basınç dayanımı belirlemek için silindirik ve prizmatik numuneler üretilmiş, 100 ton kapasiteli pres makine kullanılarak basınç deneyleri yapılmıştır. Katkı ve katkısız kerpicingin su emme kapasitesinin belirlenmesi için ve Kayma dayanımının belirlenmesi için farklı boyutlarda numuneler yapılmıştır.

Bu şekilde katkı ve katkısız kerpicingin, su emme kapasitesi, rötre, kırılma enerjisi, net eğilme dayanımı, basınç dayanımı, rijitlik modülü ve kayma dayanımı gibi, kırılma parametreleri incelenmiştir. Geleneksel kerpiçle kıyaslandığında, alçı ve alçı- kireç katkı numunelerin su karşısındaki dirençleri iyileşmiştir. Kireç katkı numunelerde kireç artış oranına göre suyun artış hızı da doğru orantılı olarak yükselmiş ve bu numunelerde çökme görülmemiştir. Katkı ve % 10 Alçı katkı numunelerde suyun artışı yavaş olmaktadır. % 10 alçı katkı numunelerin basınç dayanımlarında diğer karışımlara oranla önemli bir artış görülmüştür. Alçı katkı numunelerde, katkısız numunelere oranla daha az rötre görülmektedir. Isı iletkenlik deneyi sonucuna göre kireç katkı numunelerde kireç oranına göre ısı iletkenliğinin azaldığı ölçülmüştür. Karışımların kırılma enerjileri kıyaslandığında kireç miktarına göre en fazla artış %10 oranında alçı içeren numunede görülmüştür. Sonuçlara göre artan kireç oranının %10 oranında alçı kullanımının sağladığı kırılma enerjisi artışını düşürdüğünü göstermektedir.

Eğilme dayanımları hesaplanan karışımlarda, %10 alçı katkılı karışımlarda en yüksek eğilme dayanımı elde edilmiş , %10 alçı - %2.5 kireç katkılı karışımlarda ve %10 alçı - % 5 kireç katkılı karışımlarda, katkısız numuneye göre yüksek değerler elde edilmiştir. Sonuçta karışıma eklenen kireç oranının artması numunelerin eğilme dayanımını düşürmüştür. Kayma deneyi sonuçlarına göre %10 alçı - %2.5 kireç katkılı numuneler kaymaya en iyi dayanım göstermektedir. Kayma gerilmesi ve kayma şekil değiştirmesinden elde edilen sonuçlara göre rijitlik modülü elde edilmiştir. Sonuç olarak, katkısız numunenin rijitlik modülü yüksek çıktığından dolayı katkısız numunenin sert ve kırılgan bir yapıda olduğu, %10 alçı - %2.5 kireç, %10 alçı katkılı numunelerde ise değerler daha düşük çıktığından dolayı ideal elastikliğe yakın olduğu söylenebilir. %10 alçı - %5 kireç katkılı numunelerden elde edilen değerler, bu numunede elastikliğin ideal değerlerden düşük olduğu ve diğer numunelere oranla fazla kırılgan bir yapıda olduğu sonucunu gösterir.

## **Physical And Mechanical Specifications Of Soil Construction Elements Which Contain Lime And Plaster**

### **SUMMARY**

The soil has been applied in construction in many parts of the world, mainly in Mesopotamia region, to satisfy the requirement of sheltering firstly. High thermal performance, low cost of manufacturing, and healthy properties can be considered as advantageous aspects of the adobe soil which are referred as soil for construction. The structures made of adobe soil despite of all these fine properties shelter also problems related to physical and mechanical resistance occurs in the buildings. The resistance of the buildings made of adobe soil against vertical and horizontal loading is too low, since they are mechanically weak, heavy and fragile due to their high sensitivity against water and humidity. Therefore, the adobe soil has to be stabilized. Under the scope of this thesis, studies and experimental works related to investigating the physical and chemical properties of ALKER which is the stabilization of adobe soil with plaster, researched by Ruhi Kafescioglu and his team in I.T.U in 198, and accepted by Tubitak, have been conducted. This thesis might be considered a continuation of the researches related to ALKER which have been sustained since 1980. Four different samples, which contain additives of 10 % plaster -2.5 % lime, 10 % plaster – 5 % lime, 10 % plaster only, and one without any addition, with the soil of which grading has been corrected, have been produced under the scope of this research. Breaking parameters have also been researched by applying shrinkage, water absorption, pressure resistance, thermal conductivity, inclination, gliding tests and calculating the breaking energy. 51 different samples have been produced for these tests. In order to define the breaking energy and bending resistance, beam samples have been produced, and bending test with three points as per the recommendations of RILEM TC 5\* -FMC Technical Committee has been conducted. In order to define the pressure resistance, cylindrical samples have been produced, and pressure test has been conducted by using a press machine with a capacity of 100 tons. Several samples have also been used in order to determine the water absorption of the adobe soil with or without additives for shrinkage and gliding tests.

This way, the parameters, such as water absorption capacity, shrinkage, breaking energy, net bending resistance, pressure resistance, rigidity module, and gliding resistance, of the adobe soil with or without additives have been inspected. It has been seen that the resistance of the samples with additives of plaster and lime were enhanced against water when it is compared with traditional adobe soil. In the samples with lime as additive, it has been monitored that rate of increase of the water has also increased proportionally as per the rate of increase of the lime, and no gravitation has been noticed. Increase of the water is very low in the samples with and without the plaster additive of 10 % . It has been observed an important increase of pressure resistance in the samples with 10 % plaster additive.

Less shrinkage has been monitored in the samples with plaster additive compared with the samples without containing additives. It has been measured that thermal conductivity is reduced as per the lime amount used in the samples with lime additives in the thermal conductivity tests. When the breaking energies of the mixtures compared, it has been seen that the samples with 10 % plaster additives have required more maximum breaking energy comparing to the ones with lime. As a result, it is considered that the increasing amount of lime reduces the breaking energy provided by 10 % plaster additive. In the mixture of the samples on which the bending resistance is calculated, it has been seen that the samples which have 10% plaster additive has more bending resistance than the ones with lime additives. Higher values have been obtained in the mixtures with 10 % plaster – 2.5 % lime, and 10 % plaster with 5 % lime as per the ones without additives. As a result, it can be said that the increase of the lime in the mixtures reduces the bending resistance. According to the gliding test results, samples with additives of 10 % plaster and 2.5 % lime displays the best resistance. Rigidity module is obtained from the result of shear strain and shear stress. As a result, the samples without additives are more fragile and harder than the ones with the additives of 10 % plaster or 10 % plaster – 2.5 % lime. Therefore, it can be interpreted that the samples with additives of 10 % plaster, and 10 % plaster – 2.5 % lime have ideal flexibility since the values are very low.

## 1. GİRİŞ

### 1.1.Amaç

Kerpiç, yöresel malzeme olmakla birlikte insan sağlığına uygun ortam koşullarını sağlayan, üretimi ve kullanımında en az enerji tüketilen, çevreye duyarlı bir yapı malzemesidir.Dünya ve Türkiye nüfusunun yaklaşık 1/3'ü kerpiç yapılarda yaşamaktadır.

Toprak yapılar tarihten bu yana uygun yaşam konforunu sağladıkları halde, stabilite bakımından bir çok sorunu içinde barındırmaktadır. Bu sorunların giderilmesi için bir çok bölgede çeşitli denemeler yapılmaya çalışılarak malzeme stabilite edilmiştir.Bu denemelerle toprağa farklı maddeler karıştırılarak kendi içinde güçlü bir bünye oluşturulması öngörülmüştür. Toprağın fiziksel özelliklerinin iyileştirilmesi için karıştırılan saman ve benzeri lifler, bitüm (petrol, yağ, katran, vb), çeşitli endüstri atıkları, kireç, uçucu kül, çimento gibi katkı maddeleri bağlayıcı olarak katılmaktadır.

Dünyadaki teknolojik gelişmeler ve kaynakların hızla tüketilmesi tehlikesiyle karşı karşıya kaldığımız bu günlerde çevreye uyumlu, sağlıklı, ekonomik ve yapımı hızlı olan toprak yapılar güçlü bir alternative oluşturmaktadır.

Tüm bunlar göz önünde tutularak malzemenin olumlu yönleri dışında olumsuz yönlerini iyileştirmeye yönelik çalışmalar yapılmaktadır.

Araştırmanın amacı, kerpiç malzemesinin iyileştirilmesi için yeni bir yöntem olarak oluşturulan ve 1980 yılında Ruhi Kafesçioğlu'nun önderliğinde oluşturulan bir ekiple deneysel çalışmaları sonucu Tubitak MAG 505 projesi olarak kabul gören Alker (Alçı ile stabilize edilmiş kerpiç) yapı malzemesinin dayanımının günümüz koşullarınca yeniden değerlendirilmesidir.

## **1.2.Kapsam**

Araştırma konusu olan Alker yapı malzemesinin dayanımı günümüz koşullarına göre yeniden değerlendirildi. Toprak, alçı, kireç ve suyun belli oranda karıştırılmasıyla oluşan Alker'in nitelikleri laboratuvar düzeyindeki çalışmalarla belirlenmiştir. Farklı orandaki karışımlarla oluşturulan numuneler üzerinde basınç deneyi, rötrelerinin ölçümü, kılcallık deneyi, kayma deneyi, ısı iletkenlik deneyi, kırılma enerjisi deneyi yapılarak malzemenin farklı karışımlar ve farklı karışım oranları için dayanımları ölçülmüştür.

## **1.3.Yöntem**

Bu araştırmada, 1980'den bu yana yapılan Alker araştırmalarının devamıdır. Bu araştırmalar yürütülürken bu konuyla ilgili tezler, kitaplar, makaleler, standartlar incelenmiş, ve İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Yapı Malzeme Labaratuvarında gerçekleştirilen deneysel çalışmada Alker blok duvar kayma dayanımı ve malzemenin fiziksel özellikleri test edilmiştir.

## **2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI**

### **2.1 Toprak Yapılar**

Toprak dünyanın her yöresinde çok eski zamanlardan beri insanların barınmaları için kullandıkları en yaygın gereç olagelmiştir [2].

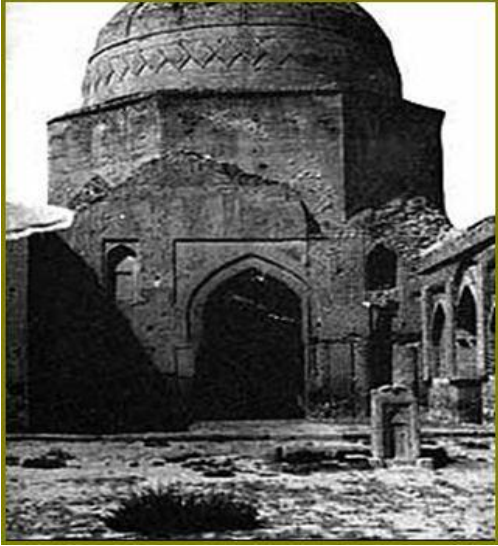
Tarih öncesi dönemler için insanın kendine bir barınak yapımı ile başlayan mimarlık, çamur sıvalı çatki kulübeler ile süregelmiştir.

#### **2.1.1 Tarihte toprak yapılar**

İlk dönemlerde sadece barınmak için yapılan bu yapılar, zamanla insanların beceri, deneyim ve bilgileri arttıkça gelişerek yuvaya, eve dönüşmüşlerdir. İlerleyen dönemlerde gelişen teknoloji insanlığın hizmetine yeni olanaklar ve ürünler sundukça, gelir düzeyi iyileşen birimlerde toprağın yerini yeni malzemeler almıştır [2].

Toprak , orman olmayan ve kayalık bölgelerde tek elverişli yapı malzemesi olması nedeniyle yaygınlaşmıştır. Araştırmacılar, en eski toprak yapıların Neolitik devri'n sonlarında ortaya çıktığını düşünmektedirler. Bazı bölgelerde toprağı suyla karıştırıp kalıplarla blok ( Kerpiç ) üretimi çok eski dönemlerden beri bilinmektedir. Toprak yapılarda bir iyileştirme güneşte kurutulan blokların daha dayanıklı olması için hazırlanan çamura, ot,saz benzeri bitkiler katılmasıdır. Mezopotamyada Asurlular tarafından ilk stabilizasyon uygulaması diyebileceğimiz gelişmeyi gerçekleştirilmiştir.Hazırladıkları harca bitüm katarak yapıların suya karşı mukavemetini arttırmaya çalışmışlardır.

Geçmişte farklı kerpiç türlerinin uygulaması yapılırken, bina yapımında kerpiç uygulaması için farklı teknikler de uygulanmıştır. Genellikle blokların harç ile üretilmesi ile uygulanan kerpiç yapılarda harç kullanılmayan örneklere de rastlanılmaktadır. Bloklar ( kerpiçler ) tam kurumadan rutubetli iken, üst üste koyarak duvar yapılmıştır. Şekil 2.1 ve Şekil 2.2'de tarihi toprak yapılar gösterilmektedir.



**Şekil 2.1:** Eski Golpa camisi (İran) [3].



**Şekil 2.2 :** Sarvestan (İran) [3].

Aslantepe’de bulunan Sargon Sarayı bu tekniğin tipik bir örneğidir. Temel hariç her yerde toprak, yapı malzemesi olarak kullanılmıştır. Mezopotamya ve İran, kerpicini ilk kullandıkları bölgelerdir. Yapıların dam inşasında toprak örtünün ilk kullanıldığı yer de bu bölgedir. 5-6 m’yi bulan kerpiç duvarlar bulunmaktadır. Anadolu, Suriye, Flitsin, Girit ve Ege adalarında toprak inşaatı bol miktarda kullanılmaktadır. Buralardan bütün çvrveye yayılmıştır. Kerpiç blokların boyutları genellikle 35 x 35 x 12-17 cm.civarındadır. Güneşte kurutulan bu blokların, duvar yapısında kendi çamuru harç olarak kullanılmıştır. Toprağın değişik bir kullanılma yeri de kale veya şehir surlarıdır. Buralarda 4 - 5 m. kakınlıkta duvarlara rastlanır. Bunların en karakteristik örneği Çin Seddi ve Van Kalesi’dir. Afrika Somali’de toprak konut, saray ve surların yapılmasında kerpiç kullanılmıştır. Kerpiçle kemer yapılmasına ilk Mısırda başlandığı sanılmaktadır. Mısır’da sadece saray, tapınak gibi yapılarda kerpiçle birlikte kamış da kullanılmıştır. Yunanistan’da yapılan çatılar dış duvarlara oturmamakta, duvarların dışında binayı saran kolonlara taşıtılmaktadır. Böylece dış duvarlar yağıştan korunmaktadır. Afrika kuzeyinde Akdeniz sahilinde yayılan kerpiç buradan İtalyaya, İspanya’ya ve diğer Avrupa ülkelerine yayılmıştır. İtalyada çok yaygın olarak kullanılan kerpiç Roma İmparatorluğu’nun zenginleşmesiyle yerini taşa bırakmıştır. Antik yazar Plinius Afrika ve İspanya’daki toprak yapıları över ve 250 yıllık binaların bile halen kullanıldığını belirtir. (Gaius Plinius Secundus 23-79) Kerpiçlerin, Roma çimentosundan daha sağlam olduğunu söyler.

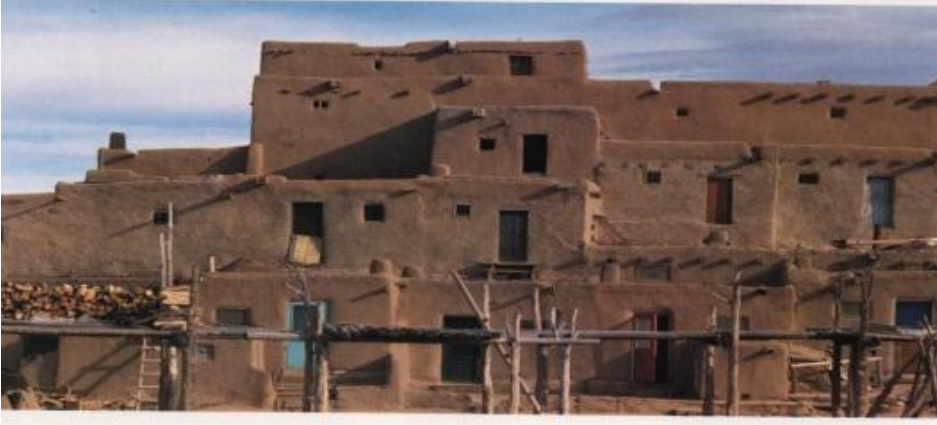
II. Kartaca Savaşı sırasında Anibal tarafından yaptırılan saat kulelerine hayranlığını belirtir. Jules Caesar'ın Marsilya'da 6 katlı bir kuleyi toprak inşaat olarak yaptırdığı bilinmektedir. Toprak yapılarda dış sıva Orta Çağ'ın sonlarında görülmektedir. Amerika kıtasında, Meksika, Birleşik Devletler'in güneybatı bölgesi, Arizona'da "Sasa Grande"de 4 katlı, kalın duvarlı yapı bulunmaktadır. 1600'lerde New Mexico'daki Hükümdar Sarayı toprak yapıdır. Peru'da çok miktarda toprak yapı harabeleri tespit edilmiştir.

19. yy'da tuğla şehir yapılarında yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Büyük şehirler dışındaki kırsal alanlarda toprak yapılara devam edilmiştir. Toprak yapıların incelenmesiyle ilgili çalışmalar, 19.yy'dan sonra başlamıştır. Toprak yapı araştırmalarının en yaygın yapıldığı ülkelerden biri Rusya'dır. 13. yy'ın başında Moskova'da çıkan büyük yangın sonrasında, ahşap yapıların yasaklanmasıyla ana taşıyıcı duvarlar toprak malzemeyle yapılmıştır. . 20. yy'da toprak, daima elverişli yapı malzemesi bulunmayan yerlerde kullanılmıştır. Nakliye veya imalatın pahalıya mal olduğu yerlerde, afetler ve büyük savaşlar sonrasında toprak yapılar önem kazanmış, zor koşullar geçene kadar uygulanmıştır.

Özbekistan, Taşkent'te kerpiç blok kullanımı, 100 yıl önce başlamış, günümüzde de devam etmektedir. 18.-19.yy'dan beri, konut inşasında sıcak iklim şartlarına basit ve geleneksel bir çözüm olarak, toprak duvarlar kullanılmıştır. Gece sağlanan ısı transferi sayesinde, öğleden sonraları toprak duvarları bulunan binaların içinde uygun hava koşulları sağlanmıştır. Sykhandarya Bölgesi'nde bulunan Kyrkkyz Kalesi (M.S. VI.-VII yy) ve Khiva'daki Ichan-Kala Mezarı. Toprak yapılarıdır [2].

### **2.1.1.1 Afrika**

Afrika'da, Mısır uygarlığında ilk olarak(M.Ö. 2900) elle şekillendirilmiş, güneşte kurutulmuş toprak tuğlalar kullanılmıştır. İlk mastabalar (piramidin öncülü) çamur bloklardan yapılmıştır. Dışı kademeli olarak inşa edilmiştir. Saqqarah ve Abydos'da taşla kapaeğri (eğimli) tuğla duvarlar bulunmaktadır. Duvarlar taşla kaplanmıştır. Imhotep Tapınağı (Saqqarah) toprak yapı tekniği uygulanarak, kireç taşından yapılmıştır. Şekil 2.3 ve Şekil 2.4'de Afrikadaki tarihi toprak yapılar gösterilmektedir.



Şekil 2.3 : Burkino Faso (Cockson, B. C, Living in Mud) [3].



Şekil 2.4 : İmhotep Tapınağı Afrika [3].

Yeni Krallık Döneminde (M.Ö. 1552-1070) soylu ve aristokratların yaşadığı Tel el-Amarna'da (orta Mısır) saray ve tapınaklar güneşte kurutulmuş toprak bloklarla yapılmıştır. Toprak duvarlarda resimler bulunmaktadır. Doğu Afrika'da Kushite ve Kenya'da aynı şekilde güneşte kurutulmuş toprak bloklar kullanılmıştır. 11. yy'ın başlarında İslamiyet'in Afrika'ya gelmesiyle yeni bir yapı türü olan camiler yapılmaya başlanmıştır. Camilerin büyük bir kısmı topraktan yapılmıştır. Mali'deki, San Camisi ve Mopti Camisi örnek gösterilebilir. Bu yapılarda elle şekillendirilmiş, çamur halde veya güneşte kurutulmuş kerpiç tipleri kullanılmıştır. Ghana Krallığı (8-11.yy), Malike Kralları (13.yy), Songhay Krallığı (14-16.yy) ve Hausa'da (10-19.yy) güneşte kurutulmuş toprak bloklar kullanılmıştır [2].

### **2.1.1.2 Avrupa ve Akdeniz**

Avrupa'daki en eski yerleşim M.Ö. 6.yy'da, Ege kıyısındaki Tesselya'da ahşap ve kilden yapılan yapıların gelişmiş hali olan, yuvarlak planlı, güneşte kurutulmuş bloklarla oluşmuş yapılardan oluşmuştur. Sesklo şehrindeki evlerin üst katmanları, çamur ve kurutulmuş toprak bloklarla yapılmış, dikdörtgen planlı ve iki katlıdır. (M.Ö. 4600). Bu formdaki evler, Avrupa'nın iç kesimlerinde ağaç ve topraktan yapılan evlerle benzerlik gösterir. Köln-Lidenthal'de (Almanya) yapılan kazılarda ahşap ve toprak bölmelerle 4 nefli yapılar tespit edilmiştir. Knossos, Phaistos ve Mallia'da pişmemiş kerpiç bloklarla tuf, alçı, kil taşı, mermer ve ahşap birlikte kullanılmıştır ve bu malzemenin üzeri koyu kırmızı ve koyu mavi renklerle boyanmıştır. Thera Adası'ndaki Akrotiri'deki Herakleion Müzesi'nde, Minos Kültürünün orta dönemlerine (M.Ö. 1900-1600) tarihlenen keramik(seramik) maket bulunmaktadır. Burada evler tasvir edilmiştir. Bir yada iki katlı olan evler, ahşap çerçeve içine çamur yada kurutulmuş toprak bloklar doldurularak inşa edilmiştir. 8.yy'da Smyrna'da evlerin apsisi vardır ve bu apsislerin dışında toprak bloklardan koruma duvarları bulunmaktadır. Bu duvarların tabanı veya temeli bulunmamaktadır. M.Ö. 3.yy'da Atina'da toprak bloklardan binalar yapılmıştır. Antik mimar Vitruvius, Antik Yunan'da "Pentadoron" ve "Tetradoron" olarak adlandırılan blokların M.Ö. 1.yy'a kadar kullanıldığını söylemiştir. Jupiter Tapınağı'nın duvarlarının, Herkül Tapınağı'nın, Sardes'teki Kroseus'un evinin ve Halikarnossos'taki Mausolos'un mezarının toprak bloklardan inşa edildiğinden bahsetmiştir.

Akdeniz’de Suriye ve Lübnan çevresinde konik tahıl silolarının (ambar) kubbesi toprak bloklardan yapılmaktadır. Bu yapım tekniğini bu bölgeye Fenikeliler’in Kartaca’dan getirdikleri düşünülmektedir. Antik yazar Plinius, (National History adlı kitabında) Barbary (Kartaca) ve İspanya’da da kullanılan bu tekniği tasvir etmiştir. Bu bloklarla yapılan duvarların kalıplı duvar olarak adlandırıldığını, toprağın iki kalıp arasına döküldüğünü, kement veya harç kullanılmadığını anlatmıştır.

Antik coğrafyacı Strabon, M.Ö. 2.yy’da Kartaca’da Mengeleni(kalıplı) (rammed) toprak bloklardan yapılan altı katlı yapılar olduğundan bahsetmiştir. Bu yapıların bazılarının ön yüzlerinin kireç boyalı yada mermer kaplama olduğunu söylemiştir. 7. yy’ın başlarında Roma’da tahta barakalar toprakla sıvanmıştır ve üstleri sazdan çatıyla kapatılmıştır. 7 tepeye yayılan bu dikdörtgen şeklindeki evler, toprak bloklardan yapılmış duvarla çevrilmiştir. Roma Cumhuriyet Dönemi’nde ( 4. ve 3.yy) kutsal ve kamusal yapılarda kullanılmıştır. Cumhuriyet döneminin sonlarına doğru yerini tuf ve mermere bırakmıştır. Roma İmparatorluğu Dönemi’nin başı, Augustus’un hükümdarlığına kadar olan zamanda fakir ve gösterişsiz evlerin yapımında güneşte kurutulmuş toprak bloklar kullanılmıştır. Antik mimar Vitruvius, yük duvarlarının yapımına kullanılmadığı sürece, toprağın kullanışlı bir malzeme olduğundan bahsetmiştir. Demir Çağı’nda (M.Ö. 750- M.S. 50) Gallerin (Keltler) yerleşimlerinde küçük evler ahşap, çamurdan yapılmıştır. Galya’da Yunan ve Kartacalılar’ın etkisiyle pişmemiş toprak bloklar kullanmıştır. Lyon’daki kazılarda kurutulmuş ve çamur bloklar tespit edilmiştir. Bindirme (rambing, tokmaklama) tekniğini Romalılar bilmektedir çünkü “pinsare” kelimesi , “bindirme (rambing, tokmaklama) toprak” anlamına gelmektedir. Bu teknik Geç Orta Çağ’da da kullanılmıştır. Pişmemiş toprak, kerpiç, bindirme (rambing, tokmaklama) toprak ve tuğla şeklinde kullanımı Avrupa ülkelerinde 19.yy’a, 1900’lere kadar kullanılmıştır. Almanya’da toprak sistematik bir biçimde de kullanılmaya başlamıştır [2].

