

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**LİF KATKILI KERPIÇ PANEL DUVAR
ÜRETİLME OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Filiz AKKAŞ**

Anabilim Dalı : Mimarlık

**Programı : Çevre Kontrolü ve Yapı
Teknolojisi**

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Leyla TANAÇAN

Ocak 2011

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**LİF KATKILI KERPIÇ PANEL DUVAR
ÜRETİLME OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Filiz AKKAŞ
(502071731)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 17 Aralık 2010
Tezin Savunulduğu Tarih : 25 Ocak 2011**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Leyla TANAÇAN (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Erol GÜRDAL (İTÜ)
Prof. Dr. Halit Yaşa ERSOY (MSGSÜ)**

Ocak 2011

Babama,

ÖNSÖZ

Tez çalışmam süresince çalışmalarına gösterdiği ilgi, saygı ve destekleyici tutumuyla her zaman yanımda olan tez danışmanın Prof. Dr. Leyla Tanaçan’a, bu zorlu süreçte karşılaştığım her sorunda daima yanımda olan, tezimi tamamlamamda bana destek olan tüm arkadaşlarıma ve aileme teşekkür ederim.

.

Ocak 2011

Filiz Akkaş
(Mimar)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	1
1.2 Tezin Kapsamı.....	2
2. YAPI MALZEMESİ OLARAK KERPIÇ	3
2.1 Kerpiç Toprağı	3
2.1.1 Kilin yapısı	4
2.1.2 Kilin fiziksel özellikleri	5
2.2 Kerpicingin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri	7
2.3 Yapıda Kerpiç Kullanılmasıyla Sağlanan Yararlar	7
2.4 Yapıda Sağlamaştırma İşlemi Görmemiş Kerpicingin kullanımının Sakıncaları ..	8
2.5 Kerpiç Üretimi.....	9
2.6 Kerpiç Yapım Teknikleri	9
2.6.1 Kerpiç tuğla örme yapı.....	9
2.6.2 Yerinde Döküm Kerpiç	10
2.6.3 Omurgalı kerpiç yapı	11
3. KERPICİN SAĞLAMLAŞTIRILMASI.....	13
3.1 Bağlayıcı Katkısı ile Kerpicingin Sağlamaştırılması	13
3.1.1 Kireç ile sağlamaştırılması.....	13
3.1.1.1 Kirecin yapısı	14
3.1.1.2 Kirecin özellikleri	14
3.1.1.3 Kirecin toprağa katılması	15
3.1.1.4 Kirecin toprakla tepkimesi	16
3.1.1.5 Kireç ile sağlamaştırılmış toprakla ilgili yapılmış çalışmalar	17
3.1.1.6 Değerlendirme	18
3.1.2 Alçı ile sağlamaştırılması.....	18
3.1.2.1 Alçının yapısı	19
3.1.2.2 Alçının özellikleri	19
3.1.2.3 Alçının toprağa katılması	20
3.1.2.4 Alçı ile sağlamaştırılmış toprak ile yapılmış çalışmalar	20
3.1.2.5 Değerlendirme	21
3.2 Puzolan ile Sağlamaştırılması	22
3.2.1.1 Puzolanın yapısı	22
3.2.1.2 Puzolanın özellikleri	24
3.2.1.3 Puzolan ile sabitleştirilmiş toprak ile yapılmış çalışmalar	24
3.2.1.4 Değerlendirme	25
3.3 Kimyasal Katkı ile Kerpicingin Sağlamaştırılması	26

3.3.1 Geopolimerleşme (NaOH Katkısı).....	26
3.3.2 NaOH katkısı ile sağlamlaştırılmış toprakla ilgili yapılmış çalışmalar	27
3.4 Değerlendirme	30
4. LİF KATKILI KERPIÇ	33
4.1 Kompozit Malzeme	33
4.1.1 Kompozit malzemenin sınıflandırılması	33
4.1.2 Kompozit malzemenin genel özellikleri	34
4.2 Liflerle Donatılı Kompozit Malzeme	34
4.2.1 Matrisin özellikleri	34
4.2.2 Liflerle donatılı kompozit malzemede donatı türü ve özellikleri	35
4.2.3 Liflerle donatılı kompozit malzemenin mekanik davranışları	36
4.2.4 Liflerle donatılı kompozit malzeme üretiminin koşulları	37
4.3 Lif Çeşitleri.....	37
4.3.1 Doğal lifer	37
4.3.2 Cam lifi.....	39
4.3.3 Karbon lifleri	40
4.3.4 Polimer lifler	41
4.4 Değerlendirme	44
5. LİF KATKILI KERPIÇ PANEL ÜRETİM OLANAKLARININDENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI.....	45
5.1 Deneyisel Çalışmalarda Kullanılan Malzemeler	46
5.2 Deneyler	50
5.2.1 Fiziksel deneyler	50
5.2.1.1 Özgül kütle hesabı	51
5.2.1.2 Birim hacim kütlesi	51
5.2.1.3 Kılcallıkla su emme	52
5.2.1.4 Hacimce su emme	53
5.2.2 Mekanik deneyler.....	53
5.2.2.1 Ultra ses geçiş hızı Elastiklik Modülü, tokluk	53
5.2.2.2 Eğilmede çekme dayanımı	55
5.2.2.3 Basınç dayanımı	56
5.3 Toprak Matris Malzemesinin ve Kürleme koşullarının Belirlenmesi ile İlgili Deneyler ve Bulgular.....	56
5.3.1 Deney numunelerinin hazırlanması.....	57
5.3.2 Uygun kürleme koşullarının belirlenmesi	60
5.3.2.1 Kürleme koşullarının kerpicing birim hacim kütlesine etkisi	62
5.3.2.2 Kürleme koşullarının kerpicing mekanik dayanımına etkisi	64
5.3.2.3 Kürleme koşullarının kerpicing Elastiklik Modülüne etkisi	66
5.3.2.4 Kürleme koşullarının kerpicing yüzey dokusuna etkisi	68
5.3.2.5 Değerlendirme	71
5.3.3 Uygun NaOH katkı miktarının belirlenmesi	72
5.3.3.1 NaOH katkı miktarının kerpicing birim hacim kütlesine etkisi	72
5.3.3.2 NaOH katkı miktarının kerpicing mekanik dayanımına etkisi	73
5.3.3.3 NaOH katkı miktarının kerpicing Elastiklik Modülüne etkisi	74
5.3.3.4 Değerlendirme	75
5.3.4 Uygun kireç katkı miktarının belirlenmesi.....	75
5.3.4.1 Kireç katkı miktarının kerpicing birim hacim kütlesine etkisi	76
5.3.4.2 Kireç katkı miktarının kerpicing mekanik dayanımına etkisi	76
5.3.4.3 Kireç katkı miktarının Elastiklik Modülüne etkisi	77
5.3.4.4 Değerlendirme	78

5.3.5 Uygun puzolan katkı miktarının belirlenmesi.....	78
5.3.5.1 Puzolan katkı miktarının kerpicing birim hacim kütlesine etkisi	79
5.3.5.2 Puzolan katkı miktarının kerpicing mekanik dayanımına etkisi	79
5.3.5.3 Puzolan katkı miktarının kerpicing Elastiklik Modülüne etkisi	80
5.3.5.4 Değerlendirme	80
5.3.6 NaOH katkısının puzolan katkılı kerpiç üzerindeki etkisi.....	81
5.3.6.1 NaOH katkısının puzolan katkılı kerpicing birim hacim kütlesine etkisi	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
5.3.6.2 NaOH katkısının puzolan katkılı kerpicing mekanik dayanımına etkisi	82
5.3.6.3 NaOH katkısının puzolan katkılı kerpicing Elastiklik Modülüne etkisi	83
5.3.6.4 Değerlendirme	83
5.3.7 Puzolan katkılı kerpiç için uygun kireç katkı miktarının belirlenmesi	84
5.3.7.1 Kireç katkı miktarının puzolan katkılı kerpicing birim hacim kütlesine etkisi	84
5.3.7.2 Kireç katkı miktarının puzolan katkılı kerpicing mekanik dayanımına etkisi	85
5.3.7.3 Kireç katkı miktarının puzolan katkılı kerpicing Elastiklik Modülüne etkisi	86
5.3.7.4 Değerlendirme	86
5.4 Toprak Matris Malzemesinin ve Kürleme Koşullarının Belirlenmesi İle İlgili Bulguların Değerlendirilmesi.....	87
5.4.1 Birim hacim kütle sonuçları.....	90
5.4.2 Mekanik dayanım sonuçları.....	90
5.4.3 Elastiklik modülü sonuçları	91
5.4.4 Suya karşı direnç sonuçları	91
5.4.5 Genel sonuç	93
5.5 Lif Katkısının Kerpicing Özellikleri Üzerindeki Etkisinin Belirlenmesi ile İlgili Deneyler ve Bulgular	94
5.5.1 Deneyde kullanılan malzemeler.....	95
5.5.2 Lif katkısının kerpicing birim hacim kütlesine etkisi	95
5.5.3 Lif katkısının mekanik dayanıma etkisi	96
5.5.3.1 48 saat suda bekletmenin lif katkılı kerpicing mekanik dayanımı üzerindeki etkisi	106
5.5.3.2 Lif katkılı kerpiç numunelerin yük altındaki davranışı	112
5.5.4 Lif katkılı kerpicing suya karşı direnci	115
5.6 Değerlendirme	117
6. SONUÇ.....	119
KAYNAKLAR	123

KISALTMALAR

A	: Taşın yük uygulanan yüzeyinin alanı, mm ²
A_s	: Deney numunelerinin suya temas ettirilen yüzeyinin brüt alanı, mm ²
ASTM	: American Society for Testing and Materials
b	: Prizmanın kare kesitinin yükün geldiği kenar uzunluğu, mm
C_{w,s}	: Kapiler su emme katsayısı, gr/(m ² x s ^{0.5})
CEB	: Compressed Earth Blocks
D_h	: Taşın hacim kütlesi, gr/cm ³
d_o	: Özgül ağırlık, gr/cm ³
EM	: Elastiklik Modülü
f_b	: Taşın basınç dayanımı, N/mm ²
f_{eğ}	: numunenin eğilmede çekme dayanımı, N/mm ²
G_d	: Doygun haldeki kütle, gr
G_{ds}	: Doygun haldeki malzemenin su içindeki kütlesi, gr
G_k	: Değişmez kütleye kadar kurutulmuş malzeme kütlesi, gr
G_p	: Piknometre ağırlığı, gr
G_{pn}	: (Piknometre + deney numunesi) ağırlığı, gr
G_{ps}	: Su ile dolu piknometre ağırlığı, gr
G_{psn}	: (Piknometre + deney numunesi + su) ağırlığı, gr
G_k	: Değişmez kütleye kadar kurutulmuş deney numunesinin kütlesi, gr
L	: Numune Boyu, km
l	: Destek silindirlerin eksenleri arasındaki uzaklık, mm
LTGS	: Geopolimerik tuğla
h	: Deney numunesinin kalınlığı, mm
m_{so,s}	: Deney numunesinin (t) süreyle suya temas ettirildikten sonraki kütlesi, gr
m_{dry,s}	: Deney numunesinin kurutma sonrasındaki kütlesi, gr
P_k	: Prizmanın ortasına uygulanmış olan kuvvet, N
P_k	: Kırılmaya sebep olan en büyük yük, N
Pp	: Polipropilen
SD	: Silis dumanı
S_h	: Hacimce su emme oranı, %
T_{so}	: Deney numunesinin suya temas ettirilme süresi, dakika
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
V	: Deney numunesinin hacmi, cm ³
V	: Hız, km/sn
σ	: Normal gerilme
ε	: birim uzama

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Granülometri aralıkları	3
Çizelge 3.1 : Toprağın kireç ile sağlamlaştırılması	18
Çizelge 3.2 : Toprağın alçı ile sağlamlaştırılması	22
Çizelge 3.3 : Puzolan katkısı ile sağlamlaştırılmış toprak	26
Çizelge 3.4 : NaOH katkısı ile sağlamlaştırılmış toprak	31
Çizelge 3.4 : NaOH katkısı ile sağlamlaştırılmış toprak	32
Çizelge 4.1 : Doğal Lif Çeşitleri [41]	38
Çizelge 4.2 : Cam Lifi Tipleri [42].....	40
Çizelge 4.3 : Karbon Liflerinin Özellikleri [42].....	41
Çizelge 4.4 : Polimer Liflerin Özellikleri [41]	42
Çizelge 5.1 : Deneyde kullanılan kirecin özellikleri	48
Çizelge 5.2 : Datça Toprağı Kimyasal Analizi	49
Çizelge 5.3 : Polipropilen Lifi'nin Özellikleri	50
Çizelge 5.4 : Bağlayıcı ve kimyasal katkısı ile ağırlaştırılan kerpiç numuneleri ...	59
Çizelge 5.5 : Kütleme koşulları ile ilgili deney sonuçları	62
Çizelge 5.6 : Uygun NaOH katkı miktarı ile ilgili deney sonuçları	72
Çizelge 5.7 : Uygun kireç katkı miktarı ile ilgili deney sonuçları.....	76
Çizelge 5.8 : Puzolan katkı miktarı ile ilgili deney sonuçları.....	79
Çizelge 5.9 : NaOH katkı miktarı ile ilgili deney sonuçları	81
Çizelge 5.10 : Kireç katkı miktarı ile ilgili deney sonuçları.....	84
Çizelge 5.11 : İlk aşama 1. Grup deneylerinden elde edilen bulgular	88
Çizelge 5.12 : İlk aşama 2. Grup deney numunelerinden elde edilen bulgular	89
Çizelge 5.13 : Kılcallıkla su emme katsayısı değerleri.....	92
Çizelge 5.14 : Lif katkılı kerpiç numunelerin karışım oranları ve lif boyları.....	94
Çizelge 5.15 : Lif katkılı kerpiç numunelerin mekanik dayanım değerleri	97
Çizelge 5.16 : 48 saat suda bekleyen lif katkılı kerpiç numunelerin mekanik dayanımları.....	111
Çizelge 5.17 : 48 saat suda bekletilen lif katkılı kerpiçten elde edilen bulgular	116
Çizelge 5.18 : Lif katkılı kerpiç numunelerinden elde edilen bulgular	118
Çizelge 6.1 : Malzeme Tablosu	121
Çizelge A.1 : Deney sonuçlarına ait çizelgeler.....	127

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Toprak granülometri eğrisi	4
Şekil 2.2 : Kerpiç tuğla kalıbı ve kalıplanışı [6]	10
Şekil 2.3 : Kerpiç tuğla duvar uygulaması [4]	10
Şekil 2.4 : Yerinde döküm kerpiç duvar [11]	11
Şekil 3.1 : Geopolimerleşme [28]	27
Şekil 4.1 : Liferle donatılı kompozit donatı şekilleri a) Paralel tek eksenli süreksiz lifli donatı, b) Paralel tek eksenli sürekli lifli donatı, c) Rastgele dağıtılmış lifli donatı, d) Yönlendirilmiş lifli donatı	35
Şekil 4.2 : Lif katkılı kompozitlerin mekanik davranışı [38].	36
Şekil 5.1 : İstanbul Teknik Üniversitesi Ayazağa Kampüsü toprağının alındığı yer	46
Şekil 5.2 : Ayazağa toprağının granülometri eğrisi	47
Şekil 5.3 : Numunelerin hazırlanması	57
Şekil 5.4 : Kalıp içindeki 1. grup numuneleri	58
Şekil 5.5 : 2. Grup Numunelerin Hazırlanması ve Kalıplanması	58
Şekil 5.6 : Referans numune ve 3N-24C serisi	60
Şekil 5.7 : 3N-55C numuneleri	61
Şekil 5.8 : 3N-55C-95 Numuneleri	61
Şekil 5.9 : 3N-55C-S Numuneleri	62
Şekil 5.10 : Kür ortamındaki sıcaklık artışının numunenin birim hacim kütleline etkisi	63
Şekil 5.11 : Kür ortamındaki nem artışının numunelerin birim hacim kütleline etkisi	64
Şekil 5.12 : Kürleme sıcaklığının numunelerin basınç ve eğilmede çekme dayanımı etkisi	65
Şekil 5.13 : 55°C sıcaklıkta kür ortam nemine bağlı olarak numunelerin basınç ve eğilmede çekme dayanımı	66
Şekil 5.14 : Kürleme sıcaklığına bağlı Elastiklik Modülü	67
Şekil 5.15 : Kür ortam nemine bağlı Elastiklik Modülü	68
Şekil 5.16 : Yüzeyde gözlemlenen kuma	68
Şekil 5.17 : 24°C’de kürlenmiş NaOH katlı Numunelerde Yüzey Dokusu	69
Şekil 5.18 : Etüvde Kürlenmiş Numunelerin Yüzey Dokusu	69
Şekil 5.19 : Etüvde Kalıp İçinde Kürlenmiş Numunelerin Yüzey Dokusu	70
Şekil 5.20 : 3N-85C Numunelerinin Yüzey Dokusu	71
Şekil 5.21 : 3N-55C Serisinde Gözlemlenen Çiçeklenme	71
Şekil 5.22 : NaOH katkı miktarına numunelerin birim hacim kütleline etkisi	73
Şekil 5.23 : NaOH katkı miktarının mekanik dayanıma etkisi	74
Şekil 5.24 : NaOH katkı miktarının numunelerin Elastisite Modülüne etkisi	74
Şekil 5.25 : Kür ortam nemine bağlı Elastiklik Modülü	76
Şekil 5.26 : Kireç katkı miktarının numunelerin mekanik dayanıma etkisi	77
Şekil 5.27 : Kireç katkı miktarının numunelerin Elastiklik Modülüne etkisi	78
Şekil 5.28 : Puzolan katkı miktarının kerpiğin birim hacim kütleline etkisi	79

Şekil 5.29 : Puzolan katkı miktarının kerpicing mekanik dayanıma etkisi	80
Şekil 5.30 : Puzolan katkı miktarının kerpicing Elastiklik Modülüne etkisi	80
Şekil 5.31 : NaOH katkısının puzolan katkılı kerpicing birim hacim kütleğine etkisi	82
Şekil 5.32 : NaOH katkısının puzolan katkılı kerpicing mekanik dayanıma etkisi	82
Şekil 5.33 : NaOH katkısının puzolan katkılı kerpicing Elastiklik Modülüne etkisi ..	83
Şekil 5.34 : Kireç katkı miktarının puzolan katkılı kerpicing birim hacim kütleğine etkisi	85
Şekil 5.35 : Kireç katkı miktarının puzolan katkılı kerpicing mekanik dayanımı etkisi	85
Şekil 5.36 : Kireç katkı miktarının puzolan katkılı kerpicing Elastiklik Modülüne etkisi	86
Şekil 5.37 : 12 dk. suda bekleyen numuneler	93
Şekil 5.38 : Lif katkı miktarına göre birim hacim kütleği.....	95
Şekil 5.39 : Lif boyuna göre birim hacim kütleği	96
Şekil 5.40 : Basınç dayanımı deneyinden sonra 3N-85C numunesi.....	98
Şekil 5.41 : Kütlece %1 oranında 6mm uzunluğunda lif katkısı içeren 01L-6 numunesi	98
Şekil 5.42 : Kütlece %1 oranında 9mm uzunluğunda lif katkısı içeren 01L-9 numunesi	99
Şekil 5.43 : Kütlece %1 oranında 12mm uzunluğunda lif katkısı içeren 01L-12 numunesi	99
Şekil 5.44 : Kütlece 0.5% oranında 6mm uzunluğunda lif katkısı içeren 05L-6 numunesi	99
Şekil 5.45 : Kütlece 0.5% oranında 9mm uzunluğunda lif katkısı içeren 05L-9 numunesi	100
Şekil 5.46 : Kütlece 0.5% oranında 12mm uzunluğunda lif katkısı içeren 05L-12 numunesi	100
Şekil 5.47 : Kütlece %1 oranında 6mm uzunluğunda lif katkısı içeren 01L-6 numunesi	100
Şekil 5.48 : Kütlece %1 oranında 9mm uzunluğunda lif katkısı içeren 01L-9 numunesi	101
Şekil 5.49 : Kütlece %1 oranında 12mm uzunluğunda lif katkısı içeren 01L-12 numunesi	101
Şekil 5.50 : Lif katkılı kerpiç numunelerin ezilmeden ve ezilirkenki basınç dayanımı	102
Şekil 5.51 : Lif boyuna bağılı olarak lif katkılı kerpiç numunelerin basınç dayanımı	103
Şekil 5.52 : Lif katkı miktarına göre lif katkılı kerpiç numunelerin eğilmede öke me dayanımı	103
Şekil 5.53 : Lif boyuna göre lif katkılı kerpiç numunelerin eğilmede çekme dayanımı	104
Şekil 5.54 : 48 saat suda bekletildikten sonra 01L-6 numunesi.....	107
Şekil 5.55 : 48 saat suda bekletildikten sonra 01L-9 numunesi.....	107
Şekil 5.56 : 48 saat suda bekletildikten sonra 01L-12 numunesi.....	107
Şekil 5.57 : 48 saat suda bekletildikten sonra 05L-6 numunesi.....	108
Şekil 5.58 : 48 saat suda bekletildikten sonra 05L-9 numunesi.....	108
Şekil 5.59 : 48 saat suda bekletildikten sonra 05L-12 numunesi.....	108
Şekil 5.60 : 48 saat suda bekletildikten sonra 1L-6 numunesi.....	109
Şekil 5.61 : 48 saat suda bekletildikten sonra 1L-9 numunesi.....	109
Şekil 5.62 : 48 saat suda bekletildikten sonra 1L-12 numunesi.....	109

Şekil 5.63 : Suda bekletilen lif katkılı kerpiç numunlerin mekanik dayanımda gözlemlenen azalma	110
Şekil 5.64 : Basınç gerilmesi altında şekil değiştirme [42]	112
Şekil 5.65 : Zamana bağlı plastik deformasyon [42]	113
Şekil 5.66 : % 0.1 oranında lif katkısı içeren numunelerde şekil değiştirme	114
Şekil 5.67 : % 0.5% oranında lif katkısı içeren numunelerde şekil değiştirme	114
Şekil 5.68 : % 1 oranında lif katkısı içeren numunelerde şekil değiştirme	115

LİF KATKILI KERPİÇ PANEL ÜRETİLME OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI

ÖZET

Günümüz mimarisinden, sürdürülebilir, ekolojik ve enerji etkin bir tasarım anlayışı beklenmektedir. Bu anlayış içerisinde sürdürülen yeni malzeme arayışında, yapı malzemesi olarak kerpiç yeniden önem kazanmaya başlamıştır. Kerpiç üretiminde, insan gücü dışında enerji harcanmaz, ekonomik bir yapı malzemesidir. Kerpici ısı depolama ve ısı yalıtım performansı yüksektir. Kerpiç kullanıcı açısından sağlıklı iç mekanlar oluşturan bir yapı malzemesidir. Bu nedenlerden dolayı kerpiç, geliştirilmeyi ve çağdaş yapı malzemeleri arasında yerini almayı beklemektedir. Geçmişte ve günümüzde kerpiç, yığma yapılarda kullanılmaktadır. Çok katlı yapılarda kullanılamaması ve çağdaş yapım tekniklerine adapte edilememiş olması kerpici kullanım alanlarının giderek azalmasına yol açmaktadır.

Bu çalışmada, kerpici olanaklarının ve kullanım alanlarının geliştirilmesi amaçlanmıştır. Sadece yığma yapılarda kullanılan bu malzemenin, panel duvar olarak betonarme ve çelik yapılarda da kullanılmasını sağlamak amaçlanmıştır. Geliştirilecek malzemenin ekolojik ve ekonomik olması yöntemi belirleyen temel faktör olmuştur. Kullanılacak katkı maddeleri ve kütleme koşulları bu faktör göz önünde bulundurularak değerlendirilmiştir.

TS2514'e göre kerpiç blok boyutu 12x19x40, 12x30x40, 12x18x30 veya 12x25x30 olmalıdır. Standart kerpici kalınlığı ve kalınlığından kaynaklanan ağırlığı, iskelet yapılarda kullanılmama gerekçelerinden biridir. Bu sorunu çözebilmek için, malzemenin mekanik dayanımını artırılması ve kesitinin inceltilmesi öncelikli problem olarak ele alınmıştır. Bu çalışmada bağlayıcı ve kimyasal katkısı ile sağlamlaştırılan toprağa lif katılarak kompozit panel üretme olanakları araştırılmıştır.

Yapılan deneysel çalışma iki aşamalı olarak yürütülmüştür. İlk aşamada, üretilmesi hedeflenen kompozit malzeme için uygun matrisi oluşturacak olan katkılı kerpiç toprağını belirlemek için deneyler yapılmıştır. İkinci aşama da ise bu matrise katılacak lif katkısı ile ilgili deneyler yapılmıştır. Uygun matrisi belirlemek için yapılan deneylerde, toprak, kimyasal ve bağlayıcı katkısı ile sağlamlaştırılmıştır. Bu aşamada uygun bağlayıcı cinsi, uygun değerde bağlayıcı ve kimyasal katkı miktarı ve uygun kütleme koşulları belirlenmiştir. İkinci aşamada, kerpiç duvar paneli üretebilmek için, hazırlanan matrise katılacak olan uygun lif boyu ve lif katkı miktarı belirlenmiştir.

Deney bulguları değerlendirilerek en uygun karışım seçilmiştir. Bu karışımdan elde edilen sonuçlar yapı sektöründe kullanılan farklı tipte duvar dolgu malzemelerinin özellikleri ile kıyaslanmıştır.

UNVESTIGATION ON PRODUCTION OF REINFORCE ADOBE PANEL WALL BY FIBER

SUMMARY

Sustainability, ecological and energy efficient design approach are what expected from contemporary architecture. In this approach, adobe again starts to gain importance as a building material. The use of adobe reduces energy consumption in buildings. Only human power is consumed in production of adobe brick. It has high performance of heat storage and heat insulation. In addition adobe walls provide high quality of indoor air for healthcare. For these reasons, adobe is waiting to take its place among the modern buildings materials. In the past, and today, adobe is used masonry buildings material. Because of adobe is not adapted to modern construction techniques, the application areas of adobe are gradually decreasing.

In this study, it is aimed to develop adobe and application areas of it. This material is only used in masonry buildings. For developing new application areas, it is intended to use it in modern constructions as a panel wall. The key factor in determining the method of developed material is being ecological and economical. These factors are taken into account to examination of the used additives and curing conditions.

Adobe can not be used the construction of high-rise buildings because of its heavy. The basic problem to make it less heavy. Its heaviness depends on its thickness. Its thickness depends on the brittle properties of the material. In this study, to increase the mechanical properties and to thin of the cross-section of the adobe, chemical and fiber are added into the soil. Thus, it is investigated the possibilities of producing composite panel wall from reinforced soil.

The experimental study is conducted in two stages. In the first stage, the optimum chemical and binding additives rates are determined by experimental. In the second stage, to produce adobe panel wall, optimum amount and length of fiber additives are determined by experimental.

Different types of filling materials are used in wall construction sector. Experimental findings about new materials' properties are compared with some of the other wall construction materials.

1. GİRİŞ

Giderek azalmakta olan dünya kaynakları, artan enerji ihtiyacı ve bozulmaya başlayan doğal dengeler, günümüz mimarisine önemli sorumluluklar yüklemiştir. Mimarlık insan ve doğa arasındaki ekolojik dengenin yeniden kurulmasında görev almalıdır. Bu nedenle günümüz mimarisinden beklenen sürdürülebilir, ekolojik ve enerji etkin bir tasarım anlayışıdır. Mimari tasarım sürecinin her aşamasında bu kaygılar göz önüne alınmalıdır. Bu noktada mimari ürünü oluşturan her malzemenin de sürdürülebilir, ekolojik ve enerji etkin olması beklenmektedir.

Günümüz mimarisinden beklenen sürdürülebilirlik, ekolojik ve enerji etkin tasarım anlayışı içinde sürdürülen yeni malzeme arayışında, yapı malzemesi olarak kerpiç yeniden önem kazanmaya başlamıştır. Kerpiç üretimi yüksek enerji gerektirmeyen ekonomik bir yapı malzemesidir. Bunun yanı sıra ısısal performansının yüksek olması, sağlıklı iç mekanlar oluşturması açısından kerpiç, geliştirilmeyi ve çağdaş yapı malzemeleri arasında yerini almayı bekleyen bir yapı malzemesidir. Geçmişte ve günümüzde kerpiç, yığma yapılarda kullanılan bir yapı malzemesi olmuştur. Çok katlı yapılarda kullanılamaması, çağdaş yapım tekniklerine adapte edilmemiş olması, kerpicingin kullanım alanlarının giderek azalmasına yol açmaktadır.

Geleneksel mimarinin yapı malzemelerinden biri olan kerpiç, günümüzde giderek terk edilen bir yapı malzemesi olmasına karşın hala dünya nüfusunun %30'unu barındırmaktadır [1]. Günümüzde kerpiç yapı olanaklarının geliştirilmesi ile ilgili çeşitli araştırmalar yapılmaktadır. Yapılan çalışmalarda bir yığma yapı malzemesi olan kerpicingin, su ve basınç dayanımını çeşitli katkı maddeleri ile iyileştirmek amaçlanmıştır. Yapılan literatür araştırmalarında kerpicingin kullanım alanını çok katlı, iskelet yapı sistemlerine uyarlayarak kullanım alanlarını geliştirmeye yönelik çalışmalara rastlanmamıştır.

1.1 Tezin Amacı

Bu çalışmada, nispeten ucuz ve ekolojik bir yapı malzemesi olan kerpicingin olanaklarının geliştirilmesi amaçlanmıştır. Kerpicingin dayanımını arttırmanın yanı sıra

yeni kullanım alanlarının kazandırılması hedeflenmiştir. Bu amaçla bir yığma yapı malzemesi olan kerpicing iskelet yapı sisteminde de kullanılma olanakları araştırılmıştır.

1.2 Tezin Kapsamı

Bu tez kapsamında, kerpicing çağdaş yapı sistemlerinde de kullanılabilmesi için malzemenin olanaklarının geliştirilmesi deneysel olarak araştırılmıştır. Standart kerpicing kalınlığı ve kalınlığından kaynaklanan ağırlığı, düşük dayanım değerlerine sahip olması, çağdaş yapı tekniğı olan iskelet yapılarda kullanılamama gerekçelerindendir. Bu çalışmada kerpicing kesitinin inceltilmesi, basınç ve eğilmede çekme dayanımının arttırılması deneysel olarak araştırılmıştır. Geliştirilecek malzemenin ekolojik ve ekonomik olması yöntemi belirleyen en önemli faktörü oluşturmaktadır.

Bu kapsamda, bağlayıcı ve kimyasal katkı ile sağlamlaştırılmış toprağı lif katılarak kompozit panel üretilme olanakları araştırılmıştır. Öncelikle çalışmada kullanılacak uygun kerpiç toprağı belirlenmiştir. Yapılan deneysel çalışma iki aşamalı olarak yürütölmüştür. İlk aşamada uygun matris belirlenmiştir. Bu aşamada toprak, kimyasal ve bağlayıcı katkısı ile sağlamlaştırılmış; uygun bağlayıcı cinsi, uygun bağlayıcı ve kimyasal katkı miktarı ve uygun kütleme koşulları belirlenmiştir. İkinci aşamada, ilk aşamada belirlenen uygun matris için uygun lif katkı miktarı ve boyu belirlenmiştir.

Yeni karışım oranları ile üretilen malzeme üzerinde birin hacim, basınç ve eğilmede çekme dayanımı, Elastiklik Modölü ve kılcallıkla su emme deneyleri yapılarak, karışımın mekanik dayanımında ve suya karşı direncinde artış sağlandığı, yük altında deforme olsa bile bütönlüğünü koruyabildiğı tespit edilmiştir.

2. YAPI MALZEMESİ OLARAK KERPİÇ

Kerpiç yapı; TS-2515’de duvarları kerpiç ve çamur harçla yapılan, tavan ve kat döşemeleri ahşap olan binalar olarak tanımlanmıştır.

ASTM C67’de ise, dış taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan duvarları ve bölme duvarları pişmemiş kil birimlerden oluşurken, döşeme, çatı ve iç bölmeleri tamamen ya da kısmen ahşap veya başka uygun bir malzemedan oluşan yapı olarak tanımlanmıştır.

Kerpiç yapımında kullanılan kerpiç blok, TS-2514’e göre, killi ve uygun nitelikte toprağın içine saman veya diğer bitkisel lifler vb. veya diğer katkı maddeleri karıştırılıp su ile yoğrulup kalıplara dökülerek şekillendirmek ve açık hava da kurutulmak sureti ile elde edilen ve inşaatta kullanılabilecek hale gelen mamul olarak tanımlanmıştır.

2.1 Kerpiç Toprağı

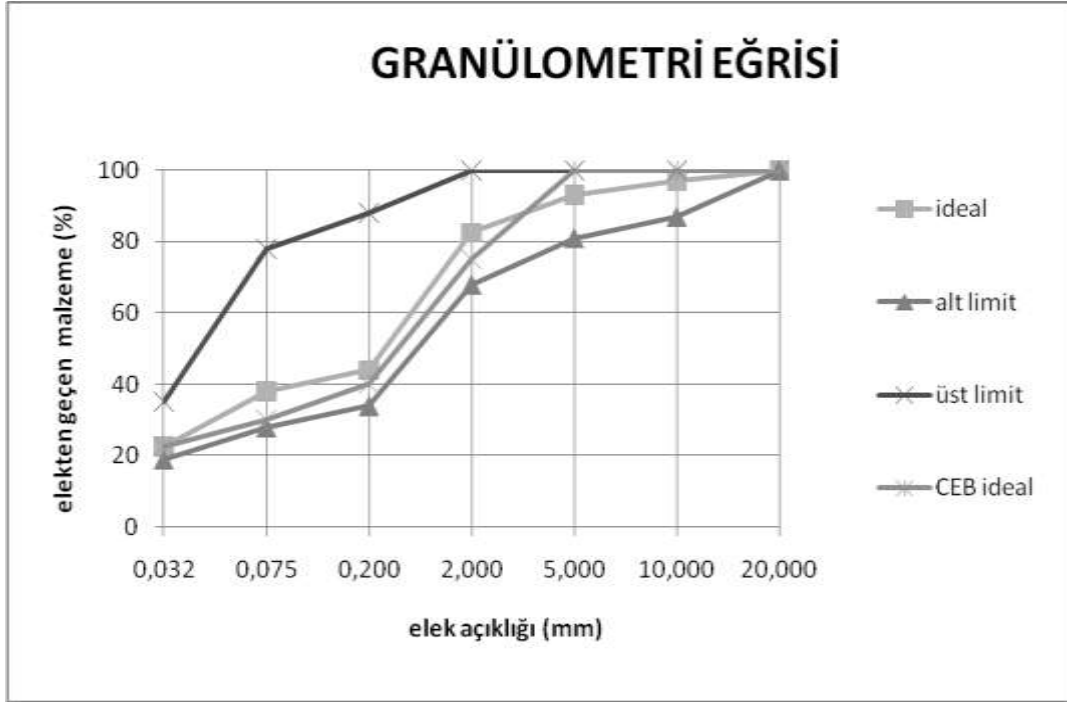
Toprak, mineral ve organik maddeler ile su ve havadan oluşmuştur. Toprağın katı kısmını değişik büyüklüklerde mineraller oluşturur. Çakıl ve kum gibi görece büyük parçaların yanında silt ve kil gibi çok ince zerreler de bulunabilir. [2].

ASTM E2492 de toprak yapı sistemlerinde kullanılan toprak karışımı; kil, silt, kil-silt karışımı veya kum ve çakıl içeren kıvamlı toprak olarak tanımlanmaktadır. Çizelge 2.1 :, ASTM E2492 ye göre kil, silt, kum ve çakıl için granülometri aralıkları verilmiştir. Bu karışım doğadan elde edilebileceği gibi farklı toprakları karıştırarak da elde edilebilir. Yapı üretimde kullanılacak toprak belirlenirken toprağın tarım toprağı olmamasına özen gösterilmelidir [ASTM E2492].

Çizelge 2.1 : Granülometri aralıkları

<u>Kil</u>	<u>Silt</u>	<u>Kum</u>	<u>Çakıl</u>
0.005	0.05	2.00	20.00 (ölçü: mm)

Arizona’da toprak yapısının kerpicin fiziksel özellikleri üzerine etkisi ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda elde edilen kullanılabilir toprak türlerinin alt ve üst sınırlarının granülometrik eğrisi çizilmiştir. Alt ve üst sınır eğrileri ile en iyi örneğe ait ideal granülometri eğrileri [3], Şekil 2.1 : Toprak verilmiştir. Aynı grafik üzerinde Vincent Ragassi’nin Sıkıştırılmış Kerpiç Bloklar [4] kitabında, kerpiç için belirlediği ideal toprak granülometri eğrisi (CEB) de verilmiştir.



Şekil 2.1 : Toprak granülometri eğrisi

Kerpicin yapısında bulunan, agregayı bağlayıp rijitliği sağlayan, kimyasal maddelerle reaksiyona girip sertleşen olan maddeler genellikle kil ve silttir. TS 2514’de uygun kerpiç toprağı için önerilen kil miktarı % 30 - % 40 arasındadır.

2.1.1 Kilin yapısı

Kilin yapısı ile ilgili çeşitli kaynaklardan [2,4,6,11,18] alınan bilgiler derlenmiştir.

Kil, yeraltı ve yeryüzü su seviyesinin arasında yer alan kuşaktaki mineral ve kayaların bir takım fiziksel ve kimyasal değişiklik geçirmesi sonucunda oluşur. Bu mineral ve kayalar sıcaklık değişimleri, su, buz, rüzgar, suyun buza dönüşmesi ve bitkiler gibi etkenlerin sonucunda parçalanırlar.

2.1.2 Kilin fiziksel özellikleri

Kilin fiziksel özellikleri ile ilgili çeşitli kaynaklardan [2,4,6,11,18] alınan bilgiler derlenmiştir.

Killeri oluşturan hidrate alüminyum silikatlar killere sahip oldukları temel özellikleri verir.

Plastiklik: Killerin uygun ortamda su ile karıştırıldıktan sonra kohezif bir kütle haline gelerek herhangi bir kuvvet altında istenilen şekle sokulabilmesi, bu kuvvet kalktığında mevcut şeklini koruyabilmesidir. Buna etki eden faktörler:

- kilin kimyasal ve mineralojik bileşimi,
- dane boyutu, şekli ve dağılımı,
- katyon değiştirme kapasitesi, katyon ve pH değeri,
- su yüzey gerilimidir.

Kilde iki türlü su mevcuttur. Film tabakasına bağlı olan “bağlı su” ve film tabakası dışında kalan “serbest su”dur.

Kohezyon: Atomları minimum bağ enerjisi konumundan çıkarıp ayrılmalarına yol açan çekme zorlamasına cismin kohezyon mukavemeti denir.

Kütlenin kohezif bir hale gelmesi kayma direncini kesin bir şekilde arttırabilmektedir. Kohezen özelliği kile, kurduğunda kendisine verilmiş olan şekli koruma özelliği verir.

Kilin kohezyona sahip olabilmesi için mutlaka su ile yoğrulması gerekir. Böylece işlenebilirlik de kazanır.

Rötre: Plastik bir kil kururken hacminde azalma, dolayısı ile de boyutlarında küçülme meydana gelir. Bu olaya rötre denir.

Eğer kuruma çok hızlı ve düzenli değilse, oluşan rötre çatlaklara neden olur. Plastik bir kilde kuruma dış yüzeyinde başlar. Suyun buharlaşması ile yüzey daneleri birbirine yaklaşmaya başlar. Bu fazda buharlaşan su miktarı ile doğru orantılı olarak hacim kaybı gözlenir. Bu faza kolloidal kuruma ve bu sırada kaybedilen suya kolloidal su denir. Bu aşamadaki rötre sorun yaratmaz.

Sonraki aşamada, kil daneleri serbestçe bir araya gelerek birbirlerine temas ederler. Partiküller arasındaki su, hareket etmelerine olanak vermeyecek kadar azalmıştır.

Rötre önceki faza göre daha azdır. Partiküller arasında boşluklar oluşmaya başlar. Bu sıradaki bünye suyuna “kritik nem içeriği” denir. Bu aşamadaki rötre tehlikelidir, gerilme ve çatlaklar oluşabilir. Kilin yüzeyindeki kesintisiz su filmi kurumanın sadece yüzeyde oluşan buharlaşma ile meydana gelmesini sağlar. Dolayısı ile kuruma hızı: yüzey miktarı, sıcaklık, çevresel nem ve yüzeydeki hava hareketine bağlı olarak değişmektedir.

Kuruma sırasında yüzeydeki su buharlaştığı anda yerine yüzeye en yakın kısımdaki su geçmektedir. İçten dışa doğru olan rutubet akımının hızı, kil yüzeyinde buharlaşan su miktarına eşit olmalıdır. Böylece homojen bir kurma ile çatlama ve yarıkların önüne geçilebilir.

Kurumanın son fazında ise hacim küçülmesi yani rötre sona erer. Kilin emmiş olduğu su boşluklarından kapilarite ile yüzeye çıkar. Böylece boşluklardaki suyun yerini hava alır. Rötrenin olmadığı fazdır. Kurutulmuş kil pişirilirse bünye suyunu kaybettiği için hacim kaybetmeye devam eder.

Tiksotropi: Katı parçacık ağı ile araları doldurulan sıvı fazdan oluşan jeller genellikle katı bir cisim davranışı sergilerler. Eğer bu katı parçacık ağı sıcaklık ve mekanik etkilerle bozulur, bu etkiler kalktıktan sonra eski haline dönerse, buna tiksotropik jel, dönüşme olayına da tiksotropi denir.

Birçok kil süspansiyonu karıştırılmadan bırakıldıklarında akışkan olmayan, jelimsi bir kitle haline gelirler. Bu jel yapılı ağ zayıftır, kuvvetli bir karıştırma ile akıcı hale gelmektedir. Karıştırılma durunca tekrar katılaşmaktadır. Yani tiksotropi özelliği tersinir olup zaman ve kayma etkisine bağlıdır.

Renk: Killer metal oksitler ve organik maddelerle doğal olarak renklendirilmiş olarak bulunurlar. Saf kil beyazdır. İçerdiği maddelere bağlı olarak farklı renklerde olabilir.

Piştirilince alacağı renk pişmeden önceki rengine bağlı değildir. Pişmiş kilin rengi;

Kilin bileşimi

Sıcaklık

Fırın atmosferi

İçerdiği demir, CaO ve MgO miktarı etkiler.

İnorganik karakterde olan pigment bağlayıcı kimyasal katkıları ile istenilen renkler elde edilebilmektedir.

2.2 Kerpiğin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

- Kerpiğin malzemenin fiziksel özellikleri:
 - Suya dayanıksızdır,
 - Gözenekli bünye yapısı rutubet alır,
 - İyi bir ısı tutucu malzemedir
 - İç mekanda biyoklimatik konfor sağlar
 - Ağırlık kitleli ve bünyeli olduğu için ses yalıtımı sağlar.
- Kerpiğin malzemenin mekanik özellikleri
İçerdiği maddelerin cinsine ve oranına göre basınç dayanımı değişir. İyi bir granülometri ayarlaması ile basınç dayanımı 35 kg/cm² olabilir. Normal hallerde 10-15 kg/cm² dir.
- Kerpiğin basınç mukavemetini değiştiren etmenler:
 - Kerpiğin toprağının cinsi,
 - Katılan su miktarı
 - Bitkisel katkı oranı
 - Kalıplama yöntemi
 - Kurutma süresi ve yöntemi
 - Sağlamaştırma amacıyla Kullanılan bağlayıcı madde cinsi ve miktarı,

2.3 Yapıda Kerpiğin Kullanılmasıyla Sağlanan Yararlar

Kerpiğin duvar, gözenekli yapısı nedeni ile havadaki nemi bünyesine çekerek iç mekanın nemini dengeler. Isı tutuculuk ve mekana bakan iç yüzey sıcaklık değerleri yüksektir. Böylece ısı ve nem dengesinin korunmasını sağlar. Kullanıcı açısından kaliteli bir iç mekan oluşturur [11].

Sudan sonra en iyi enerji depolayan malzemelerden birisi olan toprak, yapı malzemesi olarak binayı çevreleyen duvarları oluşturduğundan ısınma enerjisini bünyesinde toplar. Isıtma kesildikten sonra uzun süre bünyesindeki ısıyı vererek sıcaklığın dengeli kalmasını sağlar. Yapıyı dışarıdaki istenmeyen sıcaktan veya soğuktan korur.

Üretim maliyeti düşüktür. Üretimi tesis gerektirmez. Üretimi ve kullanımı sırasında çok az enerji gerekir.

Örneğin 1m³ beton üretmek için 300 - 500 kWh gibi bir enerji gerekirken aynı miktarda kerpiç üretmek için bu enerjinin % 1'i yeterlidir. Yapılan araştırmalar 1 kWh elektrik enerjisi üretimi için atmosfere ortalama 5.5g SO₂ ve 2.5g NO₂ aktarıldığını göstermiştir. Her iki maddenin de asit yağmurları ve çevre problemlerinin oluşumunda etkisi vardır [1].

Kerpiç gerek üretiminde, gerek malzeme ömrünü tamamladığında çevreye zarar vermez. Yıkımı diğer yapı malzemelerine oranla fazla enerji gerektirmez ve geri dönüşümlü bir malzemedir.

Temel kazısı sırasında çıkarılan toprak, kerpiç üretiminde kullanılırsa taşıma masrafı olmayacağı için yapı ekonomisine ek bir tasarruf sağlayacaktır. Ayrıca temel hafriyatı değerlendirilmiş olacaktır.

2.4 Yapıda Sağlamaştırma İşlemi Görmemiş Kerpicin kullanımının Sakıncaları

Yapıda kullanıldığında, sağladığı faydalara rağmen kerpicin bazı fiziksel özelliklerinden kaynaklanan sakıncaları vardır:

- Suya karşı dayanıksız bir malzeme olduğu için yağışlı havalarda üretilmez. Üretimi iklim koşullarına bağlıdır.
- Gevrek bir malzeme olduğu için eğilme, darbe ve aşınmaya karşı dayanımı düşüktür.
- Kerpiç malzemenin yapıda olumsuz yönlerini iyileştirmek amacı ile çeşitli katkı maddeleri eklenmektedir.

2.5 Kerpiç Üretimi

Kerpiç üretiminde, ilk adım uygun toprak seçimidir. İyi bir toprak yarı nemli durumda avuç içinde sıkıldığında ele yapışmamalı, top haline gelmemeli, yere bırakılınca dağılmadan yere yapışmalı, bir bütün halinde kalmalıdır.

Uygun toprak seçimi ya da çeşitli katkı maddelerinin eklenmesi ile toprağın uygun duruma getirilmesinden sonra toprak biçimlendirilir. Kerpicing iyi biçimlendirilebilmesi için, toprağın kıvamının iyi ayarlanması gerekir. Toprağın kıvamı katılan su miktarı ile değişir. Toprak - su karışımında su arttıkça, kerpicing dayanımı azalır, kuruması zorlaşır. Kuruma sırasında fazla rötreye yaparak kerpicing formuna zarar verir.

Karma suyunu azaltmak bu sorunları önler fakat hamura biçim vermek zorlaşır. Hamuru kalıba yerleştirmek için sıkıştırma ve tokmaktama gereği ortaya çıkar.

Karışım için gerekli su miktarı belirlendikten sonra bunun bir kısmı eğer katkı maddesi eklenecekse bir kenara ayrılır. Kalan su toprak ile iyice yoğrulur. Ayrılan suya katkı maddeleri eklenerek karıştırılır.

TS -2514'e göre kerpiç tuğlası harcına 1m³ için 3.5 - 5 kg, 5 – 8 cm boyunda biçilmiş ot veya saman eklenir. Bileşenlerin sulu bir kil bulamacına batırılarak hazırlanması daha iyi olur. Kerpiç karışımı kalıplara tokmaktama ve sıkıştırma yöntemi ile yerleştirilir. Kerpiç, bir miktar kuruduktan sonra kalıplardan çıkarılır ve kurumaya bırakılır. Kuruma güneşte değil gölgede olmalıdır. Kuruyan yüzeyler sürekli çevrilerek kerpicing çatlaması önlenir.

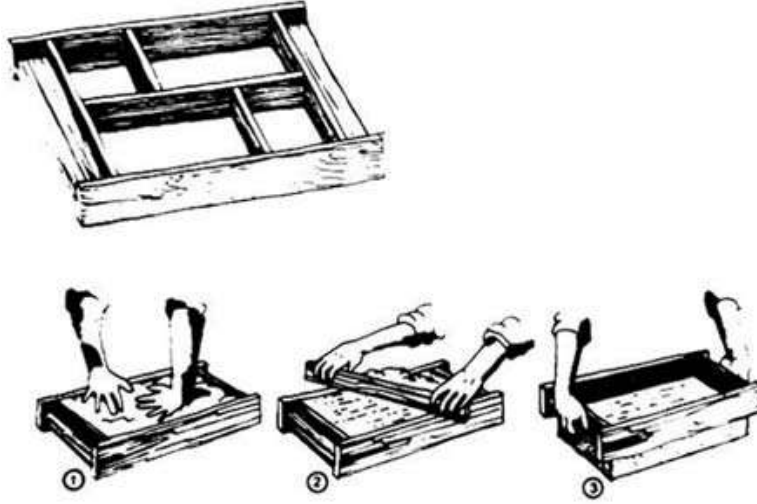
2.6 Kerpiç Yapım Teknikleri

Kerpiç yapım teknikleri ile ilgili çeşitli kaynaklardan [4, 6] araştırma yapılmış ve elde edilen bilgiler derlenmiştir. Üç farklı kerpiç yapım tekniği mevcuttur.

2.6.1 Kerpiç tuğla örme yapı

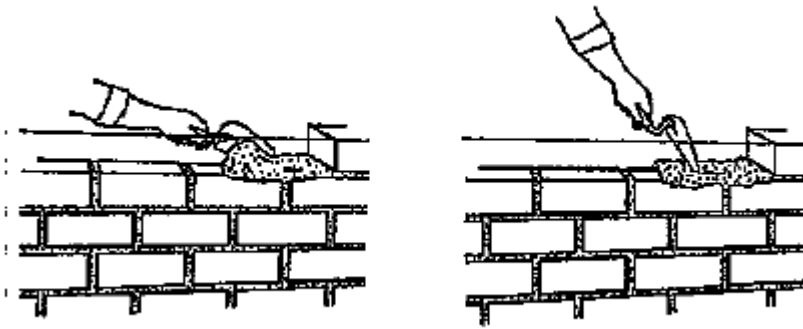
Kerpiç Tuğlası: Şekil 2.2 :de kerpiç tuğla kalıbı ve kalıplanışı görülmektedir. Şekildeki gibi birbirine geçmiş ahşaplardan oluşmuştur. Birbirine geçen ahşaplar hem kerpiç blokların kalıplarını oluşturur hem de kalıbın rijitliğini sağlar. Kerpiç hamuru kuvvetli bir savurma ile kerpiç kalıbı içine çarpılır, boşluk kalmayacak

şekilde kalıp içinde sıkıştırılır. Kerpiç tuğla rijitlik kazanana kadar kalıpta bekletilir. Kalıptan alınan kerpiç tuğlalar kuruyana kadar yapıda kullanılmaz.



Şekil 2.2 : Kerpiç tuğla kalıbı ve kalıplanışı

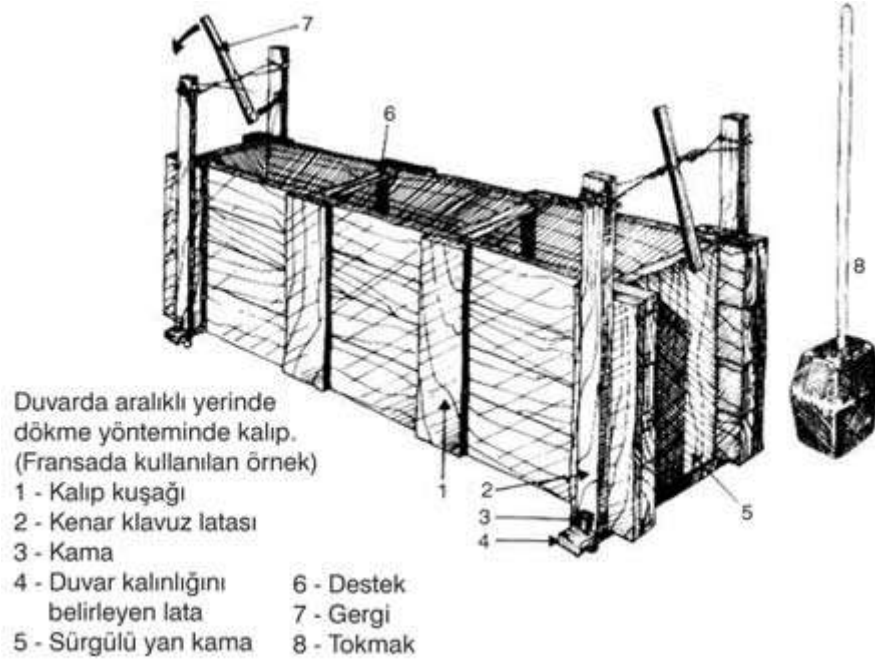
Yapıda kullanılmaya hazır hale gelen kerpiç tuğlalar harçlı birleşimle Şekil 2.3 : görüldüğü gibi örülerek yığma yapının taşıyıcı veya bölücü duvarlarını oluştururlar. Blok üretiminde kurutma, şantiyede stok, nakliye, örülme işçiliği, örülme sırasında oluşan malzeme kayıpları nedeni ile teknolojik yönden ihtiyaca cevap vermemektedir.



Şekil 2.3 : Kerpiç tuğla duvar uygulaması

2.6.2 Yerinde Döküm Kerpiç

Duvar yerinde kurulan kalıp içine kerpiç harcın dökülmesi ile oluşturulur. Kerpiç harcı kalıp içine Şekil 2.4 :'de görüldüğü gibi dövülerek yerleştirilir.



Şekil 2.4 : Yerinde döküm kerpiç duvar

Kerpiç tuğla duvar örülmesinde önce tuğlanın hazırlanması sonra duvarın örülmesi şeklinde iki aşamalı bir yapım yöntemi uygulanırken, yerinde döküm duvar da bu iki ayrı işlem tek seferde tamamlanmaktadır.

Günlük dökümlerde görülebilecek rötreyi önlemek için dökülen bloklar arasında boşluk bırakılarak kalıplar yatayda ilerletilir. Bu nedenle kalıp aktarma yerlerinde farklı hızda rötne oluşması aktarma yerlerinde kayıp oluşturmaktadır. Ayrıca döküm ve tokmaktama sırasında kalıbın rijitliğini koruyabilmesi de önemli bir sorundur.

2.6.3 Omurgalı kerpiç yapı

Omurgalı kerpiç yapı sisteminde taşıyıcı sistem, ahşap omurgaları bulunan dövme kerpiç yapıdır. Bir balığın iskeletini andıran omurga üstten ve yandan gelen kuvvetlere karşı koyarak kerpiç duvarın mukavemetini artırır. Sistemdeki omurga donatı görevini görür. Bu sistem ayrıca kilin çatlamasını da azaltmaktadır. Killi kütle içinde gömülü kalan organik omurgaların yüzlerce sene dayanabildiği bilinmektedir. Doğal bir yapı malzemesi olan kerpiç, doğası gereği elastiki katkılar, ağaç ve türevi organik malzemelerle uyumlu çalışmaktadır. Bu sebeple omurgalı kerpiç yapı sisteminde kerpiç ve ahşap birlikte çalışmaktadır [6].

3. KERPİCİN SAĞLAMLAŞTIRILMASI

Bölüm 2.3’de belirtildiği gibi katkısız kerpici yapıda kullanmanın bazı sakıncaları vardır. Kerpiç yapısı gereği suya, darbeye, eğilmeye ve aşınmaya karşı dayanımı oldukça düşük bir malzemedir. Üretimi iklim koşullarına bağlıdır. Kerpici bu gibi zayıf yönlerini güçlendirmek için çeşitli katkı malzemeleri eklenerek sağlamlaştırılması sağlanır.

Kerpici sağlamlaştırılmasında bağlayıcı, kimyasal ve lif katkısı olmak üzere 3 farklı katkı kullanılmaktadır. Kerpiç hamuruna eklenecek olan katkı maddeleri belirlenirken:

- Kullanılacak toprağın özellikleri,
- Yapı üretim sistemi,
- Yapım süresi,
- Yapım ve kullanım sürecinin ekonomik ve ekolojik olması

gibi faktörler göz önünde bulundurulmalıdır [6].

3.1 Bağlayıcı Katkısı ile Kerpici Sağlamlaştırılması

Kerpiç sağlamlaştırılmasında çeşitli bağlayıcılar kullanılmaktadır. Bu çalışmada, ekonomik ve ekolojik olarak diğerlerine göre daha avantajlı durumda olan bağlayıcılara yer verilmiştir.

3.1.1 Kireç ile sağlamlaştırılması

Kireç ile ilgili kaynak olarak çeşitli kitap ve ama kalelerden [4, 7–11] ele edile bilgiler derlenmiştir.

Bilinen en eski bağlayıcılardan biri kireçtir. Eski Babil, Mısır, Finike, Hitit ve Persler tarafından hava kireci, yapıda bağlayıcı madde olarak kullanılmıştır. Romalılar devrinde suya karşı dayanıklı bir bağlayıcı arayışı sonucunda su kireci bulunmuş ve su içerisindeki yapılarda kullanılmıştır.

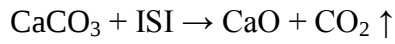
3.1.1.1 Kirecin yapısı

Kireç, kireç taşının $[CaCO_3 - CaMg (CO_3)_2]$ çeşitli derecelerde ($850^{\circ}C-1400^{\circ}C$) pişirilmesi sonucunda kireç elde edilir. Elde edilen kireç, su ile karıştırıldığında cinsine göre ikiye ayrılır. Biri hava veya suda katılaşma özelliği gösteren hava kireci, diğeri hem hava da hem de suda katılaşma özelliği gösteren su kireci (hidrolik kireç)dir [5].

Kireç üretiminde iki aşama vardır.

1_ kireç taşının yakılması (kalsinasyon)

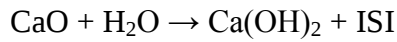
Kireç, kireçtaşının fırınlarda $950-1000^{\circ}C$ civarındaki sıcaklıklarda kalsine edilmesi ile elde edilmektedir.



Reaksiyon ürünü kalsiyum oksit veya diğeri ismi ile sönmemiş kireç (CaO) bu haliyle kullanıldığı gibi, suyla reaksiyona girmiş, sönmüş toz kireç ($Ca(OH)_2$) şeklinde de kullanılır.

2_ söndürme işlemi

Sönmemiş kirece ağırlığının 1/3ü kadar su eklenir.



sönmemiş kireç

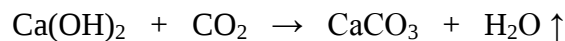
sönmüş kireç

Gereğinden fazla su ile söndürülen kirece “kaymak kireci” denilir.

3.1.1.2 Kirecin özellikleri

Kireç sönerken hacmi artar, bu yüzden tamamen sönmeden yapıda kullanılmamalıdır, aksi halde hacim artışı binaya zarar verir.

Kireç açık hava ile temas edince sertleşmeye başlar. Havanın karbondioksitini alarak tekrar kalkerleşir.



Kuruma ve sertleşme düzgün yüzeylerde daha hızlı olur. Sertleşme yüzeyden içeri doğru olur. Bu yüzden dışı kuru gözüke de uzun süre rutubetli kalır.

Kireç; tuğla, taş, beton gibi yüzeylere kolayca yapışarak işçilikten tasarruf sağlar. Sertleşme sonrası binada oluşacak deformasyonlara uyum sağlaması kullanım

avantajlarındandır. İçine yanıcı bir katkı maddesi eklenmediği sürece yanmaz, alev almaz, duman ve koku çıkarmaz. Ayrıca es yutucu ve geçirimsizdir. Kirecin bünye yapısı gözenekli olduğundan rutubet alır. Her mevsim biyoklimatik konfor sağlar.

3.1.1.3 Kirecin toprağa katılması

Kirecin yapısı ve toprağa katılması ile ilgili çeşitli kaynaklardan [7–9] elde edilen bilgiler derlenmiştir.

Toprağın kireç ile sağlamlaştırılması işleminden, yaygın olarak geçici yolların yapımında faydalanılır. Sağlamlaştırma sırasında ortamın nemli olması reaksiyon açısından daha avantajlı bir ortam sağlar. Kireçle sağlamlaştırılan edilen toprak, bitüm ve reçine katkısı ile sağlamlaştırılan topraktan daha iyi sonuç vermiştir.

Kireç-toprak karışımında iyi sonuç elde edilmesi için % 20 – 40 killi toprak kullanılması tavsiye edilir. Toprağın organik madde içermesi sağlamlaştırmayı azaltıcı etki yaratabilir. Toprağın sülfat içermesi zararlıdır ve sülfatlı topraktan kaçınılmalıdır.

Toprağa % 2 – 3 oranında kireç katılması, toprağın plastikliğinin ve dağılmasının azalmasını sağlar. İşlenebilirlik için gerekli olan plastiklik indeksi % 18 - 30 arasındadır ve toprak kireç karışımı bu değeri sağlayacak yeterli plastikliğe sahiptir. Her toprak cinsi için uygun bir kireç katkı değeri vardır. Kireç katkısı toprağın plastik ve likit limitini düşürerek sıkıştırılabilmek için daha uygun hale getirir, birim hacim kütlelerini azaltır ve suya dayanıklılığı artırır. Basınç dayanımı, katkı miktarına bağlı olarak değişir; belli doza kadar kireç katkısı basınç dayanımında artış sağlar. Kil ve kireç arasında kurulan bağ rötreyi azaltır.

Kilin inceliği arttıkça kireçle tepkimesi artar. Sağlamlaştırmanın verimli olması için kil parçacıklarının en az % 50'si 5 mm'den küçük olmalıdır. Toprak çok ıslaksa kurutulmalı ve kireci homojen bir şekilde katmak için bölümlere ayrılmalıdır. Karışım homojen bir hal alana kadar iyice karıştırılmalıdır. Toprağa kireç katıldıktan sonra bir iki gün dinlendirilerek kilin parçalanarak kireçle reaksiyona girmesi sağlanmalıdır.

Kuru kireçle toprağı, elle homojen olarak karıştırmak oldukça zordur. Enerji kullanımını arttırsa da mekanik karıştırma tavsiye edilmektedir. Elle karıştırılmada ıslak olarak karıştırmanın daha sağlıklı olacağı belirtilmektedir[11].

Harcın ilk mekanik dayanımını kazanmasında sıcaklık önemli bir faktördür. Harcın uzun vadedeki dayanımı için kürleme koşulu önem taşımaktadır. Kürleme süresi olarak gölgede en az 14 gün, uygun olarak da 28 gün kurutulması tavsiye edilir. Kürlemenin nemli ve sıcak ortamda yapılması daha iyi sonuç sağlamaktadır[6].