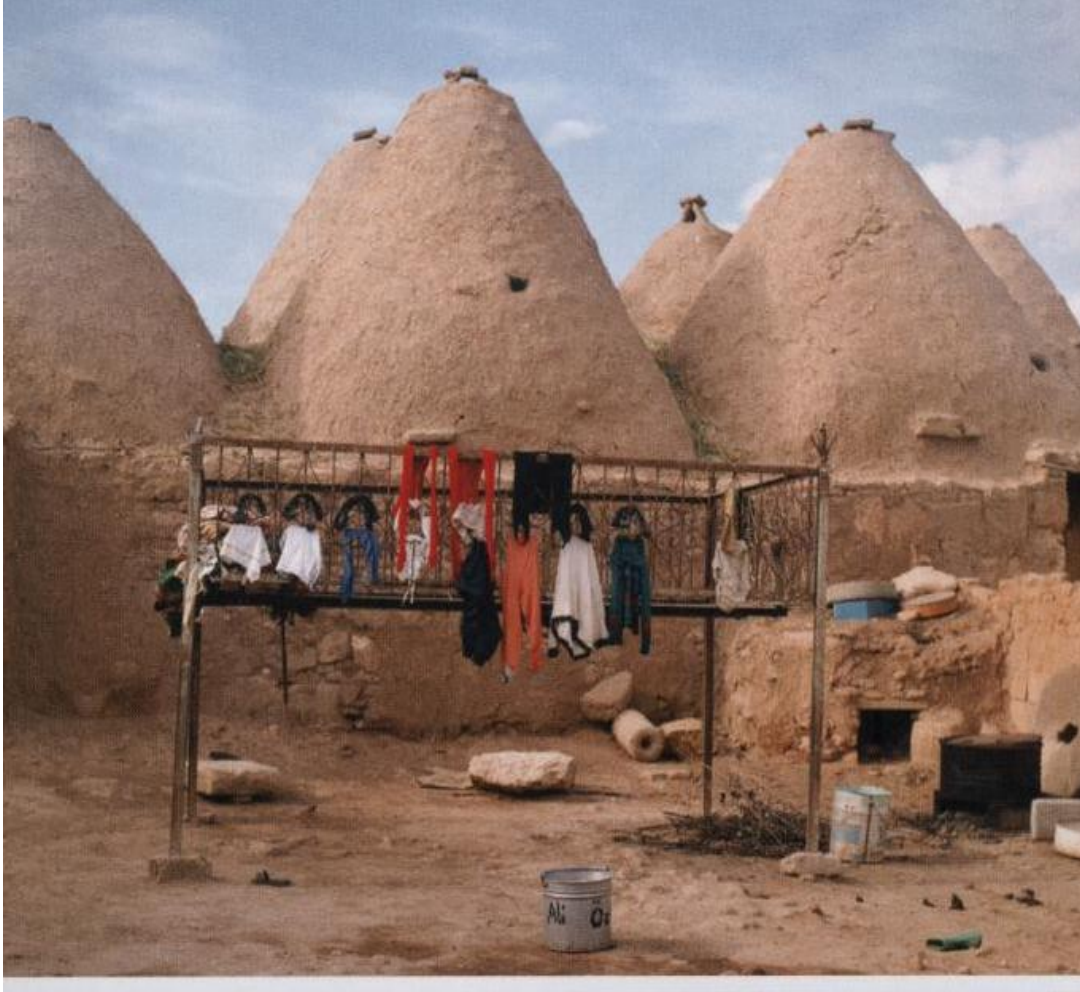
### **2.1.1.3 Ortadoğu**

Kerpiç kullanımı, Neolitik Devirde yerleşik hayata geçişle başlamıştır. Antik Jeriho şehrinde (M.Ö. 8000 ) taş temel üzerinde kerpiç duvarları bulunan yapılar tespit edilmiştir. Kerpiç blokları elle şekillendirilmiştir. Uruk döneminde ( M.Ö. 3200-2008) Uruk’ta bulunan Eanna tapınağı ve Eridu’da bulunan Enki Tapınağında astarsız kerpiç bloklar tespit edilmiştir.

Ur şehrinde evler topraktandır. M.Ö. 6.yy'da Asurlular Yakın Doğu'ya egemendi ve Nineveh'te sur duvarları ve 15 kapı topraktan inşa edilmiştir. Khorsabad'taki II. Sargon'un Sarayında toprak bloklar kullanılmıştır. Bu bloklara fildişi, sandal ağacı, abanoz ağacı, mermer, bazalt, altın ve gümüş gibi metaryallerle birlikte kullanılmıştır. Babilliler, toprak yapı tekniğini geliştirerek İstar Kapısı ve 90 m yüksekliği bulunan Etemenanki Zigguratı gibi yapıları inşa etmişlerdir. Elam uygarlığı, İranın güneybatısında bulunmaktadır. Susa şehri, pişmemiş kerpiç bloklardan oluşan yapıları ve Choga Zanbil zigguratı ile ilgi çekmektedir. Bu yapılarda pişmemiş kerpiç bloklar kullanılmıştır. Şekil 2.5 ve Şekil 2.6'de Ortadoğu'daki tarihi toprak yapılar gösterilmektedir.



**Şekil 2.5** : Çankırı (Kafesçioğlu arşivi) [3].



**Şekil 2.6 :** Harran(Coockson, B. C, Living in Mud) [3].

M.Ö. 2000' de Med Krallığı'nda yönetim ve dini yapılar kalın, şekillendirilmiş, pişmemiş toprak bloklarla yapılmıştır. Medlerin başkenti Ekbatana(Hamadan)'da kolon duvarları ve sütunlar pişmemiş toprak bloklarla yapılmıştır. Parsagadae'de (M.Ö. 546) taş ve pişmemiş kerpiç bloklar birlikte kullanılarak, ilk kez hypostyle tipi koridorlar inşa edilmiştir. Persepolis'te de aynı biçimde sütunlarla desteklenen çatısı bulunan, duvarları pişmemiş toprak bloklardan oluşmuş yapılar bulunmaktadır. Susa şehri topraktan inşa edilmiştir.

Pers mimarisinde tonoz ve kubbe toprak bloklarla yapılmıştır. Bam, Tebriz, İsfahan gibi şehirlerde Perslerin toprak mimari örnekleri bugünde görülmektedir [2]. Şekil 2.7 ve Şekil 2.8 ve Şekil 2.9 ve Şekil 2.10 ve Şekil 2.11 Pers deki tarihi toprak yapılar gösterilmektedir.



**Şekil 2.7 :** Gonbad-e Qabus (Gülistan-İran) [3].



**Şekil 2.8 :** Sheikh Lotf Allah Camisi (İsfahan-İran) [3].



**Şekil 2.9 : Bam Şehri (İran) [3].**



**Şekil 2.10 : Bam Şehri (İran) [3].**

Tüm Mezopotamya sivil mimarlığına egemen olan toprağa dayalı yapı gereci kerpiç, Anadolu'da da etkin olmuştur. Toprağın yapıya dönüşümü için koşulların uygun olduğu ve bu etmenin Hitit konut özelliklerine de yansıdığı Anadolu'da ana yapı gereci olarak kerpicingin üst katlar ile çatı oluşumlarında kullanıldığı bilinmektedir [1].

Ortaasya dışında uygarlıkların beşiği Anadolu'da ilk yerleşmelerden bu yana konut vardır. M.Ö. 5700-5500 yıllarına dek uzanan örneklerin en güzelleri Burdur yöresi Hacılar, Konya, Karaman çevresi Can Hasan, Göller yöresi Beyce Sultan ve Çatalhöyük kazı ve buluntuları ile ortaya çıkarılmış, belgelendirilmiştir. Tarihin bu dönem yapılarının çoğu kerpiçtir [4].

### 2.1.2 Günümüzde toprak yapılar

Dünya nüfusunun % 30'u kerpiç yapılarda yaşamaktadır. Gelişmekte olan ülkeler nüfusunun yaklaşık % 50'si, kent nüfusunun % 20'si, kırsal nüfusun çoğunluğu toprak ve toprağa dayalı yapılarda yaşamaktadır [14].

Son yıllarda tüm dünyada inşaat sektöründe malzeme seçiminde iki farklı eğilim görülmektedir. Bir taraftan üretim ve kullanımda ileri teknoloji ürünü olan fazla enerji gerektiren çağdaş malzemeler yeğlenirken, diğer taraftan az enerji gerektiren geçmişte de kullandığımız geleneksel malzemelere yönelinmiştir [5]. Şekil 2.11 ve Şekil 2.12'de günümüzdeki toprak yapılar gösterilmektedir.



Şekil 2.11 : Şiraz Botanik Bahçesi(İran) [3].



**Şekil 2.12:** İZMİR/Altınoluk- 3. Deneme Evi - Proje - Uygulama

Çevre şartlarının elverişli olması sebebiyle Amerika'nın özellikle sıcak-kuru iklime sahip bölgelerinde kerpiç yaygın olarak kullanılmaktadır. Günümüzde Amerika Birleşik Devletleri'nde kerpiçle yapılmış 200.000 adet modern konut bulunmaktadır [6]. A.B.D.'nin bazı bölgelerinde yapı malzemesi olarak sadece kerpicing kullanımasına izin verilmektedir. Özellikle New Mexico eyaletinde, kerpiç yapılar bölgenin özgün mimarisini oluşturur. Burada bulunan 48 adet kerpiç blok üreticisinin yılda 4 milyondan fazla blok üretimi yapması, bize bölgedeki kerpiç kullanımının yaygınlığını göstermesi açısından nemlidir [7].

Günümüzde etkisi giderek artan enerji darlığı, toprak malzemenin öne çıkması ve niteliklerinin gelişmesine olanak sağlamaktadır. Bu bağlamda gelişmiş ülkelerde topraktan yararlanma olanaklarına dönük araştırmaların yapılması önem kazanmaktadır. Bu araştırmalar çevrenin korunması, hava, su ve toprak kirliliğinin önüne geçilmesi "sürdürülebilir kalkınma" kavramı üzerinde yoğunlaşmaktadır [8].Yaygın olan bir geleneği gösteren yapı malzemesi olması nedeniyle, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde kerpicing malzeme özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla pek çok araştırma yapılmaktadır [9].

Bugün Fransa’da bağımsız bir araştırma organizasyonu olan Craterre, toprak yapım tekniğiyle ilgili kurslar düzenleyen, Centre de Terre gibi mimari uygulamalar ile mevcut yapım teknikleri için çeşitli uzmanlıklar öneren Grenoble’daki mimarlık fakültesi, toprak malzeme ile çalışmak isteyen mimarları destekleyen kuruluşlardır. Ayrıca Avrupa’da Almanya, Danimarka ve Finlandiya gibi ülkelerde, çağdaş toprak mimariye ait örnekler bulunmaktadır. Britanya’da The Plymouth school of Architecture ve The Devon Earth Building Association, toprak yapılara olan ilgiyi canlandırmak ve bu malzemenin kullanımını arttırmak için uluslar arası konferanslar ve kurslar düzenlemeye başlamıştır [10]. Jourdo ve Perraudin, Mike Reynolds, Nader Khalili, Robert Vint ve Glen Murcutt, Sumita Sinha gibi modern mimarların toprak malzeme ile ilgili çalışmaları, toprağın sadece geçmişe ait bir malzeme olduğu inancını çürütmekte, kullanımını yeniden canlandırmaktadır. Bu mimarlar geleneksel toprak mimarinin canlı kalabilmesi için birçok ilginç deneysel projeler geliştirmektedirler [10].

## **2.2 Toprağın Yapı Malzemesi Olarak Kullanılması - Kerpiç**

Yapı malzemesi olarak kullanılan toprak, beton gibi, değişik özelliklerdeki unsurlardan oluşan bir bileşiktir. Kum, iç iskelet rolünü oynarken, iç yapışkanlığı sayesinde kil, bağlayıcı rolü oynamaktadır. Yapıştırıcı özelliği nedeniyle, kerpiç içinde minimum ölçüde kil gerekli ise de, su tutuculuğu yüzünden hacim değiştirecek olan kil, oranı arttıkça, malzeme içinde önemli bozukluklar yaratmaya meyillidir [16]. TS 2514’te verilen tanıma 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 [11].

İçine katılan bağlayıcıların türüne ve oranına göre basınç dayanımı arttırılabilir. İyi bir granülometri ayarlanması ile basınç dayanımı, 35 kg /cm<sup>2</sup> olabilen, normal hallerde 10-15 kg /cm<sup>2</sup> arasında kalan bir malzemedir [12].

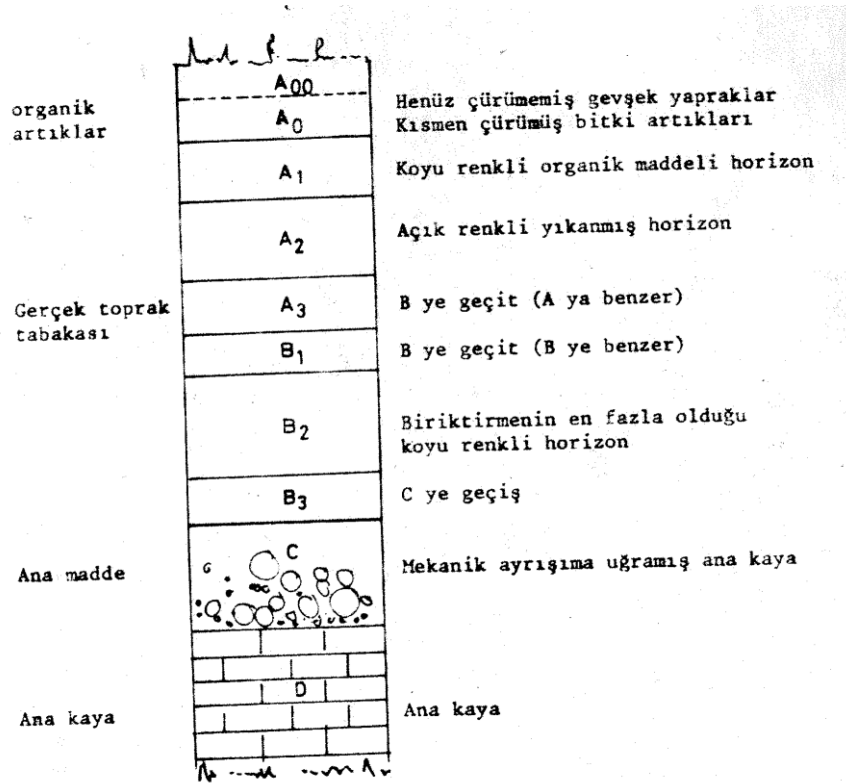
Genelde kerpicin basınç mukavemetini değiştiren etmenleri şöyle sıralayabiliriz:

- Kerpiç toprağının cinsi
- Su miktarı
- Bitkisel katkı oranı
- Kalıplama yöntemi
- Kurutma süresi ve yöntemi
- Stabilize kerpiçte kullanılan bağlayıcı madde cinsi ve miktarı [13].

### 2.2.1 Toprak

Toprağı oluşturan olayların farklı zamanlarda farklı etkileriyle değişik özellikler kazanmış olan toprak katmanlarına ‘‘ Toprak horizonu’’ denir.

- Bir toprak profilinde horizonlar A, B, C ve D harfleri ile belirlenir.Şekil 2.12’de Toprağın ana horizonları) A ve B horizonları hakiki toprağı temsil ederler. A horizonunun üzerinde A0 ve A00 horizonları bulunur. Bunlar çoğunlukla son Jeolojik dönemlerde oluşan genç topraklardır. Ağaç dalları ve diğer bitki artıkları içerirler. A horizonu organik madde bakımından zengin toprak horizonudur. A horizonu A1, A2, A3 alt horizonlarına ayrılır. A horizonunun genellikle açık renklidir. Şekil 2.13’de toprağın ana horizonları gösterilmektedir.



Şekil 2.13 : Toprağın ana horizonları [16].

- B horizonu, killi topraklar, demir ve alüminyumlu bileşenler, kısmen de organik maddelerin biriktiği bir horizondur. Bu maddeler A horizonundan yağmurlar sellerle yıkanıp çözülen ve süspansiyon halinde B horizonuna gelip çukurluklarda birikirler. Bu horizon koyu renkli ve genellikle bloklu veya prizmatik strüktürdedir. B horizonu da B1, B2, B3 gibi alt horizonlara ayrılır.
- C horizonu, ana kayanın gevşek yapıda ve fiziksel parçalanmaya uğramış kısmıdır.
- D horizonu, C'nin altında veya C yoksa B horizonu altında bulunan konsolide kayadır.

Doğadaki değişim evreleri sürecindeki etkin faktörlerin çeşitliliği ve etkinliklerinin farklılıklar nedeniyle topraklar çok değişik türlerde farklı niteliklerde farklı yapıda (strüktür), dokuda (tekstür) ve renklerden oluşmuştur [16].

### 2.2.1.1 Toprağın yapısı ve dokusu

Toprak organik ve mineral maddelerle su ve havadan oluşmuştur. Bu 4 bileşen birbirleriyle karışmış durumdadırlar. Toprağın katı kısmını değişik büyüklükteki mineral maddeler oluşturur. Çakıl ve kum gibi nispeten büyük parçalar yanında silt ve kil gibi çok ince zerreler bulunabilir.

Birbirinden ayrı toprak zerrelerine 'tekstürel parça' denir. Bu tekstürel parçaların bir araya gelmesinden oluşan agregalar ise, toprağın strüktürel birimini oluşturur. Tekstürel parçaların aşağıdaki gibi sınıflandırılması 1912 yılında İsveçli toprak bilgini Atterberg tarafından önerilmiştir [16]. Malzeme ve çap sınırları Çizelge 2.1'de gösterilmektedir.

**Çizelge 2.1 : Malzeme ve çap sınırları**

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 küçük

Toprak bir çok şekilde ölçülür ve sınıflandırılır. Yapıcılar için önemli olan, Atterberg Limitleri, dane büyüklüğü ve granülometrisi ve rötre potansiyelidir. Yapıcılar için önemli olan bir başka husus, organik kökenli yüzey toprağının ve tuzların yapı karışımından uzaklaştırılmasıdır, zira bunlar hiçbir zaman arzu edilebilir muhteviyat değildir [17].

### **2.2.1.2 Toprağın bileşenleri**

Doğada toprak gazlar, sıvılar ve katı maddelerden oluşur. Bu üç öge kökenlerindeki farklılıklar nedeniyle kitle – hacim bağlantıları ve toprağın dokusu ve yapısına göre de bünyedeki miktarları değişik oranlarda bulunurlar. Bunları ana hatlarıyla şöyle açıklayabiliriz:

- **Gazlar**

Topraktaki gazların önemli bir kısmı dış ortamdan gelen, toprak taneleri arasındaki boşluklara yerleşen havadır. Havanın bileşenleri bağıl nem ve azot, oksijen, karbondioksit, hidrojen, metan gibi gazlardır. Bunların yanında organik maddelerin çürümesi sonucu oluşan ve toprakta yaşayan çeşitli canlıların çıkardığı gazlar da vardır [15].

- **Sıvılar**

Yağmur ve diğer atmosfer şartlarının getirdikleri su, toprakta yaşayan canlıların ve insan atıkları, ana kaya ve organik maddelerin çözülmesiyle oluşan sıvı bileşenlerdir.

Toprakta beş farklı biçim ve nitelikte bulunan su diğer sıvılardan çok miktarda ve çeşitli alanlarda etkin bir öge bulunur [15].

- **Katı maddeler**

Toprağın en büyük ve onun türünün niteliklerinin belirlenmesinde en önemli etken olan ögesidir. Suda erimeyen organik maddelerle minerallerden oluşur [15].

- **Organik maddeler**

Organik maddeler toprak yüzey horizonunda ve yüzeye yakın az derinlikte, bazen tek tür bazen de birçok bitki ve hayvanlarla onların artıklarından oluşurlar. Organik atıklar topraktaki suyla birleşerek asitli ortam yaratarak temas ettikleri maddelerde korozyona sebep olabilirler.

Organik maddeler iri taneli ve lifli, sünger veya mantar yapıda olduklarından su tutma kabiliyetleri ve nem oranları yüksektir. Bu nedenlerle zayıf bünyeli, mekanik güçlere dayanımları azdır. Toprağın mekanik stabilitesini bozabilirler. Bu nedenlerle bünyesinde organik maddeler bulunan topraklar yapıda kullanılmamalıdır. Topraktaki organik maddelerin oranı % 2 ila % 4 arasında değişir. Bunlar 4 grupta toplanabilir [15].

- Canlı bitki ve hayvanlar

Bakteriler, mantarlar, üst bitkilerin alt kısımları, algılar, solucanlar, protozoerler (tek hücreli canlılar) böcekler, v.b [15].

- Humus

Organik maddelerin parçalanmasından oluşan, çok yavaş çözülen, akışkan ve asidik bir maddedir, suyu absorbe ederler ve şişerler hacimleri büyür [15].

- Koloidler

Organik maddelerin sulu ortamda bozulmasından meydana gelirler.(bünyesine yeterli miktarda su alarak koloid hale gelmiş olan killer bunlarla karıştırılmamalıdır ) [15].

- Mineraller

Mineraller veya cansız ( inorganik) bileşenler, ana kayaların parçalanıp çözülmesiyle oluşurlar ve toprağın esas bileşenini meydana getirirler Toprağın içerdiği mineral maddeleri, diğer sektörleri ilgilendiren ayrıntılara girmeden, yapısal sorunlar açısından ilgili bölümde ele alacağız. Bunlar iki gruba ayrılırlar :

Fiziksel ve kimyasal özellikleri bozulmamış mineraller: Bu grupta taşlar, çakıllar, çakıllı kumlar, kumlar ve bazı kimyasal ayrışmaya uğramamış siltler bulunurlar.

Bozulmuş mineraller :Ana kayanın parçalanıp ufalanan tanecikleri ince kumların kimyasal yapısının kısmen veya tamamen bozulması, ayrışması sonucu oluşan bazı siltler ve çok küçük elemanlar olan killerdir. Kil tanecikleri, çapları 2 mikrondan daha küçük levhacıklar, yaprakçıklardır. Rutubetli ortamda yapışkanlık, kohezyon özelliği kazanırlar ve toprak tanelerinin birleşmesini bir birlerine bağlanmasını sağlarlar. Killi topraklar yeterli su içeriğine sahip olunca, killer kolloid hale gelirler. Killer en belirgin kolloidlerdir [16].

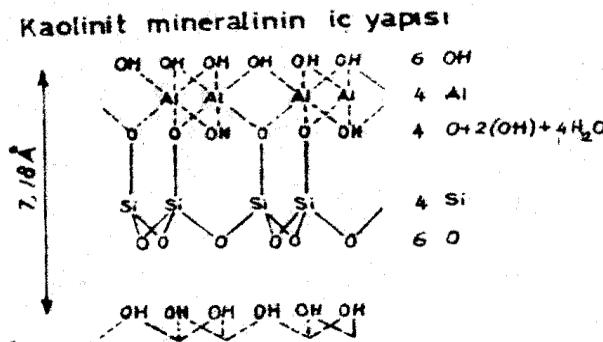
### 2.2.1.3 Toprağı oluşturan kil minerallerinin yapısı ve özellikleri

Kerpiçte , agregayı bağlayıp rijitliği sağlayan, kimyasal maddelerle reaksiyona girip stabilize olan maddeler genellikle kil ve silttir [16]. Kerpiç killeri çeşitli metal oksitler yanında kalsit, jips gibi toprak alkalilerden oluşmuş, alüminyum silikat sistemlerdir. Doğal taşların bünyesindeki, kuvars, feldspat ve mikanın içinde bulunan doğal alüminyum silikatlar çeşitli kimyasal, hidrotermal ve atmosfer etkileri ile ayrışarak tortullaşmış ve kil tabakaları oluşturmuştur [18].

Toprak taki killi malzemenin türü ve bulunma oranı, özelliklerin büyük ölçüde değişimine neden olur. Killer toprak içinde, bir veya birkaç tür kil mineralinin kristalli parçacıklarının karışımından oluşmuşlardır. Killer genel yapılarına göre;

- Kaolinit grubu
- Montmorillonit grubu
- İllit grubu
- Olmak üzere 3 ana grupta toplanır [16].
- Kaolinit grubu

Bu kil grubunun iç yapısı, Gruner tarafından x ışınlarının difraksiyonu ile incelenerek açıklanmıştır. Kimyasal yapısı,  $Al_4Si_4O_{10}(OH)_8$  olan kaolen, bir  $SiO_4$  tetra ederlerinden oluşan tabaka ile  $Al(OH)_3$  oktaederlerinden oluşan tabakadan ibarettir. Bu tabakaların kalınlığı  $7.18 \text{ \AA}$  kadardır. Bu yapı üst üste gelen iyon tabakalarının molekülü biçimlendirdiğini gösterir. Kimyasal formülünde  $Al_2O_3$  miktarı ağırlık olarak % 40,  $SiO_2$  miktarı ağırlık olarak %46,  $H_2O$  miktarı ağırlık olarak %14'tür. Bazı türleri Fe, Mg ve diğer oksitleri de içerirler. Şekil 2.14'de kaolinit mineralinin kimyasal yapısı gösterilmektedir.



Şekil 2.14 : Kaolinit mineralinin kimyasal yapısı

Çok saf olduğu zaman Hidrate Alümin Silikat (kaolinit) adını alır ve yukarıdaki maddelerin ayrışması sonunda meydana gelişine Kaolinizasyon denir. Koalinizasyon sonucunda meydana gelen madde çeşitli etkilerle yer değiştirmedeği takdirde, kaolinit içinde az miktarda demir oksit, alkali bazları, toprak alkalileri bulunur. (Sodyum, potasyum, kireç, magnezyum) Meydana gelen madde tamamen beyaz olduğu takdirde Kaolen adını alır. Kaolinizasyon sırasında meydana gelen maddeler sularla yer değiştirdiği zaman, kuartz, demir oksit, manganez oksit, kalker taşları gibi maddelerle karışmış olarak bulunur. Hatta bazı hallerde hayvan ve bitki fosilleri ile de birlikte bulunabilirler. Genel olarak, kaolin mineral parçacıklarının bilinen bir değişimi (yerine konulanı) yoktur. 0.01'le %10 vermiculitic, mikalı veya smectitic tabakalar veya bazı kombinasyonlar kaolinde bulunabilirler. Bu da bazı kaolinlerin negatif şarjının sebebi olabilir.