3.1.1.4 Kirecin toprakla tepkimesi

Toprağın içeriğinde iri yapılı; kuvars, kum, silt gibi parçacıklar ve çok ince kil mineralleri bulunur. Kumlu toprak çimento ile sağlamlaştırılırken daha killi, plastikliği fazla olan toprak kireç ile sağlamlaştırıldığında daha iyi sonuç verir.

Kireç katkısı toprakta iki çeşit reaksiyona yol açar [7]:

1_Hızlı reaksiyon

Ca(OH)₂ moleküllerinin emilmesi

Katyon değişimi

İyon dolaşımı

2_Yavaş reaksiyon

Çimentolaşma

Kirecin karbondioksitle çökmesi

Kireç, kil mineralleri (özelikle kaolinit) ile iki tür tepkimeye girer. İlki ve en hızlı olanı; kireç içindeki kalsiyumun, alüminyum silikat yapıdaki kil katmanları içinde bulunan sodyum ve potasyum gibi değişebilir alkali metallerle ve su molekülleri ile girdiği tepkimedir. Killi toprağın cinsine bağlı olarak Al, Si, Fe, Mg ve Mn arasında iyon değişimi olur. Bu iyonlar sodyum ya da potasyum gibi diğer katyonlarla yer değiştirme eğilimindedir. Bu sürece katyon değişimi denir. Bu toprağın plastikliğini azaltır. Ayrıca toprağın pH değerini artırır. Reaksiyondan sonra daha az plastik olan toprak aynı zamanda daha az nem alır ve doluluğu artar, böylece basınç dayanımı da artar.

Zamanla görülen ve esas önemli olan tepkime kalsiyumun kilde bulunan silika ve alüminyumlarla kurduğu kimyasal bağdır. Kilin içindeki çözünmüş mineraller alüminyum ve kalsiyum silikatlara dönüşürler. Bu düşük dereceli puzolanik bir aktivitedir, nem ve sıcaklık artışı bu aktiviteyi artırır. Ürün suda çözünmeyen kalsiyum silikat ve silika jel bir yapı kazanır. Böylece kerpiç suya karşı dayanıklılık

kazanmış olur. Ayrıca yukarıdaki reaksiyonun devamında karbonatlaşma gözlemlenir. Kireç havadaki karbondioksit ile tepkimeye girerek karbonatlaşmaya başlar.

Kil ve kireç arasındaki reaksiyon çok yavaş gelişmektedir. Kil kireç karışımının yaklaşık bir yılda kazandığı dayanım, karışım 80 °C – 90 °C sıcaklıkta nemli ortamda kürlendiğinde reaksiyonun hızlanması ile yaklaşık 10–12 saatlik bir küreme sonunda kazanılmaktadır [11].

3.1.1.5 Kireç ile sağlamlaştırılmış toprakla ilgili yapılmış çalışmalar

Kil ve kireç arasındaki reaksiyonun yavaş olması kirecin tek başına sağlamlaştırıcı olarak kullanılmasını güçleştirir [7]. Bu nedenle kireç, toprağın sağlamlaştırılmasında başka katkı maddeleri ile birlikte kullanılmıştır.

Kerpiç sağlamlaştırılmasında hidrolik bağlanmayı sağlamak amacıyla kirecin bir puzolan ile birlikte kullanılmasından yola çıkarak yapılan çalışmada [13] kireç ile birlikte puzolan olarak uçucu kül kullanılmıştır. Uçucu külün katkı maddesi olarak kerpiç toprağında kullanılmasının kerpiç numunelerinin özelliklerini önemli ölçüde iyileştirdiği belirtilmiştir. Basınç dayanımı değerlerindeki azalma kireç yüzdesine bağlı olarak değişmektedir.

Puzolan, fosfoalçı, kum ve kireç karışımından taşıyıcı blok üretiminin araştırıldığı çalışmada [14] farklı miktarlardaki katkı malzemelerinin bloğun dayanımına etkisi incelenmiştir. Kütlece % 5 ile % 15 arasında değişen kireç katkı miktarındaki artışa bağlı olarak basınç dayanımında artış gözlemlenmiştir. Karışımda kireç katkısının hem silika-kalsiyum reaksiyonu için gerekli olan içeriği sağlama rolünü üstlendiği, hem de hidrolik reaksiyonları harekete geçirdiği belirtilmiştir.

Toprağın sağlamlaştırılması ile ilgili bir başka çalışmada [15] ise kireç stabilizatör olarak alçı ile birlikte kullanılmıştır. “Alker” adı verilen bu üründe kireç katkısı, yukarıda belirtilen çalışmalardan elde edilen faydaların yanı sıra, alçının prizini geciktirerek daha homojen bir karışım elde edilmesi ve işlenebilirlik süresini arttırmak için katılmıştır. Elde edilen ürün standartlarda talep edilenin üstünde bir basınç ve su dayanımı sağlamıştır.

Bir başka çalışmada, sıcaklıkla kürlenmenin toprağın sağlamlaştırılmasına etkisi incelenmiştir. Çalışmada [12] katkı maddesi olarak farklı miktarlarda kireç, uçucu

kül ve çimento kullanılmıştır. Numuneler hem 21 gün açık havada hem de 16–18 saat 80 °C sıcaklıkta kürlenerek basınç dayanımları karşılaştırılmıştır. Toprağa kütlece % 11 kireç katılarak sıcaklıkla kürlendiğinde 2.81 MPa basınç dayanımı ölçülmüştür. Bu karışıma kütlece % 15 uçucu kül katıldığında hava koşullarında kürlendiğinde 0.88 MPa olarak ölçülen basınç dayanımı, 80 °C de kürlendiğine yaklaşık 7 kat artarak 7.07 MPa olarak ölçülmüştür. Sıcaklıkla kürlenmenin kil ve kireç reaksiyonunu hızlandırdığı, 1 yıl içine kazanacağı dayanıma sıcaklıkla kütleme ile 16–18 saat içinde ulaşıldığı belirtilmiştir.

3.1.1.6 Değerlendirme

Çizelge 3.1 :‘de toprağın kireç ile sağlamlaştırılması ilgili çalışmalardan elde edilen veriler toplanmıştır. Verilere göre, kireç katkı miktarı % 3 oranını geçmediği sürece hem basınç hem de su dayanımını arttırmaktadır. Kütleme sıcaklığının artması hem reaksiyon hızını hem de basınç ve su dayanımını arttırmaktadır. Kür ortamının nemli olması reaksiyon hızını, basınç dayanımı ve su direncini olumlu etkilemektedir.

Çizelge 3.1 : Toprağın kireç ile sağlamlaştırılması

TOPRAĞIN KİREÇLE SAĞLAMLAŞTIRILMASI	Performansı etkileyen faktörler	Performans kriterleri	Reaksiyon hızı	Basınç dayanımı	Su emme	Suda dağılma süresi
	Kireç katkı miktarı	> %3		▲	▼	▲
		<%3		▼	▼	▲
	Kütleme koşulları	Sıcaklık artışı (80-90°C)	▲	▲	▼	▲
		Nem artışı	▲	▲	▼	▲
	Başka bağlayıcılarla birlikte	Puzolan	▲	▲	▼	▲
		Alçı		▲	▲	▲
		Çimento		▲	▼	▲

3.1.2 Alçı ile sağlamlaştırılması

Alçının yapısı ve toprağın sağlamlaştırılmasında kullanılması ile ilgili çeşitli kaynaklardan [15–18] elde edile bilgiler derlenmiştir.

Alçı, inorganik bir bağlayıcıdır. M.Ö. 3000 yılında Ortadoğu ve Mısır’da, harç ve sıva olarak kullanılmıştır. Kalsiyum esaslı bir malzeme olan alçının hammaddesini doğada yaygın olarak bulunan doğal alçı taşı oluşturmaktadır.

3.1.2.1 Alçının yapısı

Alçıtaşı ezilip öğütüldükten sonra, içindeki suyun % 75 ini kaybedene kadar ısıtılarak, harç ve sıva olarak kullanılan alçıya dönüştürülür.

Doğal Alçı doğada selenit ve anhidrit olarak iki farklı şekilde bulunur.

Selenit ($\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$)

Saydam, camsı, düzgün lifsel dokuda veya sıkı mikro kristal yapıdadır.

$$d = 2.3 \text{ gr/cm}^3$$

Anhidrit (susuz CaSO_4)

Sıkı kristal yapıdadır. Uygun ortamda bünyesine su alıp selenite dönüşür.

$$d = 2.8 - 3.0 \text{ gr/cm}^3$$

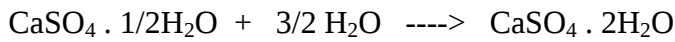
Alçıtaşı 130 °C



Alçının katılaşması üretim reaksiyonunun tersi bir reaksiyondur.

Toz alçı

Alçıtaşı



3.1.2.2 Alçının özellikleri

Alçının katılaşmasının fiziksel nedeni kristalleşme, kimyasal nedeni ise hidrasyondur. Hidrasyon molekülün yapısına su almasıdır. Alçının hidrasyonu priz geciktirici olmadan 3–15 dakika sürer. Bu pratik açıdan sakıncalıdır. İçine katkı maddeleri eklenerek priz geciktirilir. Hidrasyon ne kadar hızlı ise kristaller o kadar küçük ve mukavemet o kadar az olur.

Yapı alçısı olarak adlandırılan yarım hidrat için 180 °C, anhidrat için 350 – 800 °C civarında dehidrasyon sıcaklıkları gerekir.

Alçıdan elde edilen yapay alçıtaşının içi boşlukludur. Porozitesi % 25 – 60 arasında değişen bu malzemenin suya dayanıklı olmadığı için binanın dış yüzeyinde kullanılması uygun değildir.

Alçı, asit reaksiyonlu olup, rutubetli ortamda demiri korozyona uğratar. Alçının aderansı, kâgir ve demir malzeme ile iyi olmasına rağmen, ahşaba karşı düşüktür.

Ateşe karşı dayanıklı bir malzemedir. Isı tutuculuk değeri $\Lambda = 0.22 - 0.47$ kcal/mh°C

Alçı herhangi bir katkı maddesi olmadan yalnız başına kullanılabileceği gibi çok fazla katkı maddesi ile de rahatlıkla kullanılabilir. Alçının silis ile uyumu iyi olmadığı için harç yapımına elverişli değildir. Ancak alçıya, saç veya bitkisel lifler eklenerek dayanıklı alçı sıvalar üretilmiştir. Alçı, bölücü panel duvar üretiminde ve sıva olarak duvar yüzeylerini sıvamada kullanılmaktadır.

3.1.2.3 Alçının toprağa katılması

Kerpice katılan alçı kerpice porozitesini artırır. Böylece malzemenin birim hacim kütlesi azalırken su emmesi artar. Kalıplanma süresini kısaltır. Geleneksel kerpiç kalıptan alınmadan önce 20 gün gölgede kurutulurken, alçı katkılı kerpiç yirmi dakika sonra kalıptan alınabilir. Kalıpta daha düzgün yüzey elde edilmesini sağlar. Kerpice ısı iletkenlik değeri (λ) küçülmesini, böylece yapıda enerji tasarrufunun artmasını sağlar [15].

3.1.2.4 Alçı ile sağlamlaştırılmış toprak ile yapılmış çalışmalar

Ülkemizde alçının bol ve yaygın oluşu, Anadolu’da sıva harcı olarak toprak-alçı-kireç karışımının bilinir ve kullanılır olması, toprağın alçı ile sağlamlaştırılması fikrini ortaya çıkarmıştır. 1980 yılında İTÜ Mimarlık Fakültesi’nde TÜBİTAK MAG 505 projesi olarak yapılan araştırmada alçılı kerpice özellikleri araştırılmış, uygun kerpiç toprağına küttele % 10 alçı katıldığında en iyi sonuç elde edildiği gözlemlenmiştir. Deney sonuçlarına göre; normal kerpice birim ağırlığı 1.70 -1.80 kg/lt iken alçı katkılı kerpice birim ağırlığı 1.45 kg/lt olarak ölçülmüştür. Katkısız kerpiçte rötre % 5 iken alçı katkılıda % 1.8’e düştüğü görülmüş. Zamana bağlı su emme katkısız örneklerde 2.7 cm iken alçı katkılıda 3 cm olmuştur. Kerpice göre dayanımı daha fazla olan bu malzeme “Alker” olarak adlandırılmıştır. Alker’e katılan alçının çabuk priz yapması, kalıptan çıktığı sırada yeterli sağlamlık kazanmasını

sağlar. Uygulamada, kurutma için işçilik ve zaman sarfıyatına ve kurutma alanı ayrılmasına gerek kalmadan kullanma olanağını sağlar. Alçının çabuk priz yapması kilin kuruma sırasında normal olarak yapacağı büzülme ve kurumunun dengeli sağlanamadığı zamanlarda bünyede oluşacak çatlama ve biçim değişmelerini önler. Ayrıca, yapılan deneylerde alçılı kerpice katkısız kerpice nazaran kururken büzülmesinin, suda çözülme ve dağılmasının daha az, taşıma gücünün daha fazla, yüzeylerinin çok daha düzgün olduğu ve toz üretmediği saptanmıştır. Bu sayede saman gibi lifsel maddelerin katılmasına da gerek kalmamaktadır [15, 19, 20].

Endüstride yan ürün olarak doğal alçı ile aynı bileşime sahip atık alçı elde edilmektedir. Fosfo alçının ana bileşenini alçı oluştursa da yüksek oranda safsızlık içermektedir. İçerisinde fosfat, flüor, sülfatlar, ağır metaller ve diğer eser elementler bulunmaktadır. Ayrıca doğal radyonüklid yapıdadır. Tüm bu katkı içerikleri çevreyi olumsuz etkilemekte ve kullanım alanlarını kısıtlamaktadır. Dünyada üretilen fosfo alçının yaklaşık olarak % 15 i yapı malzemesi olarak kullanılmaktadır[21].

Toprağın sağlamlaştırılması ile ilgili yapılan bir çalışmada sağlamlaştırıcı olarak fosforik asit gübre fabrikası atığı fosfoalçı kullanılmıştır. Bu çalışmada, endüstriyel iki atık malzeme; fosforik asit gübre fabrikası atığı fosfoalçı ile termik santral atığı uçucu kül ve sönmüş toz kireç kullanarak kerpiç toprağının özelliklerinin iyileştirilmesine çalışılmıştır. Fosfo alçının safsızlık içermesinden dolayı doğal alçı katkısı ile elde edilen değerlere en yakın sonuçlar toprak/fosfo alçı oranının 2.5 olduğu numunelerde elde edilmiştir[13].

3.1.2.5 Değerlendirme

Toprağın alçı ile stabilizasyonunda yapılan çalışmalarda elde edilen bulgular Çizelge 3.2 :‘de verilmiştir. Alçı miktarındaki artış basınç dayanımını olumlu etkilerken su emmeyi arttırmıştır, fakat suda dağılma süresini uzatmıştır. Alçı miktarının artması hamurun işlenmesini zorlaştırmıştır. Alçının kireçle birlikte katılması halinde, kireç katkı miktarındaki artış, basınç dayanımını azaltırken su dayanımını arttırmıştır.

Çizelge 3.2 : Toprağın alçı ile sağlamlaştırılması

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

3.2 Puzolan ile Sağlamlaştırılması

Puzolanın yapısı ve toprak sağlamlaştırılmasında kullanılması ile ilgili çeşitli kaynaklardan [16-18, 22, 23] elde edile bilgiler derlenmiştir.

ASTM C 618’e göre kendi kendine bağlayıcılık özelliği çok az olan veya hiç olmayan ancak uygun rutubet şartlarında ve normal ortam sıcaklığında kireç ile reaksiyona girip bağlayıcı özelliği olan ürünler açığa çıkaran, ince toz halindeki silisli veya silisli ve alüminli maddelere “puzolan” denir. Puzolanlar esasen reaktif silisyum dioksit (SiO_2) ve alüminyum oksit (Al_2O_3)’den oluşmuştur. Geri kalan kısım demir oksit (Fe_2O_3) ve diğer oksitleri ihtiva eder. Reaktif SiO_2 miktarı kütlece % 25’den az olmamalıdır.

Aktif camlaşmış silis içeren toprakların kireçle karıştırılması ile su etkisi ile erimeyen bağlayıcı üretilmektedir. Bu amaçla Eski Mısır’da tuğlanın (pişmiş kil) öğütülerek kirece katılması düşünülmüştür. Bu yöntemle elde edilen harca “horasan harcı” denilmektedir. Osmanlılar bu harcı geniş ölçüde ve bilinçli olarak kullanmışlardır. Avrupa’da ise Romalılar Napoli civarındaki Puzzuoli kasabasının toprağından yararlanmışlardır. Puzolan sözcüğü bu kullanımdan kaynaklanmaktadır. Almanlar puzolana “tras” demektedirler, ülkemizde de bu deyim yaygındır ve standartlarımıza geçmiştir [16].

3.2.1.1 Puzolanın yapısı

Puzolanik maddeleri, doğada elverişli bileşimdeki mineralleri içeren kayalar oluşturur. Bu kayalar doğrudan doğruya öğütülüp kullanıldığı gibi, zenginleştirme yöntemlerinin uygulanması ile (ısı, kimyasal maddeler, yapay maddeler) elde edilen ürünlerin (toprak tuğlası, uçucu kül, cürufur...) ince öğütülmesi ile de puzolan olarak kullanılırlar. Puzolanik maddelerde bağlayıcı özellik, sönmüş kireç (kalsiyum

hidroksit) ve su ile reaksiyona girdiğinde meydana gelmektedir. Yapılan araştırmalar kristal silisin kireçle birleşmediğini göstermiştir. Bu yüzden bir puzolanda koloidal silis veya aktif silis ne kadar fazla ise puzolan o oranda yüksek bir bağlayıcılık özelliğine sahiptir.

Puzolanlar aşağıdaki gibi sınıflandırılır [16]:

Doğal Puzolanlar

- Volkanik Puzolanlar
- Tras
- Gaize
- Toz haline getirilmiş bazı lav ve volkanik kökenli kumlar

Suni Puzolanlar

- Pişmiş Kil

Puzolanik aktiviteye sahip olmayan killeri 300- 500°C de değişen sıcaklıklarda kalsine edildikten sonra aktif hale gelir.

- Yüksek Fırın Cürufu

Endüstriyel atık veya yan ürün olarak elde edilen yüksek fırın cürufları da puzolanik özellik taşır.

- Uçucu Kül

Toz haline getirilmiş fosil yakıtlar termal güç santrallerinde yakıldıklarında ulaşılan yüksek sıcaklıklar nedeniyle eriyen çok ince küller elde edilir. Küldeki CaO miktarının düşük veya yüksek olmasına göre puzolanik özellik değişir.

- Silis Dumanı

Atık bir malzeme olan silis dumanı, silisyum metali veya ferrosilisyum alarınlarının üretimi sırasında kullanılan elektrik ark fırınlarında elde edilen çok ince taneli puzolanik özellik gösteren bir tozdur.

3.2.1.2 Puzolanın özellikleri

Puzolanlar suyla karıştırılınca çamur haline gelir, kuruduktan sonra tekrar eski haline döner. Kireçle karıştırıldıklarında bağlayıcılık özelliği kazanır ve suda erimeyen bir kalsiyum silikat tuzuna dönüşür. Kireç, silis bakımından zengin puzolanlarla birleştirilerek suda çözünmeyen silikatlar oluşturması sağlanır. Silis oranı yüksek volkanik topraklar, termik santral baca külleri, yüksek fırın cürufları, silis dumanı bu amaçla kullanılan puzolanlardandır. Klasik çağda ise daha az reaktif olan, yapay puzolanik malzemeler (demir cürufu, kırılmış tuğla, çömlek vb.) kullanılmıştır.

İyonize koşullar altında uçucu kül, kil ile tepkimeye girebilecek katyon dizisi sağlayabilir. Bu nedenle yapay bir puzolan olan uçucu kül, toprağın sağlamlaştırılmasında kullanılabilir [10]. Toprağın sağlamlaşmasında puzolan katkısının etkisi ile ilgili çeşitli araştırmalar yapılmıştır.

3.2.1.3 Puzolan ile sabitleştirilmiş toprak ile yapılmış çalışmalar

Atık ferrokrom cürufunun kerpicingin mühendislik özelliklerine etkisi araştırıldığı çalışmada, ferrokrom cürufu kerpiç toprağına kütlece % 5, % 10 ve % 15 oranlarında katılmış, Ferrokrom cürufu ve kil oranına bağlı olarak 1 m³ karışıma 7 kg saman katılan numunelerde su etkisi ile dağılma süresi ve basınç dayanım değerleri incelenmiştir. Deney sonuçlarında; ferrokrom cürufunun kerpiç'in su etkisi altında dağılma süresini ve basınç dayanımını arttırdığı gözlenmiştir. Katkısız numunenin 0.8 MPa olan basınç dayanımı, en iyi sonuç alındığı, % 10 katkı içeren numunede % 67 artarak 1.5 MPa' ya yükselmiştir[24].

Bir başka çalışma, atık bir malzeme olarak çıkan silis dumanını (SD) değerlendirerek, çevre kirliliğini engellemek amacı ile kerpicingin sağlamlaştırılmasında kullanmıştır. Killi toprağı kütlece % 5–25 arasında değişen oranlarda SD katarak kerpicingin mekanik ve fiziksel özelliklerine etkileri araştırılmıştır. SD katkı miktarı arttıkça birim hacim kütlelerinde azalma olduğu, % 25 oranında katıldığında birim hacmi % 8 azalttığı belirtilmiştir. En yüksek basınç dayanımı % 15 katkılı numuneden elde edilmiştir. Katkısız numuneye göre basınç dayanımı % 7 artarak 1.7 MPa'ya yükselmiştir. % 15 SD katkısına kadar suda dağılma süresi uzamakta, daha fazla katıldığında ise sürede kısalma gözlenmiştir [25].

Katkı maddesi miktarının toprağın sağlamlaştırılmasına etkisinin incelendiği çalışmada 750 °C de aktive edilmiş kaolin (puzolan), kireç ve NaOH içerikli numuneler üzerinde katkı maddesinin miktarına bağlı olarak basınç dayanımı, su emme ve birim hacim kütle değişimi incelenmiştir. Değişen oranlarda katkı maddeleri ile üretilen numuneler, 40°C sıcaklıkta nemli ortamda 7 ve 28 gün bekletildikten sonra testlere tabi tutulmuştur. Deneylerde en iyi sonuçlar 28 günlük numuneler üzerinde yapılan testlerde elde edilmiştir. Basınç dayanımı 6 ile 10 MPa arasında, su emme ise % 20 ile % 22.5 arasında değişmektedir. Kireç ve puzolan karışımında kireç miktarı % 20'den % 30 çıkarılınca basınç dayanımında % 12 artış, killi toprak/kireç+puzolan miktarı 4 den 9'a çıkarılınca % 40 azalma gözlenmiştir. Kireç ve killi toprak miktarındaki artışın su emmeyi azalttığı, belirtilmiştir [26].

Kerpicein özelliklerini geliştirmek ve zayıf yönlerini kısmen de olsa giderebilmek amacı ile katkı maddesi olarak, gübre fabrikası atığı fosfoalçı ve termik santral atığı uçucu kül kullanılmıştır Toplam kuru karışım ağırlığının % 10'u oranında sönmüş toz kireç, % 20'si oranında uçucu kül kullanılmıştır. Fosfoalçı/toprak oranları 0.25 ile 2.50 arasında seçilmiştir. Hazırlanan numunelerin basınç dayanımları, kuru birim ağırlık ve kılcallıkla su emme değerleri tayin edilmiştir. Ayrıca 24 saat su içinde tutulan numuneler üzerinde basınç dayanımı deneyi uygulanmış ve her iki durumda da basınç dayanımı değerlerinin standartta ön görülen değerleri sağladığı görülmüştür. Fosfoalçı/toprak miktarındaki artışın, basınç dayanımını 4 kata, kılcallıkla su emmeyi 2 katına kadar arttırdığı gözlemlenmiştir. Birim hacim kütlesi ise % 18'e kadar azalmaktadır. En yüksek basınç dayanımı 4 MPa olarak ölçülmüştür [13].

Toprağın elektrik santrali atık ürünü olan uçucu kül ile sağlamlaştırıldığı çalışmada [27], katkısız toprak ve kütlece % 50 uçucu kül içeren numuneler, basınç dayanımı ve birim hacim kütlesi açısından karşılaştırılmıştır. Uçucu kül katkısının basınç dayanımı 4 kat arttırarak 0.6 MPa dan 2.4 MPa ya çıkardığı gözlemlenmiştir. %50 uçucu kül katkısı birim hacim kütlesini 1.57 kg/m³ den 1.38 kg/m³ e düşürmüştür, uygun nem içeriğini ise % 24 den % 30 a çıkarmıştır.

3.2.1.4 Değerlendirme

Toprağın puzolan katkısı ile sağlamlaştırılması ile ilgili yapılan çalışmalardan elde edilen bulgular Çizelge 3.3 :’de verilmiştir. Kullanılan toprak ve puzolanik katkı

maddesinin cinsine bağılı olarak elde edilen sonuçlar farklılık göstermektedir. Kerpice puzolan katılması belli bir miktara kadar kerpicein basınç ve su dayanımını arttırmakta uygun değer olarak belirlenen % 3 oranını aştıktan sonra dayanımda azalmaya yol açmaktadır [24, 25–27]. Yapılan çalışmalarda uygun puzolan katkı miktarı kütlece %10 olarak belirlenmiştir [24, 25].

Çizelge 3.3 : Puzolan katkısı ile sağlamlaştırılmış toprak

TOPRAĞIN PUZOLAN İLE SAĞLAMLAŞTIRILMASI	Performansı etkileyen faktörler	Performans kriterleri	Basınç dayanımı	Su emme	Suda dağılma süresi
	Puzolan katkı miktarı	> %10	▲	▲	▲
		<%10	▼	▼	▼
	Kürleme koşulları	Sıcaklık artışı (80-90°C)	▲	▲	▲
		Nem artışı	▲	▲	▲
	Başka bağlayıcılarla birlikte	Kireç	▲	▲	▲

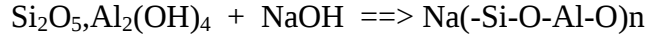
3.3 Kimyasal Katkı ile Kerpicein Sağlamlaştırılması

1980’li yıllarda ABD’de Davidovitz yepyeni bir faraziye geliştirmiş ve bunu kanıtlayan deneylere başvurmuştur. Davidovitz’e göre piramitlerdeki taş kalker bloklar taşınmamış, yerinde kalıplara dökülerek üretilmiştir. Yani bunlar betondur ve bu beton günümüz betonundan farklıdır. Çünkü piramitleri tamir için kullanılan günümüz harçları 15-20 yıl içinde hasara uğradıkları halde, bu eski beton bloklar 4000 yıldır Mısır’ın değişken, sert iklimine dayanmışlardır. Davidovitz’e göre bu betonlar kırılmış kalker taşları, Nil’in toprağı (içinde boksit gibi alüminli bileşenler bulunan) ve mumyalarda kullandıkları natron (sodyum karbonat) karıştırılarak üretilmiş ve kuvvetle sıkıştırılmış, bölgenin sıcaklığı etkisiyle, 4 saat gibi kısa bir sürede sertleşme meydana gelmiştir. Burada toprağın ve taşın analsim türü iyon değiştiren bir zeolit içerdiği görülmüştür. Sertleşme bir polimerizasyon ve zeolitik bir reaksiyonla meydana gelmektedir. Davidovitz, bu betona “geopolimer” betonu adını vermiş ve günümüzde de üretilebileceğini beyan etmiştir [16].

3.3.1 Geopolimerleşme (NaOH Katkısı)

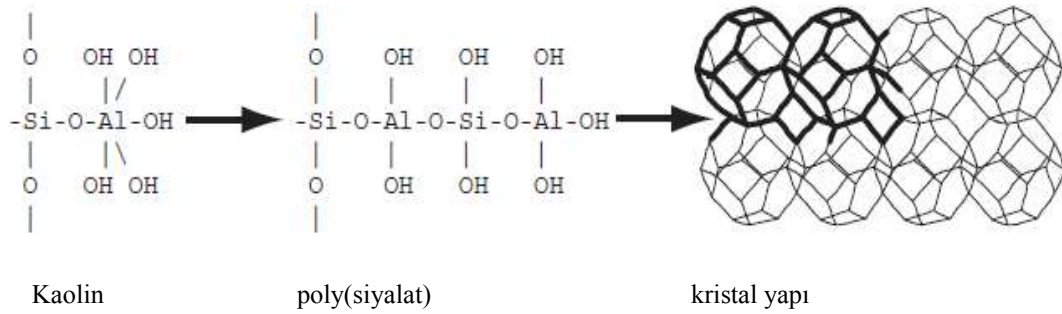
Joseph Davidovits tarafından ilk olarak 1980’lerde kullanılmaya başlanan geopolimer terimi; alkali ile aktifleştirilmiş alümino-silikat bağlayıcılar ve

silika/alümina oranına bağlı olarak üç farklı yapıyı (monomerik birimler, polisialat ve polisialatsilikso) tanımlamak üzere kullanılmaktadır [28]. Davidovits [29], 1972’de suya dayanıklı seramiğin 450 °C den az bir sıcaklıkta, yakılmadan da üretilebileceğini ortaya koymuştur. Seramiğin ham maddesi olan kilin bir bileşeni olan kaolin, 150 °C de kostik soda ile tepkimeye girmektedir. Kaolinin içindeki alüminyum silikatlar NaOH ile 100 °C -150 °C’de reaksiyona girip hidrat silikat ya da hidro silikat bir yapıya dönüşmektedir.



1978 de Davidovits, kaynak malzeme olarak jeolojik kökenli veya yan ürün olan uçucu kül ve pirinç kabuğu külü gibi silikon ve alüminyum içerikli malzemelerde polimerik sentezi başlatmak için akışkan alkali bir karışım önermiştir. Geliştirdiği bu karışıma Geopolimer adını vermiştir [30]. Laboratuvar ortamında genellikle sentezi başlatmak için Meta kaolin kullanılır. Meta kaolin, kaolin kilinin kalsinasyonu (600-800 °C) ile elde edilir [31].

Geopolimer katkısı, malzemenin bağ yapısını düzenleyerek Şekil 3.1 :de gösterildiği gibi kristal bir yapı özelliği kazanmasını sağlar. Bu dönüşüm malzemenin mekanik dayanımını arttırmaktadır.



Şekil 3.1 : Geopolimerleşme [28]

3.3.2 NaOH katkısı ile sağlamlaştırılmış toprakla ilgili yapılmış çalışmalar

Büyük miktarlarda bulunan ve ucuz bir malzeme olan kırmızı killi toprağa geopolimer katılarak LTGS (düşük sıcaklıkta geopolimerik sertleşme) tuğlası üretilmektedir. Geopolimer katkı miktarına ve kürlenme sıcaklığına bağlı olarak malzemenin özelliklerinde değişim gözlenmiştir. Kütlece % 0.5 ile % 2 arasında geopolimer katkısı toprağın suya karşı dayanım kazanması için yeterlidir. Kütlece % 2 ile % 5 arasında katıldığında suya karşı dirençli hale gelen LTGS’nin basınç dayanımı 4 MPa ile 5 MPa arasında artmaktadır. Kütlece 5% ile 10% arasında

katıldığında dayanımı 8 MPa ile 60 MPa arasında değişir. Bu mekanik özellikler kürlenme sıcaklığına bağlı olarak değişiklik gösterir. 85 °C ye kadar ısıtıldığında suya karşı dirençli ve yapıda kullanılmak için yeterli dayanıma sahip hale gelir. 250 °C ye kadar ısıtıldığında donmaya karşı dayanım kazanır. 450 °C de dayanımı daha da artar, yapıda kapı ve pencere girişlerini taşıyabilecek güce sahip olur. Geleneksel tuğlanın bu dayanıma gelmesi için 1000 °C de fırınlanması gerekir. LTGS tuğlası geopolimer katkısı sayesinde sekiz kat daha az enerji ile geleneksel tuğlanın dayanıklılığına ulaşır. Sonuç, geopolimer katkısı ve kürlenme sıcaklığı arttırıldıkça malzemenin basınç ve su dayanımı artmaktadır [27].

Geopolimer üzerinde yapılan bir araştırmada, yüksek sıcaklığa maruz kaldıktan sonra geopolimerlerin karakterlerinde oluşan birçok fiziksel, kimyasal ve mikroskobik değişiklikler incelenmiştir. Çalışmada, kaoline molar derişimi 7.0 M olan sodyum potasyum silikat ve sodyum potasyum hidroksit aktivatör olarak katılmıştır. Aktivatör/kaolin oranı 1-1.4 aralığında alınmıştır. Tüm numuneler 24 saat hava ile teması kesilerek oda koşullarında bekletildikten sonra 24 saat süreyle 80°C–100°C sıcaklıkta kürlenmiştir. Kürlenmeden sonra kalıplarından çıkarılıp değişmez ağırlığa gelene kadar kurutulmuştur. 3 gün sonra numuneler sıcaklığı dakikada 4.4 °C artan fırında 800 °C ye kadar ısıtılmıştır. 800 °C de 1 saat bekletildikten sonra soğumaya bırakılmıştır. Değişmez ağırlığa gelen numuneler üzerinde yapılan deneylerde, Si/Al oranı 1.4'ün altında olanlarda düşük mekanik dayanım gözlenmiştir. En iyi sonuçlar Si/Al oranı 1.54 olanlarda elde edilmiştir. 70 °C -100 °C arasında denenilen kürlenme sıcaklıkları arasında en iyi basınç dayanımı sonucu (52 MPa) 80 °C de kürlendiğinde elde edilmiştir. 90 °C den sonra hızlı su kaybı nedeni ile dayanımda % 19 azalma olduğu gözlenmiştir. Kürlenme süresi boyunca hava ile teması kesilen numuneler yüksek sıcaklıkta daha iyi kuruma eğilimindedir. 80 °C kürlendikten sonra 800 °C ye kadar ısıtılmış numunelerde basınç dayanımında % 23 azalma gözlenmiştir [26].

Geopolimer sentezinde kullanılan metakaolin, kaolin kilinin kalsinasyonu (600-800 °C) ile elde edilir. Metakaoline alternatif olarak sanayi yan ürünü olan uçucu kül gibi malzemelerden de geopolimer sentezlenebilir. Mikuni, A. ve Komatsu, R., uçucu kül ile geopolimer sentezi üzerine yaptıkları çalışmada üç farklı uçucu kül ile farklı yoğunluklarda kostik soda katarak geopolimer sentezlemişlerdir. Geopolimerleşmede uçucu kül içinde çözünmüş halde bulunan Al ve Si miktarının etkisini; sıcaklık ve aktivatör katkısına bağlı olarak Al ve Si'nin çözünmesini incelemişlerdir. Uçucu kül

ile farklı derişikliklerde kütlece 10% kostik soda katarak 25 °C ve 80 °C sıcaklıkta çözünme etkisini gözlemlemişlerdir. Kostik sodanın derişikliği arttıkça çözünmüş Si ve Al oranı artmaktadır. Çözünmüş Si ve Al miktarındaki artış polimerik reaksiyonu arttırmaktadır. Sıcaklığın 80 °C yükseltilmesi çözünmenin artmasını sağlamaktadır [28]. Alonso and Palomo'nun [29] 35 °C – 65 °C arasında değişen sıcaklığın dayanıma etkisi üzerine yaptığı çalışmalar, sıcaklık artışının geopolimer reaksiyonun hızlandırdığı, bunun sonucunda da basınç dayanımının arttığını ortaya koymuştur.

Bir başka çalışmada metakaolin [30], uçucu kül ve hafif agregadan oluşan karışıma aktivatör olarak sodyum hidroksit ve sodyum silikat çözeltisi eklenerek inorganik polimer üretilmiştir. Aktivatör katkı miktarına ve kürlenme koşullarına bağlı olarak numunelerin basınç dayanımı, su emmesi ve birim hacim kütleleri incelenmiştir. İki farklı tipte agregadan ve agregasız olarak % 80 toprak, % 20 uçucu kül içeren numunelere kütlece % 10 ve % 6 oranında NaOH ve Na-Si (sodyum silikat) aktivatör olarak katılmıştır. Farklı sıcaklık, süre ve nem koşullarında kürlenme yapılmıştır. 24 saat nemli ortamda 80 °C de kürlenene numuneler ile 28 gün 22 °C de nemli ortamda kürlenene numunelerin basınç dayanımı (34-36MPa) yaklaşık olarak aynıdır, fakat 80 °C de kürlenene numunelerin birim hacim kütlelerinin % 0.6 ile % 2 oranında daha az olduğu gözlemlenmiştir. Aktivatör miktarı kütlece % 6 olan ve agrega içermeyen numunelerde en yüksek basınç dayanımı (36 MPa) ölçülmüştür. Sıcaklıkla kürlenene agregası cinsine göre su emmeyi arttırdığı ya da azalttığı gözlemlenmiştir.

Billong, Melo ve Louvet çalışmalarında 750 °C de aktive edilmiş kaolin, puzolan, kireç ve NaOH içerikli numuneler üzerinde katkı maddesinin miktarına bağlı olarak basınç dayanımı, su emme ve birim hacim kütle değişimini incelemişlerdir. Değişen oranlarda katkı maddeleri ile üretilen numuneler, 40 °C sıcaklıkta nemli ortamda 7 ve 28 gün bekletildikten sonra testlere tabi tutulmuştur. Deneylerde en iyi sonuçlar 28 günlük numuneler üzerinde yapılan deneylerde elde edilmiştir. Basınç dayanımı 6 MPa ile 10 MPa arasında, su emme oranı ise % 20 ile % 22.5 arasında değişmektedir. Kireç ve puzolan karışımında kireç miktarı (% 20- 30) arttıkça basınç dayanımında % 12 artış, killi toprak/kireç+puzolan miktarı (4.00; 5.50; 9.00) arttıkça % 40 azalma gözlenmiştir. Puzolan ve kireç karışımına kütlece % 2, % 3 ve % 4 oranında NaOH katılmıştır. NaOH katkısındaki artış önce dayanımı artırmış daha sonra azalmasına yol açmıştır. Çalışmada en iyi dayanım % 3 NaOH katkılı numunede 8.2 MPa olarak ölçülmüştür. Kireç ve killi toprak miktarındaki artışın su

emmeyi azalttığı, NaOH katkısının ise % 3 geçtikten sonra su emmede azalma yerine artışa yol açtığı belirtilmiştir [22].

3.4 Değerlendirme

Bağlayıcı katkısı ile toprağın sağlamlaştırılmasında farklı katkı maddelerinin, malzemelerinin performansa etkisi Çizelge 3.4 :’de verilmiştir. Toprağın sağlamlaştırılması ile ilgili yapılmış çalışmalara dayanarak, ana madde olarak kullanılan toprak veya puzolanın yapısına ve içeriğindeki Si/Al oranına, kürlenme koşullarına, katkı maddesi ve aktivatör miktarına bağlı olarak elde edilen ürün farklılıkları göstermektedir. Aktivatör katkı miktarı ile ilgili farklı çalışmalardan [27, 31-33] elde edilen ortak sonuç, aktivatör miktarındaki artışın basınç ve su dayanımında artış sağladığı yönündedir. Fakat ana maddenin yapısına ve içeriğine göre elde edilen sayısal bulgular farklılık gösterdiği için uygun aktivatör katkı oranının deneysel olarak belirlenmesi önerilmektedir. Kürlenme sıcaklığındaki artışın aktivatörün (NaOH) etkisini arttırdığı belirtilmiştir [11, 12, 14]. Ayrıca kil ve kireç arasında çok yavaş gelişen reaksiyonun, 80 C° - 90 C° sıcaklıkta, nemli ortamda hızlandığı gözlemlenmiştir [12]. Puzolan katkılı numunelerin de [22, 27, 28], hava ile teması kesilerek nemli ortamda kürlendiklerinde dayanımlarında artış olduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışmalardan elde edilen bulgulara dayanılarak uygun kürlenme sıcaklığının 85 °C olmasına ve aktivatör katkı miktarını belirlemek için ön deney yapılmasına karar verilmiştir.

Çizelge 3.4 : NaOH katkısı ile sağlamlaştırılmış toprak

		Performansı etkileyen faktörler	Performans kriterleri	Çözünmüş Si ve Al miktarı	Birim hacim kütlesi	Su dayanımı	Basınç dayanımı	Eğilmede çekme dayanımı	Yangın dayanımı
TOPRAK + AKTİVATÖR	ref no 28	Aktivatör/toprak katkı miktarı	aktivatör miktarındaki artış(% 0.5-10)			▲	▲		▲
		Kürleme koşulları	sıcaklık artışı (25°C, 85°C)			▲	▲		▲
			kürleme süresindeki artış (25°C için 3, 15, 45 gün)			▲	▲		
	ref no 30	Kürleme koşulları (80°C)	sıcaklık artışı (22°C,80°C)		▼	▲	▲		
			ortam nemindeki artış		▲	▲	▲		
			kürleme süresindeki artış (6S, 12S, 24S, 7gün, 28gün)		▲	▲	▲		
TOPRAK+PUZOLAN+ AKTİVATÖR	ref. No 22	Puzolan+Kireç/Toprak	Toprak mik. artış		▲	▲	▼		
		Kireç/Puzolan	Kireç mik. artış		▼	▲	▲		
		NaOH/Kireç+Puzolan	Aktivatör mik. artış		▲	▲	▲		
		Kürleme koşulları (40°C nemli ortamda)	Kürleme süresi arttıkça(7gün, 28gün)			▼	▲		

Çizelge3.4: NaOH katkısı ile sağlamlaştırılmış toprak

PUZOLAN + AKTİVATÖR	ref. No 26	Performansı etkileyen faktörler	Performans kriterleri	Çözünmüş Sİ ve Al miktarı	Birim hacim kütlesi	Suya dayanımı	Basınç dayanımı	Eğilmede çekme dayanımı	Yangın dayanımı
		Aktivatör/Puzolan	aktivatör mik. artış	▲		▲			
		Aktivatör cinsi	NaOH ın KOH a göre avantajı	▼		▼			
		Kürleme koşulları (3gün)	sıcaklık artışı (80°C, 90°C, 100°C)	▲		▼			
	Ref. No 27	Aktivatör/Puzolan (1:10)	NaOH derişimi arttıkça	▲		▲			
		Kürleme koşulları	sıcaklık artışı (25°C, 80°C)	▲		▲			

4. LİF KATKILI KERPİÇ

4.1 Kompozit Malzeme

Bu bölümde kompozit malzeme ile ilgili çeşitli kaynaklardan [5,36-39] elde edilen bilgiler derlenmiştir.

Birbirlerinin zayıf yönünü düzelterek üstün özellikler elde etmek amacıyla bir araya getirilmiş değişik tür malzemelerden veya fazlardan oluşan malzeme sistemine kompozit malzeme denir. Kompozit malzeme *matris* ve *takviye* malzemesinden oluşur. Bu malzemeler birbirlerinden farklı fiziksel özelliklere sahiplerdir ve bir araya getirilmeleri ile oluşan kompozit malzeme her ikisinden farklı özelliklere kavuşur. Genel olarak takviye malzemesi taşıyıcı görev üstlenir ve etrafında bulunan matris faz ise onu bir arada tutmaya ve desteklemeye yarar[39].

4.1.1 Kompozit malzemenin sınıflandırılması

Kompozit malzemeleri dört alt grupta toplamak mümkündür [5]:

Taneciklerle güçlendirilmiş kompozit malzeme: Bir veya birden çok malzemenin katı süspansiyon halinde farklı bir malzemedan oluşan matris içerisinde yer aldığı malzemedir. Özellikle makine mühendisliğini ilgilendiren alanlarda kullanılan bir kompozit malzeme türüdür. Yapı alanında kullanımı son derece sınırlıdır.

Tanelerle donatılı kompozit malzeme: Bir matris içerisinde milimetre ve üzerindeki boyutlarda tanelerin yer aldığı bir kompozit malzeme türüdür. Bu gruba örnek olarak beton malzeme verilebilir.

Liflerle donatılı kompozit malzeme: Genellikle yeterli basınç dayanımına oranla çekme, eğilme, çarpma dayanımları çok düşük düzeyde kalan veya zayıf yapılı, kırılğan malzemenin zayıf yönlerini iyileştirmesi, kırılğanlığı gidermesi, malzemeyi sünekleştirmesi gibi amaçlarla bu özellikleri iyileştirecek nitelikte liflerle donatılması ile üretilen kompozitlerdir.

Tabakalı kompozit malzeme: Yapısal yönden taneli ve liflerle donatılı olan kompozit malzemedan farklılık göstermektedir. Bu malzemedde en az iki adet olan

farklı fazlar tabakalar halinde kompozitnin yapısı içinde yer almaktadır. Genellikle fazlardan biri kompozite özellikleri kazandıran sürekli faz, diğeri ise sürekli fazı oluşturan tabakaları bir arada tutan bağlayıcı fazdır.

4.1.2 Kompozit malzemenin genel özellikleri

Uygulamada genellikle aşağıdaki özelliklerden birinin veya bir kaçının geliştirilmesi amaçlanmaktadır [5]:

- Mekanik dayanım, basınç, çekme, eğilme, çarpma dayanımı,
- Yarılma dayanımı, aşınma direnci,
- Korozyon direnci,
- Kırılma tokluğu,
- Yüksek sıcaklığa dayanıklılık,
- Isı iletkenlik veya ısıl direnç,
- Elektrik iletkenliği veya elektriksel direnç,
- Akustik iletkenlik, ses tutuculuğu veya ses yutuculuğu,
- Rijitlik,
- Ağırlık,
- Görünüm ve benzeri özellikler şeklinde sıralanabilir.

4.2 Liflerle Donatılı Kompozit Malzeme

4.2.1 Matrisin özellikleri

Kompozit yapılarda matrisin üç temel fonksiyonu vardır. Bunlar, lifleri bir arada tutmak, yükü liflere dağıtmak ve lifleri çevresel etkilerden korumaktır. İdeal bir matris malzemesi başlangıçta düşük viskoziteli bir yapıda iken daha sonra lifleri sağlam ve uygun bir şekilde çevreleyebilecek katı forma kolaylıkla geçebilmelidir [38].

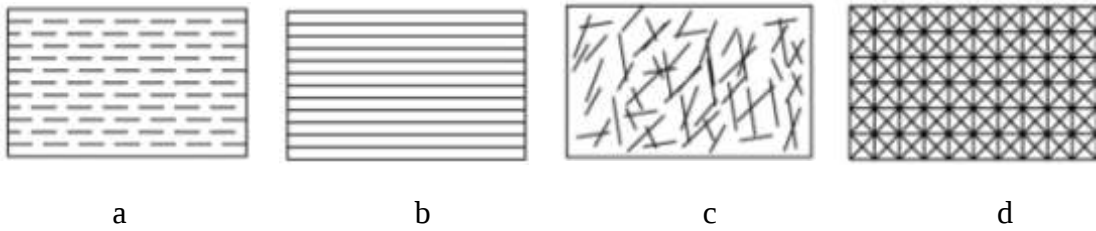
Kompozit yapılarda yükü taşıyan liflerin fonksiyonlarını yerine getirmeleri açısından matrisin mekanik özelliklerinin rolü çok büyüktür. Örneğin matris malzemesi olmaksızın bir lif demeti düşünüldüğünde yük bir ya da birkaç lif tarafından taşınacaktır. Matrisin varlığı ise yükün tüm liflere eşit olarak dağılımını

sağlayacaktır. Kesme yükü altındaki bir gerilmeye dayanım, liflerle matris arasında iyi bir yapışma ve matrisin yüksek kesme mukavemeti özelliklerini gerektirir. Lif yönlenmelerine dik doğrultuda, matrisin mekanik özellikleri ve lif ile matris arasındaki bağ kuvvetleri, kompozit yapının mukavemetini belirleyici önemli hususlardır. Matris life göre daha zayıf ve daha esnektir. Bu özellik kompozit yapıların tasarımında dikkat edilmesi gereken bir husustur[39].

Matrisin kesme mukavemeti ve matris ile lif arası bağ kuvvetleri çok yüksek ise lif ya da matriste oluşacak bir çatlağın yön değiştirmeksizin ilerlemesi mümkündür. Bu durumda kompozit gevrek bir malzeme gibi davrandığından kopma yüzeyi temiz ve parlak bir yapı gösterir. Eğer bağ mukavemeti çok düşükse lifler boşluktaki bir lif demeti gibi davranır ve kompozit zayıflar. Orta seviyede bir bağ mukavemetinde ise lif veya matristen başlayan enlemesine doğrultuda bir çatlak lif/matris ara yüzeyine dönüp lif doğrultusunda ilerleyebilir. Bu durumda kompozit sünek malzemelerin kopması gibi lifli bir yüzey sergiler [38].

4.2.2 Liflerle donatılı kompozit malzemede donatı türü ve özellikleri

Liflerle donatılı kompozitlerin üretiminde kullanılan farklı özelliğe sahip malzeme ile birlikte değişik donatı türleri ve yöntemleri kullanılmaktadır. Liflerle donatılı kompozitlerde belirli boyda sürekli veya süreksiz lifler kullanılmaktadır. Kompozit kuvvet altında iken, yükün taşınmasına her iki fazında katıldığı, özellikle çekme kuvvetini taşıyan donatı fazına yükün matris tarafından aktarıldığı kabul edilir [5].



Şekil 4.1 : Liflerle donatılı kompozit donatı şekilleri a) Paralel tek eksenli süreksiz lifli donatı, b) Paralel tek eksenli sürekli lifli donatı, c) Rastgele dağıtılmış lifli donatı, d) Yönlendirilmiş lifli donatı

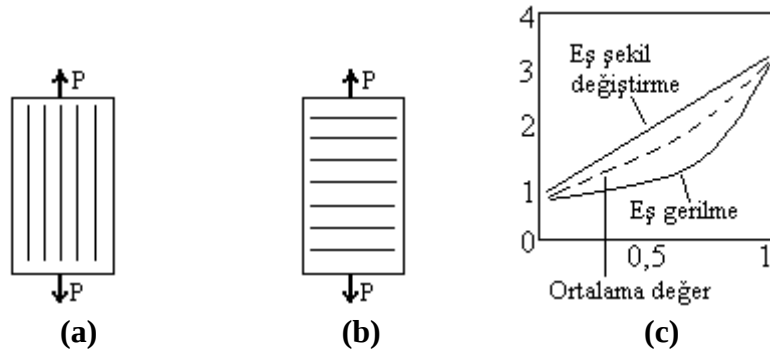
Kompozit malzemeler Şekil 4.1 :’de gösterildiği gibi sürekli ya da süreksiz liflerle takviye edilebilir. Sürekli lifler, anizotropik olmalarına ve yüzey kusur miktarına

bağlı olarak, genellikle rijitlik ve dayanım bakımından yüksek değere sahiptir. Sürekli lif takviyeli kompozitlerde lif doğrultusu boyunca maksimum dayanım elde edilir. Bu nedenle yükleme lif doğrultusuna dik yönde yapılır. Lif yönündeki dayanımına oranla life dik yöndeki dayanımı daha yüksektir. Her yönde eşit dayanım istendiği durumda süreksiz lifler matris içine rastgele dağıtılır. Süreksiz lifler sürekli liflerin kesilmesi ve ya maliyeti azaltmak için kısa lifler şeklinde üretilir. Uzunluğun çapa oranı kompozitin özelliğini doğrudan etkiler. Kısa liflerin matris içindeki dağılımı rastgele şekildedir [37].

4.2.3 Liflerle donatılı kompozit malzemenin mekanik davranışları

Kompozitlerde lifler kuvvet yönüne paralel veya dik yönde veya rast gele dağılmış durumda bulunurlar. Lifler yönlenmiş durumda iken kompozit büyük ölçüde anizotrop olur. Lifler rast gele dağıtılmış ise kompozit düzlemsel boyutta izotrop olarak kabul edilir.

Liflerle kuvvet birbirine paralel ise liflerle matris aynı miktarda şekil değiştirir. Buna eş şekil değiştirme hali denir (Şekil 4.2 :).



Şekil 4.2 : Lif katkılı kompozitlerin mekanik davranışı [38].

- a) Eş şekil değiştirme hali (Paralel lifler), b) Eş gerilme hali (Dik lifler),
c) Elastiklik Modülünün kompozitin bileşim oranı ile değişimi (Rast gele lifler)

Liflerin kuvvet yönüne dik olduğu hallerde matriks ile lifler aynı yükü taşır. Kompozit malzemenin çekme mukavemeti liflerin kopması ile sona erer. En uygun kompozit yapısında lifler kuvvet doğrultusuna paraleldir.

4.2.4 Liflerle donatılı kompozit malzeme üretmenin koşulları

Lif donatılı kompozit malzemeler matrisin ve lifin özelliklerine göre sünek matrisli ve kırılğan lifli kompozitler ve kırılğan matrisli ve sünek lifli kompozitler olarak iki grupta incelenebilirler [5].

Sünek matrisli ve kırılğan lifli kompozitlerde, malzemenin matris fazını epoksi, polyester, reçineler gibi organik malzemeler oluşturur. Bu tür kompozitlerde matris malzemesine oranla daha kırılğan olan cam ve seramik esaslı lifler, asbest lifleri, yüksek dayanımlı çelik teller kullanılır.

Kırılğan matrisli ve sünek lifli kompozitler çimento, alçı gibi inorganik bağlayıcılar kullanılarak üretilirler. Bu tür kompozitlerde çeşitli organik ve inorganik esaslı lifler kullanılmaktadır. Metal ve cam lifi kullanımı yaygındır. Kırılğan matrisli kompozitlerde matris oranı lif oranının çok üstündedir. Cam, metal ve bitkisel esaslı lifler için bu oran % 0.5-5.0 arasında değişmektedir.

4.3 Lif Çeşitleri

Bu çalışma kapsamında lifler; doğal lifler, cam lifi, karbon lifi ve polimer lifler olmak üzere 4 grupta ele alınmıştır. Bu bölümde ele alınan lif grupları ve bu grupta yer alan liflerle ilgili bilgiler verilmiştir.

4.3.1 Doğal lifer

Doğal olarak lifli yapıda bulunan organik liflerdir. Bilinen en eski lif takviyeli kompozit malzeme saman ya da at kılı gibi organik lif takviyesi ile üretilmiştir. Modern teknoloji, kenevir, bambu gibi birçok bitkiden ekonomik olarak lif elde edilmesini mümkün kılmıştır. Düşük enerji ile üretilmeleri ekonomik açıdan büyük bir avantaj sağlar fakat alkali dayanımlarının düşük olması kullanımlarını güçleştirmektedir.

Kompozit malzeme üretiminde kullanılan bazı liflerin özellikleri Çizelge 4.1 :’de belirtilmiştir

Aşağıda kompozit malzeme üretiminde kullanılan ve Türkiye’de de yetişen bazı liflerin özellikleri hakkında bilgi verilmiştir.

Saman, baklagiller veya buğdaygillerin kurutulmuş halidir, hayvan yemi olarak, özellikle inek, at, koyun ve keçi gibi otlanarak beslenen hayvanlar için kullanılır.

Saman için yaygınca kullanılan bitkiler arasında çavdar, çayır otu, çeşitli çimen türleri bulunur. Baklagillerden çeşitli yonca türleri de kullanılır. Tohumları ayrılıp kalan sapları kurutulan, besin değeri düşük olan sap samanı ise hayvanlara yataklık olarak kullanılır.

Kerpiç harcına katkı olarak kullanılan saman, yukarıda sap samanı olarak tanımlanan, tohumları alınıp kurutulmuş tarım atığı olan samandır.

Çizelge 4.1 : Doğal Lif Çeşitleri [41]

Özellikleri	Doğal lif çeşitleri			
	Hindistan cevizi	Bambu	Kenevir	Keten
Ahşap lif				
Lif boyu (mm)	50-350	180-300	500	2.5-5
Lif çapı (mm)	0.1-0.4	0.05-0.4	0.1-0.2	0.015-0.08
Özgül ağırlık	1.12-1.15	1.5	1.02-1.04	1.5
Elastiklik Modülü	19-26	33-40	26-32	100
Çekme Dayanımı(MPa)	120-200	350-500	250-350	700-1000
Uzama (%)	10-25	-	1.5-1.9	1.8-2.2
Su emme (%)	130-180	40-45	-	50-70

Bambu, tropik bölgelerde yetişen, buğday familyasına ait bir bitkidir. 25-40 metreye kadar uzayabilir. Türkiye’de Akdeniz bölgesinin bataklık sahalarını kurutmak için yetiştirilir. Ülkemizin iklim şartları çok fazla uzamalarına izin vermemektedir. Bambu kamışlarının ortası boştur. Gövdeleri odunsu, boğum noktaları dolu, genişliğine bölmeli ve şeride benzer yapraklara sahiptir. Bambu kamışını liflerine ayırmak için özel teknikler kullanılır. Bamboo lifleri, yüksek gerilme dayanımına sahiptir, fakat Elastiklik modülleri düşüktür. Su emme eğiliminin yüksek olması matrisle aralarındaki bağı olumsuz etkilemektedir.

Kenevir, yavaş gelişen bir bitkidir. Anavatanı Orta Asya'dır. Ilıman ve Tropik bölgelerde yetişir ve kültürü yapılır. Türkiye’nin iklim şartları yetiştirilmesi için uygundur fakat esrar yapımında kullanıldığı için üretimi kontrol altında tutulmaktadır. İnsanlık tarihinin en eski bitkisel ham madde kaynaklarından biridir. Saplarında bulunan lifler iplik, dokuma ve kumaş yapımında, hamurlu kısmı ise kâğıt yapımında kullanılan bir bitki türüdür. Kenevir lifleri yüksek eğilmede çekme dayanımına sahiptir.

Keten, her çeşit toprakta yetişebilen, lifleri için yetiştirilen bir bitkidir. Keten lifleri yüksek eğilmede çekme dayanımının yanında yüksek Elastiklik Modülüne de sahiptirler.

Ahşap lifler, kompozit malzeme üretiminde kullanılan doğal lifler arasında en yaygın olarak kullanılan ahşap liflerdir. Bol bulunan bir malzemedir. Liflerine ayırmak için birçok kimyasal ve ya mekanik yöntem geliştirilmiştir. Lif elde etmek için kullanılan yöntem ahşap lifin dayanımını etkilemeklerdir. Ahşap liflerin dayanımı içerdiği lignin miktarına bağlı olarak değişmektedir ve lifi ayırmak için kullanılan yöntem lif içindeki lignin miktarını etkilemektedir. Ahşap lifler, yüksek eğilmede çekme dayanımına ve Elastiklik Modülüne sahiptir fakat alkali dayanımları oldukça düşüktür. Alkali bir ortam içeren beton ve çimento gibi matrislerle kullanıldığında zamanla çözünmekte ve dayanımını yitirmektedir. Alkali dayanımını arttırmak için bazı kimyasal yöntemler geliştirilmiştir.

4.3.2 Cam lifi

Cam lifi inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılan bir katkı maddesidir. Fiziksel ve mekanik avantajlarının yanında ekonomik bir malzemedir. Cam elyafları genellikle plastik veya epoksi reçinelerle kullanılır. Son yıllarda lif katkılı betonlarda yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Cam liflerinin genel özellikleri aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Yüksek çekme mukavemetine sahiptirler, birim hacim başına mukavemeti çelikten yüksektir
- Isıl dirençleri düşüktür. Yanmazlar, ancak yüksek sıcaklıkta yumuşarlar
- Kimyasal malzemelere karşı dirençlidirler
- Nem almazlar ancak cam lifi ile matris arasında nem etkisi ile çözünme olabilir.
- Elektriği iletmezler

Dört farklı tipte cam lifi mevcuttur: A (alkali camı), C (korozyon camı), E (elektrik camı), S(mukavemet camı). Tüm cam lifi tipleri aynı sertliğe sahiptir fakat dayanıklılık ve çevre koşullarına karşı dirençleri farklılık gösterir.

A (alkali) Camı, yüksek oranda alkali içeren bir camdır. Bu nedenle elektriksel yalıtkanlık özelliği kötüdür. Kimyasal direnci yüksek olan A camı en yaygın cam tipidir.

C (korozyon) Camı, kimyasal çözeltilere direnci çok yüksektir.

E (Elektrik) Camı, düşük alkali oranı nedeni ile elektriksel yalıtkanlığı diğer cam tüplerine göre çok daha iyidir. Nemli ortamlar için geliştirilen kompozitlerde genellikle E camı kullanılır. Çizelge 4.2 :’de farklı cam tiplerinin özellikleri verilmiştir.

Çizelge 4.2 : Cam Lifi Tipleri [42]

Özellikleri	Cam Lifi Tipleri			
	A camı	C camı	E camı	S camı
Özgül ağırlık (gr/cm ³)	2.50	2.49	2.54	2.48
Elastiklik Modülü (GPa)	-	69.0	72,4	85.5
Çekme Dayanımı(MPa)	3033.0	3033.0	3448.0	4585.0
Isıl genleşme katsayısı (m/m/°Cx10 ⁶)	8,6	7,2	5.0	5.6
Yumuşama sıcaklığı (°C)	727	749	841	970

S (mukavemet) Camı, yüksek mukavemetli bir camdır. Çekme mukavemeti E camına oranla %33 daha yüksektir. Ayrıca yüksek sıcaklıkta yorulma direnci yüksektir. Bu özelliği nedeni ile havacılık ve uzay mühendisliğinde tercih edilen bir malzemedir. Diğer cam lifi tiplerine göre birkaç kat daha pahalı bir malzemedir.

4.3.3 Karbon lifleri

Karbon yoğunluğu 2.268 gr/cm³ olan kristal yapıda bir malzemedir. Karbon lifler cam liflerinden daha gelişen ve çok yaygın olarak kullanılan bir elyaf grubudur. Karbon liflerin özellikleri hammaddesi ve üretim şekline bağlı olarak değişir. Karbon lifler çok yüksek dayanıma, kimyasal dirence ve düşük yoğunluğa sahip liflerdir. Lifler ocakta 200 °C ile 300 °C arasında ısıtılarak oksitlendirildikten sonra bir fırında 1.000 °C civarında tekrar ısıtılarak katışıksız karbon haline getirilir. Son olarak da, 2.500 °C’de ısıtılarak karbonun grafitte dönüşmesi sağlanır. Üretim maliyeti oldukça yüksektir, üretimi sırasında çok fazla enerji harcanır.

Çizelge 4.3 :’de çeşitli hammaddelerden üretilmiş karbon liflerinin özellikleri verilmiştir.