Bu minerallerin belirgin yapısal özellikleri octahedral yapraklardaki düzenli dağıtılan kation yeri boşlukları ve bu deforme boşlukların octahedral ve tetrahedral yaprakların birleşmesiyle oluşmasıdır. Kaoline ve iki haloisitler tek-tabaka yapıdadır, diki ve nacrite çift-tabakalı yapıdadır. Halosite kaolinin ilişkisini çeşitli bilim adamları farklı yorumlamışlardır. (Brindley, Geise, Bailey). Kaolinlerin iç yapısı karmaşıktır. Kaolinle ilişkili kil minerallerine 4 isim verilir. Bunları kullanan insanlar tarafından bu isimleri verilmiştir. Verilen isimler, yapılarıyla ilgili bilgi verir. Topkil, ateşkil, kayakil ve aşağıkil [16].

- Topkil

Isıtıldığında beyaz ürün verir. Plastisitesi ve yeşil ve kuru dayanımı nedeniyle hijyenik kaplar ve seramik çiniler vb yerlerde kullanılır. Az miktarda diğer mineraller ve organik maddelerden içerir [16].

- Ateşkil

Top killere benzer fakat taş kömüründe bulunur. Aşağı killer, ateş kil olarak adlandırıldığında, kaolin olarak zengin aşağı killer kastedilmektedir. Yüksek dayanımlı ve ateşe dayanıklı tuğla, çimentoda kullanılır [16].

- Kayakil

Ateşe dayanıklı ürünlerde kullanılır. Bu tip daha spesifiktir. Sert, pürüzlü, koloidal (midye ve salyangoz kabuğu) kırıntılı olan, ıslanınca ya da ezilince öbür kil türleri gibi plastisite geliştiremeyen bir kildir.

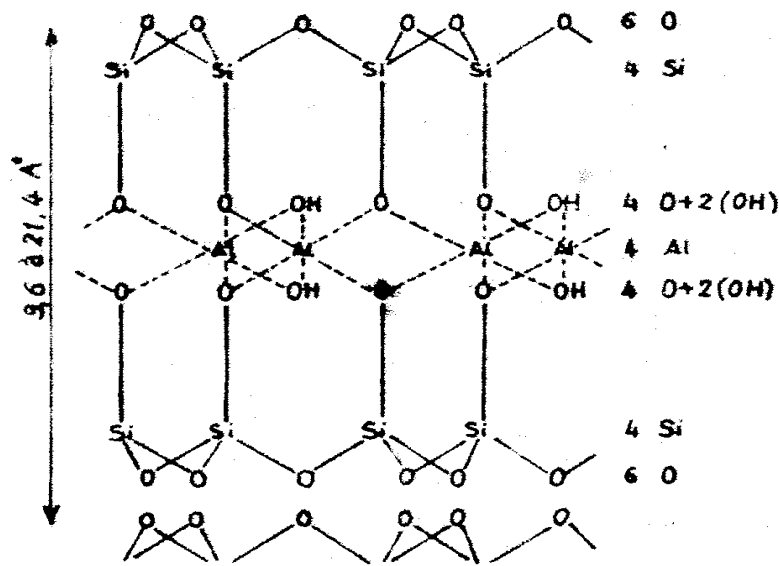
Kaoline kristalleri sıkıca bağlayarak yapar. Bu kilin oluşum süreci tartışmalıdır. İki teori vardır [16].

- Aşağıkiller

İçinde mutlaka kaolin olması gerekmemektedir. Aşağı killer kömür yatağının altındadır. İngilizler bu yataklara “seat earts” demektedir. Bitki örtüsüyle aşınmış olan mineralin değişimi, aşağı kilin minerolojisini ifade eder. Kaolin terimi, porselen için ve yüzyıllar önce Çin’de kağıt yapımında kullanılmıştır. Kağıt yapımı ve seramikler kaolinin kullanıldığı başlıca 2 alandır. Kağıt yapımında ilk kez M.Ö. 105’te Çin’de kullanılmıştır. Oradan Japonya ve Avrupa’ya geçmiştir [16].

- Montmorillonit grubu

Bu gruptaki killerin zerreleri, çok ince kristal partiküllerden oluşmuştur. Büyük bir kısmı 0.1  $\mu$  dan da küçüktür. Bu özellik, çok büyük bir özgül yüzeyin oluşmasına neden olmaktadır. Bu grubun idealize edilmiş iç yapısı, 1933 de Hofmann tarafından, prophyllitt’de incelenmiş ve ortaya konmuştur. Bu gruptaki killerin 3 tabakadan oluşan mikamsı bir yapısı vardır.  $Al(OH)_3$  formülündeki gibsit ve hidrarjillit diye adlandırılan oktaederlerden oluşan tabaka,  $SiO_4$  tetraederlerinden oluşan iki tabaka arasında bulunur. Su molekülleri, 4 Si tabakası arasına,  $2(OH), 4(O)$  şeklinde ayrılmış olarak girer [16]. Şekil 2.15’de montmorillonit mineralinin kimyasal yapısı gösterilmektedir.



Şekil 2.15 : Montmorillonit mineralinin kimyasal yapısı

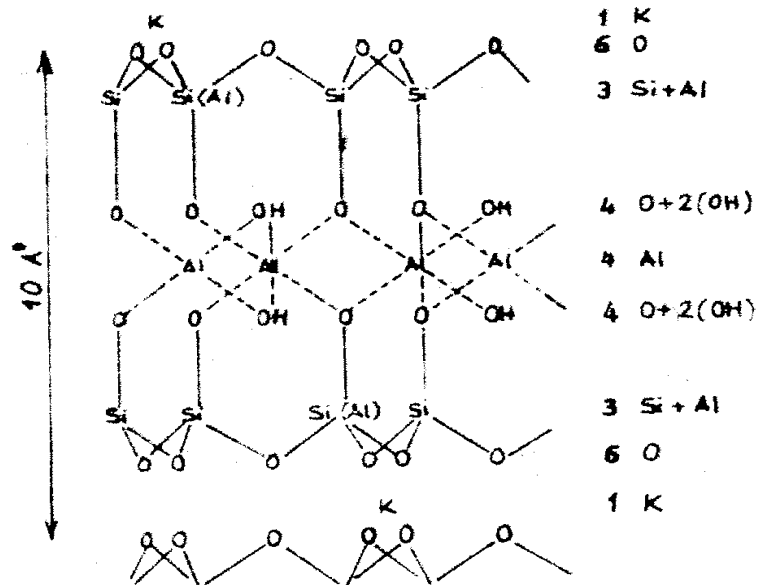
Montmorillonit grubunun genel kimyasal formülü  $Al_2Si_4O_{10}(OH)_2$  şeklindedir. Fakat doğada, böyle bir yapıya rastlanmaz. Alüminyumla birlikte daima bir miktar magnezyum da gelir. Bu gruba giren minerallerde, genel formüldeki Al yerine +3 değerli metaller gelebilmektedir ve su oranları da değişerek, özellikleri de bunlara bağlı olarak değişiklik göstermektedir. [16]

- İllit Grubu

İllit grubu kil minerallerinin sisti (tabakalı) yapıda olduğu ve  $K_y(Al_2Fe_2Mg_3)(Al_ySi_{4-y})O_{10}(OH)_2$  şeklinde genel formülüyle ifade edildiği Ross iyonu ile birbirine bağlanmıştır.  $K^+$  iyonu tabakalıdır ve bir  $K^+$  iyonu ile birbirlerine bağlanmıştır.  $K^+$  iyonu tabakaları kuvvetli bir şekilde birbirlerine bağlandığından, su molekülleri ile karıştırılınca, su molekülleri tabakalar arasına girip tutunamaz.

İllite unik bir kimyasal karaktere sahiptir. İllite, çoğunlukla arjilik kayalarda bulunan kil boyutlu mika benzeri mineraller olarak tanımlanmıştır. İllite'nin bu tanımı özel mineral olan illite'den farklıdır. Bu yüzden bu metinde mikalı mineral: illitic mineral, özel mineral: illite olarak tanımlanmıştır.

İllite minerali kolay bulunan bir mineral değildir. İllitic materyel, özellikle de illite/smectite içerdiğinde, kil mineralleri tortul kayalarda bulunur. Formu dünya yüzeyinde stabil ya da yarı stabildir [16]. Şekil 2.16'de İllite mineralinin kimyasal yapısı gösterilmektedir.



Şekil 2.16 : İllite mineralinin kimyasal yapısı

Toprağın kil muhteviyatı çok önemlidir. Bir çok amaca yönelik olarak, kil sadece en küçük parçacık olarak düşünülmemeli, betondaki çimentoya benzer bir bağlayıcı olarak düşünülmelidir. Bu nedenle, karışımdaki her danenin etrafının eşit kalınlıkta kil çamuru ile —kaplaması sağlanmalıdır. Kil, toprağı en az iki şekilde bağlar. Gözenekte bulunan nem, kum ve kilin danelerini birbirine bağlayan kılcal (kapiler) bir emme oluşturur. Diğer önemli bir konu da kil danelerinin yüzeyinde bulunan iyonik yüküdür ( $60 \text{ m}^2/\text{cm}^3$  e varan bir alana sahiptir); elektrostatik yükler, van der Waals kuvvetlerini sağlar [17].

#### **2.2.1.4 Kilin suyla olan ilişkisi ve su içeriğı**

Atterberg Limitleri, toprağın rötrelimitini, plastik limitini ve likit limitini tanımlamak için kullanılır. Kuru toprağı su ilave edildiğinde, toprak katı fazdan yarı katı faza, plastik ve sonra likit faza geçer. Yarı katı ve plastik kıvam arasındaki eşikte bulunan toprağın nem içeriğine plastik limiti (PL) denir. Plastik ve likit kıvam arasındaki eşikte bulunan toprağın nem içeriğine likit limit (LL) denir. Plastik limitinin Likit limitten çıkartılması, Plastiklik Endeksini (PI) vermektedir. [17]

Likit Limitin büyük olması, yüksek sıkıştırılabilirlik özeliğı demektir ve yüksek rötrel—şişme eğilimi gösterir (kil bakımından zengin topraklar). Büyük bir Plastiklik Endeksi, düşük kayma dayanımını gösterir (kil bakımından zengin topraklar). Killi toprakların genellikle  $PL > 20$ , ve  $LL > 40$  değerine sahiptir. Plastiklik Endeksi kum ekleyerek azaltılabilir ve kil ekleyerek artırılabilir [17].

Beton için genellikle doğru olan, toprak yapılar için de doğrudur: ideal bir karışımı oluşturan bileşenlerin dane büyüklükleri en az boşluk oluşturacak şekilde her boydan— granülometri – ve belirli bir oranda olmalıdır [17].

Toprağı oluşturan çakıl, kum, silt ve kil oranlarının belirlenerek granülometri oranının ayarlanması sonucu, kerpiç kalitesi iyileştirilebilmektedir. Bu amaçla kerpiç tuğlasında kullanılabilir toprak türlerinin alt ve üst sınırlarını belirleyen eğriler ve ideal granülometri eğrisi ortaya konmuştur [17].

Killerin Su absorbe etme, kohezyon, plastisite gibi önemli ortak özellikleri vardır.

- Absorbsiyon

Killere özgü fiziksel bir niteliktir. Kil taneciklerinin rutubetli ortamda su zerrecelerini büyük bir güçle kendilerine çekme, yüzeylerini suyla kaplama kabiliyetleridir.

Kil taneciklerinin kalınlık, hacim ve kitlelerine göre çok büyük olan özgül yüzeyleri nedeniyle kil kitlelerinin bünyelerinde önemli ölçüde su tutarlar. Bunun yanında sahip oldukları Absorbsiyon niteliği nedeniyle yüzeylerine çektikleri suyu kolayca ayrılamayacak şekilde kendilerine bağlarlar [16].

- Kohezyon

Kil tanecikleri ve kısmen ayrışma uğramış silt tanecikleri sulu ortamda, kuvvetli bir güçle bir birlerini çekerler, yapışma bağlanma ( Kohezyon ) özelliği kazanırlar. Bu oluşumun mekanizması çok karmaşıktır. Konunun uzmanları nötr olmayan kil taneciklerinin negatif veya pozitif elektron yüklerinin yarattığı bağ güçlerini X ışınları ve elektronik mikroskoplarla inceleyerek açıklamışlardır. Bizi bu çalışmada ilgilendiren, karmaşık bağ güçlerinin nasıl oluştuğu değil, toprak bünyesinde meydana gelen olgulardır. Sözünü ettiğimiz bağ güçleri etkisiyle ( kohezyon ) yüzeyleri bir su filmiyle kaplı kil tanecikleri rastgele bir düzende aralarında boşluklar da bırakarak bir birlerine yapışırlar ve birleşirler. Ortamın rutubeti biraz daha artınca kil kitlesi Adhezyon özelliği kazanarak, çimento gibi, topraktaki diğer hareketsiz iri tanelere, kum ve çakıllara, yapışırlar toprak kitesini bütünleştirirler [16].

- Plastisite

Bir kitlenin belirli bir etki altında hacmi değişmeden, çatlayıp parçalanmadan şekil değiştirebilme ve aldığı yeni şekli, etki sabit kaldığı sürece ve kalktıktan sonrada geri dönüşümsüz olarak koruyabilme kabiliyetidir. Killer bu özelliğe belirli su içeriği sınırları içinde kazanırlar ve bünyesine girdikleri topraklara da kazandırılırlar. Killerin yalnız su ile birleşince sahip oldukları Plastisite özelliği her kil türü için farklı su içeriği sınırlarda oluşur. Bu nitelik farklılığından yararlanılarak laboratuvarlarda kil türleri belirlenebilir [16].

- Şişme

Kil zerreciklerinin suyu absorbe etme kabiliyetleri olduğunu belirtmiştik. Killer su ile karıştırıldıkları zaman kil zerrecikleri yüzeyinde oluşan su filmi sıkıca kendilerine bağlarlar giderek su filmi kalınlaşır, tanecikler arasındaki boşlukları dolduran su zamanla artarak, zerrecikleri bir birlerinden uzaklaştırır Kitlede hacim büyür, **Şişme** meydana gelir. Hacim artışı, alınan örnekteki, kilin türüne ve örnek bünyesindeki miktarına bağlı olarak değişir [16].

- Rötire

Şişme olayının tersine bir süreç sonucu küçülmedir. Suya doymuş haldeki kil kitlesi su kaybederken, şişme sürecinde bünyeye giren, zerreler arasındaki boşlukları dolduran su dışarı atılır, zerreler birbirlerine yaklaşırlar ve hacim küçülmesi olur. Bu küçülme zerreler bir birlerine değecek hale gelene kadar devam eder ve durur [16].

- Killi topraklar suyla olan ilişkisi

Killi toprakların suyla ilişkisi, killerin sahip oldukları kendilerine özgü nitelikleri bünyesine girdikleri toprağa da taşınmaları nedeniyle, diğer toprak türlerinin su ilişkilerinden önemli farklılıklar gösterir. Killer başka hiçbir sıvıyla gerçekleşmeyen kohezyon ve plastisite niteliklerini bünyesine girdikleri toprağa, türlerine ve su miktarına bağlı olarak değişen ölçülerde toprağa kazandırır ve Killi topraklar içerdikleri kilinkine benzer davranışlar gösterirler [16].

- Killi toprakların su içeriği

Toprağın su içeriği: Bir toprak kitlesinin bünyesinde bulunan su ağırlığının toprağın kuru ağırlığına oranı olarak tarif edilir. Metinlerde ve grafiklerde W harfiyle gösterilir. Burada söz konusu olan su bünyedeki serbest su ve varsa solüsyonlardır.

W Su içeriğinin bilinmesi, karışım kıvamının doğru belirlenmesi açısından önemlidir. Üretim için uygun kıvam belirlenirken karışıma katılacak su miktarı genellikle kuru toprak ağırlığının yüzdesi olarak verilir. Kullanmak için alınan toprak bir miktar nemli olabilir veya derinlikten çıkarılıyorsa çok miktarda zemin suyu içerebilir. Böyle durumlarda, toprağın su içeriği W belirlenmeli ve karışıma konulacak su miktarından düşülmelidir.

W<sub>n</sub> – Doğadan alınan örnek toprağın Su içeriği

G<sub>n</sub>- Doğadan alınan örnek toprağın ağırlığı

G<sub>k</sub>- Örneğin etüvde ağırlığı sabit kalana kadar kurtulduğu zamanki ağırlığı kadar

$$G_n - G_k$$

Su içeriği  $W_n = \frac{G_n - G_k}{G_n} \times 100$  olarak formüle edilebilir [16].

$$G_n$$

### **2.2.2 Geleneksel kerpiçin yapım tekniği**

Kerpiç üretiminde, ilk adım uygun toprak seçilir. Toprağı uygun duruma getirmek için kum ve kil katılır. İyi bir toprak yarı nemli bir durumda avuç içinde sıkıldığında ele yapışmamalı, top haline gelmeli, yere bırakılınca dağılmadan yere yapışmalı, bir bütün halinde kalmalıdır.

Uygun toprak seçimi ve katkı maddelerinin eklenmesiyle toprağın uygun duruma getirilmesinden sonra toprak biçimlendirilir. Kerpiç toprağının iyi biçimlendirilmesi için, toprağın kıvamının iyi ayarlanması gerekmektedir. Toprağın kıvamı katılan su miktarına göre değişir. Toprak-su karışımında su arttıkça, kerpicin dayanımı azalır, zor kurur. Kuruma sırasında fazla büzülme ve çatlama yaptığı gibi, kerpicin biçimi bozulabilir [16].

Karma suyunun mümkün olduğunca azaltılması bu sakıncaları önler, yani kerpicin büzülmesi azalır, dayanıklılığı artar, biçimi bozulmaz. Bunlara karşılık, kalıplanması zorlaşır. Hamuru kalıba yerleştirmek için, sıkıştırma veya tokmaklama gereği ortaya çıkar. Bu işlemler, karşılığı değer bir zahmettir. Hamurun kıvamı, uygulanacak kalıplama ve sıkıştırma yöntemine göre önceden denenerek belirlenmelidir. Toprağın nemliliğinin değişmesinin, katılacak su miktarını etkileyeceği unutulmamalıdır [16].

### **2.2.3 Kerpiçin yapı malzemesi olarak üretim yöntemleri**

Kerpicin uygun kıvamı için gerekli su miktarı belirlendikten sonra, bunun bir kısmı (katkı maddeleri katılacak ise) katkı malzemesi karışımı için ayrılır, kalan su ile toprak iyice karıştırıldıktan sonra en az bir gün dinlendirilmelidir.

Daha sonra uygun kıvama gelen kerpiç hamuru kalıplara dökülür. Kerpiç, bir miktar kuruduktan sonra kalıptan çıkartılır ve kurumaya bırakılır. Kuruma güneşte olmamalı, gölgede kurutulmalıdır. Kuruyan yüzeyler sürekli çevrilerek kerpicin çatlama önlenir [20]. Kerpiç açık hava kurutulurken elde edilen bir yapı malzemesi olduğundan yapımı da büyük ölçüde bölgenin iklimine bağlıdır. Kışın soğuğu, sonbaharın serin ve sürekli yağışlı ayları dışındaki süreler yapım için elverişlidir. Çok sıcak yaz günlerinde, kerpicin içindeki suyun buharlaşması hızlanacağından, böyle günler kerpiç yapımı için uygun değildir. Bu durumda kerpiç yapımı için en uygun zaman ilkbahar sonu ile yaz başlangıcıdır. Bu dönemde toprak, yağışlardan suyunu yeterince almış olacağından, yapılacak harç kolaylıkla karılabilir [21].

Bu toprak karışımı işe yarayacak mı, eğer yaramayacaksa bunu nasıl ıslah edebilirim?’ sorusunun cevabını bilmek isteyen deneyimli, usta inşaatçılara hazır cevaplar sunmaktadır. Elden bırakma deneyi, şerit deneyi, küre deneyi ve diğer deneyler miktar vermeyen ancak son derece yararlı bilgiler sağlamaktadır. Özellikle plastiklik, rötre ve granülometri bilgilerini bir bütün olarak sağlarlar. Halk arasında geniş çapta yaygınlaşmış olan kavanoz sallama deneyi, nispeten büyük boyutlu parçacıkların derecelendirilmesini sağlarken küçük boyutlu silt, ve kil danelerini birbirinden ayıramaz. Bu saha deneylerinden hiç biri amatörler için faydalı olmak zorunda değildir ve kolay bir şekilde yanlış yorumlanabilir. İnşaat da genel olarak doğru olduğu gibi, yapı personelinin deneyiminin derin olmaması, yapıların inşa edilmesinden önce daha fazla kapsamlı ön deney yapmayı ve tecrübe edinmeyi gerektirmektedir [17].

- Şerit deneyi

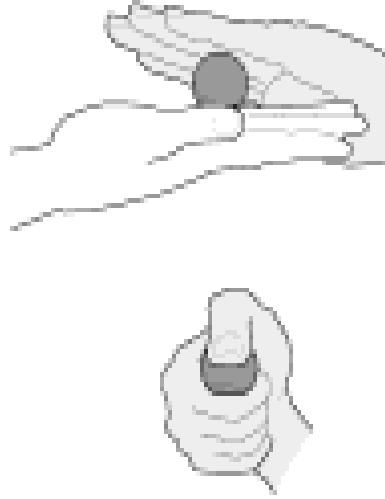
Islak bir toprak kütlesi elde işlenerek nemli topraktan bir parmak boyutunda bir şerit uzatılır. Şerit, en azından el ile aynı uzunluğa kadar kopmadan sallanabilmelidir. Bu test toprak karışımının plastikliğini ve yapışkanlığını tespit edecektir, ancak kürlenmiş toprak malzemenin dayanımını ve dayanıklılığını tespit etmez. Şekil 2.17’de Şerit Deneyi gösterilmektedir.



**Şekil 2.17 : Şerit Deneyi**

- Küre deneyi

Islak bir toprak kütlesi ellerin içinde yuvarlanarak 2 cm (3/4 inç) çapında bir küre yapılır. Aynı karışım ve nem düzeyine sahip birkaç küre yapılır ve doğrudan güneş ışığında kurumaya bırakılır. Tamamen kuruduktan sonra, toprakların hiçbiri bir elin baş parmağı ile parmakları arasında kırılmamalıdır [17]. Şekil 2.18'de Küre Deneyi gösterilmektedir.



**Şekil 2.18 : Küre Deneyi**

- Geleneksel kerpicin üretim yöntemleri

Toprak malzeme ile duvar yapılmasında genellikle iki yöntem kullanılmaktadır.

- Yerinde döküm yöntemiyle
- Hamuru önceden şekillendirip kerpiç yaparak, duvar inşa etme yöntemi [21].

### **2.2.3.1 Tuğla örme tekniği (blok kerpiç)**

Bu yöntemde ana ilke, kerpicin duvar örgüsü yapılabilecek boyutlarda üretilmesine dayanmaktadır. Ülkemizde en yaygın kullanılan yöntemdir. Kerpiç yapıların çoğunluğu blok kerpiç ile inşa edilmektedir. Yöreden yöreye farklılık göstermekle birlikte en çok kullanılan blok kerpiç boyutları ana kerpiç için 40 cm/ 30 cm/ 12 cm ve ya 30 cm/ 18 cm/ 12 cm, kuzu kerpiç için 40 cm/ 19 cm/ 12 cm veya 30 cm/ 25 cm/ 12 cm'dir. Şekil 2.19'de Tuğla örme tekniği (blok kerpiç) gösterilmektedir.



**Şekil 2.19** : Tuğla örme tekniği (blok kerpiç) [27].

Yapıdaki kullanımı iki şekildedir. Birincisi, tüm duvarlar blok kerpiçle örülüp yer yer ahşap hatıllar konularak bütünüyle taşıyıcı nitelik kazanır. İkincisi ise, Düşey ve yataylardan kurulmuş bir ahşap konstrüksiyon içine yerleştirilen blok kerpiç yapıda dolgu niteliği sağlar [22-25].

Dünyada tuğla boyutunda şekillendirilen blok kerpiç ile yapı yapımına yönelik çalışmalar sürmektedir. Yeni Zelanda'da deprem ve fırtınaya karşı içinde yaşanılmaya devam edilen 150 yıllık blok kerpiç binalar bulunmaktadır. 1998'de yürürlüğe giren blok kerpiç yapım yöntemleri “ NZ Earth Building Standards” ile Yeni Zelanda'da sayısı 600'ü bulan modern kerpiç bina inşa edilmiştir [26].

Kerpiç üretimi için uygun kıvamdaki çamur, genellikle ahşap kalıplara dökülerek şekillendirilir. Şekil 2.20'de Kerpicin kalıba yerleştirilmesi, yüzeyinin düzeltilmesi ve kalıptan çıkarılması gösterilmektedir.



**Şekil 2.20** : Kerpiğin kalıba yerleştirilmesi, yüzeyinin düzeltilmesi ve kalıptan çıkarılması.

Bölgeden bölgeye farklılıklar göstermesine rağmen ülkemizde en çok kullanılan kerpiç boyutları şöyledir.

Uzunluk	:	30-35	cm.
Genişlik	:	30-35	cm.
Yükseklik	:	10-12	cm.

Bazen yarım boyutta olanlar da aynı zamanda üretilir.

Uzunluk	:	30-35	cm
Genişlik	:	15-17	cm
Yükseklik	:	10-12	cm

- Ekstrüde Bloklar

Görünüş olarak pişmiş toprak briketlere benzer olan ekstrüde bloklar, plastik kıvamdaki nemli malzeme kütesinin çelik kalıplar içinden çekilmesi ile yapılmaktadır. Yani bunlar pişirme olmadan, pişirilmiş briketle aynıdır [17].

### 2.2.3.2 Yerinde döküm tekniği (yığma kerpiç)

Bitkisel katkı miktarı fazla olan kerpiç hamurunun(kum, kil, saman) taş bir temel üzerine yığılması ve traşlanarak duvar şeklinde kesilmesi ile elde edilmektedir. Fazla bilgiye gerek duyulmadan deneyimli insanlar tarafından basit yöntem ve el aletleriyle üretilmektedir [14]. Şu anda dünya çapında, hafif nemli toprak kütesini hidrolik veya kaldıraç ve kas gücü ile yoğun bir şekilde sıkıştıran farklı birçok makine bulunmakta ve kullanılmaktadır.