Çizelge 4.3 : Korbon Liflerinin Özellikleri [42]

Özellikleri	Karbon Lifi Tipleri					
	Karbon	Grafil			Toray	
		HS	IM-S	HM-S6K	T-300	M-46-J
Özgül ağırlık (gr/cm ³)	1.79	1.79	1.76	1.86	1.77	1.82
Elastiklik Modülü (GPa)	235	235	290	370	230	450
Çekme Dayanımı(MPa)	3800	3450	31000	2750	3530	4100
Birim uzama (%)	1.64	1.64	1.64	1.64	1.15	2.4
Yumuşama sıcaklığı (°C)	600	600	600	600	600	600

4.3.4 Polimer lifler

Polimer, en basit tanımıyla monomer denilen küçük moleküllerin birbirlerine eklenmesiyle oluşan uzun zincirin doğal sonucu olarak büyük molekül ağırlıklı bileşiklerdir. Polimerler düşük üretim maliyetleri, kolay şekil almaları ve amaca uygun üretilibilmeleri nedeniyle her alanda kullanımı yaygınlaşmıştır. Lif doğrultusunda uzanan zincir yapısı sayesinde uygun şekilde matrise katıldığında yüksek dayanım ve sağlamlık sağladığı gözlemlenmiştir. Çizelge 4.4 :’de bazı polimer liflerin özellikleri verilmiştir.

Polimer liflerin özellikleri cinslerine göre farklılık göstermektedir. İnşaat sektöründe kullanılan bazı polimer liflerin özellikleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Akrilik Lifler

Kütlece en az 85 % oranında akrilik içeren liflere akrilik lifler denir. Aramid hariç diğer polimer liflere göre daha yüksek Elastiklik Modülüne sahiptir. Çimento esaslı malzemelerle güçlü bir bağ kurmasına rağmen alkali ortamda dayanımını zamanla kaybetmektedir.

Aramid

En çok bilinen polimer lifidir. DuPont tarafından Kevlar adı ile üretilmiştir. Geliştirilmiş en yüksek Elastiklik Modülüne sahip polimer liftir. Diğer liflere göre bir çok yönden üstünlük sağlamasına rağmen yüksek maliyetli oluşu kullanım alanını sınırlamaktadır.

Naylon Lifler

İlk olarak 1935 yılında Wallace Carothers grubundan Gerard J.Berchet tarafından bulunmuştur. Ürün olarak ilk kez 1938 yılında diş fırçası haline getirilmiştir. Daha

sonra dokuma sektöründe önemli yer edinmiştir. Günümüz de inşaat sektöründe polipropilene alternatif olarak kullanılmaktadır. Birçok farklı boy ve çapta üretilmektedir. İnşaat sektöründe Naylon 6 dan elde edilen lifler kullanılmaktadır. Naylon lifler hidrofil yapıdadır ve yaklaşık 4.5 % oranında su emer. Polipropilen ise 0.1 - 0.2 % oranında su emer. Alkali ortama dayanıklıdır fakat çimento yapılı malzemelerle aderansı düşüktür.

Çizelge 4.4 : Polimer Liflerin Özellikleri [41]

Özellikleri	Polimer Lif Tipi				
	Akrilik	Aramid I/II	Naylon	Polyester	Polietilen
Polipropilen					
Çapı (10 ⁻³ mm)	13-104	12 / 10	-	-	25-1020
Özgül ağırlık (gr/cm ³)	1.17	1.44	1.16	1.34-1.39	0.96
Elastiklik Modülü (GPa)	14.6-19.6	62/117	750	17.5	5
Çekme Dayanımı (MPa)	207-1000	3620	965	896-1100	200-300
Uzama (%)	7.5-50	4.4 / 2.5	20	3.0	15.0

Polyester Lifler

Polyester, yüksek dayanımlı, geçirgen ve ısı kararlıdır. Elektriksel özellikleri de oldukça yüksektir. Polyesterin kullanım alanı oldukça geniştir. Elektrik ve elektronik endüstrisinde pek çok uygulama alanları vardır. Kanalizasyon ve temiz su, paketlemede ve inşaat malzemesi üretiminde kullanılan folyeler, ev eşyası gibi birçok şeyin yapımında kullanılır. Polyester lifler alkali ortamda dayanımını zamanla kaybettiği için alkali yapıda olan matrislerle birlikte kullanılmaz.

Polietilen Lifler

Polietilen kimyasal maddelere karşı dayanıklıdır. Özellikle asitlere karşı çok dayanıklıdır. Yalnız nitrik asitten zarar görür. Ayrıca alkalilere karşı da dayanıklıdır ve organik çözücülerin çoğunda erimez. Oda sıcaklığında tüm çözücülerde çözünmez. Polietilen liflerine güve ve benzeri böceklerin zararı görülmez. Mikroorganizmalara karşı dayanıklıdır. Kristalleşme derecesi yükseldikçe, dayanma gücü artar. Boyayı pek tutmazlar. Polietilen suya karşı çok fazla dirençlidir. Ayrıca

su buharı geçirgenliği de küçüktür. Elektriği iletmez, kokusuzdur ve toksik etkisi yoktur.

Polietilen lifler beton veya çimento esaslı malzemelerde sünekliği, kimyasal dayanımı arttırmak ve yorulmayı azaltmak için kullanılmaktadır.

Polietilen liflerin birçok özelliği polipropilen lifine benzemektedir. Polietilen liflerinin erime noktası ve uzama yeteneği polipropilen lifinden daha düşüktür.

Polipropilen Lifler

Bilinen polimerler arasında en hafif (0.905 gr/cm^3) olanıdır. Düşük yoğunluklu bir reçine olan polipropilen doğal olarak yarı şeffaf ve süt beyaz rengindedir. Ayrıca çok iyi renklendirilme kabiliyeti vardır. Elektriği geçirmez ve kimyasal maddelere dayanıklıdır.

Çekme direnci en yüksek termo-plastiklerden biridir ve çekme mukavemeti 3.5 kg/mm^2 'dir. Bu plastik katkı maddeleriyle güçlendirildiğinde çekme gerilimi yükseltilebilir. Isıya karşı dirençlidir ve 150 C° 'nin altındaki buhardan etkilenmez. Açık havaya karşı yüksek dirençlidir. Kimyasal asitlere karşı dirençlidir ve sulandırılmış asitlerden etkilenmez. Elektrik iletkenliği olmadığı için iyi bir yalıtım maddesidir. Olumsuz yönleri ise yangın dayanımının, güneşe karşı direncinin ve elastiklik Modülünün düşük olmasıdır. Bu olumsuzluklar kullanılan matrisin yardımı ile giderilebilir. Pp, antioksidan ve ultraviyole ışın emici maddelerle sağlamlaştırılarak daha dayanıklı hale getirilir.

En önemli avantajı alkali dayanımı, düşük fiyatı ve yüksek erime noktasıdır. Yapı sektöründe betona Pp elyaf katılmasının faydaları:

Plastik betondaki rötre ve büzülme çatlaklarını engeller.

Betonu geçirimsizleştirir.

Ayrışmayı engeller.

Betonun aşınma mukavemetini ve darbe dayanımını artırır

Betona tokluk kazandırır, sünek hale getirir.

Aşındırıcı kimyasallara karşı dayanımı artırır.

Yüzey tozumasını ve pullanmasını engeller.

Asit ve bazlara karşı dayanımını artırır.

Donatının korozyonunu ve paslanmasını geciktirir.

Yorulma dayanımını arttırarak betonun hizmet ömrünü artırır.

Betonun aderasyonunu artırır.

Kayar kalıp beton uygulamasında betonun şişmesini önler.

Betonun dağılmasını önleyerek yapının depremde daha az hasar görmesini ve çökme riskini azaltır.

4.4 Değerlendirme

4.3’de kompozit malzeme üretiminde lif dolgusu olarak kullanılabilecek çeşitli lif örnekleri tanıtılmıştır. Çalışmada kullanılacak lif seçilirken bazı temel kriterler belirlenmiştir. Bunlar;

- Alkali dayanımı: Çalışmada kullanılacak karışıma Alkali özellikte olan NaOH katkısı eklendiğinde seçilen lifin bu durumdan olumsuz etkilenmemesi gerekir.
- Yüksek çekme dayanımı: Kerpicin zayıf yönlerinden biri de çekme dayanımının ihmal edilecek kadar düşük olmasıdır. Bu nedenle oluşturulacak yeni malzemede çekme dayanımı arttırmak lifin görevidir.
- Üretim maliyeti: Üretilecek olan yeni malzemenin ekonomik olması önemli kriterlerden biridir. Çalışmada kullanılacak olan lifin malzemenin maliyetini ekonomik düzeyde tutması gerekmektedir.
- Su emme eğilimi: Kerpiç suya karşı dayanımı düşük bir malzemedir. Bünyesine su aldığı anda çözünmeye başlar. Seçilecek olan lifin su emmesi ve bünyesinde su tutması oluşturulacak yeni malzemeyi olumsuz etkileyecektir.

Bu kriterler göz önüne alınınca en uygun lif katkısının polipropilen lif olacağına karar verilmiştir.

5. LİF KATKILI KERPİÇ PANEL ÜRETİM OLANAKLARININ DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI

Bu çalışmada, bağlayıcı ve kimyasal katkı ile sağlamlaştırılmış toprağa lif katılarak kompozit panel üretilme olanakları deneysel olarak araştırılmıştır. Yapılan deneysel çalışma iki aşamalı olarak yürütülmüştür. İlk aşamada uygun matrisi (toprak cinsi, toprağa katılacak bağlayıcı-puzolan cinsi ve miktarı, kimyasal katkı miktarı, uygun kür koşulları) belirlemek için, ikinci aşamada ise matris için uygun lif katkı miktarı ve boyunu belirlemek için deneysel çalışmalar yürütülmüştür. Çalışmanın adımları aşağıdaki gibidir:

1. Toprak matris malzemesinin belirlenmesi

1.1. Uygun toprak seçimi

1.2. Toprağın sağlamlaştırılması

1.2.1. Toprağın alçı (% 10) ve kireç (% 2) bağlayıcılarla sağlamlaştırılması ile referans numune olan Alker'in üretilmesi.

1.2.1.1. Kireç katkı oranındaki artışın (% 4) Alker'in özellikleri üzerindeki etkisinin araştırılması.

1.2.1.2. NaOH katkısının (% 2, 3, 4) katkısının Alker'in özellikleri üzerindeki etkisinin araştırılması

1.2.2. Toprağın kireç (% 2) ve puzolan (% 10) ile sağlamlaştırılması

1.2.2.1. Puzolan katkısındaki artışın (% 20) malzemenin özellikleri üzerindeki etkisi

1.2.2.2. NaOH katkısı ve katkısındaki artışın (% 2, 3) malzemenin özellikleri üzerindeki etkisi

1.2.2.3. Kireç katkısındaki artışın (% 4) NaOH katkılı malzemenin özellikleri üzerindeki etkisi

1.3 Kür koşullarının (sıcaklık ve nem) hazırlanan karışımların özellikleri üzerindeki etkisi.

2.Lif katkısının belirlenmesi

2.1.Lif türünün belirlenmesi

2.2.Lif katkı miktarının belirlenmesi

2.3.Lif katkı boyunun belirlenmesi

5.1 Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Malzemeler

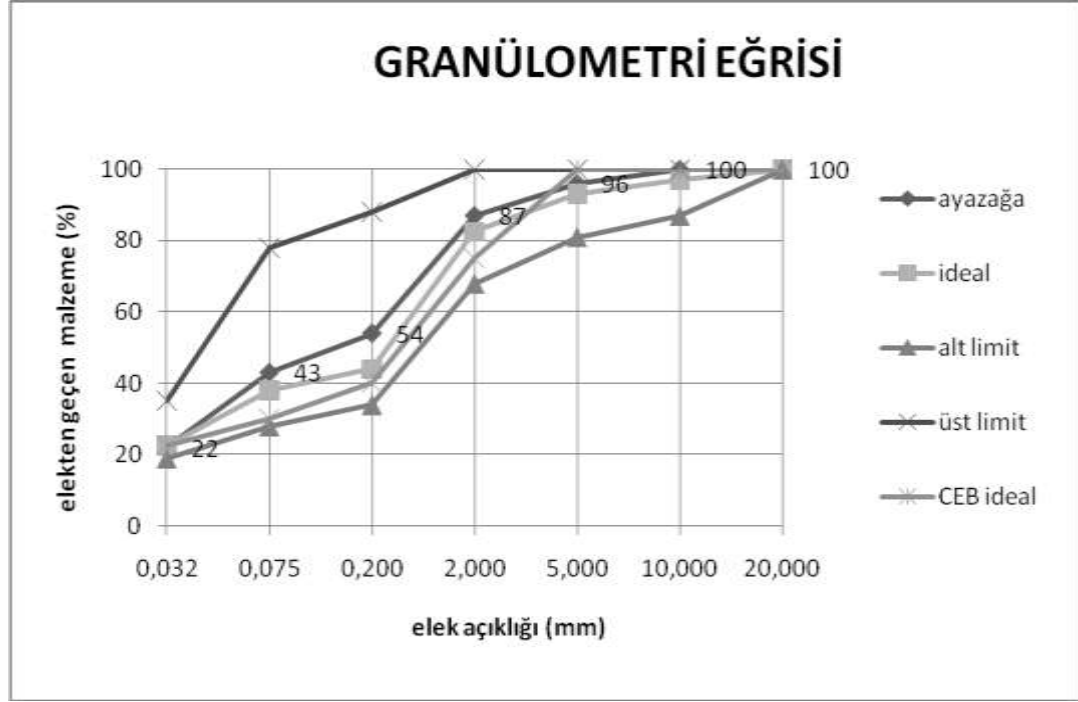
Kerpiç Toprağı: TS 2514’de uygun kerpiç toprağı için önerilen bağlayıcı madde (kil ve silt) miktarı % 30 - % 40 arasındadır. Deney toprağı olarak kullanılan İstanbul Teknik Üniversitesi Ayazağa Kampüs toprağı bu değer aralığında yer almaktadır. İTÜ Ayazağa toprağının granülometrik eğrisi, daha önce kerpiç toprağı ile ilgili yapılan çalışmalarda [3-4] önerilen granülometri eğrisi aralığında yer almaktadır. Şekil 5.1 :’de İTÜ Ayazağa Kampüsü toprağının nereden alındığı görülmektedir.



Şekil 5.1 : İstanbul Teknik Üniversitesi Ayazağa Kampüsü toprağının alındığı yer

Toprak yapısının kerpicingin fiziksel özellikleri üzerine etkisi ile ilgili yapılan bir çalışmada elde edilen kullanılabilir toprak türlerinin alt ve üst sınırlarının granülometrik eğrisi çizilmiştir [3]. Bu çalışmada verilen alt ve üst sınır eğriler ile en iyi örneğe ait ideal granülometri eğrileri Şekil 5.2 :’de grafikte verilmiştir. Aynı grafik üzerinde Vincent Ragassi’nin Sıkıştırılmış Kerpiç Bloklar [4] kitabında kerpiç için belirlediği ideal toprak granülometri eğrisi de verilmiştir. Şekil 5.2’de Ayazağa

toprağının granülometri eğrisinin tüm bu eğrilerin arasında ideal değer aralığında yer aldığı görülmektedir. Çalışmada 5mm lik elekten geçirilmiş toprak kullanılmıştır.



Şekil 5.2 : Ayazağa toprağının granülometri eğrisi

İ.T.Ü Ayazağa kampüs toprağının fiziksel özellikleri :

50 gr nemli toprak Filtre den geçirilmiştir.

	I. Filtre	II. Filtre
Filtre kağıdı ağırlığı	3.08gr	2.94gr

Damıtmadan sonra 24 saat 105 C° de kurutulduktan sonra

	I. Filtre	II. Filtre	Toplam
Malzem+ Filtre Kağıdı ağırlığı	18.78	6.91	25.96
Net malzeme Ağırlığı	15.7	3.97	19.67 (toplam kil ve silt miktarı)

Etüveden çıkan kum miktarı 27.33gr

Toprağın nemi = % 5.9

Toprağın kum miktarı = % 58.2

Alçı: Alçı hızlı priz alan bir malzemedir. Kerpiç alçıya oranla çok daha yavaş priz alan bir malzemedir. Alçı toprak karışımında, alçı hızla priz alarak iskelet bir yapı oluşturur. Bu iskelet yapı hem kerpicing kalıptan alınma süresini kısaltır hem de malzemenin rötresini azaltır. Kalıptan erken çıkarılan harçın tüm yüzeyleri hava ile daha erken temas edeceği için kuruma süresi kısalmış olur. Alçının oluşturduğu iskelet yapı kuruma sırasında su kaybı ile meydana gelen rötreyi azaltır.

Bu çalışmada yapı sektöründe adi alçı olarak da bilinen kartonpiyer alçısı kullanılmıştır.

Kireç: Toprağa kireç katılması toprağın suya karşı direncini arttırmaktadır. Kireç katkısının belli bir miktara kadar toprağın basınç dayanımını da arttırdığı literatür taramasında açıklanmıştır. Bu çalışmada toprağa kireç katılmasının amacı toprağın suya karşı direncini arttırmaktır. Çizelge 5.1 :’de verilen kireç ile ilgili bilgiler ürünün temin edildiği firmanın internet sitesi üzerinden elde edilmiştir.

Çizelge 5.1 : Deneyde kullanılan kirecin özellikleri

SÖNDÜRÜLMÜŞ KALKER KİRECİ (CL 80 S) (TS EN 459-1)					
Kimyasal Analiz Değerleri	%	TS EN 459-1	Fiziksel Analiz Değerleri	%	TS EN 459-1
Ca(OH)₂	min.85		200μ (elek üstü)	en yüksek. 0.5	en yüksek. 2
CaO+MgO	min. 89	min. 80			
MgO	en yüksek. 1.5	en yüksek. 5	90μ (elek üstü)	en yüksek. 4	en yüksek. 7
Çözünmeyen madde	en yüksek. 2.0				
H₂O	en yüksek. 2.0	en yüksek. 2	Birin Hacim Kütlesi (kg/dm ³)	en yüksek. 0.5	en yüksek. 0.6
SO₃	en yüksek. 2.0	en yüksek. 2			
R₂O₃	en yüksek. 1.0	en yüksek.			

Puzolan: Toprak stabilizasyonunda kullanılan katkı malzemelerinden biri de puzolandır. Puzolan katkısının kerpicing hem mekanik dayanımını arttırdığı hem de suya karşı daha dirençli hale getirdiği literatür taramasında açıklanmıştır. Bu çalışmada doğal puzolan olan Datça toprağı kullanılmıştır. Puzolonik aktiviteyi arttırmak için 75mikron altı öğütülmüş puzolan kullanılmıştır. Datça toprağının kimyasal analizi Çizelge 5.2 :’de verilmiştir [22].

Çizelge 5.2 : Datça Toprağı Kimyasal Analizi

Datça Toprağındaki Bileşikler (%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	CO ₂
	75.289	15.991	0.984	2.211	3.026	1.222	
	MgO	P ₂ O ₅	TiO ₂	MnO ₂	Cr ₂ O ₃	NiO	CuO
	0.772	0.072	0.149	0.047	0.005	0.004	0.002
	ZnO	Rb	SrO	V ₂ O ₅	Y ₂ O ₃	ZrO ₂	Nb ₂ O ₅
	0.002	0.006	0.015		0.002	0.010	0.001
	BaO	Cl	SO ₃	PbO	ThO ₂		
	0.097	0.092					

NaOH: Kilin bir bileşeni olan kaolen, Sodyum Hidroksit (NaOH) ile tepkimeye girerek kristal bir yapı oluşturmaktadır. Toprağın sağlamlaştırılmasında NaOH katkısı ile hem malzemenin mekanik dayanımını hem de suya karşı dayanımını arttırmak amaçlanmıştır. Çalışmada kullanılan Sodyum Hidroksit özel bir firmadan tedarik edilmiştir. Ürünle ilgili firmadan elde edilen bilgiler aşağıda verilmiştir.

Kimyasal formülü: naoh

Yoğunluk : 2.13

Safılık (%) : 98

m.a (g/mol) : 39.997

Çevre ve sağlığa etkisi: aşındırıcıdır.

Polipropilen Lif: Lif katkısı ile malzemenin daha esnek bir yapı kazanması amaçlanmıştır. Kerpice ihmal edilecek kadar düşük olan eğilmede çekme dayanımını arttırmak ve kerpice daha esnek bir yapı kazandırmak amacı ile lif katılmıştır. Katkı olarak Pp lif seçilmesinin gerekçeleri bölüm 4.4.'de anlatılmıştır. Çalışmada kullanılan Pp lifler özel bir şirket tarafından sağlanmıştır. Ürünü sağlayan firmadan ürün ile ilgili alınan bilgiler Çizelge 5.3 : 'de verilmiştir.

Çizelge 5.3 : Polipropilen Lifin Özellikleri

POLİPROPİLEN LİF		
Özgöl Ağırlık	0,91	g/cm ³
Lif Sayısı 100-1300 yoğunluk	144	
Uzama	24-27	%
Erime Noktası	150-155	°C
Isı İletkenliği	3.15×10^{-14}	W/mK.
Erime Sıcaklığı	21	cal/g
Özgöl Isısı	0,46	cal/g.°C
Ayrışma sıcaklığı aralığı	328-410	°C

5.2 Deneyler

Gerek matris malzemesinin, gerek lif katkısının belirlenmesi aşamasında numunelerin fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir.

Numuneler üzerinde gerçekleştirilen fiziksel ve mekanik deneyler ve yöntemleri sırasıyla anlatılmaktadır.

5.2.1 Fiziksel deneyler

Öz Kütle

Cismin içinde boşlukların bulunmadığı haldeki birim hacim kütlesine o cismin özgül kütlesi denir. Bir malzemenin özgül kütlesi ile birim hacim kütlesi birbirine eşit ise bu malzemenin boşluksuz olduğu anlamına gelir.

Özkütle deneyi TS 699'a göre tanımlanmış ve yapılmıştır. Deney numuneleri, kırılarak porselen bir kaptan öğütülmüş ve 200µm elekten geçirilmiştir. Öğütülen numuneler 100 °C sıcaklıktaki etüvde değişmez ağırlığa gelene kadar kurutulmuştur. Etüvden çıkarılan malzeme desikatörde, dış ortam neminden uzak bir ortamda soğumaya bırakılmıştır. Her numuneden alınan 25'er gr'lık malzeme, Mettler H-20 marka 0.01 mg, hassasiyetli terazide tartılmıştır. Deneyde damıtılmış su kullanıldığı için suyun özgül kütlesi 1 g/cm³ kabul edilmiştir. Cam kabın içine damıtılmış su ağzına kadar doldurularak kabın içine hava girmeyecek şekilde cam bir lamel ile üstü kapatıldıktan sonra hassas terazide tartılmıştır. Her bir cam kabın içinden bir miktar su alınıp içine 25'er gr'lık malzeme yavaşça ilave edilip suyun içine tamamı batırılmıştır. Ağzı kapalı olarak cam kap, içinde hava kabarcığı kalmayana kadar

bekletilmiştir. Daha sonra ağzına kadar su ile doldurulup cam lamel ile kapatılmış ve cam kap hassas terazide tekrar tartılmıştır.

5.2.1.1 Özgül kütle hesabı

$$d_0 = \frac{G_{pn} - G_p}{(G_{pn} - G_p) - (G_{psn} - G_s)} (\text{gr/cm}^3) \quad (5.1)$$

d_0 : Özgül ağırlık, gr/cm^3

G_p : Piknometre ağırlığı, gr

G_{pn} : (Piknometre + deney numunesi) ağırlığı, gr

G_{ps} : Su ile dolu piknometre ağırlığı, gr

G_{psn} : (Piknometre + deney numunesi + su) ağırlığı, gr

5.2.1.2 Birim hacim kütlesi

Genellikle seramikler sınıfına giren taş yapıli malzemeler, beton, kompozit malzemeler ve hafif yapı malzemeleri değişik tür ve büyüklükte boşluklar içerir. Bu boşluklar malzemenin birim ağırlığını, su emmeyi, geçirimsiliğı, dona dayanıklılığı, mukavemeti, ısı ve ses yalıtımını önemli derecede etkiler [41].

Bir cismin kütlesinin, boşluklar dahil doğal haldeki hacmine oranına o cismin birim-hacim kütlesi denir. Bu değerin küçük olması o cismin gözenekli ve boşluklu bir yapıda olduğunu gösterir [42].

Deneyler için TS 699'a uygun olarak her seriden 3 er adet numune alınarak 85°C etüv sıcaklığında değişmez kütleye gelinceye kadar kurutuldu. Kurutulan numuneler desikatörde oda sıcaklığına kadar soğutulduktan sonra 0.01 gr hassasiyetli terazide tartıldı. Deney numunelerinin birim-hacim kütlelerini hesaplamak için önce her numunenin hacmi, boyutlarından hesaplanarak bulundu. Her seri için deney numunelerinin boyutlarının her biri, birbirine dik doğrultuda olmak üzere üç kez 0.5 mm hassasiyetle ölçölüp bunların aritmetik ortalamaları alınarak bulundu. Bulunan ortalama boyutlardan deney numunelerin hacimleri hesaplandı.

Numunelerin birim hacim kütlesi aşağıdaki formülle hesaplandı.

$$D_h = \frac{G_k}{V} \text{ (gr/cm}^3\text{)} \quad (5.2)$$

D_h : Taşın hacim kütlesi, gr/cm³

G_k : Değişmez kütleye kadar kurutulmuş deney numunesinin kütlesi, gr

V : Deney numunesinin hacmi, cm³

5.2.1.3 Kılcallıkla su emme

Kılcal su emme malzemenin suya değen yüzeyinden zamanla emilen su miktarı ile belirlenir. Çok küçük çaplı boşluklar içinde kılcallık etkisi ile su yükselir [41]. Kılcallıkla su emme deneyi TS EN 772-11 göre yapıldı.

Numuneler deneyden önce 85°C sıcaklıktaki etüvde değişmez kütleye ulaşınca kadar kurutuldu. Standartta göre değişmez kütleye ulaşılması, kurutma esnasında 24 saat aralıklarla yapılan tartımlarla belirlenen kütleler arasındaki farkın, toplam kütlenin % 0.1 inden daha az olmasıyla belirlenir.

Numunelerin suya batırılacak yüz boyutları TS EN 772-16'da verilen prensiplere uygun şekilde ölçülerek yüzey alanı hesaplandı. Numuneler, yüzeyleri mesnet elemanı üzerine oturacak ve tepsinin tabanından yukarıda ve suya 5 mm ± 1 mm derinlikte batacak şekilde yerleştirildi ve deney boyunca bu konumda tutuldu. Süre ölçme cihazı çalıştırıldı. Su seviyesi deney boyunca sabit tutuldu ve belli aralıklarla sudan çıkarılan numunelerin yüzeyleri nemli bir bez ile silinerek, yüzeylerindeki serbest su kurularak tartıldı. Kapiler su emme katsayısı, aşağıda verilen eşitlik kullanılarak hesaplandı

$$C_{w,s} = \frac{m_{so,s} - m_{dry,s}}{A_s \sqrt{T_{so}}} \times 10^6 \text{ gr/(m}^2\text{x s}^{0.5}\text{)} \quad (5.3)$$

$C_{w,s}$ =Kapiler su emme katsayısı, gr/(m²x s^{0.5})

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

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

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

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

5.2.1.4 Hacimce su emme

Kılcallıkla su emme deneyi yapıldıktan sonra numuneler TS EN 771'e göre hacimce su emme deneyine tabi tutuldu. Deneye başlanmadan önce numuneler etüvde değişmez ağırlığa gelene kadar kurutuldu. Oda sıcaklığında su dolu bir kap içerisine yerleştirilen numunelerin bütün yüzlerinin su ile temas etmesini sağlamak için, aralık verdirici olarak kullanılan küçük takozlar üzerine oturtuldu. Birimler su içerisinde 24 saat bekletildikten sonra, sudan çıkartılıp yüzeylerindeki serbest su nemli bez ile kurulandı. Doygun hâle getirilmiş numuneler tartıldı ve kütleleri kaydedil. Daha sonra su içinde tartılarak su içindeki kütlesi bulundu.

Malzemenin hacimce su emme oranı aşağıdaki formül ile hesaplandı.

$$S_h = \frac{G_d - G_k}{G_d - G_{ds}} \times 100 \quad (5.4)$$

S_h = Hacimce su emme oranı, %

G_d = Doygun haldeki kütle, gr

G_k = Değişmez kütleye kadar kurutulmuş malzeme kütlesi, gr

G_{ds} = Doygun haldeki malzemenin su içindeki kütlesi, gr

5.2.2 Mekanik deneyler

Mekanik deneyler bölümünde numunelerin, ultra ses hızı, Elastiklik Modülü, eğilmede çekme dayanımı ve basınç dayanımı deneyleri yapıldı. Mekanik deneyler TS 699'a göre tanımlandı ve yapıldı. Deney analiz sonuçları numunelerin ortalaması alınarak bulundu.

5.2.2.1 Ultra ses geçiş hızı Elastiklik Modülü, tokluk

Numunelerin ultra ses hızının belirlenmesi için İTÜ Mimarlık Fakültesi Yapı Malzemesi Laboratuvarı'nda WTW-DIGI EG-C2 model cihaz kullanıldı. Çalışmada ses geçiş süresi ölçülerek içyapı hakkında bilgilenmek amaçlandı. Ses geçiş hızı

ölçülecek olan 4x4x16 cm boyutlarındaki numunelerin 4x4 cm olan yüzeyleri, pürüzlüklerden kaynaklanabilecek boşluklara karşı ölçüm yapılmadan önce gres yağı ile doldurularak ultra ses geçiş hızı ölçülür.

Ses geçiş süresinden hızın belirlenmesi aşağıdaki bağıntıdan yararlanılarak hesaplandı.

$$V = \frac{L}{t} \text{ (km/sn)}$$

V= Hız, km/sn

L= Numune Boyu, km

(5.5)

t= Ses geçiş süresi(sn). Cihazdan ses geçiş süresi $\mu s = 10^{-6}$ saniye okunmaktadır. Buradan bulunan ses geçiş hızı (V) değeri ile cismin Elastiklik Modülü (EM) bulunur. Elastiklik Modülü

$$EM = \frac{V^2 \times \Delta}{g} \text{ (} 10^5 \times \text{kN/mm}^2 \text{)}$$

(5.6)

formülü ile EM $10^5 \times \text{kN/mm}^2$ olarak hesaplanır.

Formülde; $\frac{\Delta}{g}$ yerine numunenin birim hacim kütlesi alınır.

Δ = cismin birim hacim kütlesi (gr/cm^3)

g = yerçekimi ivmesi, 9.81 m/sn^2 dir.

Bir malzemenin Elastiklik Modülü ne kadar büyükse, o malzemenin elastik şekil değiştirmeye karşı direnci de o ölçüde büyük olur. Yani malzeme ne kadar rijit ise Elastiklik Modülü (EM), o kadar yüksektir ve malzemenin deforme olması o kadar zordur.

Elastiklik Modülü ultra ses geçiş hızından hesaplanabileceği gibi malzemenin kuvvet altında şekil değiştirmesine bağlı olarak da hesaplanabilir. Kuvvet-şekil değiştirme eğrisinde, gerilmelerin şekil değiştirmelerle orantılı olduğu doğrunun tanjantı Hooke kanunu gereği malzemenin elastiklik modülüne eşittir.

$$EM = \frac{\sigma}{\epsilon} \text{N/mm}^2 \quad (5.7)$$

Formülünde;

σ = Normal gerilme

ϵ = Birim uzama

Buradan elde edilen bilgiler ile Elastiklik Modülü ve Normal gerilme değeri bilinen numunelerin birim uzamaları (ϵ) bağıl olarak hesaplanır. Böylece numunelerin birbirine göre ϵ değerleri bulunur.

Tokluk; malzemenin birim hacmi başına düşen plastik şekil değiştirme enerjisi olarak tanımlanır ve malzemenin kırılıncaya kadar enerji depolama veya soğurma yeteneğini gösterir. Tokluk, genellikle kuvvet-şekil değiştirme eğrisinin altında kalan alanın hesaplanması ile bulunur.

5.2.2.2 Eğilmede çekme dayanımı

Eğilmede çekme mukavemeti 4x4x16cm lik numuneler üzerinde yapılmıştır. Deneyden önce numuneler değişmez ağırlığa gelene kadar kurutulmuştur. Yükleme sabit hızda ve darbe tesiri olmadan uygun hızda uygulanmıştır.

Her deney numunesinin eğilmede çekme dayanımı, en yakın 0.1 N/mm²'ye yuvarlatılarak, aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır.

$$f_{eğ} = \frac{3P_k \cdot l}{2 \cdot b \cdot h^2} \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (5.8)$$

$f_{eğ}$: numunenin eğilmede çekme dayanımı, N/mm²

P_k = Prizmanın ortasına uygulanmış olan kuvvet, N

l = Destek silindirlerin eksenleri arasındaki uzaklık , mm

b = Prizmanın kare kesitinin yükün geldiği kenar uzunluğu, yük gelen, mm

h = Deney numunesinin kalınlığı, mm

5.2.2.3 Basınç dayanımı

Basınç dayanımı deneyi, eğilmede çekme dayanımı deneyleri sonucunda iki parçaya ayrılan örneklerin her bir parçası üzerinde yapılmıştır. Basınç dayanım değerleri aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır.

$$f_b = \frac{P_k}{A} \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (5.9)$$

f_b = Taşın basınç dayanımı, N/mm²

P_k = Kırılmaya sebep olan en büyük yük, N

A = Taşın yük uygulanan yüzeyinin alanı, mm²

5.3 Toprak Matris Malzemesinin ve Kürleme koşullarının Belirlenmesi ile İlgili Deneyler ve Bulgular

Toprak matris malzemesinin ve kür koşullarının belirlenmesi amacıyla hazırlana ilk aşamadaki karışımlar ve bu karışımlara ait kodlar Çizelge 5.4 :’de verilmektedir. Bu aşamada deneyler iki ana gruba ayrılmıştır. İlk grup numunelerinde, toprağa bağlayıcı olarak alçı ve kireç katılmıştır. İkinci grup numunelerinde ise bağlayıcı olarak alçı katılmamış, sadece kireç ve puzolan katılmıştır. Bu grupta öncelikle puzolan katkısının (% 10, % 20) kireç katkılı toprak bağlayıcı üzerindeki etkisi araştırılmış, ardından her iki grup için kimyasal katkısının etkisini belirlemek amacı ile NaOH katkılı numuneler üretilmiştir. İlk grupta % 2, 3 ve 4 oranındaki NaOH katkısının Alker matrisi üzerindeki etkisi incelenmiştir. İkinci grupta ise % 2 ve 3 oranındaki NaOH katkısının kireç ve puzolan katkılı toprak bağlayıcı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Şekil 5.3 :’de deneyde numunelerin hazırlanışı görülmektedir.

Deney numuneleri isimlendirilirken, kodlamada N, C, K, P ve S harfleri kullanılmıştır. NaOH katkı miktarına göre isimlendirilen numunelerde katkı miktarı N harfi ile kodlanmıştır. Kodlamada kireç katkı miktarı K, puzolan katkı miktarı P ile belirtilmiştir. Numunelerin kürleme sıcaklıkları ise C harfi ile kodlanmıştır. S harfi

ise kalıpsız kürlenen numuneleri belirtmek için kullanılmıştır. Deney numunelerinin karışım oranları ve kürleme koşullarına göre kodları izelge 5.4 :’de verilmiştir.



şekil 5.3 : Numunelerin hazırlanması

ÖRN:

P20-85C-4K = % 20 Puzolan katkısı, % 4 Kireç katkısı içeren ve 8 °C’de kürlenmiş numune

5.3.1 Deney numunelerinin hazırlanması

Referans numune, bölüm 3.1.2’de sözü edilen [2] “Alker” retim tekniğine uygun olarak üretilmiştir. Çizelge 5.4 :’de verilen oranlarda toprak, kullanılacak toplam su miktarının (toprak katkı miktarının kütlece % 27) yarısı ile nemlendirildikten sonra 24 saat torba içinde dinlendirilmiştir. Toprak dinlendirildikten sonra, kalan suya önce kireç daha sonra alçı eklenerek homojen bir hal alana kadar hızla karıştırılmıştır. Bu karışım nemli toprağa eklenerek homojen bir hal alana kadar karıştırmaya devam edilmiştir. İstenilen kıvam elde edildikten sonra kalıplanmıştır.

NaOH katkılı 1.grup numuneler hazırlanırken, nemlendirilip 24 saat dinlendirilmiş toprağa,izelge 5.4 :’de belirtilen oranlarda sönmüş toz kireç karıştırılmıştır. Kireç ve toprak homojen bir karışım haline geldikten sonra 100 ml NaOH zeltisi eklenmiştir. Toprak tekrar yoğrulduktan sonra karışım için gerekli olan kalan su, alçı ile karıştırılarak toprak karışımına eklenmiştir. Homojen bir hal alana kadar iyice yoğrulduktan şekil 5.4 :’de görüldüğü gibi kalıplanmıştır. 2. grup numuneler hazırlanırken izelge 5.4 :’deki oranlarda toprak, puzolan ve kireç kuru olarak homojen bir hal alana kadar karıştırılmıştır (şekil 5.5 :).



Şekil 5.4 : Kalıp içindeki 1.grup numuneleri



Şekil 5.5 : 2. Grup Numunelerin Hazırlanması ve Kalıplanması

Kalıplama için yeterli kıvama gelene kadar su eklenerek yoğrulmuştur. 2. grup numunelerinde NaOH katkısı içeren serilerde, karma suyunun 100 ml'si ayrılarak NaOH çözeltisi hazırlanmış ve hamura eklenmiştir.

Çizelge 5.4 : Bağlayıcı ve kimyasal katkısı ile ağlaştırılan kerpiç numuneleri

TOPRAK MATRİS MALZEMENİN BELİRLENMESİ							
Grup No	Deney Serileri		Kütlece Karışım Oranları	Kürleme Koşulları		Numune No	
	Seri No						
1. GRUP	1	REFERANS NUMUNE	100% Toprak + 10% Alçı + 2% Kireç + 27% Su (Alker)	7 gün ortam+1 gün 55°C	SICAKLIK ARTIŞI	Alker	
		Kürleme Koşulları NaOH Katkılı Alker <td rowspan="6">Alker + %3 NaOH</td> <td>4 gün 55 °C (ilk 1 saat kalıpta)</td> <td>3N-24C</td>	Alker + %3 NaOH			4 gün 55 °C (ilk 1 saat kalıpta)	3N-24C
						2 gün 85°C	3N-55C-S
				4 gün 55°C (ilk 1 saat kalıpta)		3N-85C	
				3 gün 55 C (kalıpta)	3N-55-S		
				7 gün 55 °C (ilk 4 gün PE torbada-%95 BN)	3N-55C		
					3N-55C-95		
	2	NaOH Katkı Miktarı	Alker+%2 NaOH	2 gün 85°C'	2N-85C		
			Alker+%3 NaOH		3N-85C		
			Alker+%4 NaOH		4N-85C		
	3	Kireç Katkı Miktarı	Alker+%3 NaOH		3N-85C		
			100% Toprak + 10% Alçı + 3% NaOH + 4% Kireç + 27 % Su		4K-85C		
2. GRUP	1	Puzolan Katkı Miktarı	100% Toprak + 10% Puzolan + 2% Kireç + 27% Su		7 gün 55°C (ilk 3 gün PE torbada-%95 BN)	P10-55	
			100% Toprak + 20% Puzolan + 2% Kireç + 30% Su	P20-55C			
	2	NaOH Katkı Miktarı	100% Toprak + 10% Puzolan + 2% NaOH + 2% Kireç + 27% Su	P10-55C-2N			
			100% Toprak + 20% Puzolan + 3% NaOH+ 2% Kireç + 30% Su	P20-55C-3N			
	3	Kireç Katkı Miktarı	100% Toprak + 20% Puzolan + 3% NaOH+0% Kireç + 30% Su	7 gün 85°C (PE torbada-%95 BN)	P20-85C-0K		
			100% Toprak + 20% Puzolan + 3% NaOH+ 4% Kireç + 30% Su		P20-85C-4K		

5.3.2 Uygun kürleme koşullarının belirlenmesi

Uygun kürleme koşulları belirlenirken ortam koşulları ile ilgili iki ölçüt temel alınmıştır; sıcaklık artışı ve nem artışı. Çizelge 5.4 :’de ‘‘Uygun Kürleme Koşullarını belirlemek için üretilen seri’’ olarak verilen % 10 alçı + % 2 kireç + % 3 NaOH katkılı toprak ile hazırlanan numuneler üç farklı sıcaklıkta kürlenmiştir. Literatür araştırmalarına dayanarak kürleme sıcaklıkları 24 °C, 55 °C ve 85 °C olarak belirlenmiştir. Ortam nemindeki artışın numunelerin dayanımına etkisi belirlenirken sıcaklık 55°C de sabitlenmiştir. Ortam nemi üç farklı değerde tutulmuştur. Çizelge 5.4’de numune adları ve kürleme koşulları görülmektedir. Çizelge 5.5 :’de 1. Grup 1. Seri numunelerinden elde edilen bulgular görülmektedir.

Referans numune (Alker) kalıplandıktan sonra ilk 1 saat kalıp içinde daha sonra kalıpsız olarak 7 gün süre ile açık hava koşullarında gölgede kurutulmuştur [2]. 7. Günün sonunda hala değişmez ağırlığa ulaşmadığı için 24 saat süre ile 55 °C sıcaklıkta etüvde kürlenmiştir. 3N-24C serisi referans numune ile aynı koşullarda kürlenmiştir (şekil 5.8 :). 3N-55C serisi kalıp içinde sadece üst yüzeyi hava ile temas halinde 3gn süre ile 55 °C sıcaklıkta etüvde kürlenmiştir (şekil 5.7 :).



şekil 5.6 : Referans numune ve 3N-24C serisi

3N-55C-95 serisi 4 gün boyunca kalıplı halde torba içinde nemli ortamda hava ile teması kesilerek etüvde 55°C sıcaklıkta kürlenmiştir(şekil 5.8 :). 3N-55C-S serisi ilk bir saatin sonunda kalıptan alınarak hava ile temas halinde 4 gün boyunca sabit ağırlığa gelene kadar etüvde 55°C sıcaklıkta kürlenmiştir (şekil 5.9 :). 3N-85C serisi, kalıptan alınacak sertliğe gelene kadar ilk 1 saat kalıp içinde, daha sonra kalıpsız olarak 85°C’de toplam 48 saat krledikten sonra değişmez ağırlığa ulaşmıştır. Tüm numuneler değişmez ağırlığa ulaşana kadar kürleme devam etmiştir.



Şekil 5.7 : 3N-55C Numuneleri



Şekil 5.8 : 3N-55C-95 Numuneleri



**1 SAAT 55C'de KURLENDİKTEN SONRA KALIPTAN
ALINAN 3N-55C-S NUMUNELERİ**

Şekil 5.9 : 3N-55C-S Numuneleri

Çizelge 5.5 : Kırılma koşulları ile ilgili deney sonuçları

Numune no	Birim hacim kütlesi gr/cm ³	Elastiklik Modülü 10 ⁵ xkN/mm ²	Basınç dayanımı MPa	Eğilmede çekme dayanımı MPa	KÜRLEME KOŞULLARI
3N-55C	1.68	8.12	3.17	0.86	3 gün 55 °C (kalıpta)
3N-55C-S	1.67	11.30	4.62	2.20	4 gün 55 °C (ilk 1 saat kalıpta)
3N-55C-95	1.62	5.69	3.37	1.00	7 gün 55 °C (ilk 4 gün PE torbada-%95 BN)
3N-24C	1.68	4.61	5.20	1.34	7 gün ortam+1 gün 55°C
3N-85C	1.68	6.30	5.45	1.87	2 gün 85°C

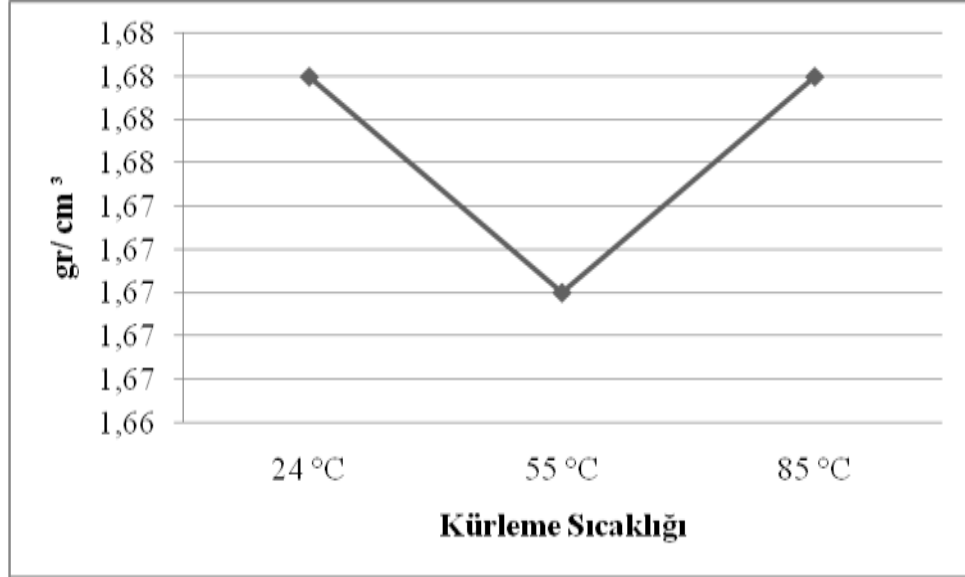
5.3.2.1 Kırılma koşullarının kerpelin birim hacim kütlesine etkisi

Farklı yollarla değişmez ağırlığa ulaşana kadar kurutulan numunelerin birim hacim kütleleri Bölüm 5.2.1.2’de anlatıldığı şekilde ölçülmüştür. Farklı koşullarda kırılan numunelerden elde edilen değerler Çizelge 5.5 :’de verilmiştir.

- Kür Ortamındaki Sıcaklık Artışının Kerpelin Birim Hacim Kütlesine Etkisi

Üç farklı sıcaklığa kırılan % 3 NaOH katkılı 3N-24C, 3N-55C-S ve 3N-85C numunelerinde sıcaklık artışının birim hacim kütleye etkisi incelenmiştir. Şekil 5.10

:’da kürlenme ortamındaki sıcaklık artış sıralamasına göre birim hacim kütleindeki değişim görülmektedir.

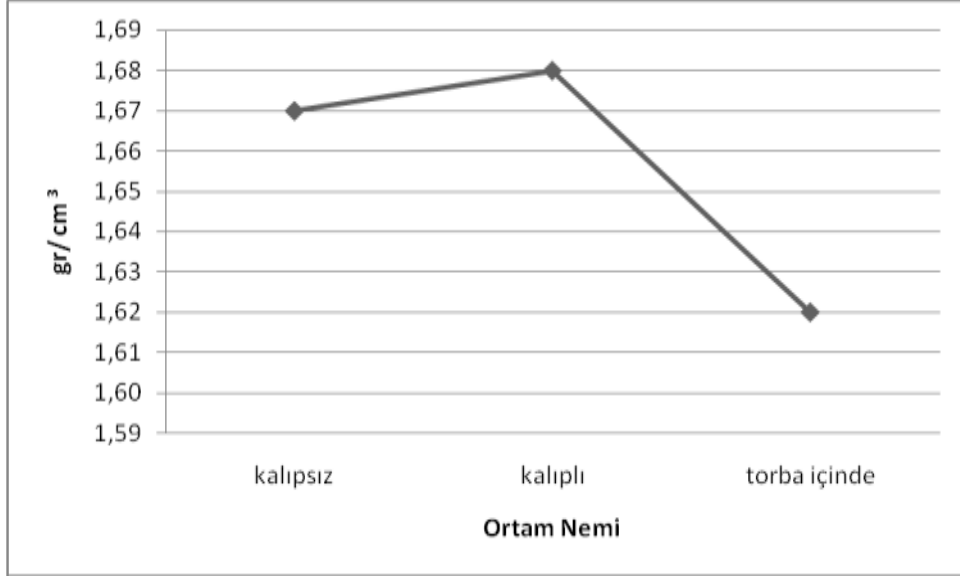


Şekil 5.10 : Kür ortamındaki sıcaklık artışının numunenin birim hacim kütlelerine etkisi

Kürleme sıcaklığının 24 °C den 55 °C ye yükseltilmesi, birim hacim kütleini % 0.6 oranında azaltmıştır. Sıcaklık 85 °C ye kadar yükseltildiğinde birim hacim kütle 24 °C sıcaklıkta kürlenmiş numunelerle aynı değerde (1.68 gr/cm³) ölçülmüştür. Sıcaklık 55 °C üzerine çıkarıldığında farklı kimyasal tepkimelere yol açarak birim hacim kütleinin tekrar yükselmesine neden olmuştur.

- Kür Ortamındaki Nem Artışının Kerpici Birim Hacim Kütlelerine Etkisi

55 °C’de numuneler üç farklı koşulda kürlenmiştir. 3N-55C serisi kalıp içinde sadece üst yüzeyi hava ile temas halinde 3gün süre ile kürlenmiştir. 3N-55C-S serisi ilk bir saatin sonunda kalıptan alınarak hava ile temas halinde 4 gün boyunca sabit ağırlığa gelene kadar kürlenmiştir. 3N-55C-95 serisi 4 gün boyunca kalıp içinde nemli ortamda hava ile teması kesilerek kürlenmiştir. Yani birbirlerine göre kür ortam nemi 3N-55C-S < 3N-55C < 3N-55C-95 şeklinde artarak gitmektedir. . Şekil 5.11 :’de 55 °C sıcaklıkta kür ortam nemine bağlı birim hacim kütle grafiği görülmektedir.



Şekil 5.11 : Kür ortamındaki nem artışının numnelerin birim hacim kütlelerine etkisi

3N-55C-S numunesine göre daha nemli ortamda kürlen 3N-55C numunesinin birim hacim kütleleri % 1.8 artarken ortam nemi daha fazla yükseltildiğinde 3N-55C-95 numunesinde birim hacim kütlelerinde 3N-55C-S numunesine oran oranla % 3 azalma, 3N-55C numunesine göre ise % 3.5 gözlemlenmiştir. Kalıp içindeki numunenin tek yüzeyinin hava ile temas halinde olması kürlenme sırasında homojen bir kuruma sağlamadığı için birim hacim kütle artışı, nem artışına bağlı olarak lineer bir davranış göstermemiş olabilir. Ortam nemi % 95 çıkarıldığında kuruma yavaşlarken meydana gelen tepkimeler malzemenin birim hacim ağırlığını azaltmaktadır.

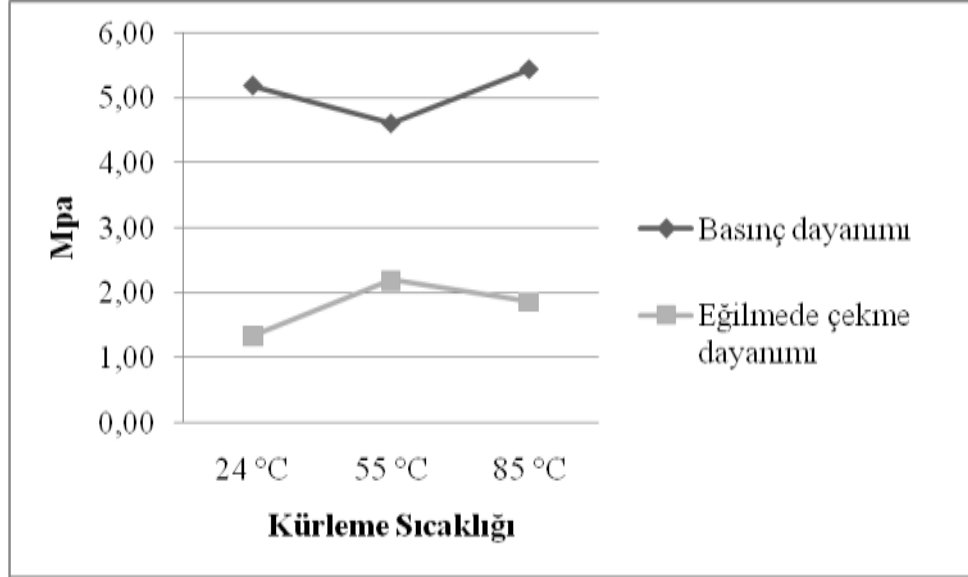
5.3.2.2 Kürlenme koşullarının kerpelin mekanik dayanımına etkisi

Değişmez ağırlığa ulaşana kadar kurutulan numunelerin basınç ve eğilmede çekme dayanımları bölüm 5.2.2.2’de anlatıldığı şekilde deneye tabi tutularak tespit edilmiştir. Farklı koşullarda kürlen 3N-55C-S ve 3N-85C numunelerden elde edilen değerler Çizelge 5.5 :’de verilmiştir.

- Kürlenme Sıcaklığındaki Artışının Kerpelin Basınç Dayanımına Etkisi

Karışım oranları aynı olan 3N-24C, 3N-55C-S ve 3N-85C numuneleri, kalıpsız ve hava ile temas halinde sırası ile 24 °C, 55 °C ve 85 °C’de sıcaklıkta kürlenmiştir. Bu numuneler üzerinde yapılan mekanik deneylerden elde edilen bulgular Şekil 5.12

:‘de kürleme sıcaklığına bağlı basınç ve eğilmede çekme dayanımı grafiğinde verilmiştir.



şekil 5.12 : Kürleme sıcaklığının numunelerin basınç ve eğilmede çekme dayanımı etkisi

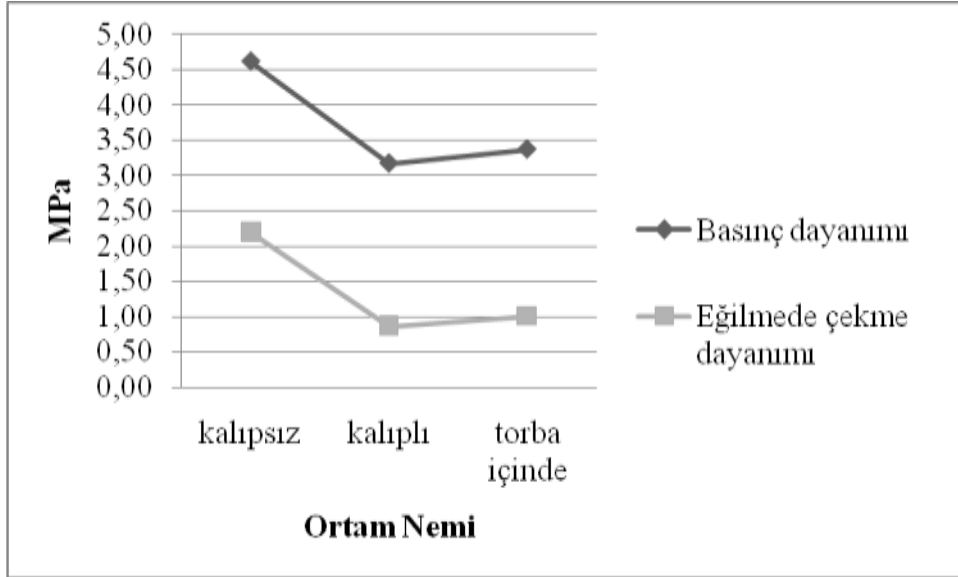
Belli bir seviyeye kadar sıcaklık artışı basınç dayanımını olumsuz etkilemektedir. 24 °C de kürlenen 3N-24C serisinin basınç dayanımı, 55 °C de kürlenen 3N-55C-S serisinin basınç dayanımından % 11 fazla; 85 °C de kürlenen 3N-85C serisinden % 4.8 daha az bulunmuştur. En yüksek basınç dayanımı 85 °C sıcaklıkta kürlenen numunede ölçülmüştür.

Kürleme sıcaklığının 24 °C den 55 °C ye yükseltilmesi eğilmede çekme dayanımını olumlu etkilemiştir. En yüksek eğilmede çekme dayanımı 55 °C sıcaklıkta elde edilmiştir. Sıcaklık 85 °C ye yükseltildiğinde eğilmede çekme dayanımında azalma gözlemlenmiştir Sıcaklık artışı malzemenin y k dayanımı arttırırken daha kırılgan bir yapı kazanmasına neden olmuştur. Böylece malzemenin basınç dayanımı artarken eğilmede çekme dayanımı azalmıştır.

85 °C sıcaklıkta en iyi basınç dayanımının elde edilmesi ve eğilmede çekme dayanımını arttırmak için esas faktörün lif katkısı olacağı göz önüne alınarak çalışmanın devamında kürleme sıcaklığının 85 °C olması uygun g r lm şt r.

- **Kürleme Ortam Nemindeki Artışının Kerpilin Basınç ve Eğilmede ekme dayanımına Etkisi**

55 °C’de numuneler üç farklı nem ortamında kürlenmiştir. Şekil 5.13 :’de 55 °C de farklı nem koşullarında kürlenenden elde edilen basınç ve eğilmede çekme dayanımları verilmiştir.



Şekil 5.13 : 55°C sıcaklıkta kür ortam nemine bağlı olarak numunelerin basınç ve eğilmede çekme dayanımı

Ortam nemindeki artış basınç ve eğilmede çekme dayanımında azalmaya yol açtığı gözlemlenmiştir. 3N-55C serisinde NaOH katkısının üst yüzeyde 0.5 - 1 cm kalınlığında tabakalaşmış olması basınç ve eğilmede çekme dayanımını olumsuz etkilemiş olabilir. NaOH katkısının görece daha homojen dağıldığı 3N-55C-S ve 3N-55C-95 serilerinin basınç ve eğilmede çekme dayanımı daha yüksek ölçülmüştür. 55 °C’ sıcaklıkta basınç ve eğilmede çekme dayanımının en yüksek ölçüldüğü 3N-55C-S numunelerinde NaOH katkısı dış yüzeyi bir film tabakası gibi kaplamıştır. Daha homojen bir kuruma ve yüksek dayanım sağladığı için numunelerin etüvde hava ile temas halinde kürlenmesine karar verilmiştir.

5.3.2.3 Kürlenme koşullarının kerpicin Elastiklik Modülüne etkisi

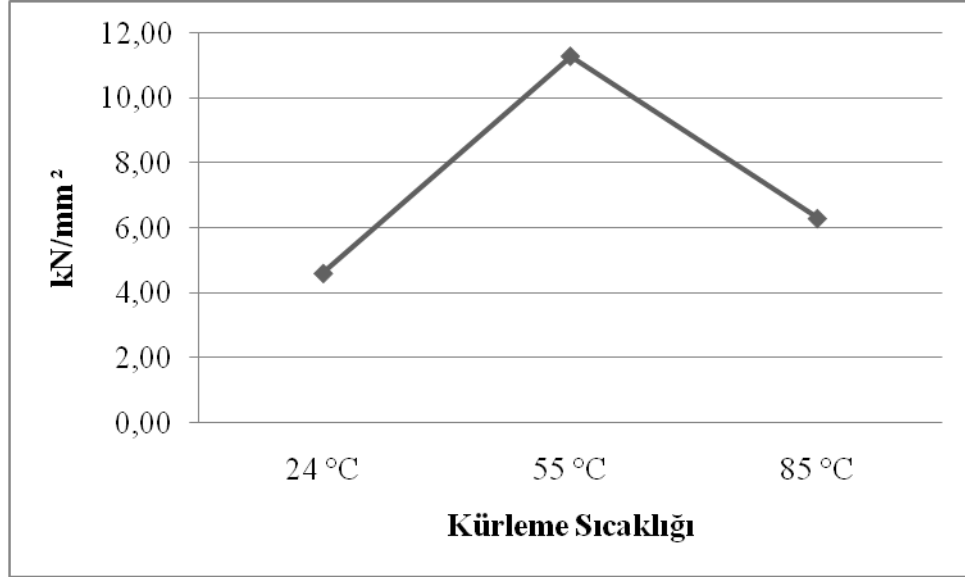
Değişmez ağırlığa ulaşana kadar kurutulan numunelerin ultra ses geçiş hızı ve Elastiklik Modülü değerleri bölüm 5.2.2.1de anlatıldığı şekilde ölçülmüştür. Farklı koşullarda kürlenenden elde edilen değerler Çizelge 5.5 :’de verilmiştir.

- Kürlenme Sıcaklığındaki Kerpicin Artışın Elastiklik Modülüne Etkisi

Karışım oranları aynı olan 3N-24C, 3N-55C-S ve 3N-85C serileri kalıpsız ve hava ile temas halinde sırası ile 24 °C, 55 °C ve 85 °C’de sıcaklıkta kürlenmiştir. Elde

edilen deney bulguları Şekil 5.14 :‘de kürleme sıcaklığına bağlı Elastiklik Modülü grafiğinde verilmiştir.

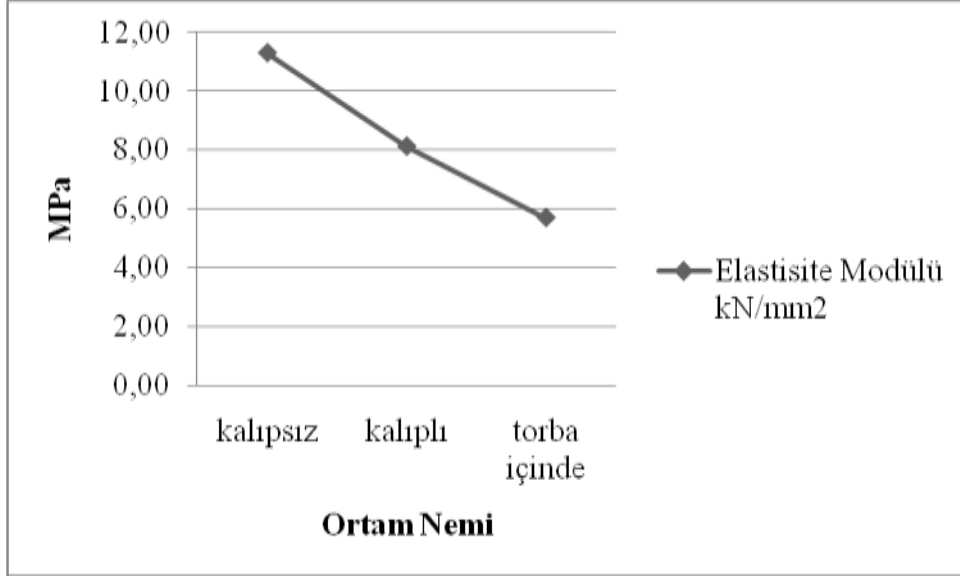
Elastiklik Modülünün kürleme sıcaklığına bağlı davranışı ile malzemenin kürleme sıcaklığına bağlı eğilmede çekme dayanımı benzer davranış göstermektedir. Elastiklik Modülündeki artış basınç dayanımında azalmaya yol açmaktadır. En yüksek EM değeri 55 °C sıcaklıkta kürlenen numunelerde ölçülmüştür.