Doğru yapıldığında sonuç pürüzsüz ve boyutsal olarak kararlı bir bloktur [17]. Şekil 2.21’de Yerinde döküm tekniği (yığıma kerpiç) gösterilmektedir.



Şekil 2.21 : İTÜ-TOKİ 622, yapı 1995

### 2.2.3.3 Omurgalı kerpiç tekniği

Omurgalı kerpiç yapı, duvar eninden daha kısa olan ahşap elemanların yan yana getirilmesi ve dökülen kerpiç tabakaların arasına konulması ile inşa edilir. Temel olarak, ahşap donatılara sahip kerpiç yöntemidir [14].

Bina yapılarında icat edilmiş ve kullanılmış olan bir çok modern toprak yapı sistemleri bulunmaktadır, ancak bunlar yaygın değildir.

- Lastik evler

ABD New Mexico’da icat edilmiş olan bu teknik toprağın (veya toprak-çimentonun), kalıcı bir kalıp olarak işlev görecek şekilde kullanılmış araba ve kamyon lastiklerine dökülüp sıkıştırılmasını içermektedir [17].

- Toprak tüpler ve çuvallar

Toprak veya toprak- çimento polipropilen (PP) veya elyaflı tüplere veya çuvallara yerleştirilmekte (bunlar genellikle tahılların konulduğu çuvallardır) ve bunlar daha sonra yerlerine sıkıştırılmakta ve kalıplanmaktadır [17].

- Döküm veya dökme toprak

Modifiye alçı (kalsiyum sülfat yarım hidrat) ile stabilize edilmiş tescilli özel bir toprak sistemidir.

Toprak karışımının kalıp içine dökülmesini sağlamak için toprağa yeterince su ilave edilmektedir ve tescilli özel formülü sayesinde alçının normal olarak hızlı sertleşme süresi gecikmektedir. Bitmiş malzeme dayanıklı değildir, çok kırılmandır ve ıslak veya nemli olduğunda dayanımını kaybeder. (Aynı teknik çimento ile stabilize edilmiş toprak ile, esas olarak silt ve killi beton ile denenmiştir, ancak yaygın hale gelmemiştir) [17].

- Püskürtme ile uygulanan toprak

(diğer adı – California‘da —Pisel – Pnömatik olarak Sıkıştırılmış Stabilize Toprak)

Beton sanayisinin gunitte (püskürtme harç) teknolojisini kullanan kuzey California‘da geliştirilmiş ve popüler hale gelmiş bir sistem. Kuru toprak, sıkıştırılmış havalı pnömatik tüp içinde kum ve çimento ile karıştırılır ve daha sonra karışım, hortumun çıkış noktasında su ile birleşerek nemli hale getirilir ve tek taraflı kalıp içine hızla püskürtülerek uygulanır [17]. Şekil 2.22 , Şekil 2.23 , Şekil 2.24 , Şekil 2.25‘de Püskürtme ile uygulanan toprak yapılar gösterilmektedir.



**Şekil 2.22** : Püskürtme ile uygulanan toprak yapılar [28].



**Şekil 2.23** : Püskürtme ile uygulanan toprak yapılar [28].



**Şekil 2.24** : Püskürtme ile uygulanan toprak yapılar [28].



**Şekil 2.25 :** Puskurtme ile uygulanan toprak yapılar [28].

- Hafif toprak (blok veya yerinde yapım)

Yapısal ve/veya yalıtım duvarı yapmak amacıyla, blok, kerpiç topağı veya sıkıştırma şeklinde kullanılmak üzere kalıp içine yerinde dökülen; saman, ahşap talaşları, ponza taşı, vermikülit veya kağıt hamuru gibi hafif ağırlıktaki agregalar ile bağlayıcı olarak kil çamurunu kullanan malzeme [17]. Şekil 2.26’de Hafif toprak (blok veya yerinde yapım) yapılar gösterilmektedir.



**Şekil 2.26 :** Hafif toprak yapılar [29].



**Şekil 2.27** : Hafif toprak yapılar [29].

#### **2.2.4 Kerpiç kullanımının sağladığı yararlar**

- Maliyet

Gelişmiş ülkelerde, inşaat iş gücü maliyetleri genellikle malzeme maliyetlerini aşmakta veya gölgede bırakmaktadır ve gelişmekte olan ülkelerde de bunun aksi doğrudur. Toprak yapım genellikle işgücü yoğun bir yapım türüdür ve her iki ekonomik durum için de bariz dallanmalar bulunmaktadır; yerinde dökme kerpiç ya da kerpiç tuğla bir ev Kolombiya'da çok ucuzdur ve California'da çok maliyetlidir. Yine de California'da giderek daha fazla yapılmaktadır ve iş gücünün makine ile kısmen değiştirilmesi bunu kısmen mümkün kılmıştır [17].

Ama genel olarak kerpicing ana maddesi toprak her yöreden sağlandığından dolayı maliyeti düşüktür.

- Sağlık ve estetik

Belirtildiği gibi bir çok kişi —bu çamur kulübelerden kurtulmal konusunda heveslidir. Aynı zamanda, sanayileşmiş ülkelerdeki beton, alçıpan ve metalin yavan, soğuk görünümünden usanan bir çok kişi görünümü ve (genellikle) elle yapılan dokusu nedeniyle toprağın cazibesine yönelmektedir.

Aynı zamanda, ve belki de daha önemli bir şekilde, insanlar modern yapı malzemelerinin insan sağlığı üzerindeki bir çok olumsuz etkisinin farkındadır.

Tercih yapma durumunda kalmaları halinde bir çok kişi yeni ev kokusunu oluşturan boyalar, yapışkanlar, yalıtıcılar ve diğer elemanlardan gelen rahatsız edici kimyasal kokuyu koklamak yerine temiz bir toprak duvara sahip olmayı isteyecektir [17].

- Termal performans

Daha ayrıntılı olarak açıklanacağı gibi, toprak yapılar, hem sıcaklık hem de nemi düzenleme kapasiteleri bakımından beton ve diğer malzemelerden yapılan yapılardan çok öndedir. Sismik tasarım gibi, geçen on yıllarda yapılan bir çok çalışma bu niteliği gündeme taşımıştır. Toprak inşaatın şaşırtıcı faydaları esas olarak yüksek ısıl kütesinden ve orta düzeyde yalıtım değeriinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca, kilin nemi emme/geri verme entalpisi olan, kil duvarların su buharını çekmesi ve salması şeklinde geniş çapta ifade edilen tampon etkisi bugüne kadar çok daha az üzerinde çalışılmış bir konudur [17].

- İklim değışımi

Küresel toplum antropojenik iklim değışımi konusunda giderek daha bilgili hale gelmektedir ve bunu durdurmaya yönelik olarak çabalamaktadır. Yapı endüstrisi burada büyük bir rol oynamaktadır, zira dünya çapındaki fosil yakıt kullanımının önemli bir kısmı binaların ısıtılması ve soğutulması ve yapı malzemelerinin imal edilmesinde söz konusu olmaktadır. Özel olarak çarpıcı bir örnek vermek gerekirse Portland çimentosunun üretimi, atmosfere salınan antropojenik CO2 salınımının yüzde altı ile sekizi arasında rol oynamaktadır (nasıl ölçüldüğü ve kime sorduğunuza bağlı olarak değışıir).

Binaların yapılması, ısıtılması ve soğutulması ile ilişkili karbon yükü,sera gazları denilen gazların üretilmesinin azaltılmasına yönelik tüm programlarda ele alınması gereken bir konudur.Toprak inşaat burada iki fayda sağlamaktadır: daha az ısıtma ve soğutma enerjisi gerektiren iyi bir ısıl performans ve imalat ve nakliye için fosil yakıtı enerjisinin kullanılmaması veya çok az kullanılması – diğer malzemelerin nerdeyse tamamı için bu gereklidir [17]

### **2.2.5 Geleneksel kerpiç malzemenin özellikleri ve kullanımının sakıncalı yönleri**

Toprak yapıların belirtilen olumlu yönler yanında doğal haliyle kullanıldığı zaman, çeşitli iyileştirme yöntemleriyle kolayca giderilebilen, bazı sakıncalı veya yetersiz kaldığı yönleri de vardır. Bunları şöyle özetleyebiliriz.

Suya ve rutubete karşı çok duyarlıdır. Killi toprakların (kerpicin) kuruyunca sertlik, rijitlik kazanması fiziksel bir olaydır. Kazandığı nitelikler kalıcı değildir. Bünyesine tekrar su alınca sertliğini ve dolayısıyla taşıyıcı gücünün, taşıyıcı duvar örgüsünün bağlantılarının, yetersiz kalmasına,ve duvarın taşıyıcı gücünün azalmasına sebep olur.

Boyut farklılıkları duvar yüzeyinin tam düzlem olmamasına ve sıvanın farklı kalınlıklarda yapılmasına neden olur. Duvarla aderansı iyi olmayan toprak sıvaların deprem sarsıntısında dökülmesi önemli bir sorun yaratmaktadır. Dökülen kalın büyük sıva parçalarının ve oluşan tozun , bina yıkılmadığı halde yaralanmalara, hatta ölümlere neden olduğu görülmüştür [17].

Bir çok yerde, toprak ile yapı inşa eden kişiler sadece başka bir şeye para bulamayan kişilerdir, bu nedenle insanların zihinlerinde toprak yapı ile yoksulluk arasında bir ilişki kurulmaktadır. Her yazar “çamur kulübeler” teriminin okuyucuya, toplumun yoksul olduğunu ve modern dünya karşısında yenilgi aldığını çağrıştırdığını bilmektedir.

Ancak, gittikçe artan sayıda istisna bulunmaktadır: California, New Mexico, Almanya, İsviçre, İngiltere, Yeni Zelanda ve Avustralya gibi yerlerde ortaya çıkan yeni zarif toprak yapılar [17].

Toprak yapıların yoğun olarak bulunduğu alanları gösteren bir dünya haritası ile yüksek sismik riski olan alanları gösteren harita çok benzer. Her birkaç yılda bir dünyanın bir yerlerinde toprak yapılar depremlerle biraz yıkılır ve yaşam kaybına neden olması bakımından haberlerde ön plana çıkar.

(Yetersiz bir şekilde yapılmış beton, çelik ve yığma binaların sismik sallanmasından dolayı da karşılaştırılabilir sayıda insan ölmektedir, ancak nedense bu söz konusu malzemelerin damgalanmasına neden olmamaktadır). Toprak yapı bu nedenle “sismik olarak güvensiz” şeklinde etiketlenmektedir ve sonuç olarak dünyanın bazı alanlarında ve bazı ülkeleri tarafından kesin olarak yasaklanmaktadır [17].

Genel olarak insan yerleşimleriyle ilişkili olarak, toprak binalar tüm dünyada genellikle sel alanlarına kurulurlar. Deniz taşmasına ve tsunamilere ve kayda değer (alt Ganj ve Mississippi nehirlerinin deltalarında olduğu gibi) ya da dağ ve çöllerdeki çamur kaymaları ve ani sellerin neden olabileceği yıkıcı akımlara maruz kalabilecek yerlere inşa edilmektedir.

Burada yine toprak yapılar hassas durumdadır, çünkü maruz kalma derecesi ve tipine bağlı olarak, sele maruz kalan toprak yapılar düşük düzeyde zemin erozyonundan, binanın tamamını etkileyebilecek erozyon ve yıkılmaya kadar farklı etkilere maruz kalabilir. Dayanıklılık ve Nem Konuları bölümünde daha ayrıntılı olarak ele alınacağı gibi, toprak yapılar sele karşı dahili olarak (kimyasal stabilizasyon) veya harici olarak (ör. çevreleme veya koruyucu kaplama) güçlendirilebilir [17]. Bu sakıncaları gidermek, niteliklerini iyileştirmek ve günün insanının gereksinimlerini daha iyi karşılamaını sağlamak amacı ile stabilizasyon yöntemleri uygulanabilir.

## **2.3 Yapı Malzemelerinde Hasar Oluşumu**

### **2.3.1 Malzeme dayanımları**

Beton ve taş yapıda olduğu gibi, toprak yapıların kayma ve kırılma dayanımı gibi bir çok malzeme özelliği genellikle basınç dayanım testlerinden çıkarılmaktadır (ancak stabilize veya stabilize edilmemiş toprak için kayma ve eğilme dayanımı ile basınç dayanımı arasındaki ilişki tam olarak ortaya konmamıştır).

Basınç dayanımı ve kırılma modülü için yapılan basit saha testleri, hem tasarım bilgisi hem de kalite kontrolü sağlamak için kullanılmaktadır. Kerpiç blokların dayanımı, blok özelliklerinin basit ve kullanışlı bir göstergesidir, ancak duvar dayanımını doğrudan temsil etmemektedir. Harcın mukavemeti, kalınlığı ve rijitliği, harç –briket yapışma derecesi ve duvar geometrisi faktörlerinin tamamı duvar dayanımının tanımlanmasında önemli bir rol oynamaktadır. Sıkıştırılmış, ekstrüde edilmiş veya stabilize edilmiş toprak bloklar tipik olarak sıradan kerpiçlere göre çok daha dayanıklıdır; düz kerpiç harç ile duvara tesis edildiğinde, harç veya bağlanma dayanımı da duvar dayanımını benzer şekilde sınırlandıracaktır. Bu gibi durumlarda, harç bağı sahada test edilmelidir ve harç yatakları pratik olduğu kadar ince tutulmalıdır. Sıkıştırılmış ve ekstrüde edilmiş toprak bloklar da geometrik olarak daha tutarlıdır ve belli bir duvar kalınlığı için daha yüksek duvarların inşa edilmesine izin vermektedir [17].

Stabilize edilmemiş toprak bloklar için (nihai) basınç dayanımlarının 0.20 MPa (30 psi) (çok kötü kalite) ile 2.8 MPa (400 psi) arası kadar düşük olduğu rapor edilmiştir. Benzer şekilde, kerpiç için Elastiklik Modülü (Em) 200 MPa (29,000 psi)'den 1000 MPa (145,00 psi ) değerine kadar büyük farklılık göstermektedir.

Belirsizlik ve/veya daha iyi tasarım hassasiyeti ihtiyacı söz konusu olduğunda, her iki değer ve aynı zamanda kayma, eğilme ve taşıma için türevsel değerler deneyler ile tespit edilmelidir. Çimento ile stabilize edilmiş toprağın ölçülen basınç dayanımı, stabilize edilmemiş eşlerine göre beş ila on kat daha yüksektir [17].

### **2.3.2 Mekanik etkenler**

#### **2.3.2.1 Düşey yük**

Kayda değer sismik riske sahip olmayan alanlardaki tek katlı yapılar göreceli olarak az sayıda yapısal endişeye neden olmaktadır. Duvarların fazla olan kalınlığı–nadiren 0.3m‘den (daha fazladır–yerçekimi yüklerinin toprak duvarlar üzerinde nadiren fazla strese neden olmasını sağlar. Çok yüksek, ince duvarlar veya dış merkezli dikey yüke sahip duvarlar için, duvarın burkulması veya rüzgar basıncı hakim endişedir, bu, takviye edilmemiş yığma duvarlarda söz konusu olan durumdur [17].

#### **2.3.2.2 Düzlem dışı yük**

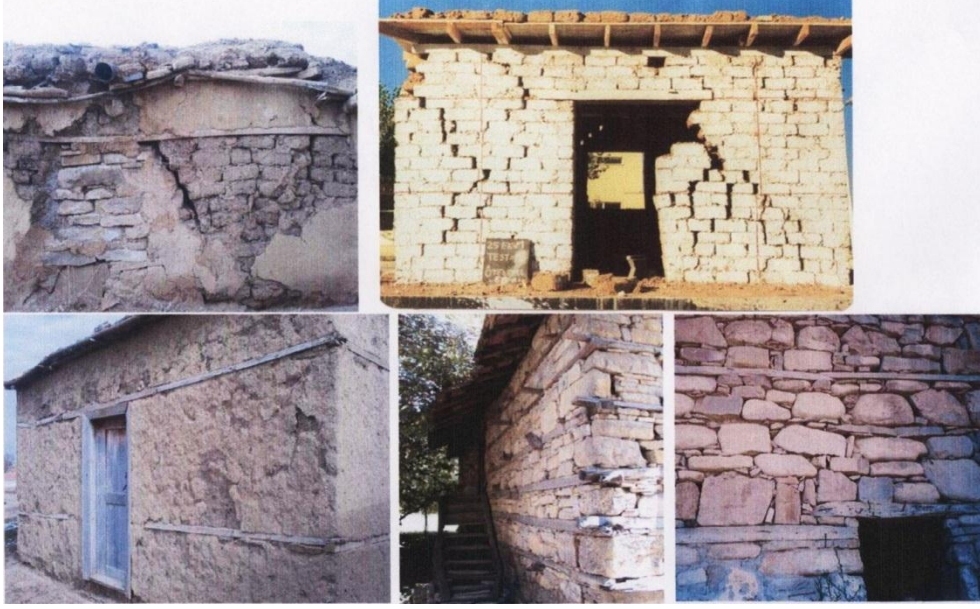
Bir duvarın yüzeyine dikey olan rüzgar basıncı düşey yüklere ek olarak eğilmeye neden olacaktır. Eğilme ve kolon burkulması için yapılan ve aynı zamanda blokları, harcı ve harcın bağ dayanımını tanıyan temel mühendislik hesapları bir duvarda aşırı yük olup olmadığını belirleyebilir [17].

#### **2.3.2.3 Kayma (makaslama) ve basınç-çekme etkisi**

Bir eksene göre birbirine zıt iki kuvvetin çok büyük bir mesafeyle malzemeye etki etmesi sonucu meydana gelen deformasyon halidir. Bu kuvvetler etkisinde malzeme içyapısında bir kayma düzlemi oluşur. Kayma gerilmesi, belli bir kesite etkiyen kuvvetler sonucu meydana gelir. Kayma düzlemindeki deformasyon oranı ise kayma gerilmesi doğrultusunda meydana gelen kayma miktarının kuvvetler arasındaki mesafeye oranıdır. Kaymadaki şekil değiştirmeler malzemede meydana gelen kayma gerilmesiyle orantılıdır. Belli bir eksen doğrultusunda etkiyen kuvvetlerin malzeme yapısında negatif deformasyonlar oluşturduğu haller basınç, pozitif deformasyonlar oluşturduğu haller ise çekme gerilmeleri meydana getirir.

Karma iç yapıya sahip taş, beton, pişmiş toprak gibi malzemelerde boşluklar nedeniyle çekme kuvveti basınç kuvvetinden daha küçüktür. Bu değerler basınç ve çekme yükü deneyleriyle öğrenilebilir [17].

intermediat Genellikle malzemede görülen kayma (makaslama) gerilmeleri, bir moment etkisi meydana getirdiklerinden, basınç ve çekme gerilmelerine oranla çok daha fazla etkindir ve çok daha fazla zarara neden olacak niteliktedir [7]. Şekil 2.28’de depreme dayanıklı örnek gösterilmektedir.



Şekil 2.28 : Depreme Dayanıklı Örnekler

### 2.3.3 Fiziksel etkenler

#### 2.3.3.1 Sıcaklık ve rötre

Sıcaklık ve rötre gerilmeleri ve buna eşlik eden çatlamanın kontrol edilmesi zor olabilir ve bu konunun toprak gibi kırılğan duvar sistemlerinde dikkatli bir şekilde ele alınması gerekir. Ancak, kerpiçte rötre esas olarak duvar inşaatından önce blokların kuruması sırasında ortaya çıkar, ancak derz harcı, eğer yeterince uzun ise, çatlama maruz kalabilir. Bu nedenle, harcı mümkün olduğu kadar kuru tutmak en iyisidir (diğer bir ifadeyle, beton karışımlarında olduğu kadar az su kullanılması gerekir). Sıcaklıktaki değişimler, hem toprak binaların nadiren çok büyük olması hem de bir toprak duvarın kalınlığının, yüzey sıcaklığındaki değişiklikleri hafifletmesi nedeniyle nadiren önemli bir konu olmuştur.

Rötre ve sıcaklık değişikliklerinin çekme kuvvetlerine dayanım sağlayabilmek için harç derzlerinin tamamında veya periyodik olanlarında gömülü olarak takviye sağlanabilir [17].

### **2.3.3.2 Nem etkileri**

Toprak karışımlarının stabilize edilmesi için ana itici güç, suyun bir duvara nüfuz edeceği zaman dayanıklılığı muhafaza etmektir, çünkü doymuş, stabilize olmamış toprağın dayanıklılığı önemli düzeyde azalmaktadır. Bazı toprak yapı standartları nemli (stabilize edilmemiş) duvarlar için % 50 veya % 90'lık bir dayanıklılık azalmasını şart koşarlar ancak bu dayanıklılık azalmaları çok mutedil olabilir veya bazen gerçek dünya koşullarında sıklıkla meydana gelen şartlar altında yeterince mutedil olmayabilir. Kerpiç yapılardaki tipik bir sorun temel erozyondur – bu, bir duvardan aşağı inerek yağmur suyunun duvarı kaplaması, topraktan kılcallık ile çıkan nem ve özellikle bitişik yüzeylerden sıçrayan veya doğrudan gelen yağmurun neden olduğu erozyona uğratici etkidir [17].

## **2.4 Kerpicin Sağlamlaştırılması**

### **2.4.1 Mekanik iyileştirme**

#### **2.4.1.1 Granülometrinin iyileştirilmesi**

Kullanılacak olan toprağa, başka toprakların katılması veya toprağın granülometrisinde yapılabilecek değişiklikler kerpicin porozitesini ve dayanımlarını etkilemektedir [30].

Bu yöntemde, toprağı oluşturan danelerin büyüklük oranlarının ayarlanması ile basınç dayanımı yükseltilebilir. Dane büyüklüklerinin ayarlanması, yoğrulmuş toprak içindeki boşluk oranını azalttığından, basınç dayanımı da artmaktadır [16].

#### **2.4.1.2 Kompaksiyon (sıkıştırma) ile sağlamlaştırma**

Blok üretimi sırasında basınç uygulayarak bünye daha kompakt hale getirilir. Kalıp içine döküm yönteminde tokmak veya bir kompaktör kullanarak sıkışma sağlanır. Basınç dayanımı ve suya karşı direnci artırmak için uygulanan bir yöntemdir [14].

#### **2.4.1.3 Toprağın dinlendirilmesi ve kendi bünyesinde iyileştirilmesi**

Toprağın dinlendirilmesi ve kendi bünyesinde iyileştirilmesi ile daha iyi kalitede toprak elde etmek mümkün olmaktadır.

İçinde demir bileşikleri ihtiva eden toprak, organik toprakla karıştırılarak uzun süre nemli ortamda bekletildiği zaman, humus asidinin kimyasal reaksiyonları sonucu bağlayıcılık özellikleri arttırmaktadır [16].

## **2.4.2 Fiziksel iyileştirme**

### **2.4.2.1 Lif Donatı ile sağlamlaştırma**

Anadoluda eskiden beri kerpicingin sağlamlığını arttırmak için ve çatlama ve kırılmaları önlemek için içerisine saman katılmaktadır. [31] Organik lifsel bitki atıklarının katılmasıyla dengeli, homojen kuruma sağlanır, büzülme ve çatlama azalır, dayanım artar. Ortalama 1 m<sup>3</sup> çamura 8-12 kg saman katılmaktadır. Saman dışında her türlü ot, saz, kamış artığı, bitki sapları, ahşap elyafı, testere talaşı gibi katkıları da kullanılabilir. Bu katkıları sayesinde kerpicingin üzerindeki rutubet emilip dışarı atılmaktadır [25]. Toprak blok ( Kerpiç ) üretiminde karışımın hazırlanması sırasında saman veya diğer bitki lifleri katmak bünyede armatür ağı oluşturur, basınç dayanım gücünü artırır, dengeli kurumayı kolaylaştırarak biçimsel bozulma ve iç çatlakların oluşma riskini azaltır veya önler [15].

## **2.4.3 Kimyasal iyileştirme**

### **2.4.3.1 Çimento ile sağlamlaştırma**

Çimento temel olarak toprak içinde bir iskelet oluşturarak bağlayıcılık rolünü üstlenir. Hidratasyon sonucu oluşan bu iskelet karışımın dayanımını artırırken boşlukluluğunun azaltılmaktadır. Kil miktarı düşük ve yapışkan olmayan topraklarla kullanıldığında daha iyi netice verir [35]. Çimento uygun bir katkı malzemesi olmasının yanı sıra maliyeti büyük oranda arttırdığı için pahalı bir katkı maddesidir. Bu nedenle dayanımı arttırmak için çimento miktarının fazla kullanılmasından sakınılmalı uygun miktarda çimento katılmalıdır. Deneyler 1 m<sup>3</sup> toprağa 100 kg çimentonun yeteceğini göstermiştir. Çimento toprak karışımı katılaşmadan kalıplama işlemi bitirilmelidir. Çimentonun toprağın her tarafına iyice dağılması sağlanmalı mümkün olduğunca homojen bir karışım elde edilmeye çalışılmalıdır [36].

Genellikle kum oranı yüksek topraklarda çimento kullanımı daha uygundur. Toprak içerisinde bulunan asit karakterli (Nükleik asit, tartarik asit, glikoz) organik maddeler, yavaş ama çok güçlü olarak çimentoyu etkileyerek zarar verirler [14].

Çimentonun hidratasyonu sırasında açığa çıkan kalsiyum iyonları toprağı etkilemeye başlar. Bu durum toprak taneleri için birleştirici bir ortam oluşturur.Çimento jelleşir ve derinlere nüfuz eder.Bu şekilde toprağın çimentoyla stabilizasyonu gerçekleşir [14].