Şekil 5.14 : Kürleme sıcaklığına bağlı Elastiklik Modülü

- Kürleme Ortamındaki Nem Artışının Kerpicin Elastiklik Modülüne Etkisi

55 °C’de numuneler üç farklı koşulda kürlenmiştir. 3N-55C serisi kalıp içinde sadece üst yüzeyi hava ile temas halinde 3gün süre ile kürlenmiştir. 3N-55C-S serisi ilk bir saatin sonunda kalıptan alınarak hava ile temas halinde 4 gün boyunca sabit ağırlığa gelene kadar kürlenmiştir. 3N-55C-95 serisi 4 gün boyunca kalıp içinde nemli ortamda hava ile teması kesilerek kürlendikten sonra değişmez ağırlığa gelene kadar 3 gün oda koşullarında kurutulmuştur. Şekil 5.15 :‘de 55 °C de farklı nem koşullarında kürlenen numunelerden elde edilen Elastiklik Modülü değerleri verilmiştir.



Şekil 5.15 : Kür ortam nemine bağlı Elastiklik Modülü

Ortam nemindeki artış ile malzemenin Elastiklik Modülünün ters orantılı olduğu gözlemlenmiştir. Ortam nemi arttıkça Elastisite Modülü azalmakta ve malzeme daha sünek bir hal almaktadır.

5.3.2.4 Kürleme koşullarının kerpicing yüzey dokusuna etkisi

24 °C oda sıcaklığında açık havada kürlenene NaOH katkılı numunelerde Şekil 5.16 :’da görüldüğü gibi, yüzeyde NaOH kusması gözlenmiştir. Oda koşullarında kürlenene numuneler değişmez ağırlığa ulaştığında (7 gün) NaOH kusması durmuştur. Kuruduktan sonra yüzeyindeki katman fırçayla alınıp, yüzeyleri nemli bir bezle silindiğinde Şekil 5.17 :’de görüldüğü gibi temiz yüzeyler elde edilmiştir



Şekil 5.16 : Yüzeyde gözlemlenen kasma



Şekil 5.17 : 24°C’de kürlenlen NaOH katlı Numunelerde Yüzey Dokusu.



Şekil 5.18 : Etüvde Kürlenlen Numunelerin Yüzey Dokusu

55 °C’de ve 85 °C de kürlenlen numunelerde, 24 °C’de oda koşullarında kürlenlen numunelerde gözlemlenen yüzeyde NaOH kuma görülmemiştir. Yüzeye ulaşan NaOH katkısı sıcaklığın etkisi ve hava teması ile yüzeyde Şekil 5.18 :’de görüldüğü gibi sır etkisi yapmıştır. Yüzeyi çizilmeye karşı dayanıklı hale getirmiştir. Kalıp içinde kürlenlen numunelerde Şekil 5.18 :’de görüldüğü gibi sır etkisi sadece kalıbın açık yüzeyinde gözlenmiştir.

- **Kürleme Ortamındaki Nem Artışının Kerpicingin Yüzey Dokusuna Etkisi**

Kalıp içinde kürlenene numunelerde homojen yüzeyler elde edilememiştir. Kalıbın hava ile temas eden üst yüzeylerinde NaOH ın biriktiği gözlemlenmiştir. Nemli ortamda kürlenene 3N-55C-95 serisinde oluşan tabakanın kalıp içinde açık havada kürlenene 3N-55C serisinden daha ince olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 5.19 :). Nemli ortamda yüzeyde biriken NaOH miktarı daha azdır. Nem NaOH'ın bünyede tutulmasını sağlamaktadır.

85 °C sıcaklıkta kürlenene numuneler etüvden çıkarılıp açık hava ile temas ettiklerinde yüzey dokusunda fazla bir değışme gözlemlenmemiştir (Şekil 5.20 :).

55 °C sıcaklıkta hava ile temas halinde kürlendikten sonra etüvden çıkarılan numunelerin yüzeylerinde çiçeklenme gözlemlenmiştir. Yüzey çiçeklenmesine örnek olarak Şekil 5.21 :’da kalıp içinde 55 °C sıcaklıkta kürlenene 3N-55C numunelerinde gözlemlenen çiçeklenme verilmiştir.



Şekil 5.19 : Etüvde Kalıp İçinde Kürlenene Numunelerin Yüzey Dokusu





Şekil 5.20 : 3N-85C Numunelerinin Yüzey Dokusu



Şekil 5.21 : 3N-55C Serisinde Gözlemlenen Çizilme

5.3.2.5 Değerlendirme

Alçı ve kireç bağlayıcı katkısı ve NaOH kimyasal katkısı ile sağlamlaştırılmış topraktan panel duvar üretimi için uygun kürlenme koşulları deneysel olarak incelenmiş ve Çizelge 5.5 :’de deneylerden elde edilen bulgular verilmiştir.

Kürlenme sıcaklığı ve kür ortam nemindeki artış birim hacim kütlesi üzerinde ters etki etmektedir. Aynı ters ilişki basınç ve eğilmede çekme dayanımı içimde geçerlidir. En yüksek basınç dayanımı değeri en yüksek sıcaklıkta (85 °C) kürlenmiş numunede

ölçülmüştür. Kürleme ortamındaki nem artışının mekanik dayanımı olumsuz etkilediği gözlemlenmiştir. Ortam nemi arttıkça EM azalmaktadır.

Açık havada kürlen numunelerde NaOH kusması gözlemlenirken, 55 °C kürlen numuneler de ise yüzeyde çiçeklenme gözlemlenmiştir. En düzgün yüzey dokusu 85°C’de kalıpsız olarak kürlen numunelerden elde edilmiştir.

Numuneler için uygun kürleme koşulunun, 85 °C etüv sıcaklığında, kalıpsız olarak 48 saat kürlenmesi olduğu belirlenmiştir.

5.3.3 Uygun NaOH katkı miktarının belirlenmesi

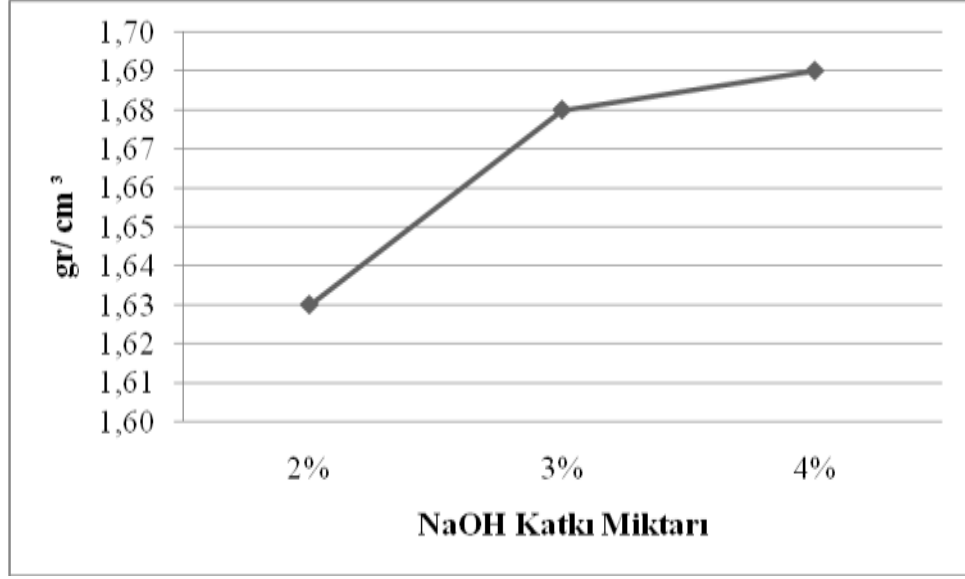
Alçı ve kireç katkısı ile sağlamlaştırılmış toprakta NaOH katkısının dayanıma etkisini ölçmek ve uygun katkı miktarını belirlemek için 1. Grup 2. Seri numuneleri hazırlanmıştır. 1.grup 2. Seri numuneleri, kireç ve alçı katkı oranları referans numunedeki ile aynı oranda olacak şekilde kütlece 10 % alçı ve 2 % kireç içeren harca, kütlece % 2, % 3 ve % 4 oranlarında NaOH katkısı eklenerek üretilmiştir. Çizelge 5.4 :’de numunelerin karışım oranları ve kürleme koşulları belirtilmiştir. Numunelerle yapılan deneyler ve deneylerden elde edilen bulgular Çizelge 5.6 :’da verilmiştir.

Çizelge 5.6 : Uygun NaOH katkı miktarı ile ilgili deney sonuçları

Numune No	B. Hacim Ağırlığı gr/cm ³	Ultra ses geçiş hızı V (km/sn)	Elastisite Modülü kN/mm ²	Basınç Dayanımı MPa	Eğilme Dayanımı MPa
Alker	1.74	1.47	3.80	3.80	1.64
2N-85C	1.63	1.66	4.64	3.95	1.36
3N-85C	1.68	1.92	6.30	5.45	1.87
4N-85C	1.69	1.85	5.88	4.58	1.44

5.3.3.1 NaOH katkı miktarının kerpicing birim hacim kütlelerine etkisi

NaOH katkı miktarının birim hacim kütlelerine etkisini ölçmek için, 85 °C de hava ile temas halinde kürlen kütlece % 2, % 3 ve % 4 NaOH katkısı içeren 2N-85, 3N-85C ve 4N-85C numuneleri üzerinde ölçüm yapılmıştır. Farklı miktarlarda NaOH katkısı içeren 1.grup 2.seri numunelerin birim hacim kütle değerleri karşılaştırmalı olarak Şekil 5.22 :’de, grafikte verilmiştir.



Şekil 5.22 : NaOH katkı miktarına numunelerin birim hacim kütlelerine etkisi

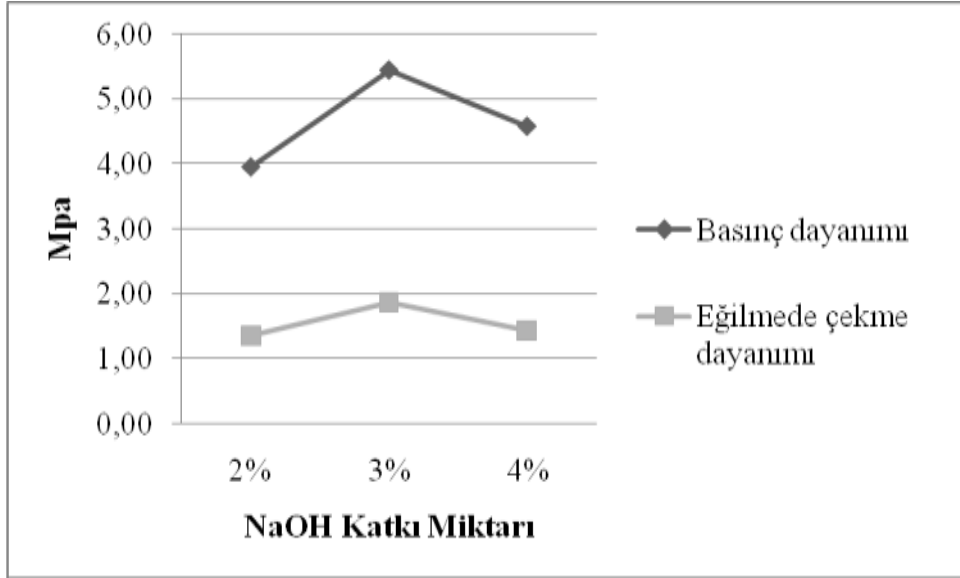
Şekil 5.22 :’de, grafikte görüldüğü gibi NaOH katkı miktarı arttıkça birim hacim kütlesi artmaktadır. Katkı miktarının % 2’den % 3’e çıkarılması birim hacim kütlesini % 3 arttırırken katkı miktarının % 3den % 4 e çıkarılması ise % 0.6 bir artış sağlamıştır. NaOH katkı miktarı % 3 ü geçtikten sonra birim hacim ağırlına etkisinin azalarak arttığı gözlemlenmiştir.

5.3.3.2 NaOH katkı miktarının kerpicing mekanik dayanımına etkisi

Farklı miktarlarda NaOH katkısı içeren numunelerden elde edilen değerler Şekil 5.23 : ’de basınç ve eğilmede çekme dayanımı grafiğinde verilmiştir.

En yüksek basınç dayanımının elde edildiği sıcaklık ve nem koşullarında farklı miktarlarda NaOH katkılı 2N-85C, 3N-85C ve 4N-85C numuneleri üzerinde basınç ve eğilmede çekme dayanımı testleri yapılmıştır.

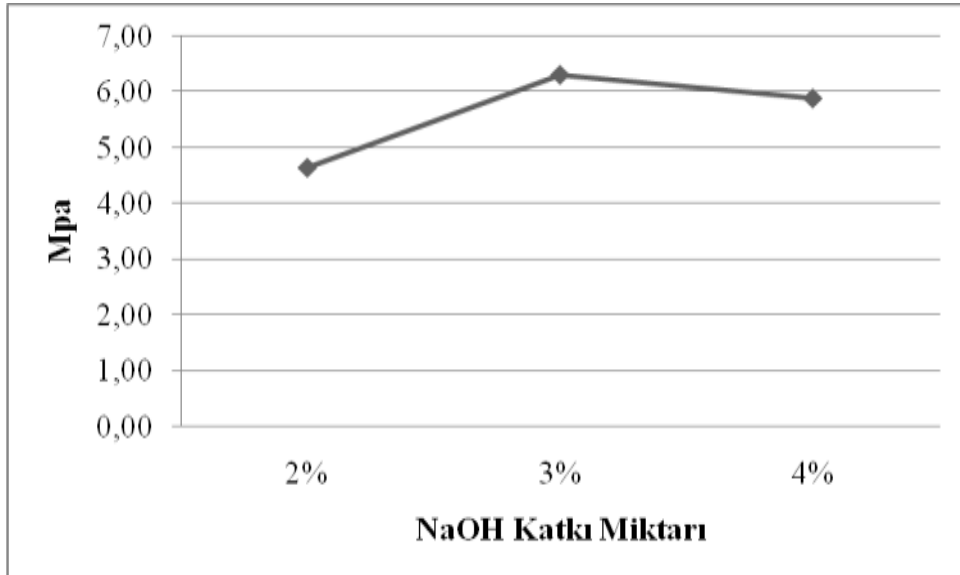
NaOH katkı miktarının basınç ve eğilmede çekme dayanımını arttırmaktadır. Basınç ve eğilmede çekme dayanımı, NaOH katkısına bağlı olarak benzer davranışlar sergilemiştir. Dayanımındaki artış ile katkı miktarı arasında doğrusal bir ilişki yoktur. Kütlece 3%lük NaOH miktarının üzerine çıkıldıkça basınç dayanımında azalma gözlemlenmiştir. Çalışmanın devamında uygun NaOH katkı miktarı 3% olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.23 : NaOH katkı miktarının mekanik dayanıma etkisi

5.3.3.3 NaOH katkı miktarının kerpicin Elastiklik Modülüne etkisi

En yüksek basınç dayanımının elde edildiği sıcaklık ve nem koşullarında, farklı miktarlarda NaOH katkılı 2N-85C, 3N-85C ve 4N-85C numunelerinin, ultra ses geçiş hızı ve Elastiklik Modülü hesaplanmıştır. 85°C de hava ile temas halinde kürlenen kütleece %2, %3 ve %4 NaOH katkısı içeren numunelerden elde edilen EM değerleri Şekil 5.24 :’de verilmiştir.



Şekil 5.24 : NaOH katkı miktarının numunelerin Elastisite Modülüne etkisi

5.3.3.4 Değerlendirme

Alçı ve kireç bağlayıcı katkısı ile sağlamlaştırılmış topraktan panel duvar üretimi için uygun NaOH katkı miktarını belirlemek için 1. Grup 2. Seri numuneler üzerinde yapılan deneylerden elde edilen bulgular Çizelge 5.6 :’ de verilmiştir. NaOH katkı miktarı arttıkça birim hacim kütlesi artmakta fakat elde edilen tüm değerler referans numune olan Alker’in birim hacim kütlesinden daha düşük değerde bulunmuştur. NaOH katkısı mekanik dayanımı arttırmaktadır fakat deneyler göstermiştir ki katkı miktarı % 3 ü geçtikten sonra mekanik dayanım tekrar azalmaya başlamaktadır. Literatür çalışmasında, katkı miktarı ve sıcaklık arttıkça mekanik dayanımın arttığı belirtilmişti. Bu durumda 85 °C sıcaklık için % 3 NaOH katkısı yeterli görünmektedir. Katkı miktarını arttırdığımızda dayanımın artması için sıcaklığı arttırmak gerekli görülmektedir. Sıcaklık artışı maliyeti arttıracığı ve enerji gereksinimini arttıracığı için gerekli görülmemektedir.

Deneyin diğer aşamalarında kullanılacak numunelerde uygun NaOH katkı miktarı kütlece 3% olarak belirlenmiştir.

5.3.4 Uygun kireç katkı miktarının belirlenmesi

Alçı ve kireç bağlayıcı katkısı ve NaOH kimyasal katkısı ile sağlamlaştırılmış toprakta uygun kireç katkı miktarını belirlemek için 1.Grup 3. Seri numuneleri üretilmiştir.1.grup 3. Seri numuneler, bölüm 5.3.2 ’de belirlenen uygun kütleme koşullarına göre kürlenmiştir. Karışımda NaOH katkı miktarı bölüm 5.3.3 ’de deneylerle belirlenen uygun katkı miktarına uygun olarak kütlece 3% olarak kabul edilmiştir. Alçı katkı miktarı referans numune ile aynı oranda alınmıştır. Uygun kireç katkı miktarını belirlemek için karışıma kütlece % 2 ve % 4 oranlarında kireç eklenmiştir. Numunelerin karışım oranları Çizelge 5.4 :’de görülmektedir.

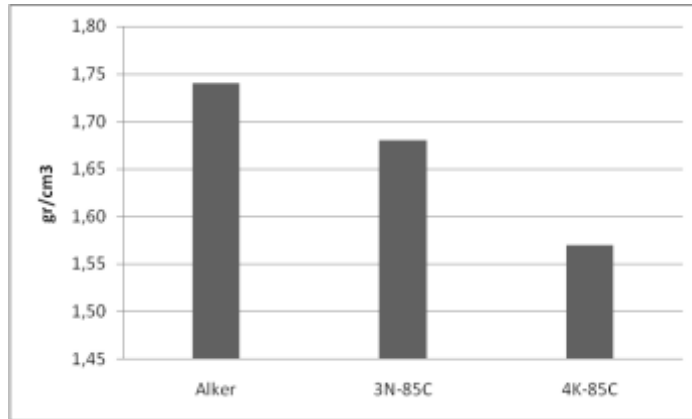
Uygun kireç katkı miktarını belirlemek için hazırlanan numunelerin üzerinde yapılan deneyler ve elde edilen bulgular Çizelge 5.7 :’de verilmiştir.

Çizelge 5.7 : Uygun kireç katkı miktarı ile ilgili deney sonuçları

numune no	Birim hacim kütlesi gr/cm ³	EM kN/mm ²	Basınç dayanımı MPa	Eğilmede çekme dayanımı MPa
ALKER	1.74	3.81	3.8	1.64
3N-85C	1.69	5.88	4.58	1.44
4K-85C	1.59	4.16	4.34	1.51

5.3.4.1 Kireç katkı miktarının kerpicing birim hacim kütlesine etkisi

Kireç katkı miktarının birim hacim kütlesine etkisini ölçmek için, 85 °C de hava ile temas halinde kürlenene küttelece % 2 ve % 4 kireç katkısı içeren 3N-85C ve 4K-85C numuneleri üzerinde ölçüm yapılmıştır. Farklı miktarlarda kireç katkısı içeren 1. grup 3. seri numunelerin birim hacim kütle değerleri karşılaştırmalı olarak Şekil 5.25 :’de, grafikte görülmektedir.

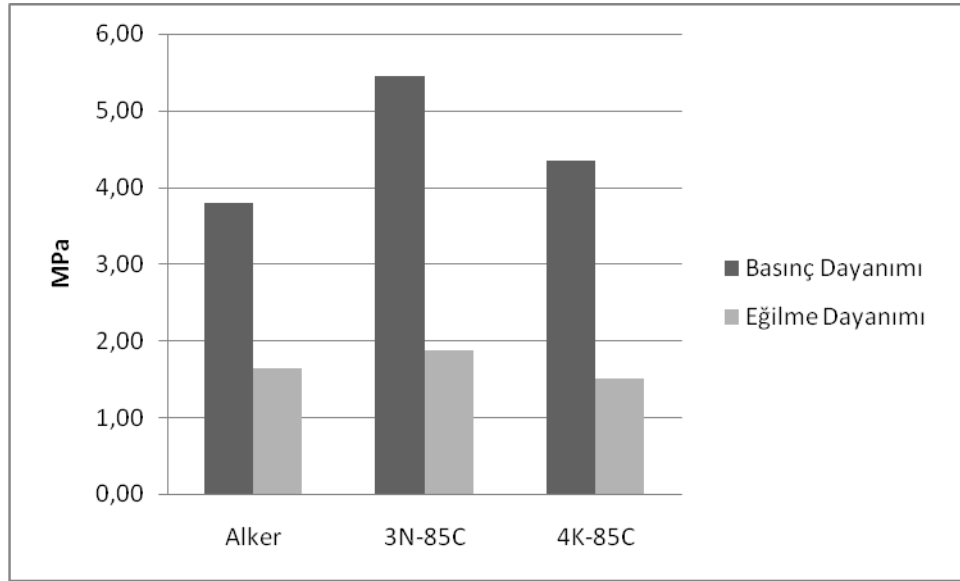


Şekil 5.25 : Kireç katkı miktarının numunelerin birim hacim kütlesine etkisi

Kireç katkı miktarı arttıkça birim hacim kütlesi azalmaktadır. Katkı miktarının % 2’den % 4’e çıkarılması birim hacim kütlesinin yaklaşık % 6 oranında azalmasına yol açmıştır.

5.3.4.2 Kireç katkı miktarının kerpicing mekanik dayanımına etkisi

85°C de hava ile temas halinde kürlenene küttelece % 2 ve % 4 kireç katkısı içeren numunelerden elde edilen basınç ve eğilmede çekme dayanımı değerleri Şekil 5.26 :’da basınç ve eğilmede çekme dayanımı grafiğinde verilmiştir.

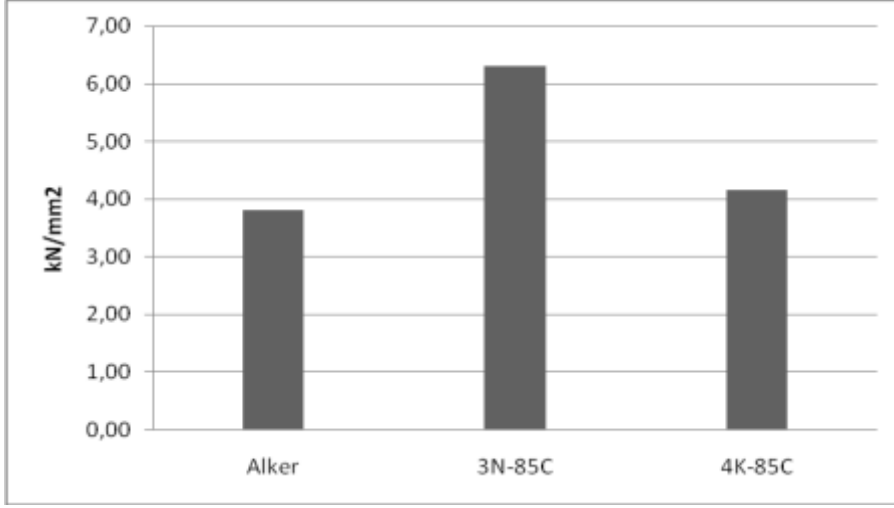


Şekil 5.26 : Kireç katkı miktarının numunelerin mekanik dayanıma etkisi

Kireç katkı miktarındaki % 2 lik artışın basınç dayanımını azalttığı, eğilmede çekme dayanımında ise önemli bir değişiklik yaratmadığı gözlemlenmiştir. Kireç katkı miktarındaki % 2 lik artış basınç dayanımını yaklaşık %5 oranında azaltmıştır. Mekanik dayanım açısından uygun kireç katkı miktarı kütlece % 2 olarak görülmektedir.

5.3.4.3 Kireç katkı miktarının Elastiklik Modülüne etkisi

En yüksek basınç dayanımının elde edildiği sıcaklık ve nem koşullarında farklı miktarlarda kireç katkılı 3N-85C ve 4K-85C numuneleri üzerinde ultra ses ve Elastiklik Modülü hesaplanmıştır. 85°C de hava ile temas halinde kürlenmiş kütlece % 2 ve % 4 oranlarında kireç katkısı içeren numunelerden elde edilen Elastiklik Modülü değerleri Şekil 5.27 :’de verilmiştir. Kireç katkı miktarındaki % 2 lik artış Elastiklik Modülünü % 22 azaltmıştır.



Şekil 5.27 : Kireç katkı miktarının numunelerin Elastiklik Modülüne etkisi

5.3.4.4 Değerlendirme

Bağlayıcı katkısı olarak alçı ve kireç, kimyasal katkı olarak NaOH ile sağlamlaştırılmış topraktan panel duvar üretimi için uygun kireç katkı miktarını belirlemek amacı ile 1. Grup 3. Seri numuneler üzerinde yapılan deneylerden elde edilen bulgular Çizelge 5.7 :’de verilmiştir. Kireç katkı miktarı kütlece % 2’den % 4’ çıkarıldığında birim hacim kütlesi, basınç dayanımı, eğilmede çekme dayanımı ve EM azalmaktadır. Bu nedenle deneyin diğer aşamalarında kullanılacak numunelerde uygun kireç katkı miktarının kütlece % 2 olmasına karar verilmiştir.

5.3.5 Uygun puzolan katkı miktarının belirlenmesi

İlk aşama 2.Grup numuneler üzerinde yapılan deneylerde, bağlayıcı katkısı olarak puzolan ve kireç, kimyasal katkı olarak NaOH katkısı ile sağlamlaştırılmış topraktan kerpiç panel duvar üretilme olanakları araştırılmıştır. 2. Grup 1. Seri numunelerde uygun puzolan katkı miktarını belirlemek için kütlece % 10 ve % 20 puzolan katkısı içeren numuneler hazırlanmıştır. Çizelge 5.4 :’de 2. Grup 1.Seri numunelerinin karışım oranları verilmiştir. Bu seri numuneleri üzerinde yapılan deneyler ve deneylerden elde edilen bulgular Çizelge 5.8 :’de görülmektedir.

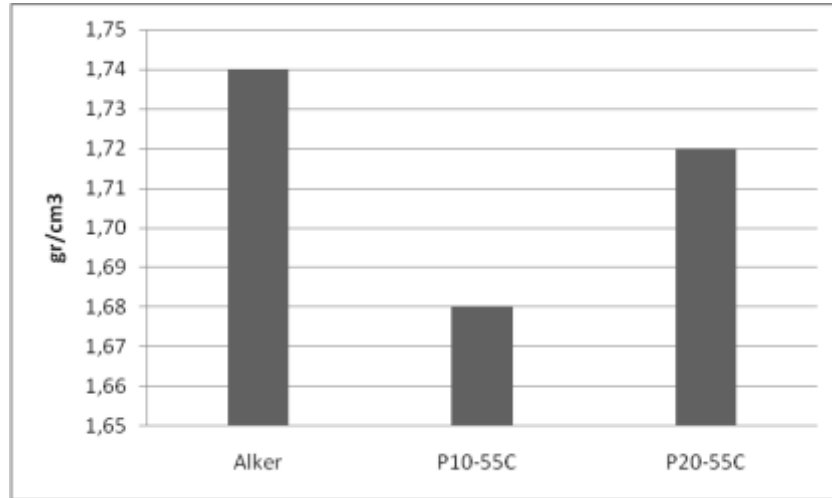
Çizelge 5.8 : Puzolan katkı miktarı ile ilgili deney sonuçları

Numune No	Birim. hacim kütlesi gr/cm ³	Ultra ses geçiş hızı V (km/sn)	Elastiklik Modülü kN/mm ²	Basınç dayanımı MPa	Eğilmede çekme dayanımı MPa
P10-55C	1.77	1.15	2.37	1.7	0.42
P20-55C	1.79	1.3	3.08	2.08	0.59

5.3.5.1 Puzolan katkı miktarının kerpicing birim hacim kütlesine etkisi

Puzolan katkı miktarının birim hacim kütlesine etkisini ölçmek için, numuneler, ilk 3 gün torba içinde 55 °C sıcaklıkta % 95 nemli ortamda, daha sonra 4 gün 55 °C sıcaklıkta torbasız olarak değişmez ağırlığa gelene kadar kürlenmiştir.

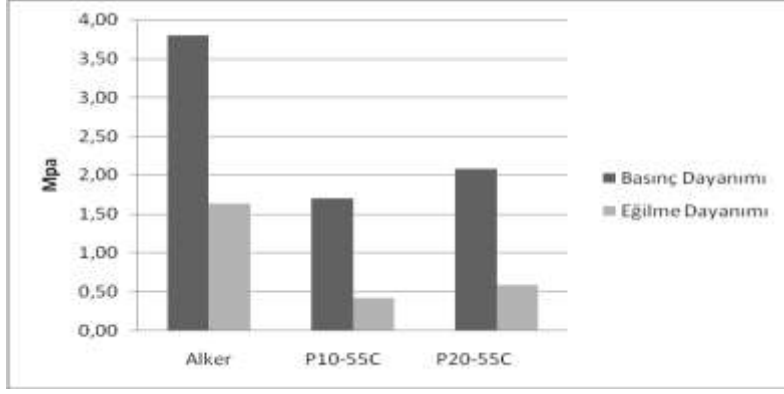
Şekil 5.28 :’de, grafikte görüldüğü üzere puzolan katkı miktarı arttıkça birim hacim kütlesi artmaktadır. Katkı miktarının % 10’dan % 20’ye çıkarılması birim hacim kütlesinin yaklaşık % 1.2 oranında azalmasına yol açmıştır.



Şekil 5.28 : Puzolan katkı miktarının kerpicing birim hacim kütlesine etkisi

5.3.5.2 Puzolan katkı miktarının kerpicing mekanik dayanımına etkisi

Kütlece %10 ve %20 puzolan katkısı içeren numunelerden elde edilen basınç ve eğilmede çekme dayanımı değerleri Şekil 5.29 :’da grafiğinde görülmektedir.

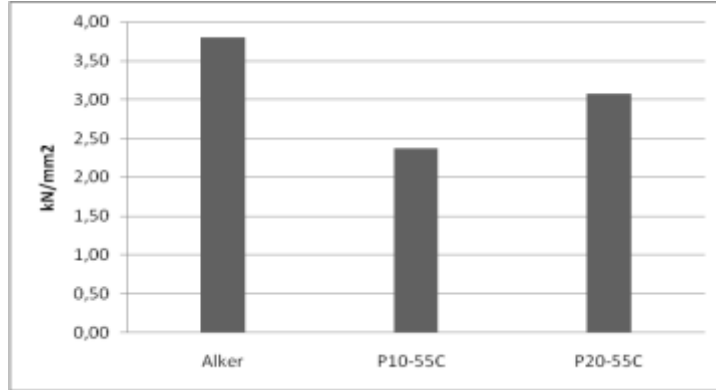


Şekil 5.29 : Pozolan katkı miktarının kerpicin mekanik dayanıma etkisi

Pozolan katkı miktarındaki kütlece %10'luk artışın basınç dayanımında % 22'lik, eğilmede çekme dayanımında ise % 40'luk bir artış sağladığı gözlemlenmiştir. Mekanik dayanım açısından kütlece % 20 pozolan içeren numuneler kütlece % 10 pozolan içeren numunelerden daha yüksek dayanım gösterdiği gözlemlenmiştir.