Yapı sistemlerinden herhangi birisi için karışıma çimento eklendiğinde, birçok ayırt edici etki ortaya çıkmaktadır :

- Yapım hızı köklü bir şekilde değişmektedir, çünkü, sadece kuru topraktaki nem ile bile çimento derhal hidratlaşmaya (hidrasyon-hidratasyon) başlamaktadır. Karıştırılmış toprak-çimento en fazla iki saat içinde yerleştirilmeli yoksa atılmalıdır. Ayrıca, işçiler derinin teması ve tozun yutulmasına karşı beton işi için aldıkları tedbirlerini aynılarını almalıdır.
- Eğer uygun şekilde kürlenirse (betonda olduğu gibi), malzeme, özellikle uzun süreler sonunda önemli düzeyde daha fazla basınç dayanımı kazanacaktır. Örneğin hacim olarak % 10 çimento ile stabilize edilmiş yerinde döküm kerpiç, 41 MPa‘dan (6000 psi) daha yüksek basınç dayanımına ulaşabilir ;
- Kürlenmiş toprak-çimento, stabilize edilmemiş toprak gibi kolay bir şekilde onarılamaz veya değiştirilemez, veya kolayca toprağı dönüşürülüp yeniden kullanılamaz, çünkü esas olarak beton gibi bir hale gelecektir.
- Toprağın termal özellikleri çimento tarafından değiştirilir ve bu genellikle termal kütlede bir artışı, iletkenlikte bir artışı (daha az yalıtım) ve buhar emiciliğı ve geri bırakımında bir azalmayı beraberinde getirir.
- Çimentonun (veya kirecin) kullanılması yapının karbon ayak izinde önemli bir artışa neden olacaktır [17].

#### **2.4.3.2 Kireç ile sağlamlaştırma**

Kireç yüksek oranda kil içeren topraklarda çok etkili bir stabilizatör olarak kullanılmaktadır. Bu durumda kireç çimentoyla yapılan stabilizasyondan daha uzun geç bir sürede kompakt hale gelir. Kil mineralleri ve kireç arasındaki reaksiyon yavaş gerçekleşir. Bu da sadece kendisinin stabilizator olarak kullanılmasını zorlaştırır.

Ama kirecin yararlı özelliği olarak sayılacak plastik olma ve likit özelliği, suyun emeceği su oranını azaltarak toprağı kompakt hale getirir ve çimentonun çok killi toprakta daha etkili olmasını sağlar Küçük orandaki imento ilavesi bile kirecin yavaş olan güçlenme reaksiyonunu kuvvetlendirir.

Kirecin miktarı yapılacak olan blokların tutarlı kompaksiyon ve su içeriğine göre test edilerek belirlenir. Kabul edilebilir olan en düşük kireç oranı seçilir.Kireç oranı kuru ağırlık için yaklaşık % 3 -10 arasındadır ve bu oran topraktaki kil oranına göre artar.

Kireç toprak karışımı kaba oranlarda hazırlanıp optimum oranda su eklenir. Kireç, toprak ve su karıştırıldıktan sonra kirecin toprakla reaksiyonunun gerçekleşmesi için bir ya da iki gün beklenmelidir. Bu süre içinde kireç toprakla bütünleşerek kompakt bir hale gelir. Kireçle stabilize olmuş bloklar kompakt hale geldikten sonra nemli bir yerde korunmalı ve en az 2 hafta bekletilmelidir [34].

#### **2.4.3.3 Bitüm emlzeri katkı ile sağlamlaştırma**

Kullanılacak olan toprağa ozelti halinde eklenir. Toprağa karıştıktan sonra su veya ozen buharlaşır. Neticesinde bitüm damlaları, güçlü ve ince bir tabaka halinde toprağı kaplar ve yapışır. Kilin su emmesini azaltacak Şekilde toprağın su geirirmlilik özelliğini iyileştirir. Ayrıca yapışkan olmayan toprakla kullanıldığında bağlayıcı rln üstlenir [14].

#### **2.4.3.4 çeşitli endüstri atıkları katkısı ile sağlamlaştırma**

Kimyasal bazı maddeler katarak kil tanelerinin suya karşı olan dayanıksızlığı azaltılıp, kimyasal stabilizasyon yapılabilmektedir. Bu işlemler için reçineler, elektrolitler (Kalsiyum klorür,sodyum klorür, demir klorür, sodyum silikat ), organik kationlar (selüloz) gibi kimyasal maddeler kullanılabilirler [35].

#### **2.4.3.5 Ali ile sağlamlaştırma**

Kerpicin ali ile stabilizasyon çalışmaları ilk defa Türkiye’de İ.T..’de Prof.Ruhi Kafesçioğlu önderliğinde başlamış ve TÜBİTAK MAG 505 araştırması ile geliştirilmiştir. Bu alışmalar sonucunda alçılı kerpiç, diğer bir adıyla alker bir yapı malzemesine dönüşmüştür [36]. Bu konuyla ilgili detaylı bilgi Alker bölümünde açıklanacaktır.

## **2.5 Alçı ve Kireçle (ALKER) Sağlamlaştırılmış Kerpiç**

Uygun granülometrideki toprak içerisine belirli oranlarda alçı ve /veya kireç katılarak suyla yoğrulması ile elde edilen karışıma, bu çamurdan çeşitli döküm yöntemleri ile elde edilen malzemeye de Alker denir [30].

### **2.5.1 Alkerin üretim süreci**

Alçılı kerpiç geleneksel kerpice göre daha mukavemetli ve suya karşı daha dayanıklıdır. MAG 505 ve Toki 622 no'lu araştırmalarda istenen en iyi performansı elde etmek için çalışmalar yapılmış ve %10 alçı katkısının mukavemet ve rötre açısından en iyi sonuçları verdiği görülmüştür. Priz süresini uzatmak için %2 oranında yapılan kireç katkısı ile de yaklaşık olarak 4-5 dakika priz başlangıcının geciktiği görülmüştür. Böylelikle priz başlama süresi 12-13 dakikaya uzamaktadır. İşlenebilirlik açısından en iyi performansın %18-20 oranındaki su ilavesi ile yakalandığı tespit edilmiştir [37].

#### **2.5.1.1 Toprak seçimi**

Toprak (zemin malzemesi) içerdiği tane büyüklüklerine göre sınıflandırılır. Toprağın içerisindeki iri ya da ufak taneli çakıl, kum, silt ve kil bulunabilir.

Elek analizi yapıldığında çapı 0.05 mm ve daha küçük taneli partikülleri silt ve kilin oluşturduğu, özellikle kil tanelerinin çaplarının 0.005mm den de küçük olduğu görülmektedir.

Çapı 0.05 mm den büyük olan taneler büyüklüklerine göre kum ya da çakıl taneleridir. Toprağın içerisindeki karışım oranı dünyanın her yerinde değişebilmektedir. Bu sebeple en ideal geleneksel kerpiç blok üretimi için standart bir toprak söz konusu değildir. UBSC'ye (Uniform Building Code Specification) göre %55-75 oranında kum ile %25-45 oranında silt ve kil uygun karışımlardır [36]. Toprak doğada çok çeşitli yapıda ve dokuda ve dolayısıyla değişik niteliklerde bulunduğu için kullanılacağı yere uygun olup olmadığının belirlenmesi gerekir.

Yapım sırasında istenmeyen, işi aksatan veya olumsuz sonuçlarla karşılaşmamak için önce ele alınan toprağın içindeki iri ve ince tane oranlarını bütünlük içindeki dağılım oranlarını belirleyen Granülometrik yapısı belirlenmelidir.

Olanak varsa , bir laboratuarda granülometrik analizler yaptırılarak toprağın dokusu öğrenilmelidir. Laboratuar olanağı yoksa açıklayacağımız basit görsel deneyler yapılarak kullanılacak toprak hakkında yeterli bilgi edilebilir [15]. Seçilen toprak avuç içerisinde top haline getirildikten sonra dağılmaması ya da belli bir seviyeden (yaklaşık 1 m) yere atıldığında parçalanmaması toprağın uygunluğunu gösterir. Laboratuvar ortamında yapılacak testler dışında, seçilen toprağın üretime başlamadan önce gerekli karışımlarda hazırlanıp, örnekler yapılmalıdır. Güneşte kurutularak bekletilen örneklerin kuruduktan sonra çatlayıp, dağılmaması gerekir [36].

#### **2.5.1.2 Su oranının belirlenmesi**

Kerpiç yapımında diğer önemli faktör ise su oranıdır. Her türlü su kerpiç yapımı için uygundur. Fakat yüksek oranda mineral tuz ve organik maddeler içeren sular kullanılmamalıdır. Humus ve benzeri organik maddeler kerpiç bloğun mukavemetinin düşmesine sebep olurlar. Bazı tuzlar da aynı olumsuz etkiye sahiptirler. Su, ideal plastikiyet sağlanana kadar karışıma katılmalıdır. Fazla miktardaki su oranı kerpiğin katılaşmasını engeller. Genellikle %20-22 arasındaki su karışım oranı kerpiç üretimi için uygundur. Mekanik presleme yöntemi ile sıkıştırma yapıldığı takdirde bu oran da düşebilmektedir [36].

#### **2.5.1.3 Karışımın hazırlanması**

Toprak doğal nemliliğe gelecek şekilde ıslatılır. Plastik kıvamdaki karışım kalıba ince tabakalar halinde dökülüp yerleştirmek üzere şişlenir. Hava kurusu haline getirilecek şekilde bekletilir. Toprak türü, alçı ve kirece bağlı olarak elde edilen rötre miktarı alçının artması ile küçülmektedir [8].

Kerpiçte karıştırma ayak ile yapılıp dinlendirilir. Dinlendirme, kil oranı % 20-25 olan toprağın bağlayıcılığının artması ve mukavemetinin yükselmesi için gereklidir. Kil oranı % 8-10 olan alker malzemesinde ise üretim rasyonelleşir [36].

#### **2.5.1.4 Kalıplama**

Geleneksel kerpiç, ülkemizde en çok tuğlanın büyüğü olan boyutta üretilir. Alker üretiminde ise gelişmiş kalıplar kullanılmaktadır. Ülkemizde kerpiç yapı inşaatında kullanılan kalıp tipleri şöyle sıralanmaktadır.

- Geleneksel Kerpiç Tuğlası Döküm Kalıbı: Kullanılan en eski kalıp tipidir. Kerpiç blokların boyutlarına uygun olarak ayarlanmalıdır. Tabla denen ahşap levha üzerine diklemesine birbirine geçen tahtalar ile hem rijitlik sağlanmış hem de kerpiç blokların kalıpları oluşturulmuştur. Blok üretiminde kurutma şantiyede stok, nakliye, örülme işçiliği, örülme malzemesi ve örme sırasında oluşan kayıplar nedeniyle teknolojik yönden ihtiyaca cevap verememektedir.

- Münferit Yerde Döküm Kalıpları: Duvar örülecek yere kurulan kalıba harcın sıkıştırılması ile duvar oluşturulur. Fakat ilerleyen duvar sürekli devam ettirilemez çünkü rötre yüzünden üretilen bloklar çatlar, şekli bozulur. Bunu önlemek için dökülen bloklar arasında boşluklar bırakılır.

Fakat bu boşlukların kapatılması çok zor olmaktadır. Aynı zamanda yerleştirme ve tokmaktama sırasında kalıp rijitliğini kaybetmektedir. Ahşap malzemedan yapılan kalıpların dayanıklılığı az olmaktadır.

- Sürekli Yerde Döküm Kalıpları: Tüm duvarlar boyunca devam eden kalıp sistemidir. Kalıp kurma ve sökme problemi vardır. Kalıplar diğer yöntemlerdeki gibi ahşaptandır. Aynı zamanda birkaç döküm sonrasında kalıplar deforme olmaktadır.

- Gelişmiş Yerde Döküm Kalıpları: Bu kalıplar daha çok beton teknolojilerde kullanılmaktadır. Bu kalıpların en önemli özelliği her türlü yapıya kolay uyum sağlamaları, işçilik maliyetlerini en aza indirmeleri, iş ve işçi güvenliğini sağlamaları, hızlı montaj ve söküm olanaklarının ve ömürlerinin çok uzun olmasıdır [38].

### **2.5.2 Alkerin mekanik ve fiziksel özellikleri**

Alker (alçılı kerpiç) uygun kerpiç toprağına % 10-20 arasında alçı katılmış bir kerpiç türüdür. Fizik ve mekanik nitelikleri, normal kerpice nazaran yapı için gerekli olan yönde, önemli ölçüde iyileştirilmiştir. Alkere katılan alçının çabuk priz yapması, kalıptan çıktığı sırada yeterli sağlamlık kazanmasını sağlar. Uygulamada, kurutma için işçilik ve zaman kaybına ve kurutma alanı ayrılmasına gerek kalmadan kullanma olanağı kazandırır.

Alçının çabuk priz yapması (katılaşması) kilin kullanma sırasında normal olarak yapacağı büzümeyi ve kurumunun dengeli olarak sağlanamadığı zamanlarda bünyede oluşacak çatlama ve biçim değişmelerini önler.

Bu olaylar dayanımın artmasına ve suda dağılmamasına neden olur [39]. Geliştirilmiş alçılı kerpicing mekanik ve fiziksel özelliklerinde büyük gelişmeler kaydedildiği görülmüştür. Alker ile yığma yapı inşa edildiğinde gerekli güvenlik ve konfor şartlarını yakalayabilmek için Çizelge 2.2 de belirtilen özelliklerini bilmek gerekir.

**Çizelge 2.2 : Alkerim mekanik ve fiziksel özellikleri [16].**

Birim ağırlık	1,6 - 1,7 kg/lt
Rötre	1,0 – 1,5 %
Basınç mukavemeti	2,0 -4,0 N/mm <sup>2</sup>
Kesme mukavemeti	0,9 - 1,3 N/mm <sup>2</sup>
Su emme	çok düşük
Uzun süreli su etkisi (yüzey darbesi hariç)	erozyon yok
Isı geçiş katsayısı	0,4 W/mK
Isı depolama	1,0 kJ/kg K

Geleneksel yöntemle üretilen kerpiç yapıların durabil olmaması sonucunda, görüntüleri kısa zamanda bozulabilmektedir.

Bu durum, kerpiç yapıların kullanıcıların gözünde itibar kaybetmesine ve kullanıcıların sanayi ürünlerinden üretilmiş yapılara yönelmesine sebep olacaktır. Ancak gelişmiş teknoloji ile üretilen kerpiç yapılar, kullanım süresince çok az hasar görürler [21].

Aşağıdaki Çizelge 2.3’da da belirtilen özellikler alkeri halkın gözünde itibarını yitirmiş olan kerpiç yapıyla arasındaki farkları ortaya koymaktadır.

**Çizelge 2.3 : Geleneksel kerpiç ile alçı katkılı kerpiç farkları**

Geleneksel Kerpiç Yapımında	Alçı Katkılı Kerpiç Yapıda
Ön proses gereklidir	Ön proses gerekli değildir
Öğütmek gereklidir	Öğütmek gereklidir
Dinlendirmek gereklidir	Dinlendirmek gerekli değildir.
% 30 Kil	% 10 Kil
15-21 günde mukavemet kazanır	20 dakikada mukavemet kazanır
Kürlemek için alan gereklidir	Kürlemek için alan gerekli değildir
Üzerine su serpilmesi gereklidir	Üzerine su serpilmesi gerekli değildir
Yağmurdan korunması gereklidir	Yağmurdan korunması gerekli değildir

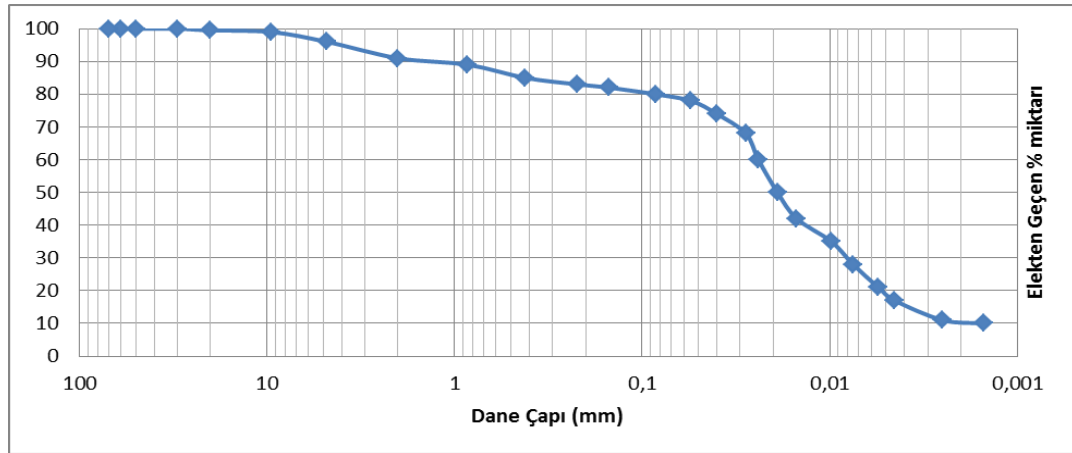


## DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 3.1 Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

#### 3.1.1 Toprak

Numunelerin hazırlanmasında İ.T.Ü. Ayazağa Kampüsündeki doğal killi ve çakıllı olan toprak kullanılmıştır. İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Zemin Mekaniği Laboratuvarı'nda yapılan analizler sonucunda toprakta %4 iri agrega (En iri tane çapı 19 mm), %16 Kum, %69 Silt, %11 Kil elde edilmiştir. Şekil 3.1'de Ayazağa arazisi toprağının granülometri eğrisi gösterilmektedir.



Şekil 3.1 : Ayazağa Arazisi Toprağının Granülometri Eğrisi

#### 3.1.2 Alçı

Karışıma katılması amacıyla priz süresi karışıma katıldıktan sonra 8 - 10 dk olan kartonpiyer alçısı kullanılmıştır. Alçı %10 oranında kullanılmıştır.

#### 3.1.3 Kireç

%5 , % 2,5 oranında kireç fabrikasının söndürülmüş torba kireci kullanılmıştır.

#### 3.1.4 Karışım suyu

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

### 3.2 Numunelerin Deneylere Hazırlanması

#### 3.2.1 Toprak seçimi

Ayazağa arazisinden İTÜ-TOKİ 622 projesi kapsamında yapılan Habitat Evi'nin bahçesinden alınmıştır. Toprak öncelikle tam olarak kuruması için 15 gün süresince yere serili olarak bekletildikten sonra 20 mm delik çapında olan elekten elenerek, büyük çakıl, bitki, çöplerden temizlenmiştir. Şekil 3.2'de Ayazağa arazisi toprağı ve Şekil 3.3'de Labaratuardaki toprak ve Şekil 3.4'de kum gösterilmektedir.



Şekil 3.2 : Ayazağa Arazisi Toprağı

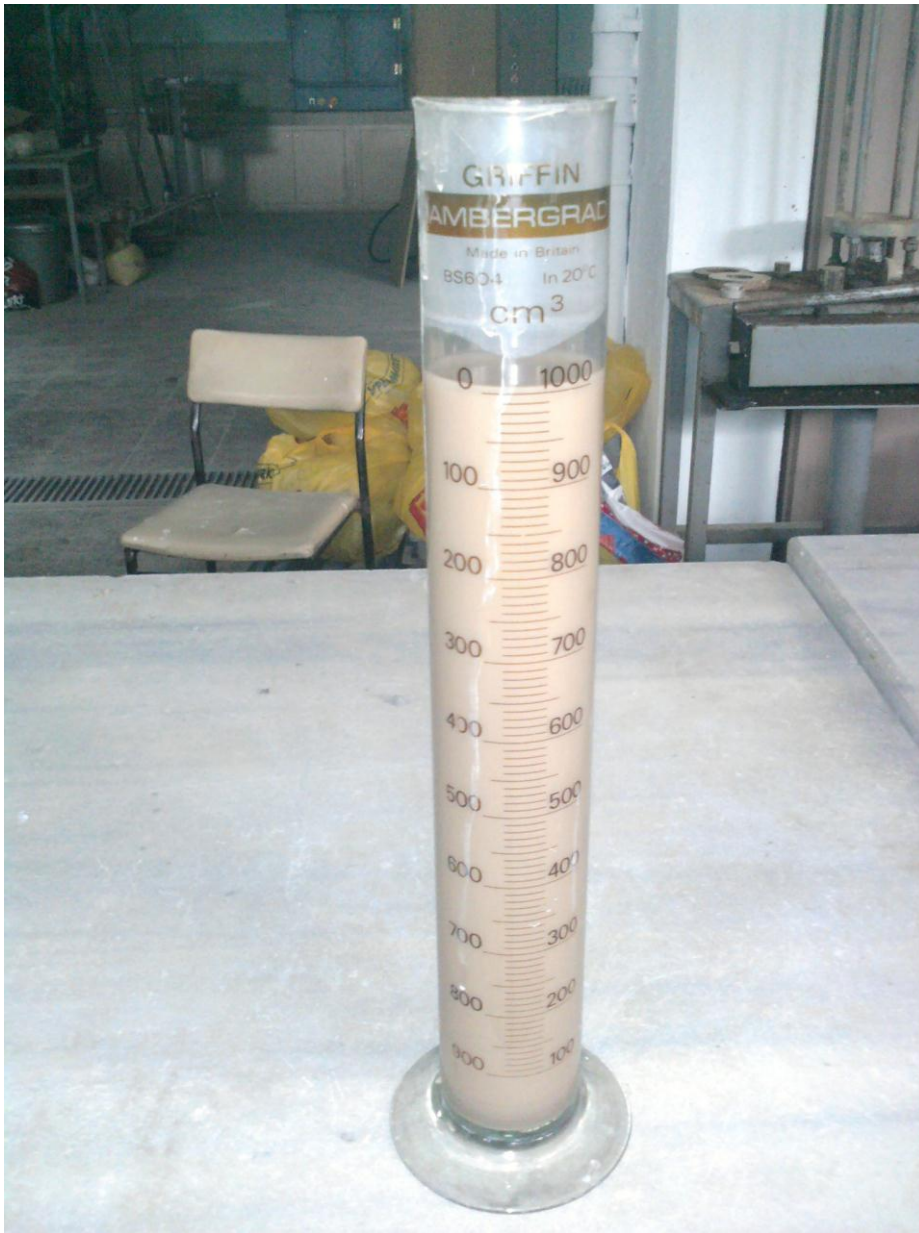


**Şekil 3.3 : Labaratuardaki toprak**



**Şekil 3.4 : Kum**

Elekten geçen topraktan belli bir miktar numune alınarak tam kuruması için etüvde 24 saat bekletildi. Tam kuruması sağlanan numuneden 1500 gr alındı. Alınan toprağın kendi içinde tam olarak dağılımının sağlanması için 6 saat suda bekletildi. Daha sonra 200 nolu elekten geçirilerek, eleğin üzerinde kalan toprak 24 saat etüvde bekletildi. Kuruyan toprak sırasıyla 3/8 , 3/6, 10, 20, 40, 70, 100 nolu eleklerden geçirerek grafiği aktarılmak üzere farklı oranlardaki çakıl oranı belirlendi. 200 nolu elekten geçen toprak ise kil ve silt oranlarını belirlemek amacıyla Hidrometry (Sedimentasyon Analizi) Analizi yapıldı. Şekil 3.5 Hidrometry Analizi ve Şekil 3.6 ve Şekil 3.7’de elekler gősteilmektedir.



**Şekil 3.5 : Hidrometry Analizi**

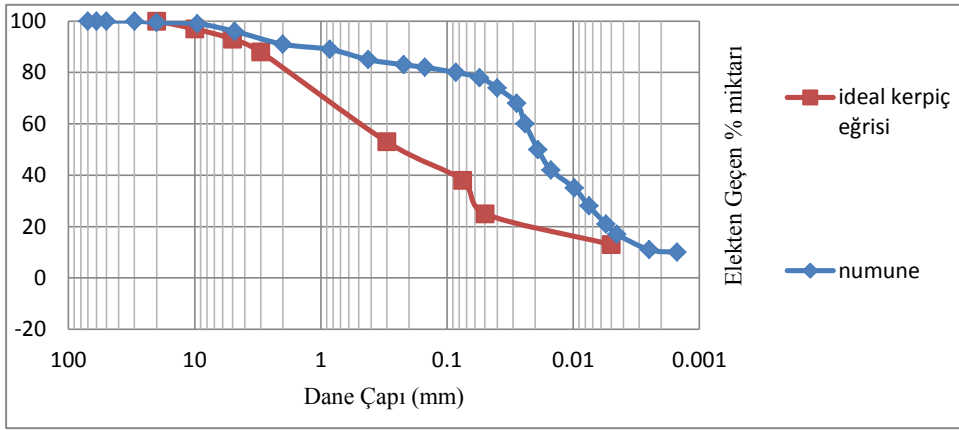


**Şekil 3.6 : Elekler**

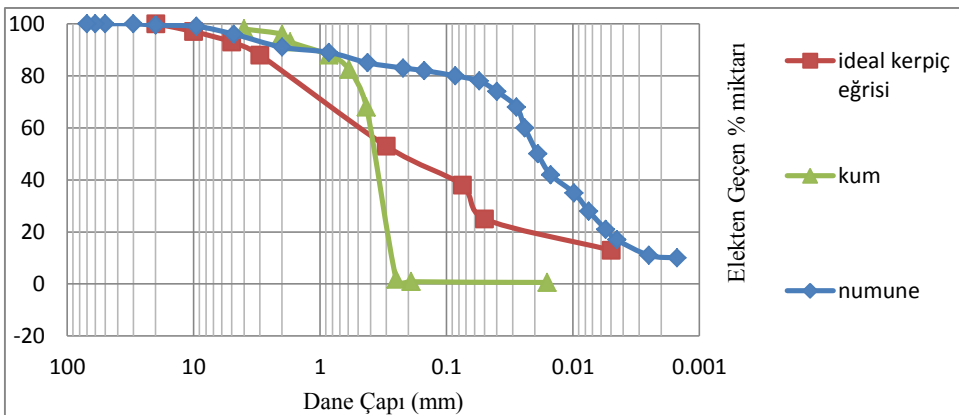


**Şekil 3.7 : Elekler**

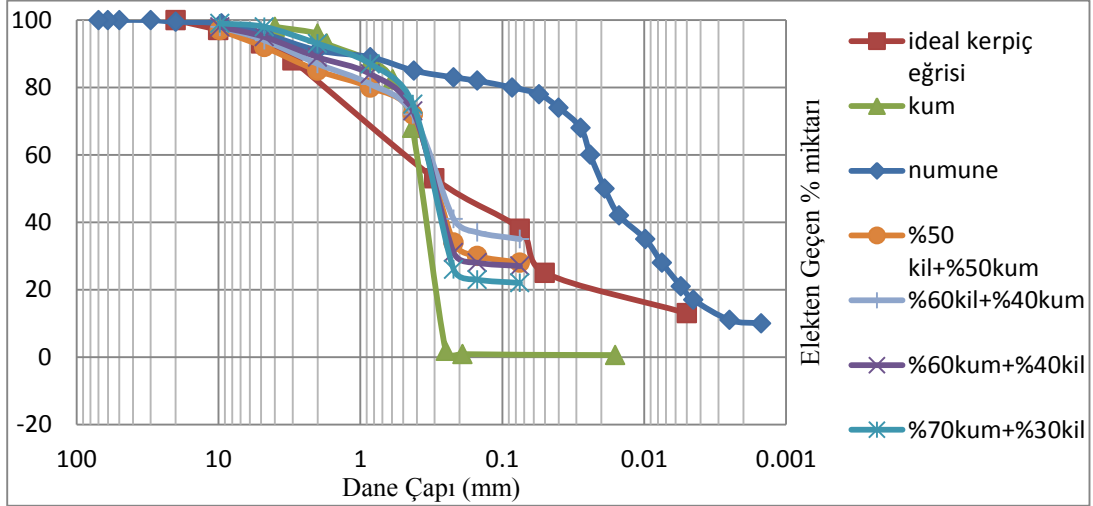
Çakıl, kum, silt ve kil oranları belirlenen toprağın granülometri eğrisi grafiğe aktarıldı. Arizona Üniversitesi'nin [16] belirlediği ideal Granülometri eğrisine yaklaştırmak için farklı karışımlar oluşturuldu. Karışımlar, toprağın granülometri eğrisi ideal eğrinin üzerinde olduğundan dolayı belirli oranlarda kum eklenerek oluşturuldu. % 50 toprak - % 50 kum, % 60 toprak - % 40 kum, % 40 toprak - % 60 kum, % 30 toprak - % 70 kum oranlarında 4 farklı karışım oluşturuldu ve ideal granülometri eğrisiyle karşılaştırıldı. Sonuç olarak en uygun karışım olduğu belirlenen % 50 toprak - % 50 kum karışımının kullanılmasına karar verildi. Şekil 3.8 , şekil 3.9 , Şekil 3.10'da ayazağa arazisi toprağının granülometri eğrisiyle ideal granülometri eğrisinin ve alternatif karışımının karşılaştırılması gösterilmektedir.



**Şekil 3.8 :** Ayazağa Arazisi Toprağının Granülometri Eğrisiyle İdeal Granülometri Eğrisinin karşılaştırılması



**Şekil 3.9 :** Ayazağa Arazisi Toprağının Granülometri Eğrisi, İdeal Granülometri Eğrisi ve Kumun Granülometrik Eğrisi



**Şekil 3.10 : Alternatif karışım oranları**

### 3.2.2 Kalıpların hazırlanması

Temizlenerek tozdan arındırılmış olan 10 cm çapında, 20 cm boyunda 6 adet silindir, 10 cm x 10 cm x 50 cm boyutunda 4 adet prizma, 28 cm x 7 cm x 7 cm boyutunda 10 adet prizma, 30 cm x 30 cm x 30 cm boyutunda prizma, 50 cm x 50 cm x 20 cm boyutunda 4 adet prizma şeklinde çelik kalıp kullanıldı. Şekil 3.11, şekil 3.12, şekil 3.13'de kalıplar gösterilmektedir.



**Şekil 3.11 : Silindir kalıp**



**Şekil 3.12 : Plak kalıp**



**Şekil 3.13 : Prizma ve Blok kalıplar**

### 3.2.3 Karışımın hazırlanması

Belirlenen toprak karışımı;

Katkısız toprak karışımı

%10 alçı ve toprak karışımı

%10 alçı ve %2,5 kireç karışımı

%10 alçı ve %5 kireç karışımı olarak 4 farklı üretim gerçekleştirildi.

Toprak karışımı, alçı, kireç, ve su mikserin yanına getirildi. Öncelik kuru toprak ve kum mikserin içine dökülerek karıştırıldı. Sonra da yukarıda belirttiğimiz oranlarda sırasıyla alçı ve kireç eklendi. Tüm karışım mikserde belli bir süre karıştırıldıktan sonra yavaş yavaş su ilave edildi, Şekil 3.14 ve Şekil 3.15’de Tartı ve Betoniyer gösterilmektedir.



Şekil 3.14 : Tartı aleti



Şekil 3.15 : Betoniyer

### 3.2.4 Karışımın kalıplara dökülmesi

Kuru karışıma su ilave edildikten 1-2 dk içinde (karışım sıvı hamur halinde geldikten hemen sonra) hızlı bir şekilde kalıplara dolduruldu. Kalıplar bu şekilde titreşim makinesinin üzerinde 1-3 dk süresince bekletilerek karışımın kalıba oturtulması ve karışımın içinde bulunan hava kabarcıklarının dışarıya çıkması sağlanır. Şekil 3.16 ve Şekil 3.17’de kalıba konulmuş numuneler gösterilmektedir.



**Şekil 3.16:** Kalıba konulmuş numuneler



**Şekil 3.17 :** Kalıba konulmuş numuneler

Bu işlemler sonucunda 10 cm çapında, 20 cm boyunda 6 adet silindir, 10 cm x 10 cm x 50 cm boyutunda 4 adet prizma, 7 cm x 7 cm x 7 cm boyutunda 20 adet küp, 30 cm x 30 cm x 3 cm boyutunda prizma, 50 cm x 50 cm x 20 cm boyutunda 8 adet blok numune üretildi.

### 3.2.5 Krleme

Kalıplanan numuneler laboratuvar ortamında bir süre bırakıldı. Üretim kışın gerekleştđđi için katkısız çamur yaklaşık 7-10 gün sonra kalıptan ayrıldı.

### 3.3 Numuneler zerinde Yapılan Deneyler

#### 3.3.1 Basınç dayanımı deneyi

##### 3.3.1.1 Prizma numunelerde basınç dayanımı deneyi

Prizma numuneler 28 cm x 7 cm x 7 cm olarak üretilen numunelerin kesilerek 7 cm x 7 cm x 7 cm 'lik toplam her numuneden üçer tane olmak üzere toplam 12 adet küp oluşturulmuştur. Küplerin deneye hazırlanması aşamasında przly yüzeylerin düz hale getirilmesi için alt ve üst olmak üzere iki yüzeyine imento, alçı, kum ve su karışımından başlık yapıldı. Başlıklar sertleştikten sonra deney yapılmıştır. şekil 3.19 ve şekil 3.20'de başlıkların yapılması gösterilmektedir.



şekil 3.18 : Numunelerde alt ve üst başlık yapılması



şekil 3.19 : Başlıklı numuneler

### 3.3.1.2 Silindir numunelerde basınç dayanımı deneyi

Silindir numuneler 10 cm çapında, 20 cm uzunluğunda 12 adet olmak üzere deneye hazırlanmıştır. Silindirlerin deneye hazırlanması aşamasında pürüzlü yüzeylerin düz hale getirilmesi için alt ve üst yüzeyine çimento, alçı, kum ve su karışımından başlık yapıldı. Başlıklar sertleştikten sonra deney yapıldı. Bu deneyde maksimum 100 ton kapasiteli pres makine kullanıldı. Labaratuvarında bekletilen numuneler tamamen kuruduktan sonra basınç dayanımı deneyi yapıldı. Silindir ve küp numunelere yükleme vanasından yükleme hızı sabit tutularak yük verilmeye başlandı. İbrenin boşaldığı kırılma yükü değeri ve deformasyon miktarı gösterge üzerinde okundu. Basınç dayanımı, TS 10465 standardı tarafından belirtilen formüle göre, kırılma yükünün deney yüküne dik deney numunesi kesit ortalama alanına bölünmesi ile bulundu [41]. Şekil 3.21 ve Şekil 3.22 ve Şekil 3.23 ve şekil 3.24 ve Şekil 3.25’de silindir numunelerin başlıkları ve basınç uygulaması ve çatlak oluşumu ve numunelerin kırılması gösterilmektedir.



Şekil 3.20 : Başlıklı numuneler



Şekil 3.21 : silindir numune

Şekil 3.22 : silindir numunede çatlak oluşumu



Şekil 3.23: Silindir numunelerde çatlaklar

Farklı karışımlarda hazırlanan numunelerin basınç uygulaması sonucu oluşan çatlaklar ve kırılma noktaları deney sonuçlarına göre değerlendirilmiştir.



**Şekil 3.24 : Silindirlerin kırılma şekli**

### 3.3.2 Su emme deneyi

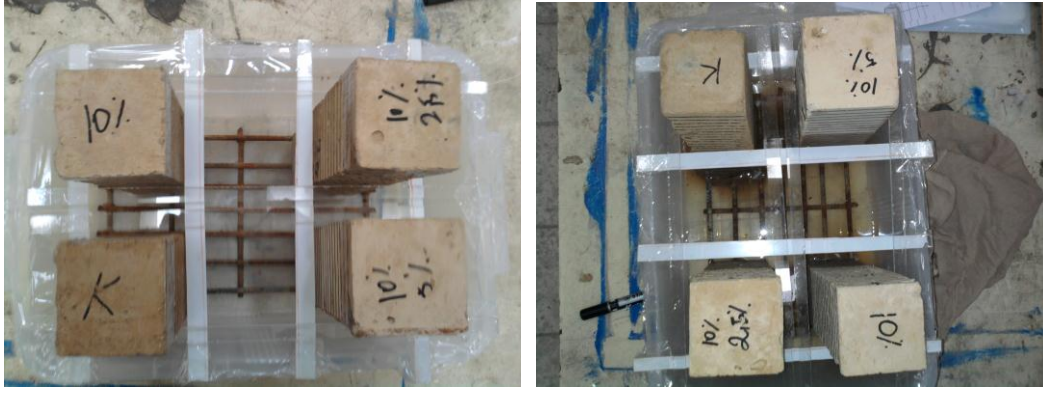
Su emme deneyinde, 4 farklı karışımdan elde edilen 28 cm x 7 cm x 7 cm boyutundaki 4 adet numune kullanıldı. Numuneler tam kuruması için 24 saat etüvde bekletildi. Suyun yükselme miktarını okumak için, numunelerin dört yüzeyine 1 cm aralıklarla paralel çizgiler çizildi. Daha sonra numunelerin suya değecek yüzeyleri alttan 3 cm yükseklikte parafinlendi. Tabanları parafinlenen numuneler içerisine 3 cm yüksekliğinde su ve üzerinde demir ızgara bulunan plastik bir kabın içine konuldu. Numunelerin su emmeden önce ve suyu emdikten sonra stabil kalabilmeleri için 1 cm'lik şeritlerle plastik kaba sabit kalacak şekilde tutturuldu. Sonra deney sonuçları için beklenildi. Şekil 3.26'da dört farklı numune, Şekil 3.27'de numuneler plastik kaba koyulması ve Şekil 3.28'de numunelerin altına demir ızgara ve suyun koyulması gösterilmektedir.



**Şekil 3.25 : Dört farklı numune**



**Şekil 3.26 : numuneler plastik kaptaki**



Şekil 3.27 : Numunelerin altına demir ızgara ve suyun konulması

### 3.3.3 Rötire deneyi

28 cm x 7 cm x 7 cm'lik numuneler kalıptan çıkarıldıktan sonra çerçeveye yerleştirilmek için yaklaşık 1 hafta bekletildi. Rötire ölçer aleti çerçeveye üzerine oturtuldu. Daha sonra yaklaşık her gün ölçümler yapılarak rötire oranı tespit edildi. Şekil 3.29'da Rötire ölçümü çerçeve sistemi gösterilmektedir.



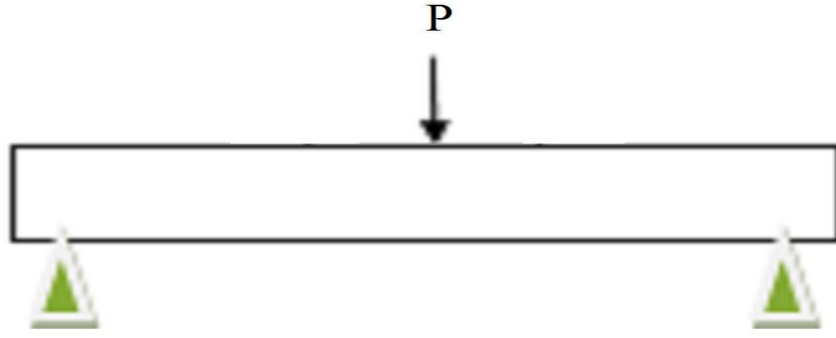
Şekil 3.28 : Rötire ölçümü çerçeve sistemi

### 3.3.4 Eğilme deneyi ve kırılma enerjisi hesabı

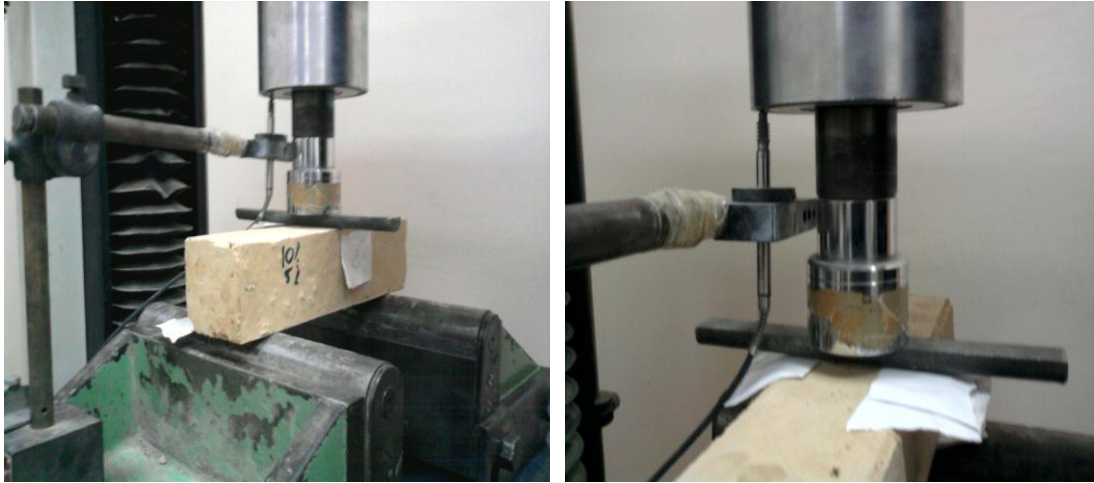
Üç noktali eğilme deneyi, numunelerde uygulandı. Her karışım türünden ayrı numunelerde deney gerçekleştirildi. Deney aracı olarak, maksimum kapasitesi 100 kN olan Instron 5500 R kapalı çevrimli deplasman kontrollü deney makinesi kullanılmıştır. Yükleme hızı 0,05 mm sehim/dakika'dır.

Numune boyutları katkısız , % 10 alçı, % 10 alçı, %2.5 kireç, % 10 alçı, % 5 kireç için 28 cm x 7 cm x 7 cm'dir. Mesnet açıklığı 10 cm., yükleme mesneti, kenar mesnetlerinden 5'er cm içeridedir.

(Deney, numune taşıdığı max. kuvvet değerinin % 70'ini kaybettiği zamana kadar sürmüştür. Kırılma enerjisi ise, eğilme deneyi sonucu elde edilen gerilme-sehim grafiğinin altında kalan alana eşdeğerdir.) Şekil 3.30'da üç noktalı temsili mesnet ve Şekil 3.31'de eğilme deneyi kurulumu gösterilmektedir.



Şekil 3.29 : Üç noktalı Temsili Mesnet



Şekil 3.30 : Eğilme deneyi kurulumu

### 3.3.5 Isı iletkenlik deneyi

Isı iletkenlik deneyinde 30 cm x 30 cm x 3 cm boyutunda 4 adet prizma kalıptan çıkartılıp, tam kurduktan sonra her numune 10 saat özel makine üzerine yerleştirildi. Bu makinada alt ve üst yüzeyi farklı derecelerde sıcaklıklara maruz bırakıldı. Numunelerin alt kısmı soğutulup, üst kısmı ısıtıldı.

Bu işlem sırasında numuneler ve ısı veren elemanların üzerine belli oranda yük bindirilerek sabitleştirildi. Numunenin ısı iletkenlik performansı sisteme bağlı bilgisayarda okunarak belirlendi. Şekil 3.32'de Numune gösterilmektedir.



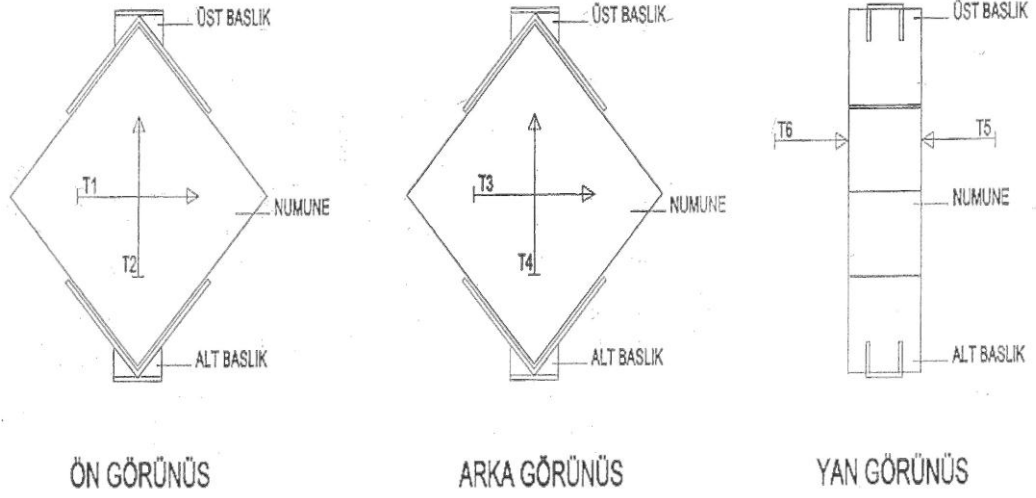
**Şekil 3.31 : Numune**

### **3.3.6 Kayma dayanımı deneyi**

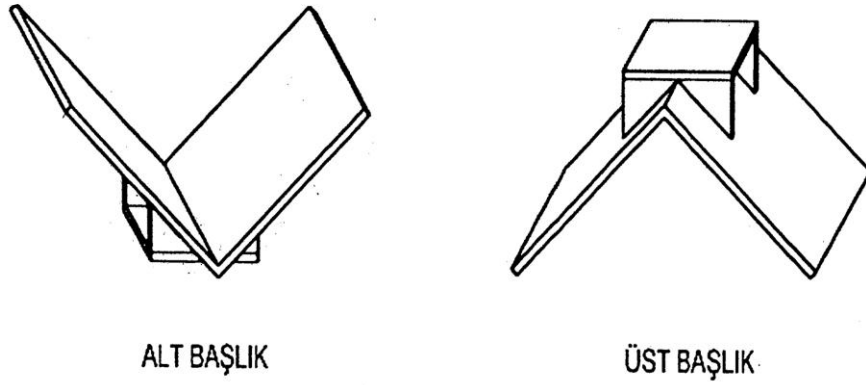
4 farklı karışımdan üretilmiş 50 cm x 50 cm x 20 cm boyutlarında 4 adet prizma bloklar kayma dayanımlarını incelemek amacıyla yapılan bu çalışmada, statik kuvvet kontrolü deney tekniği kullanılmıştır. 4 numuneden oluşan bloklara deney sırasında 10 cm x 10 cm x 0.2 cm boyutunda çelik üst ve alt başlıklar yapılarak, numuneler köşelerden dik olarak yerleştirildi.

Bu Deneyler 500 ton kapasiteli kapalı çevrim deformasyon kontrollü basınç presi kullanılarak yürütülmüştür ve okuma yapılan numunelerde yükleme hızı 0.05 mm/dak değerinde sabit tutulmuştur ve makina x ve y yönünde gerilmenin ölçülmesi için LVDT ile bilgisayar bağlantısı sağlandı. Deney başladıktan sonra değerler her numune için bilgisayara aktarıldı.

Şekil 3.33’de numunelerin çizgisel görünümü ve Şekil 3.34 ve Şekil 3.35’de Alt ve üst başlık ve Şekil 3.36’da Numune ve Şekil 3.37’de LVDT yerleştirilmesi ve Şekil 3.38’de numunenin üzerine yapılan deney ve Şekil 3.39’da Numunede Kayma oluşumu ve Şekil 3.40’da Numunenin kayma sonrası görüntü gösterilmektedir.



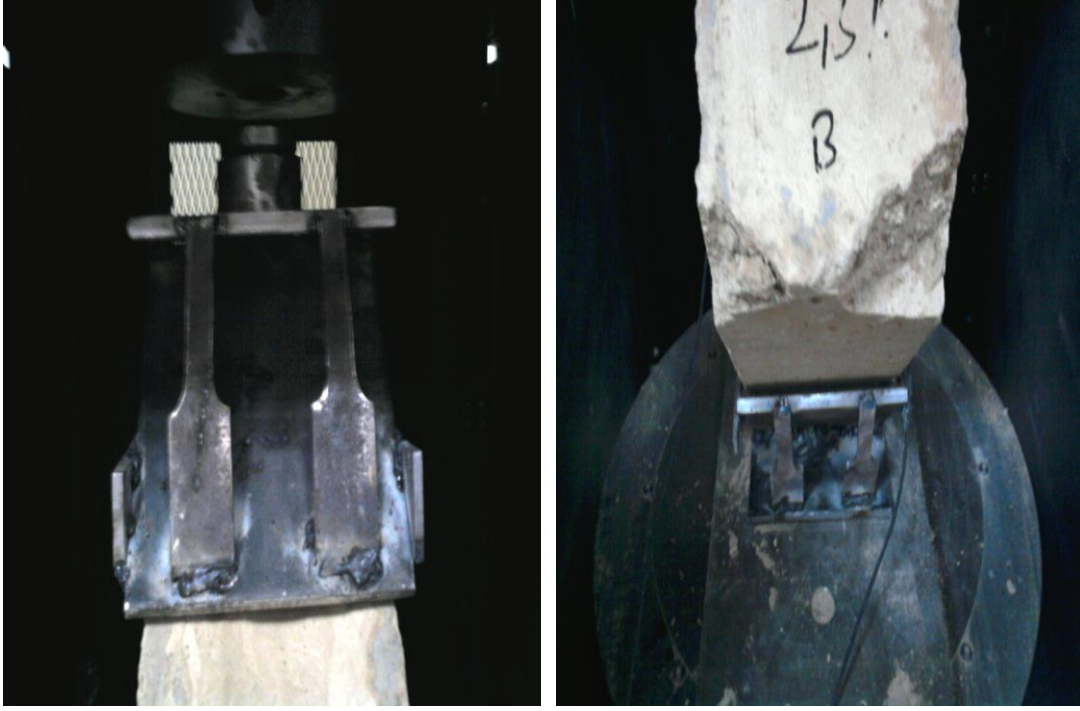
**Şekil 3.32 :** Numunelerin çizgisel görünümü [41].



**Şekil 3.33 :** Alt ve üst başlık [41].

Yukarıda çizimleri gösterilen başlıklar blokların yatayda durabilecekleri şekilde yapılmıştır.

Kayma dayanımı deneyi sırasında numunelere stabil durmaları için alt ve üst olarak metal başlıklar hazırlanmıştır.



Şekil 3.34 : Alt ve üst başlıklar



Şekil 3.35 : Numune



Şekil 3.36 : LVDT yerleştirilmesi

Farklı karışımlardan elde edilen blokların kayma deneyi sonucundaki kırılma noktaları değerlendirilmiştir



Şekil 3.37 : Numunenin üzerine yapılan deney



Şekil 3.38 : Numunede Kayma oluşumu



Şekil 3.39 : Numunenin kayma sonrası



## 4. DENEY SONUÇLARI

### 4.1 Basınç Dayanımı Deneyi Sonuçları

#### 4.1.1 Prizma numunelerde basınç dayanımı deneyi sonuçları

Küp numunelerin gerçekleştirilen deneyler neticesinde elde edilen basınç dayanımları Çizelge 4.1’de gösterilmiştir.

**Çizelge 4.1 : Prizma basınç Deneyi Sonuçları**

Numuneler	Baınç Dayanımı (MPa)
Katkısız	1,4
% 10 Alçı	1,7
% 10 Alçı + % 2.5 Kireç	1,0
% 10 Alçı + % 5 Kireç	1,2

#### 4.1.2 Silindir numunelerde basınç dayanımı deneyi sonuçları

Silindir numunelerin gerçekleştirilen deneyler neticesinde elde edilen basınç dayanımları Çizelge 4.2’de gösterilmiştir.

**Çizelge 4.2 : Silindir basınç Deneyi Sonuçları**

Numuneler	Baınç Dayanımı (MPa)
Katkısız	0,91
% 10 Alçı	1,62
% 10 Alçı + % 2.5 Kireç	1,06
% 10 Alçı + % 5 Kireç	0,87

### 4.2 Kılcal Su Emme Deneyi Sonuçları

#### 4.2.1 Kılcal su emme miktarı

Su emme deneyi sonucunda kılcallık su emme miktarları Çizelge 4.3’de gösterilmiştir.

**Çizelge 4.3 : Kılcal su emme miktarı**

Zaman	Ağırlık (Gr/cm <sup>2</sup> )			
	Katkısız	% 10 Alçı	%10 Alçı + %2.5 Kireç	% 10 Alçı + % 5 Kireç
0 dakika	2374,3	2018,4	2101,4	2247,8
15. dakika	2354,1	2095,2	2200,0	2365,9
30. dakika	2319,8	2106,7	2224,1	2407,0
40. dakika	2302,5	2110,4	2231,4	2417,8
50. dakika	2292,2	2119,9	2241,1	2424,2
60. dakika	2275,3	2125,4	2260,1	2432,3
90. dakika	2245,2	2120,2	2275,3	2448,2
120. dakika	2215,2	2115,2	2297,2	2464,2
140. dakika	2186,6	2105,2	2317,2	2480,2
170. dakika	2152,3	2101,9	2331,4	2492,1

**4.2.2 Kılcallıkta ıslaklık boyutu ( numune boyutu 280 x 70 x 70 mm )**

Kılcallık deneyi sonucundaki ıslaklık boyutu Çizelge 4.4’de gösterilmiştir.

**Çizelge 4.4 : Islaklık Boyutu deyerleri**

Zaman	Su yükselmesi (mm)			
	Katkısız	% 10 Alçı	% 10 Alçı + %2.5 Kireç	% 10 Alçı + % 5 Kireç
15. dakika	35	20	40	50
30. dakika	40	30	50	60
40. dakika	45	35	55	65
50. dakika	45	40	60	70
60. dakika	50	40	65	80
90. dakika	60	45	75	90
120. dakika	70	60	90	110
140. dakika	72	63	100	120
170. dakika	70	70	110	130
200. dakika	76	72	120	140
250. dakika	80	80	125	160
290. dakika	90	90	130	170
310. dakika	93	90	140	180
340. dakika	95	95	145	190
400. dakika	100	100	150	200
460. dakika	110	110	165	215

### 4.3 Rötire Deneyi Sonuçları

Belli zaman aralığında ölçülen boyut değişikliği (Rötire) değerleri Çizelge 4.5’de gösterilmiştir.

**Çizelge 4.5 : Rötire Deneyi Sonuçları**

Yaş(gün)	Boy değişimi ( $\mu\text{m}/\text{m}$ )			
	Katkısız	%10 Alçı	% 10 Alçı + % 2.5 Kireç	% 10 Alçı + % 5 Kireç
0	0	0	0	0
14	6300	3700	2380	1460
21	7900	4460	2700	1580
28	10100	5800	3260	1780
35	11900	6180	4060	2680
42	12900	6300	4440	2840
45	13300	6500	4760	3020
50	13300	6500	4760	3020

### 4.4 Isı İletkenlik Deneyi Sonuçları

Kuru numuneler üzerinde yapılan ısı iletkenlik deneyi ile elde edilen değerler Çizelge 4.6’de verilmiştir.

**Çizelge 4.6 : Isı İletkenlik Deneyi Sonuçları**

Numune tipi	Isıl iletkenlik katsayısı (W/mK)
Katkısız A	okunamadı
% 10 Alçı	0,29
% 10 Alçı + %2.5 Kireç	0,25
% 10 Alçı + %5kireç	0,22

### 4.5 Eğilme Deneyi ve Kırılma Enerjisi Hesabı Sonuçları

Kuru numuneler üzerinde yapılan üç noktalı eğilme deneyi ile elde edilen eğilme dayanımları ve kırılma enerjileri Çizelge 4.7’de verilmiştir.

**Çizelge 4.7 : Eğilme enerjileri ve eğilme dayanımları sonuçları**

Numune Tipi	Kırılma Enerjisi (Joule)	Eğilme Dayanımı (MPa)
Katkısız	68,1	0,34
% 10 Alçı	164,4	0,94
% 10 Alçı + %2.5 Kireç	113,3	0,51
% 10 Alçı + %5 Kireç	34,1	0,25

#### 4.6 Kayma Dayanımı Deneyi Sonuçları

Blok numuneler üzerinde basınç uygulanarak kayma gerilmesi elde edilmiştir. Sonuçlara göre rijitlik modülü hesaplanarak değerleri Çizelge 4.8’de verilmiştir.

**Çizelge 4.8 : Rijitlik Modülü (MPa)**

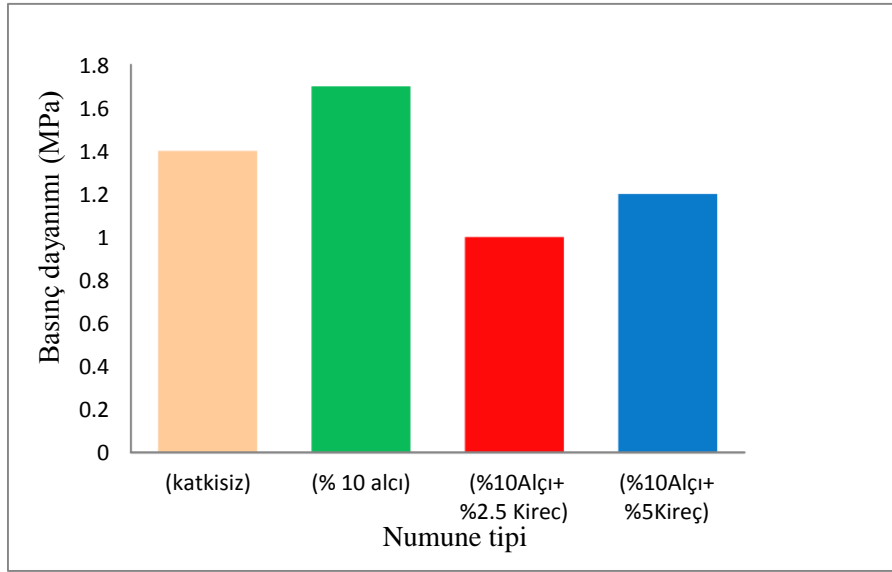
Numune tipi	Rijitlik Modülü (MPa)
Katkısız	1,16
%10 Alçı	0,70
%10 Alçı, %2.5 Kireç	0,73
%10 Alçı, %5 Kireç	0,60

## 5. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

### 5.1 Basınç Dayanımı Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

#### 5.1.1 Prizma numunelerde basınç dayanımı deneyi sonuçları değerlendirilmesi

Yapılan deney çalışmaları sonucunda Şekil 5.1 'de de görüldüğü gibi katkısız numunelerin, % 10 alçı katkılı numunelerin, % 10 alçı - % 2.5 katkı ve % 10 alçı - % 5 katkıli numunelerin basınç deneyi sonuçları sırasıyla 1.4 MPa, 1.7 MPa, 1.2 MPa ve 1 MPa olarak ölçülmüştür. Bu değerlere göre % 10 alçı katkılı numunelerin basınç dayanımı diğer karışımlara göre en yüksek sonucu vermiştir.

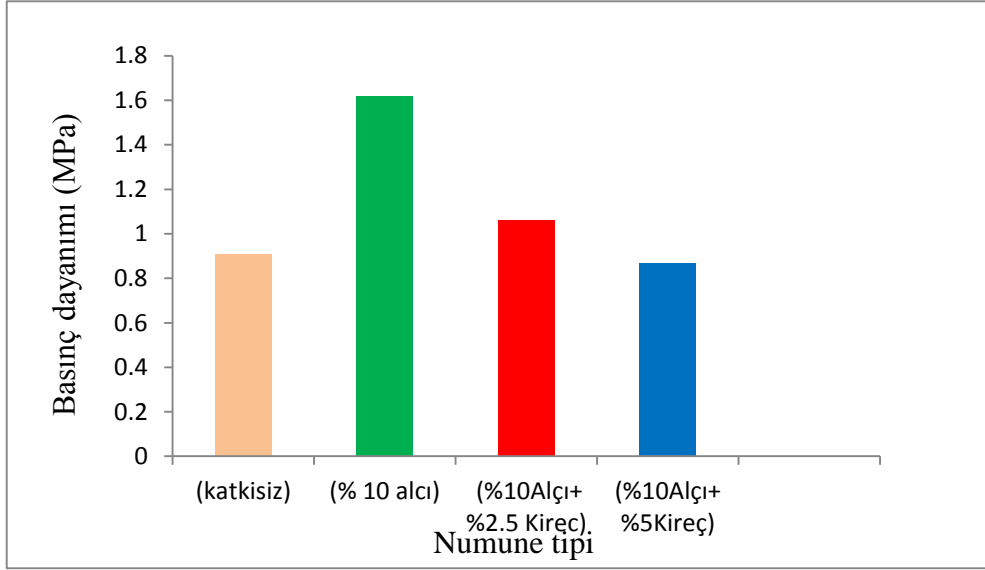


Şekil 5.1: Prizma numunelerde basınç dayanımı

#### 5.1.2 Silindir numunelerde basınç dayanımı deneyi sonuçları değerlendirilmesi

Silindir numunelerle yapılan basınç deneyi çalışmaları sonucunda ise katkısız numunelerin basınç deneyi sonucu 0.91 MPa , % 10 alçı katkılı numunelerin 1.62 MPa, 1.06 MPa ve % 10 alçı - % 5 katkıli numunelerin ise 0.87 MPa olarak ölçülmüştür.

Bu değerlere göre yine % 10 alçı katkılı numunelerin basınç dayanımı diğer karışımlara göre en yüksek sonucu vermiştir. Şekil 5.2’de gösteridiği gibi katkısız numune % 10 alçı - % 5 katkılı numunelerden daha iyi basınç mukavemeti gösterdi. % 10 alçı - % 2.5 katkılı ve % 10 alçı - % 5 katkılı numunelerden kireç oranı yüksek olan numunenin basınç dayanımının daha düşük olduğu görüldü. Bu durumda karışımdaki kireç oranının artmış olması basınç dayanımını düşürdüğü tespit edilmiştir.



Şekil 5.2 : Silindir numunelerde basınç dayanımı

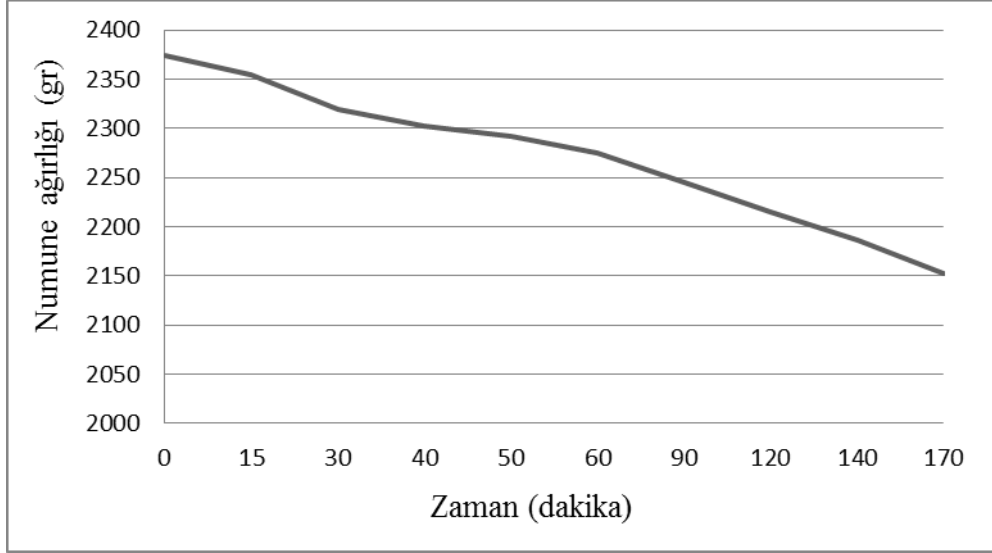
## 5.2 Kılcalık ve Su Emme Deneyi Sonuçları Değerlendirilmesi

### 5.2.1 Numunelerin kılcallık değerlendirilmesi

- Katkısız numune

Bu deney sonucunda 7 cm x 7 cm x ve 28 cm olan numunelerden katkısız numunenin Şekil 5,4 ‘da da görüldüğü gibi suyu emdiği süre içerisinde suya temas ettiği yerden çökmeye başladığı gözlenmiştir.

Suya dayanıklılık direnci en az olan numunedir. Deney sürecinde su en üst yüzeye kadar ilerlemediği halde suya temas ettiği yüzeyden çökmeye başlayıp, kısa bir süre sonra numunenin devrildiği gözlenmiştir. Şekil 5,3’ de gösterildiği gibi 170 dakikanın sonunda numunenin ağırlığı 2350 gramdan, 2150 grama düşmüştür. Dolayısıyla numune çöktüğünden dolayı ağırlığında azalma gözlenmiştir.



**Şekil 5.3 :** Katkısız numunede numune ağırlığı ile zaman arasındaki grafiği

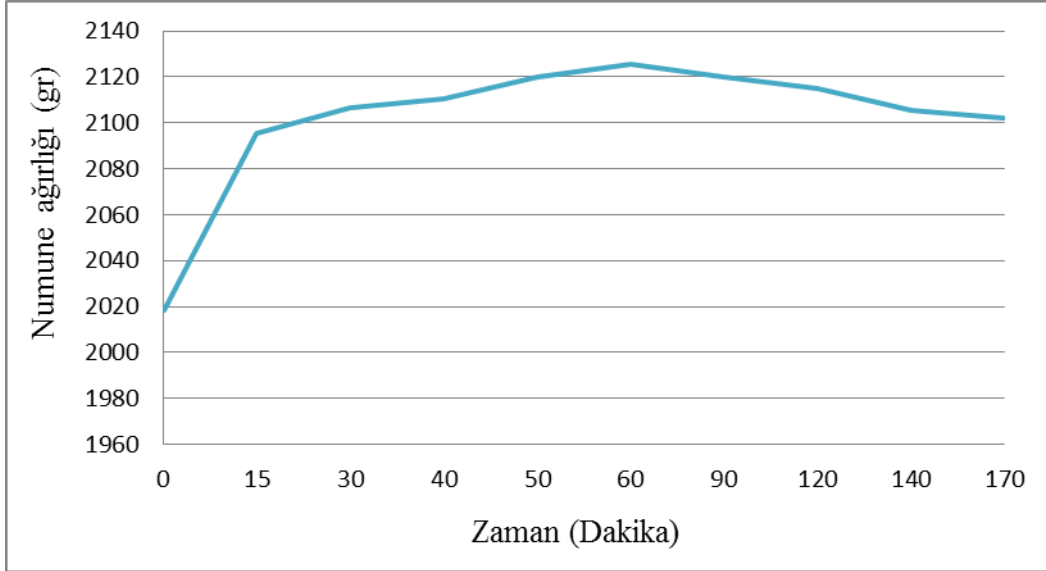


**Şekil 5.4 :** Katkısız numunenin çökmesi

- %10 Alçı numune

Bu deney sonucunda 7 cm x 7 cm x ve 28 cm olan numunelerden %10 Alçı katkılı numunenin Şekil 5.6 'da da görüldüğü gibi 60. dakikaya kadar suyu emdiği ve ağırlığında bu yüzden artış olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 5.7'de de görüldüğü gibi bu dakikaya kadar çökme gözlenmemiştir. Bu dakikadan sonra ağırlığında azalma ölçülmüştür.

Bu deney sonucunda numune tam olarak çökmemiş ama sonuç olarak Sekil 5.5' te de görüldüğü gibi, ağırlığın artış oranı belli süreden sonra oluşan azalma oranından daha fazla olduğundan 170 dakika sonunda az miktarda çökme meydana geldiği gözlemlenmiştir.



**Sekil 5.5 :** %10 Alçı numunede numune ağırlığı ile zaman arasındaki grafiği



**Sekil 5.6 :** %10 Alçılı numunenin 60.dakikadan önce çökmesi

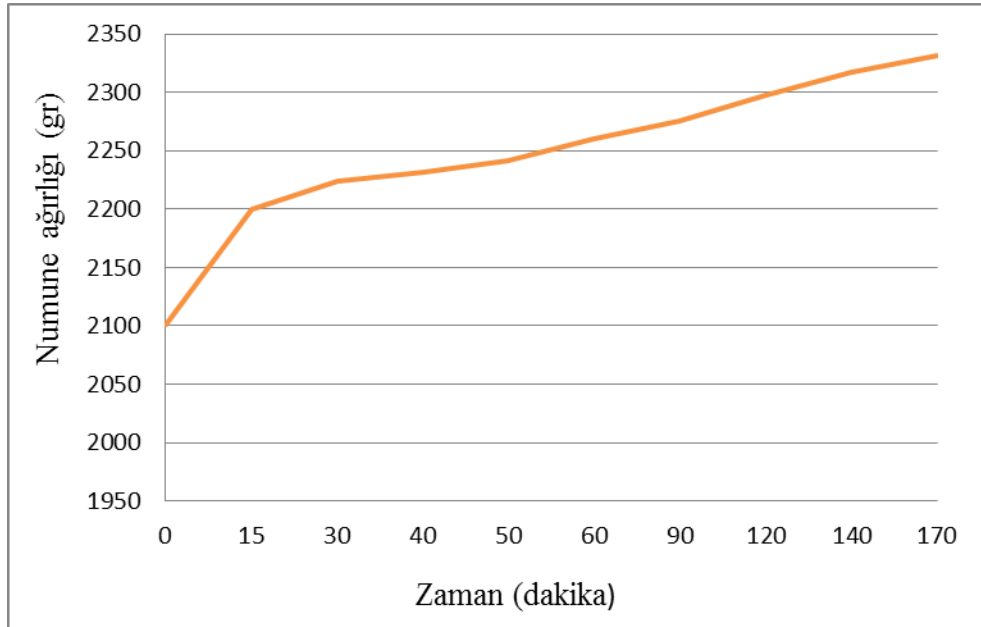


**Şekil 5.7 : %10 Alçı numunenin 60.dakikadan sonra çökmesi**

- %10 Alçı ve %2.5 kireç numune

Bu deney sonucunda 7 cm x 7 cm x ve 28 cm olan numunelerden %10 Alçı ve %2.5 kireç katkılı numunenin Şekil 5.8 'de görüldüğü gibi suyu çok hızlı emdiği ve ağırlığında azalma olmadığı kaydedilmiştir. %10 Alçı ve %2.5 kireç katkılı numunede

Şekil 5.9'da da görüldüğü gibi çökme meydana gelmemiş ve ağırlığında zaman sonuna kadar çok hızlı bir şekilde artış olduğu belirlenmiştir.



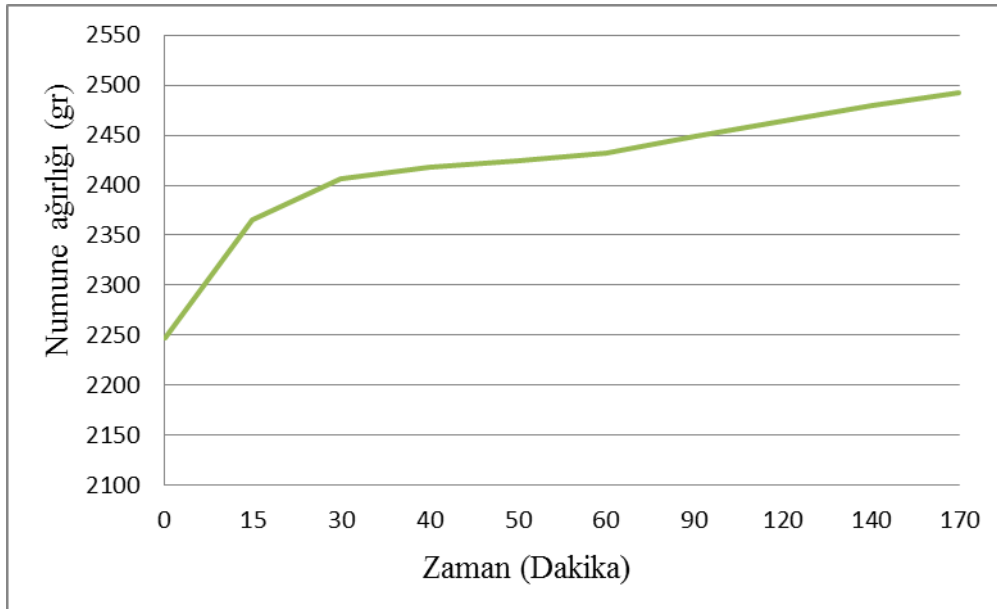
**Şekil 5.8 : %10 Alçı , %2.5 Kireç numunede numune ağırlığı ile zaman arasındaki grafiği**



**Şekil 5.9 :** %10 Alçı , %2.5 Kireç numune

- %10 Alçı ve %5 kireç numune

Bu deney sonucunda 7 cm x 7 cm x 28 cm olan numunelerden %10 Alçı ve % 5 kireç katkılı numunenin Şekil 5.10'de da görüldüğü gibi çok hızlı bir şekilde suyu içine aldığından ağırlığında çok kısa sürede hızlı bir artış gözlenmiştir. Şekil 5.11'de da görüldüğü gibi deney sonuna kadar çökme meydana gelmemiştir.



**Şekil 5.10 :** %10 Alçı , %5 Kireç numunede ağırlık artış ile zaman grafiği



**Şekil 5.11 :** %10 Alçı , %5 Kireç numune

Sonuç olarak kireç katkılı numunelerde kireç artış oranına göre suyun artış hızı da doğru orantılı olarak yükselmiştir ve bu numunelerde çökme gözlenmemiştir. Dolayısıyla toprak yapılarında kireç katkısının suya dayanıklılığı arttırdığı ve kireç katkının yapının sudan dolayı çökmesini engellediği anlaşılmıştır. Şekil 5.12 ve Şekil 5.13’de numunelerin su emme ve çökmeden dolayı son hali gösterilmektedir.

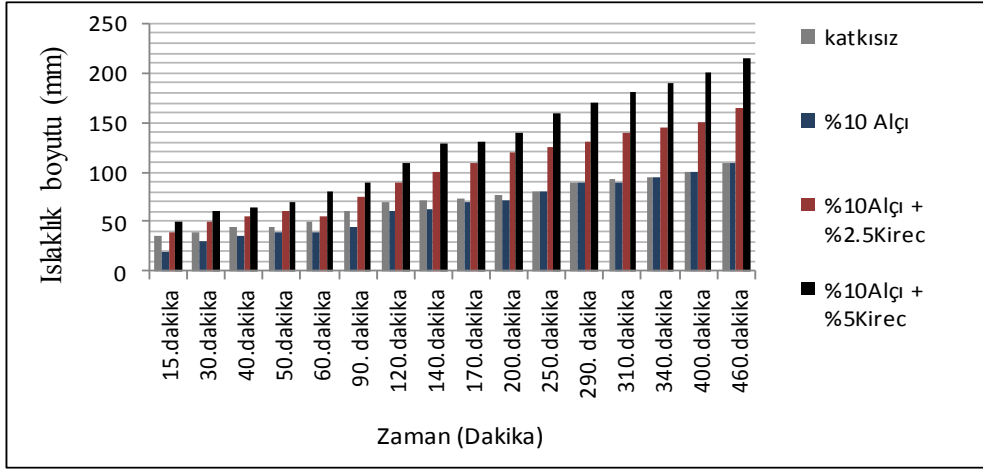


**Şekil 5.12 :** Numunelerde boyut değişimi **Şekil 5.13 :** Numunelerin son boyutları

### 5.2.2 Islaklık Boyutu (280 x 70 x 70 mm) Değerlendirilmesi

Kılcallık deneyi sonuçlarının değerlendirilmesine paralel olarak Şekil 5.14 ‘de görüldüğü gibi kireç katkılı numunelerde suyun ilerlemesi hızlı olmuştur. Aşağıdaki grafiğe göre % 10 Alçı - % 5 kireç katkılı numunede belli bir süre içinde suyun artışının çok hızlı olduğu görülmektedir. % 10 Alçı - % 2.5 kireç katkılı numunede önceki numuneden sonra en çok suyun ilerlemesi ölçülmüştür. Katkısız ve % 10 Alçı katkılı numunelerde suyun artışı yavaş olmaktadır.

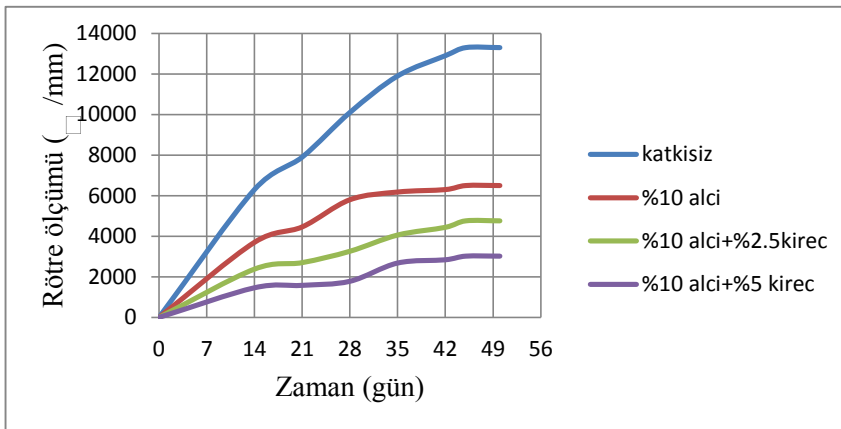
Dolayısıyla kireçli olan numunelerde kireç oranına göre suyun artış oranı da artmaktadır.



Şekil 5.14 : Islaklık Boyutu değerlendirilmesi

### 5.3 Rötire Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Bu deney sonuçlarına göre belli zamanlarda ölçülen 50 cm x 7 cm x 7 cm boyutundaki numunelerin rötire oranları Şekil 5.15’de gösterildiği gibi 50 gün sonunda en çok şekil değişikliği katkısız numunelerde gerçekleşmiştir. Daha sonra sırasıyla % 10 alçı katkılı numunede, % 10 alçı- % 2.5 kireç katkılı numunede ve % 10 alçı- % 5 kireç katkılı numunelerde gerçekleşmiştir. Alçı katkılı numunelerde, katkısız numunelere oranla daha az rötire görülmektedir. Bunun nedeni alçı katkılı numunelerin, suyla birleştiği anda hızlı priz meydana geldiğinden bir iskelet oluşturur ve bu yüzden kalıptan çıkarıldıktan sonra şekil değiştirme oranı az olur.



Şekil 5.15 : Rötire Deneyi Sonuçlarının değerlendirilmesi

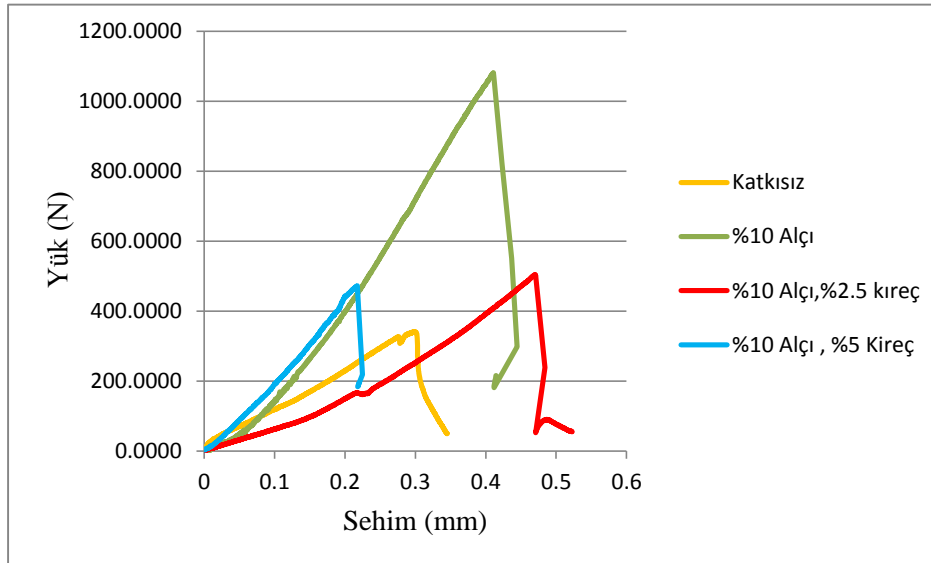
#### 5.4 Isı İletkenlik Deneyi Sonuçları

30 cm x 30 cm x 3 cm boyutundaki numunelerle yapılan deney sonuçlarına göre katkısız numunenin ısı iletkenlik katsayısı okunamamıştır. % 10 Alçı katkılı numunede sonuç 0,290 W/mK olarak ölçülmüştür. % 10 Alçı + %2.5 Kireç katkılı numunede 0,250 W/mK, % 10 Alçı + %5 Kireç katkılı numunede 0,216 W/mK olarak tespit edilmiştir.

Numunelerin ısı iletkenliğini beton ile karşılaştırıldığında kerpiç numunelerin betona göre çok düşük mertebede ısıl iletkenlik değerine sahip olduğu görülmektedir.

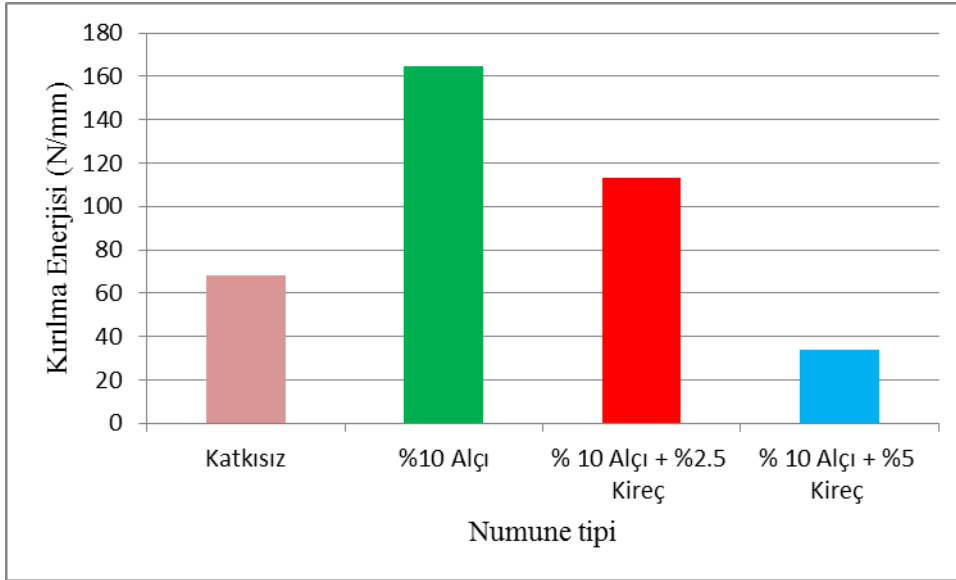
#### 5.5 Eğilme Deneyi ve Kırılma Enerjisi Hesabı Sonuçları

Üç noktalı eğilme deneylerinden elde edilen sonuçlara göre farklı oranlarda kireç kullanımı kırılma enerjisi ve net eğilme dayanımını azaltmaktadır. Kerpiç gevrek bir malzeme olduğundan, kerpice alçı katılması kerpiçin maksimum yük sonrası davranışını iyileştirerek daha sünek bir yapı oluşmasını sağlar. Malzeme tarafından yutulan enerjinin artması ile ani göçme kırılmaları engellenir. Deneylerden elde edilen yük sehim eğrileri Şekil 5.16'da görülmektedir. Deney sonuçlarına göre en iyi sonuç % 10 alçı katkılı numunelerden alınmıştır. Daha sonra sırasıyla % 10 alçı- % 2.5 kireç katkılı, % 10 alçı- % 5 kireç katkılı ve katkısız numunelerden iyi sonuçlar alınmıştır.



Şekil 5.16 : Numunelerin Yük-Sehim İlişkisi

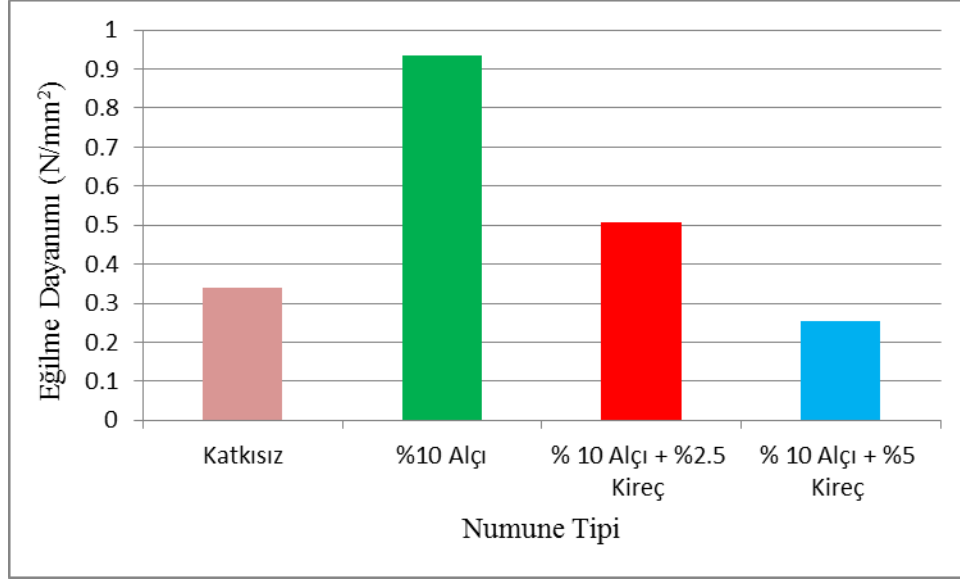
Karışımların kırılma enerjileri kıyaslandığında en fazla artış %10 oranında alçı içeren numunede görülmüştür. %10 alçı kullanım oranında 164,44 N/mm olan kırılma enerjisi en iyi numune olarak belirlenmiştir ve %10 Alçı ,%2.5 kireç katkılı numunenin kırılma enerjisi 113,31 N/mm, katkısız numunede kırılma enerjisi 68,08 N/mm ve %10 Alçı ,%5 Kireç’da kırılma enerjisi 34,11 N/mm olarak ölçülmüştür. Karışımların kırılma enerjileri Şekil 5.17 ‘ya göre incelendiğinde %10 oranında alçı içeren karışımlardan %5 oranında kireç içeren karışımın kırılma dayanımı katkısız karışıma göre yaklaşık %50 oranında düşük çıkmıştır. Diğer iki karışımda ise kırılma dayanımının önemli ölçüde arttığı açıkça görülmektedir. Bu sonuçlar artan kireç oranının %10 oranında alçı kullanımının sağladığı kırılma enerjisi artışını düşürdüğünü göstermektedir.



**Şekil 5.17 :** numunelerin kırılma enerjisi sonuçları

Karışımların net eğilme dayanımları 3 noktalı eğilme deneyleri sonucunda elde edilen maksimum yük değeri kullanılarak hesaplanmıştır. Şekil 5.18’ye göre %10 alçı katkılı karışımlarda -0,935 MPa- en yüksek eğilme dayanımı elde edilmiş , %10 alçı - %2.5 kireç katkılı karışımlarda 0,508 MPa , katkısız karışımlarda 0,339 MPa ve %10 alçı - % 5 kireç katkılı karışımlarda 0,253 değerleri elde edilmiştir. %10 alçı - %2.5 kireç katkılı karışımın eğilme deneyi sonuçları, %10 alçı - % 5 kireç katkılı karışımlardan daha yüksektir.

Sonuçta karışıma eklenen kireç oranının artması numunelerin eğilme dayanımını düşürmüştür.



**Sekil 5.18 :** Numunelerin eğilme dayanımı sonuçları

### 5.6 Kayma Dayanımı Deneyi Sonuçları

50 cm x 50 cm x 20 cm boyutundaki blok numunelerle yapılan deney sonuçları 500 ton kapasiteli kapalı çevrim deformasyon kontrollü basınç presi makinasında kaydedilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda belirtilen formüllere göre hesaplanmıştır. Bu değerlere göre kayma gerilmesi ve kayma şekil değişimi incelenerek grafiğe aktarılmıştır. Bu hesaplara göre %10 alçı - %2.5 kireç katkılı numunelerin kayma dayanımları en yüksek değeri göstermektedir. Sonuç olarak %10 alçı - %5 kireç katkılı, %10 alçı - %2.5 kireç katkılı ve %10 alçı katkılı numunelerin değerleri karşılaştırıldığında, %10 alçı - %2.5 kireç katkılı numunelerin kayma dayanımlarının daha yüksek olduğu görülmektedir. Şekil 5.19'de numunelerin kayma gerilme ve kayma şekil değişimi grafiği gösterilmektedir.

$$S_s = \frac{0.707P}{A_n}$$

Ss: kayma kesmesi [Mpa] , P: Yük [N]

$$A_n = \left( \frac{w+h}{2} \right) tn$$

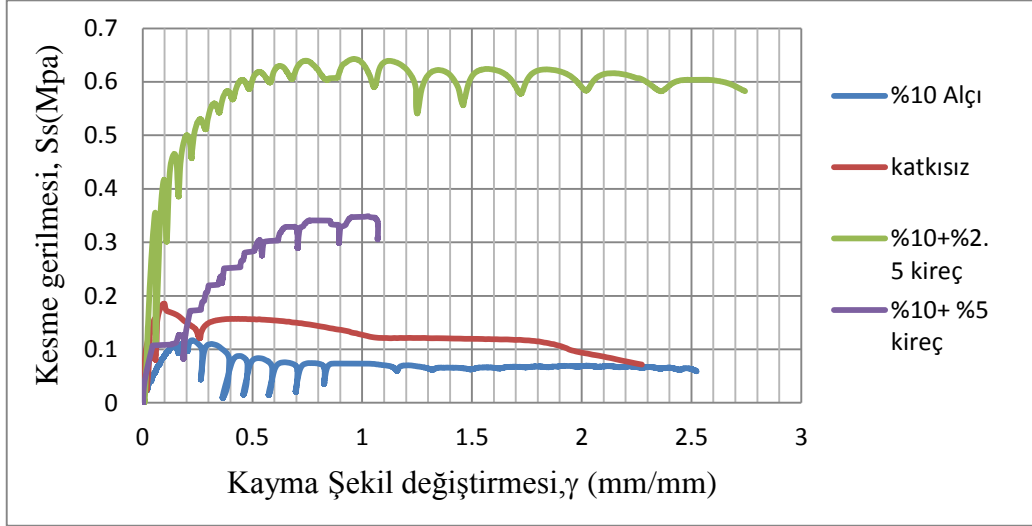
A<sub>n</sub>: Numunenin net alanı [mm<sup>2</sup>]

w : numunenin eni [mm] , h : numunenin yüksekliği [mm] ,

t : Numunenin toplam Kalınlığı [mm] , n : 1

$$\gamma = \frac{\Delta V + \Delta H}{g}$$

$\gamma$  : kayma gerilmesi [mm/mm] ,  $\Delta V$  : dikey kısalma [mm],  $\Delta H$  : yatay uzantısı [mm] ,  $g$  : dikey ölçü boyu [mm]



**Şekil 5.19** : Numunelerin kayma gerilme ve kayma şekil değiştirme grafiği

### Rijitlik Modülü Hesabı

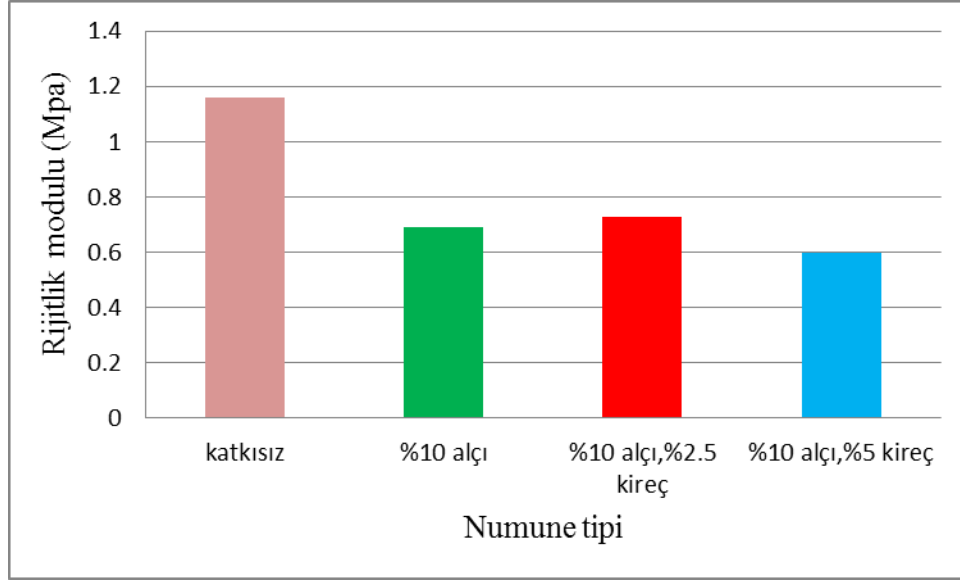
Kayma gerilmesi ve kayma şekil değiştirmesi elde edilen sonuçlara göre rijitlik modülünde aşağıda belirtilen formüllerle hesaplanmıştır.

Bu değerlerden elde edilen sonuçlara göre katkısız numunelerin rijitlik modülü 1.16 MPa, %10 alçı katkılı numunelerin rijitlik modülü 0,69 MPa, %10 alçı - %2.5 kireç katkılı numunelerin rijitlik modülü 0,73 MPa, %10 alçı - %5 kireç katkılı numunelerin 0,60 MPa olarak belirlendi. Alınan sonuçlara göre en yüksek değer katkısız numunelerden alındı. Deęerler Şekil 5.20’de belirtildiği gibi dayanımlar yüksekten dūřüęe sırasıyla %10 alçı - %2.5 kireç, %10 alçı ve %10 alçı - %5 kireç katkılı numunelerden elde edilmiştir.

Sonuç olarak, katkısız numune rijitlik modülü yüksek çıktığından dolayı katkısız numunenin sert ve kırılğan bir yapı olduğu, %10 alçı - %2.5 kireç, %10 alçı katkılı numunelerde ise değerler daha dūřük çıktığından dolayı daha sūnek yapıya yakın olduğu söylenebilir.

$$G = \frac{Ss}{\gamma}$$

G : rijitlik modülü [MPa]



**Sekil 5.20** : Numunelerin Rijitlik Modülü grafiğı

## 6. GENEL SONUÇLAR

Küp numunelerle yapılan deney çalışmaları sonucunda % 10 alçı katkılı numunelerin basınç dayanımı 1.4 MPa olarak ölçülmüştür ve diğer numuneler ile karşılaştırıldığında en yüksek sonucu vermiştir.

Silindir numunelerle yapılan basınç deneyi çalışmaları sonucunda ise yine % 10 alçı katkılı numunelerin basınç dayanımı diğer numunelere göre en yüksek sonucu vermiştir. Ama % 10 alçı - %2.5 kireç karışımı numuneler ve % 10 alçı - % 5 kireç karışımı numuneler karşılaştırıldığında kireç oranının artmış olmasının basınç dayanımını düşürdüğü tespit edilmiştir.

Kılcallık deneyi sonuçlarına göre kireç katkılı numunelerde kireç artış oranına göre suyun artış hızı da doğru orantılı olarak yükselmiş ve bu numunelerde çökme gözlenmemiştir. Dolayısıyla toprak yapılarda kireç katkısının suya dayanımı arttırdığı ve kireç katkının yapının sudan dolayı çökmesini engellediği anlaşılmıştır.

Kılcallık deneyi sonuçlarının değerlendirilmesine paralel olarak kireç katkılı numunelerde suyun ilerlemesi hızlı olmuştur. Katkısız ve % 10 Alçı katkılı numunelerde suyun artışı yavaş olmaktadır. Dolayısıyla kireçli olan numunelerde kireç oranına göre suyun artış oranının da arttığı söylenebilir.

Rötre deneyi sonuçlarına 50 gün sonunda en çok şekil değişikliği katkısız numunelerde gerçekleşmiştir. Alçı katkılı numunelerde, katkısız numunelere oranla daha az rötre görülmektedir. Bunun nedeni olarak alçı katkılı numunelerin, suyla birleştiği anda hızlı priz meydana gelerek bir iskelet oluşturması ve bu yüzden kalıptan çıkarıldıktan sonra şekil değiştirme oranı az olması olduğu söylenebilir.

Numunelerin ısı iletkenliğini beton ile karşılaştırdığımızda kerpiç numunelerin ısı iletkenliğini betona göre daha düşük olduğunu söylebiliriz.

%10 oranında alçı içeren karışımlardan %5 oranında kireç içeren karışımın kırılma enerjisi katkısız karışıma göre daha düşüktür. Diğer iki karışımda ise kırılma enerjisinin önemli ölçüde arttığı açıkça görülmektedir.

Bu sonuçlar artan kireç oranının %10 oranında alçı kullanımının sağladığı kırılma enerjisini düşürdüğünü göstermektedir.

Eğilme dayanımları 3 noktalı eğilme deneyleri sonucunda elde edilen maksimum yük değeri kullanılarak hesaplanan karışımlarda, %10 alçı katkıli karışımlarda en yüksek eğilme dayanımı elde edilmiş , %10 alçı - %2.5 kireç katkıli karışımlarda ve %10 alçı - % 5 kireç katkıli karışımlarda, katkısız numuneye göre yüksek değerler elde edilmiştir. Dolayısıyla kireç oranı artınca eğilme dayanımlarının düştüğü belirlenmiştir.

Kayma deneyi sonuçlarına göre %10 alçı - %2.5 kireç katkıli numunelerin kayma dayanımları en yüksek değerleri göstermektedir. Sonuç olarak %10 alçı - %5 kireç katkıli, %10 alçı - %2.5 kireç katkıli ve % 10 alçı katkıli numunelerin değerleri karşılaştırıldığında, %10 alçı - %2.5 kireç katkıli numunelerden daha yüksek dayanım elde edilmiştir.

Kayma gerilme ve kayma şekil değiştirmesinden elde edilen sonuçlara göre rijitlik modülü elde edilmiştir. Sonuç olarak, katkısız numune rijitlik modülü yüksek çıktığından, katkısız numunenin sert ve kırılğan bir yapıda olduğu, %10 alçı - %2.5 kireç, %10 alçı katkıli numunelerde ise değerler daha düşük çıktığından dolayı daha sünek yapıya yakın olduğu söylenebilir.

Sonuç olarak tüm perfomanslara göre %10 Alçı - %2.5 kireç içeren karışım hem dayanım hem dayanıklılık açısından optimum çözüm olabilir.

## KAYNAKLAR

- [1] **Çelebi R.**, 2008. Kerpiç yapım yöntemleri ve kullanımı üzerine bir inceleme, *Doçentlik Tezi*, ODTÜ, Ankara.
- [2] **Tulaganov, B.A.** , 2005. *Housing construction with use of Clay Materials* , Taşkent, Özbekistan.
- [3] **URL-1** <<http://www.wikipedia.org>>, alındığı tarih 18.03.2011.
- [4] **Meydan-Larousse**, 1972 baskısı. cilt 4., s. 441 İst.
- [5] **TS 2514**, 1977. Kerpiç bloklar ve yapım kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [6] **Helvacı, G.**, 2001. GAP bölgesinde insan yerleşmelerinin iyileştirilmesi amacıyla alçı katkılı kerpiç ve tuğla duvarın Şanlıurfa toplu konutprojesi üzerinde karşılaştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [7] **Işık, B.**, 1990. A.B.D’de Konut Yapıları ‘*Kerpiç Yapılar*’, Yapı, 140, 55-63
- [8] **Işık, B.**, 2000. Alker Yapılar 1983-2000, İstanbul.
- [9] **Işık, B.**, 2000. Konut sektöründe hafif çelik ve alker yapı teknolojilerinin birlikte Kullanılabilirliği
- [10] **Sinha, S.**, 1996. Down To Earth Buildings, *Architecture of Ecology, Architectural Design*, March, 91-93
- [11] **TS 2514**, 1977. Kerpiç Bloklar ve Yapım Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [12] **Kafesçioğlu R.**, Loc. Cit.
- [13] **Eriç M., Koçu K.**, 1992, Konya ve Çevresinde Kerpiç Malzemedeki Eskime ve Yenileme Sorunları (Ders Notu), MSÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [14] **Houben, H., and Guillard, H.**, 1994. Earth Construction, A Comprehensive Guide, Intermediate Technology Publications, London.
- [15] **Ruhi Kafesçioğlu**, Arşivi
- [16] **Kafesçioğlu R.**, Gürdal, E., Toydemir, N., Özür, B., Yapı Malzemesi Olarak Kerpicin Alçı ile Stabilizasyonu, TÜBİTAK M.A.G. 505 Araştırma Projesi, s.3, 1980.
- [17] **King, B.**, 2008. Toprak Mimarisinin Yeniden Doğuşu, *Uluslar arası Yığma Sistem Konferansı*, İstanbul, 5-7 Kasım 2008.

- [18] **Gündüz, G.**, 1999. Kerpiç Yapılarda Sıva ile Dış Yüzey Koruması, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü
- [19] **URL-2** <<http://www.emlax.com/content.asp>>, alındığı tarih 21.03.2011
- [20] **Gürdal, E., Kafescioğlu R.**, 1985. Çağdaş Yapı Malzemesi Alker, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Enerji Daire Başkanlığı, Shell Yayını
- [21] **Aydınay, B.**, 2002. Donatılı ve Donatısız Alker Duvarların Kayma Dayanımı Üzerine Bir Araştırma, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü
- [22] **Eriç M.**, 1980. Kerpiç Eski Evlerin Onarımı ve Korunmasında Bir Araştırma, *Üçüncü Uluslar arası Kerpiç Koruma Sempozyumu*, Ankara, 29 Eylül-4 Ekim 1980, s. 79-86
- [23] **Kafescioğlu R.**, 1949. Orta Anadolu Köy Evleri Yapısı, *Yeterlik Çalışması*, İTÜ Mimarlık Fakültesi, İstanbul.
- [24] **Başgelen, N.**, 1993. Çağlar Boyunca Anadolu'da Duvar, Arkeoloji ve Sanat Yayınları, İstanbul
- [25] **Türkçü, Ç.**, 2004. Yapım/ Malzemeler, Yöntemler, İlkeler, Çözümler, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [26] **URL-3** <<http://www.solidearth.co.nz>>, alındığı tarih 22.03.2011
- [27] **URL-4** <<http://permamax.blogspot.com>>, alındığı tarih 22.03.2011
- [28] **URL-5** <<http://www.instructables.com>>, alındığı tarih 20.03.2011
- [29] **URL-6** <<http://www.wellington.govt.nz>>, alındığı tarih 23.03.2011
- [30] **Tanrıverdi, C.**, 1984. Alçılı Kerpicin Üretim Olanaklarının Araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü
- [31] **Devlet Planlama Teşkilatı**, 1996-2000. Tedinci Beş Yıllık Kalkınma Planı
- [32] **United Nations for Human Settlements (Habitat)**, 1988. A Compendium of Information on Selected Low-Cost Building Materials, Nairobi.
- [33] **Anon.**, 2000. T.C. Şanlıurfa Valiliği web sayfası, [www.sanlıurfa.gov.tr](http://www.sanlıurfa.gov.tr)
- [34] **Building With Lime**,
- [35] **GAP İl İstatistikleri**, 1950-1996, T.C. Başbakanlık Devlet İstatistik Enstitüsü
- [36] **Kuşaslan, D .**, 2002. Yapıda Durabilite ve Hasar Analizi, Alçılı Kerpiç Yapı Örneği Üzerinde İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü
- [37] **Işık, B.**, 1995. Alçı Katkılı Kerpiç Yapı Malzemesine Uygun Mekanize İnşaat Teknolojisinin ve Standartlarının Belirlenmesi, TÜBİTAK İntag Toki 622, İstanbul
- [38] **Nurhan, H.**, 1996. Alçı Katkılı Kerpiç (Alker) Malzemenin Binalarda Değerlendirilmesi, *Bitirme Ödevi*, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İstanbul

- [39] **Kafesçioğlu R., Gürdal, E.**, 1985. Alker. İTÜ. Mimarlık Fakültesi Matbaası, İstanbul
- [40] **TS 3114**, 1990. Beton Basınç Mukavemeti Tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [41] **Coşkun, K.**, 2005. Alker (Alçı Katkılı Kerpiç ) Teknolojisinin Püskürtme Beton (Shotcrete) Tekniği ile Uygulamabilirliğinin Basınç Dayanımı Açıısından Deneysel Değerlendirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.. Fen Bilimleri Enstitüsü



## **ÖZGEÇMİŞ**

**Ad Soyad:** Ebrahim AGHAZADEH  
**Doğum Yeri ve Tarihi:** Tabriz / İRAN – 19/08/1979  
**Adres:** BATI AZERBAYJAN, İRAN  
**Lisans Üniversitesi:** Mahabad Azad Üniversitesi