5.3.5.3 Pozolan katkı miktarının kerpicin Elastiklik Modülüne etkisi

Üçüncü Grup 1. Seri numuneleri üzerinde yapılan deneylerden elde edilen bulgular Şekil 5.30 :’da grafikte verilmiştir. Pozolan katkı miktarındaki % 10'luk artış Elastiklik Modülünü % 26.5 arttırmıştır.



Şekil 5.30 : Pozolan katkı miktarının kerpicin Elastiklik Modülüne etkisi

5.3.5.4 Değerlendirme

2. grup 1. seri numuneler üzerinde yapılan deneylerden elde edilen bulgular Çizelge 5.8 :’ de verilmiştir. Pozolan katkı miktarı arttıkça birim hacim kütlesi artmaktadır. Fakat elde edilen tüm değerler referans numuneden küçüktür. Pozolan katkı

miktarındaki artış mekanik dayanımı arttırsada elde edilen değerler referans numuneden çok düşüktür. Aynı sonuç EM modlü için de geçerlidir.

Deneyin diğer aşamalarında kullanılacak numunelerde uygun puzolan katkı miktarı kütlece %20 olarak belirlenmiştir.

5.3.6 NaOH katkısının puzolan katkılı kerpiç üzerindeki etkisi

Sağlamlaştırılmış topraktan panel duvar üretme olanakları araştırılırken, uygun puzolan katkı miktarına NaOH katkı miktarının etkisini ölçmek için kütlece % 10 ve % 20 puzolan içeren iki farklı seri hazırlanmıştır. Her iki seride de kütlece % 3 NaOH katkılı numuneler üretilerek testlere tabi tutulmuştur. Uygun NaOH katkı miktarını belirlemek için üretilen 2. Grup 2. Seri numunelerin karışım oranları Çizelge 5.4 :’de verilmiştir. Bu seri numuneleri üzerinde yapılan deneylerden elde edilen bulgular Çizelge 5.9 :’da görülmektedir.

Çizelge 5.9 : NaOH katkı miktarı ile ilgili deney sonuçları

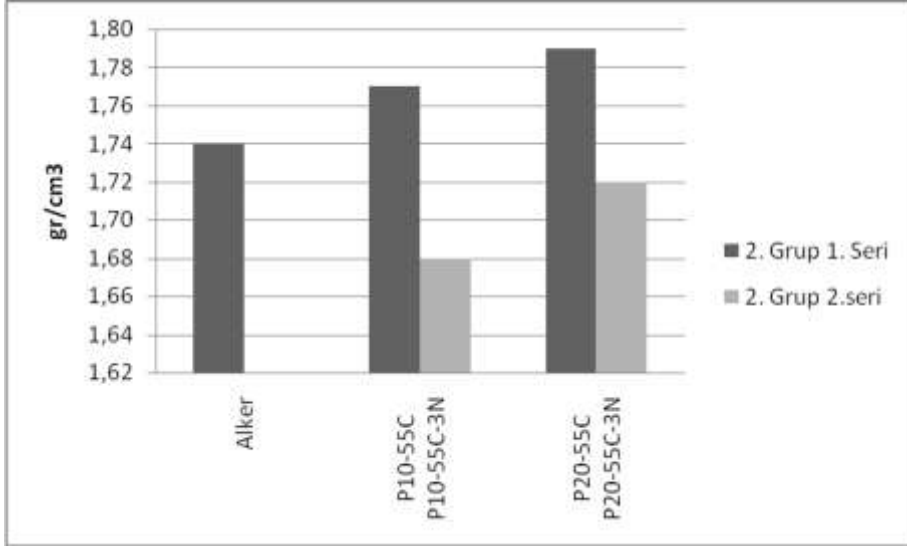
Numune No	B. hacim kütlesi gr/cm ³	Ultra ses geçiş hızı V (km/sn)	Elastiklik Modülü kN/mm ²	Basınç dayanımı MPa	Eğilmede çekme dayanımı MPa
P10-55C	1.77	1.15	2.37	1.7	0.42
P20-55C	1.79	1.3	3.08	2.08	0.59
P10-55C-3N	1.68	1.02	1.76	1.95	0.43
P20-55C-3N	1.72	1.21	1.72	2.41	0.63

5.3.6.1

NaOH katkı miktarının birim hacim kütlesine etkisini ölçmek için, kütlece % 10, ve % 20 puzolan katkısı ve % 2 kireç içeren kerpiç numunelere kütlece % 3 NaOH katkısı eklenmiştir. Numuneler ilk 3 gün torba içinde 55°C sıcaklıkta % 95 nemli ortamda kürlenmiştir. Sonra 4 gün süre ile 55 °C sıcaklıkta torbasız olarak değişmez ağırlığa gelene kadar kürlenene kürlenmeye devam edilmiştir. NaOH katkılı numunelerin birim hacim kütleleri Şekil 5.31 :’de NaOH katkısız numuneler ile birlikte verilmiştir.

% 10 puzolan katkılı numuneye % 3 oranında NaOH eklendiğinde birim hacim kütlesinde % 5 oranında azalma gözlemlenmiştir. % 20 puzolan katkılı numuneye % 3 oranında NaOH katkısı eklendiğinde ise yaklaşık % 4 oranında azalma gözlemlenmiştir. En düşük birim hacim kütlesi P10-55C-3N numunesinde

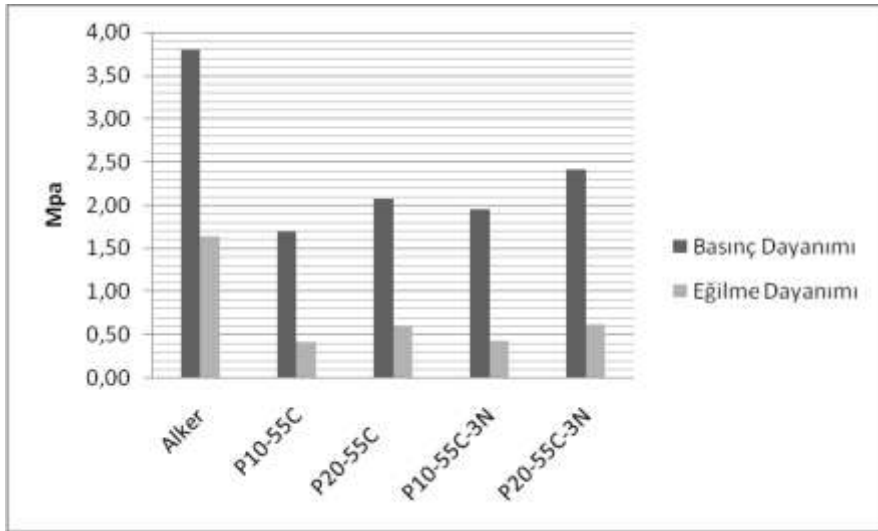
1.68gr/cm³, en yüksek birim hacim kütlesi ise P20-55C numunesinde 1.79gr/cm³ olarak ölçülmüştür.



Şekil 5.31 : NaOH katkısının puzolan katkılı kerpicing birim hacim kütlesine etkisi

5.3.6.2 NaOH katkısının puzolan katkılı kerpicing mekanik dayanımına etkisi

NaOH katkılı numunelerin mekanik dayanım sonuçları Şekil 5.32 :’de NaOH katkısız numuneler ile birlikte verilmiştir.



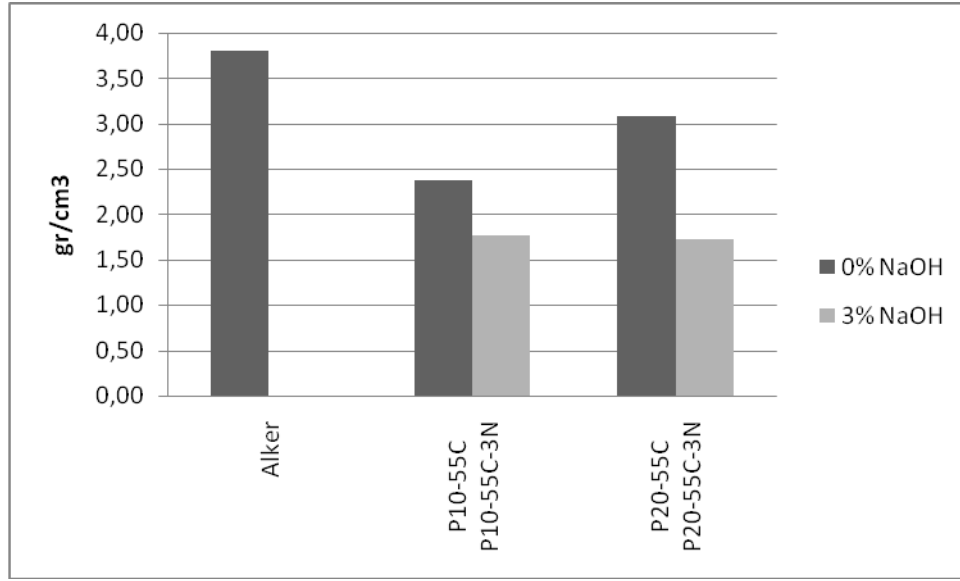
Şekil 5.32 : NaOH katkısının puzolan katkılı kerpicing mekanik dayanıma etkisi

% 3 NaOH katkısı içeren P10-55C-3N numunesinin basınç dayanımı aynı karışım oranlarına sahip fakat NaOH katkısı içermeyen P10-55C numunesinden % 14.7, eğilmede çekme dayanımını ise % 2.4, oranında yüksek ölçülmüştür. % 3 NaOH

katkısı içeren P20-55C-3N numunesinin basınç dayanımı aynı karışım oranlarına sahip fakat NaOH katkısı içermeyen P20-55C numunesinden % 15,8, eğilmede çekme dayanımı ise % 6 oranında yüksek ölçülmüştür. Yapılan deneyler kütlece % 3 oranında NaOH katkısının mekanik dayanımı olumlu yönde etkilediğini göstermiştir.

5.3.6.3 NaOH katkısının puzolan katkılı kerpicing Elastiklik Modülüne etkisi

NaOH katkılı numunelerin mekanik dayanım sonuçları Şekil 5.33 :’de NaOH katkısız numuneler ile birlikte verilmiştir.



Şekil 5.33 : NaOH katkısının puzolan katkılı kerpicing Elastiklik Modülüne etkisi

NaOH katkısı içermeyen P10-55C numunesinin Elastiklik Modülü aynı karışım oranlarına sahip ve NaOH katkısı içeren P10-55C-3N numunesinden % 25 oranında daha yüksek ölçülmüştür. NaOH katkısı içermeyen P20-55C numunesinin Elastiklik Modülü aynı karışım oranlarına sahip ve NaOH katkısı içeren P20-55C-3N numunesinden % 16 oranında daha yüksek ölçülmüştür. Kütlece % 3 oranında eklenen NaOH katkısının, Elastiklik Modülünü düşürdüğü gözlemlenmiştir.

5.3.6.4 Değerlendirme

Farklı miktarlarda puzolan katkısı ve aynı oranda kireç katkısı ile sağlamlaştırılmış toprak üzerinde NaOH katkı miktarının etkisi incelenmiştir. 2. Grup 2. Seri numuneler üzerinde yapılan deneylerden elde edilen bulgular Çizelge 5.9 :’ da verilmiştir. Yapılan deneylerde NaOH katkısının birim hacim kütleini azalttığı, mekanik dayanımı arttırdığı, Elastiklik Modülünü azalttığını ve tokluğu arttırdığı

gözlemlenmiştir. Pozolan katkı miktarını belirlemek için yapılan deneylerde % 20 pozolan katkılı numunenin, % 10 pozolan katkılı numuneye göre deneylerde daha iyi sonuç verdiğini göstermişti. Aynı durumun NaOH katkılı numuneler için de geçerli olduğu gözlemlenmiştir. Yapılan deneylerden elde edilen bulgular değerlendirildiğinde NaOH katkısının olumlu sonuç verdiği ortaya çıkmıştır.

5.3.7 Pozolan katkılı kerpiç için uygun kireç katkı miktarının belirlenmesi

Pozolan ve kireç bağlayıcı katkısı ve NaOH kimyasal katkısı ile sağlamlaştırılmış topraktan panel duvar üretimi için uygun kireç katkı miktarını belirlemek için 2. Grup 3. Seri numuneleri üretilmiştir. Numunelerin karışım oranları Çizelge 5.4 :’de verilmiştir. Uygun kireç katkı miktarını belirlemek için karışıma kütlece % 0 ve % 4 oranlarında kireç eklenmiştir. Çizelge 5.10 :’da 2. Grup 3.Seri numuneleri üzerinde yapılan deneylerden elde edilen bulgular verilmiştir.

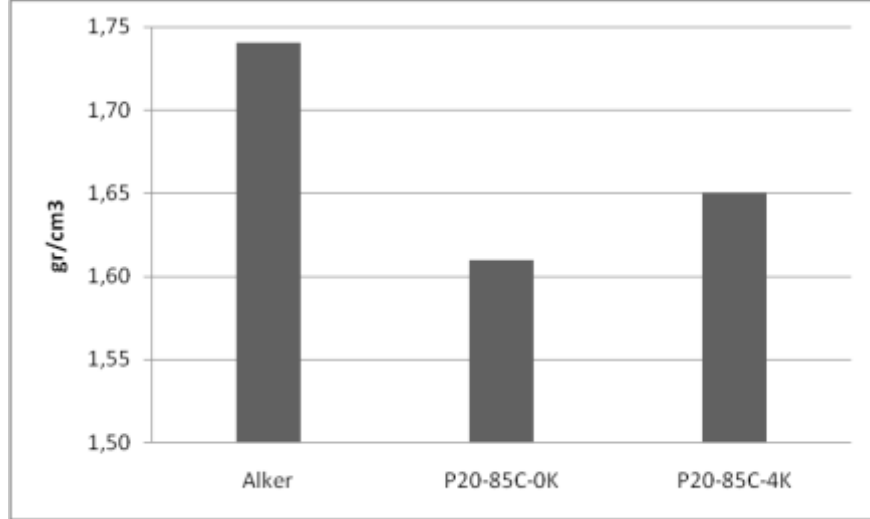
Çizelge 5.10 : Kireç katkı miktarı ile ilgili deney sonuçları

Numune No	B. Hacim kütlesi gr/cm ³	Ultra ses geçiş hızı V (km/sn)	Elastiklik Modülü kN/mm ²	Basınç dayanımı MPa	Eğilmede çekme dayanımı MPa
P20-85C-0K	1,61	1,59	4,14	3,74	1,17
P20-85C-4K	1,65	1,31	2,9	4,73	0,83

5.3.7.1 Kireç katkı miktarının pozolan katkılı kerpiçin birim hacim kütlelerine etkisi

Kireç katkı miktarının birim hacim kütlelerine etkisini ölçmek için, kütlece farklı miktarlarda kireç katkısı içeren P20-85C-0K, P20-55C-3N ve P20-85C-4K numuneleri üzerinde ölçüm yapılmıştır. Sırası ile kütlece kireç katkı miktarları %0, %2 ve %4 olan 2.grup 3.seri numunelerin birim hacim kütle değerleri karşılaştırmalı olarak Şekil 5.38’de, grafikte verilmiştir.

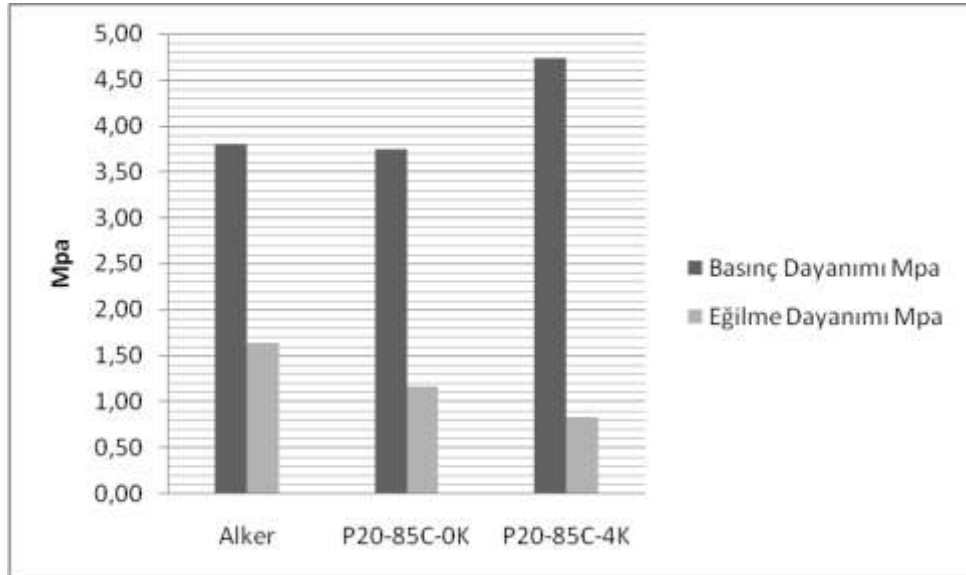
Şekil 5.34 :’ de grafikte görüldüğü gibi 85°C sıcaklıkta kürlenmiş numunelerde birim hacim kütlelerinde azalma gözlemlenmiştir. 85°C sıcaklıkta kireç katkı miktarındaki 4%’lük artış birim hacim kütlelerini 2.5% arttırmıştır. Kireç katkı miktarındaki artışın birim hacim kütleleri arttırdığı gözlemlenmiştir.



Şekil 5.34 : Kireç katkı miktarının puzolan katkılı kerpicing birim hacim kütlelerine etkisi

5.3.7.2 Kireç katkı miktarının puzolan katkılı kerpicing mekanik dayanımına etkisi

Kireç katkı miktarının mekanik dayanıma etkisini ölçmek için, kütlece farklı miktarlarda kireç katkısı içeren P20-85C-0K ve P20-85C-4K numuneleri üzerinde ölçüm yapılmıştır. Sırası ile kütlece kireç katkı miktarları % 0 ve % 4 olan 2.grup 3.seri numunelerin mekanik dayanım değerleri karşılaştırmalı olarak Şekil 5.35 :’de, grafikte verilmiştir.

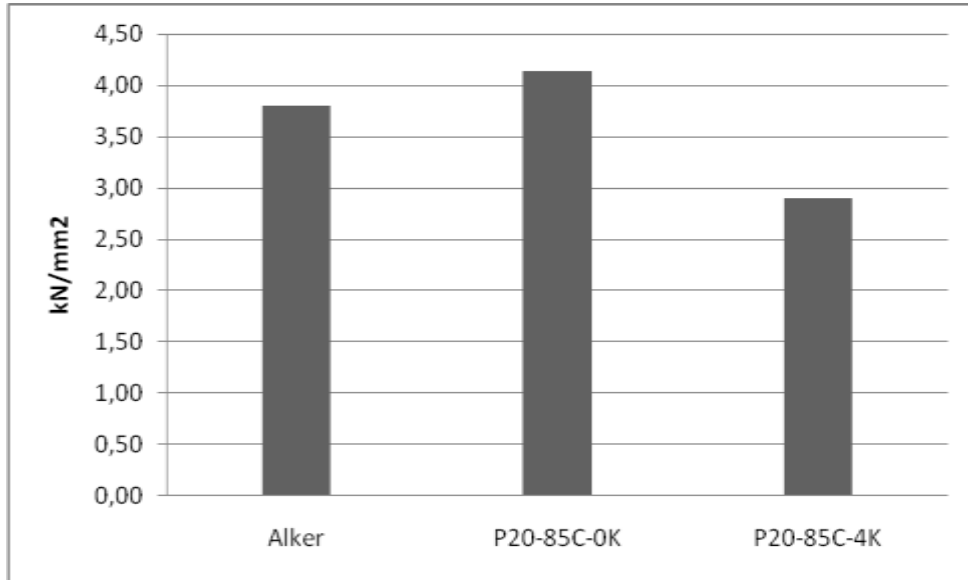


Şekil 5.35 : Kireç katkı miktarının puzolan katkılı kerpicing mekanik dayanımına etkisi

Kireç katkı miktarındaki % 4 lük artış basınç dayanımını % 26 arttırırken, eğilmede çekme dayanımını % 29 oranında azaltmıştır. Kireç katkı miktarındaki artışın basınç dayanımını arttırdığı gözlemlenmiştir.

5.3.7.3 Kireç katkı miktarının puzolan katkılı kerpicing Elastiklik Modülüne etkisi

Kireç katkı miktarının Elastiklik dayanımına etkisini ölçmek için, kütlece farklı miktarlarda kireç katkısı içeren P20-85C-0K ve P20-85C-4K numuneleri üzerinde bölüm 5.2.2.1’de anlatıldığı şekilde ultra ses ve Elastiklik Modülü hesaplanmıştır. 2.grup 3.seri numunelerin Elastiklik Modülü değerleri karşılaştırmalı olarak Şekil 5.36 :’da, grafikte verilmiştir. Kireç katkı miktarındaki % 4 lük artışın Elastiklik Modülünü azalttığı gözlemlenmiştir.



Şekil 5.36 : Kireç katkı miktarının puzolan katkılı kerpicing Elastiklik Modülüne etkisi

5.3.7.4 Değerlendirme

Farklı miktarlarda kireç katkısı içeren P20-85C-0K ve P20-85C-4K numuneleri üzerinde kireç katkı miktarının malzemenin özelliklerine etkisi incelenmiştir. Kireç miktarındaki % 4 oranındaki artış malzemenin birim hacim kütlelerini arttırıp eğilmede çekme dayanımını azaltmaktadır. Fakat malzemenin basınç dayanımında önemli bir artış sağlamaktadır. Buna ek olarak malzemenin Elastiklik Modülünü azaltarak daha sünek bir hale gelmesini sağlamaktadır. Kireç miktarındaki artış

malzemenin tokluğunu da arttırmıştır. Kireç katkısının malzemenin performansına olumlu etki ettiğine karar verilmiştir.

5.4 Toprak Matris Malzemesinin ve Kütleme Koşullarının Belirlenmesi İle İlgili Bulguların Değerlendirilmesi

Bölüm 5.3’de, kerpicein çağdaş yapı sistemlerinde de kullanılabilmesi için kerpiçten panel duvar üretme olanakları deneysel olarak araştırılmıştır. Bu kapsamda, toprak, kimyasal ve bağlayıcı katkısı ile sağlamlaştırılmıştır; uygun bağlayıcı cinsi, uygun bağlayıcı ve kimyasal katkı miktarı ve uygun kütleme koşulları deneysel olarak incelenmiştir.

İlk aşama deneyleri iki ana gruba ayrılmıştır. İlk grup numunelerinde, toprağa bağlayıcı olarak alçı ve kireç katılmıştır. İkinci grup numunelerinde ise bağlayıcı olarak kireç ve puzolan katılmıştır. Her iki grup için kimyasal katkısının etkisini belirlemek amacı ile NaOH katkılı numuneler üretilmiştir.

Bu bölümde ilk aşama deneylerinden elde edilen bulgular değerlendirilerek 2. aşama deneylerde hangi numune üzerinden devam edileceğine karar verilmiştir. İlk aşama deneyleri ve deneylerden elde edilen bulgular Çizelge 5.11 : ve Çizelge 5.12 :’de verilmiştir.

Çizelge 5.11 : İlk aşama 1. Grup deneylerinden elde edilen bulgular

DENEY				Numune No	B. Hacim kütlesi gr/cm ³	Ultra ses geçiş hızı V (km/sn)	Elastisite Modülü kN/mm ²	Basınç dayanımı MPa	Eğilme dayanımı MPa
İLK AŞAMA DENEYLERİ	Grup No	Seri No	REFERANS NUMUNE	Alker	1.74	1.47	3.80	3.80	1.64
	1. GRUP	1	Uygun Kırılma Koşullarını	3N-24C	1.68	1.64	4.61	5.20	1.34
				3N-55C-S	1.67	2.00	11.30	4.62	2.20
				3N-85C	1.68	1.92	6.30	5.45	1.87
				3N-55C-S	1.67	2.00	11.30	4.62	2.20
				3N-55C	1.68	1.68	8.12	3.17	0.86
				3N-55C-95	1.62	1.46	5.69	3.37	1.00
		2	Uygun NaOH Katki Miktarı	2N-85C	1.63	1.66	4,64	3.95	1.36
				3N-85C	1.68	1.92	6.30	5.45	1.87
				4N-85C	1.69	1.85	5.88	4.58	1.44
		3	Uygun Kireç Katki Miktarı	3N-85C	1.68	1.92	6.30	5.45	1.87
				4K-85C	1.57	1.61	4.16	4.34	1.51

Çizelge 5.12 : İlk aşama 2. Grup deney numunelerinden elde edilen bulgular

DENEY				Numune No	B. Hacim kütlesi gr/cm ³	Ultra ses geçiş hızı V (km/sn)	Elastisite Modülü kN/mm ²	Basınç dayanımı MPa	Eğilme dayanımı MPa
İLK AŞAMA DENEYLERİ	Grup No	Seri No	REFERANS	Alker	1.74	1.47	3.80	3.80	1.64
	2. GRUP	1	Uygun Puzolan Katkı Miktarı	P10-55C	1.77	1.15	2.37	1.7	0.42
				P20-55C	1.79	1.3	3.08	2.08	0.59
		2	NaOH Katkısının etkisi	P10-55C-3N	1.68	1.02	1.76	1.95	0.43
				P20-55C-3N	1.72	1.21	1.72	2.41	0.63
		3	Uygun Kireç Katkı Miktarı	P20-85C-0K	1.61	1.59	4.14	3.74	1.17
				P20-85C-4K	1.65	1.31	2.9	4.73	0.83

5.4.1 Birim hacim kütle sonuçları

Katkılı kerpiçten panel duvar üretiminde önemli kriterlerden biri de malzemenin birim hacim kütlesidir. Üretilecek panellerin boyutlandırılmasında birim hacim kütlesi önemli bir faktördür.

İlk aşama numunelerinin birim hacim kütle değerleri 1.57 gr/cm^3 ile 1.79 gr/cm^3 arasında değişmektedir. En yüksek birim hacim kütlesi, karışım oranları kütlege %20 puzolan, %2 kireç ve %30 su olan P20-55C numunesinde ölçülmüştür. En düşük birim hacim kütlesi ise karışım oranları kütlege %10 alçı, %3 NaOH, %4 kireç ve %27 su içeren 4K-85C numunesinde ölçülmüştür. Genel olarak 55°C sıcaklıkta kürlenmiş puzolan katkılı numunelerin birim hacim kütlelerinin görece daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.

5.4.2 Mekanik dayanım sonuçları

Yığma yapılarda kullanılan kerpiç blokların basınç dayanımı TS-2514' e göre 1 N/mm^2 den az olmaması gerekmektedir. Katkılı kerpiçten panel duvar üretiminde malzemenin piyasada ki diğer malzemeler arasında yer alabilmesi için bu değer yeterli değildir. Üretilecek olan panel duvarın basınç dayanımının olabildiğince yüksek olması hedeflenmektedir. Yığma yapılarda malzemenin eğilmede çekme dayanımı çok önemsenmemektedir. Standartlarda yığma yapılarda kullanılan kerpiç blok için herhangi bir eğilmede çekme dayanımı limit değeri verilmemiştir. Ancak katkılı kerpiçten panel duvar üretilmesi durumunda malzemenin eğilmede çekme dayanımı önem kazanmaktadır. Üretilen numunelerin eğilmede çekme dayanımları standart kerpice göre olabildiğince yüksek olması beklenmektedir.

İlk aşama numunelerinin basınç dayanımı değerleri 1.7 N/mm^2 ile 5.45 N/mm^2 arasında değişmektedir. En yüksek basınç dayanımı, karışım oranları kütlege %10 alçı, %3 NaOH, %2 kireç ve %27 su olan 3N-85C numunesinde ölçülmüştür. En düşük basınç dayanımı ise karışım oranları kütlege %10 puzolan, %2 kireç ve %27%, su içeren P10-55C numunesinde ölçülmüştür. Genel olarak puzolan katkılı numunelerin basınç dayanımlarının diğer numunelere göre daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.

İlk aşama numunelerinin eğilmede çekme dayanımı değerleri 0.42 N/mm^2 ile 2.20 N/mm^2 arasında değişmektedir. En yüksek eğilmede çekme dayanımı, karışım

oranları k t lece %10 alçı, %3 NaOH, %2 kireç ve %27 su olan 3N-55C-S numunesinde  l  lm   t r. En d    k e  ilmede çekme dayanımı ise karışım oranları k t lece %10 puzolan, %2 kireç ve %27 su içeren P10-55C numunesinde  l  lm   t r. Genel olarak puzolan katkılı numunelerin e  ilmede çekme dayanımlarının diğer numunelere göre daha d    k olduğu gözlemlenmiştir.

Basınç ve e  ilmede çekme dayanımı değerleri birlikte değerlendirildiğinde en başarılı numune; ilk 1 saat kalıp içinde daha sonra kalıpsız olarak 85 C sıcaklıkta 48 saat süre ile kürlenen 3N-85C numunesi olmuştur.

5.4.3 Elastiklik modülü sonuçları

Çalışmada ses geçiş süresi ölçülerek içyapı hakkında bilgilenmek amaçlanmıştır. Ses geçiş hızından yararlanılarak bölüm 5.2.2.1’de anlatıldığı şekilde malzemelerin kuvvet altında elastik  ekil de i tirmesinin ölçüsü olan Elastiklik modülleri hesaplanmıştır.

 lk aşama numunelerinin Elastiklik Modülü değerleri 1.72 kN/mm² ile 11.30kN/mm² arasında değişmektedir. En yüksek Elastiklik Modülü, karışım oranları aynı olan, biri ilk 1 saat kalıp içinde olmak üzere 55  C’de 4 gün süre ile kürlenen 3N-55C-S ve ilk 1 saat kalıp içinde daha sonra kalıpsız olarak 85 C sıcaklıkta 48 saat süre ile kürlenen 3N-85C numunelerinde  l  lm   t r. En d    k Elastiklik Modülü ise karışım oranları k t lece % 20 puzolan, % 2 kireç, % 3 NaOH ve % 27 su içeren P20-55C-3N numunesinde  l  lm   t r. Genel olarak puzolan katkılı numunelerin Elastiklik Modülü değerlerinin diğer numunelere göre daha d    k olduğu gözlemlenmiştir.

Malzemenin ekonomik olması ve daha az enerji ile üretilmesi göz önüne alınınca daha yüksek sıcaklıkta kürlenmesine rağmen daha kısa sürede değişmez a ırlı a ulaşan 3N-85C numunesi en iyi sonucu veren numune olarak kabul edilmiştir.

5.4.4 Suya karşı d ren  sonuçları

Malzemelerin yüzeyleri su ile temas ettiğinde zamanla emilen su miktarını belirlemek için malzemelere kılcallıkla su emme deneyi yapılmıştır. NaOH katkısı içermeyen numuneler suda da ıldı ı için bu malzemelerde kılcallıkla su emme deneyi yapılamamıştır.  lk aşama numunelerinden 24C-3N, P10-55C-3N ve P20-55C-3N numunelerinde kılcallıkla su emme deneyi yapılmıştır. Kılcallıkla su emme deneyi yapılan numuneler daha sonra 24 saat suda bekletilerek su da da ılmaları

gözlemlenmiştir. Numunelerin su emme katsayı değerleri ise Çizelge 5.13 :’de verilmiştir.

Kılcallıkla su emme deneyine tabi tutulan numuneler daha sonra su dolu kabın içinde 24 saat bekletilerek suda dağılmaları gözlemlenmiştir. Referans numune olarak kabul edilen Alker numunesi suya atılır atılmaz çözünmeye başlamıştır. Suyu bırakıldıktan 12 dakika sonra tamamen çamurlaşmıştır. Şekil 5.37 :’de suya bırakıldıktan 12 dakika sonra numunelerin görüntüsü verilmiştir. 24C-3N numunesi yavaş bir çözünme göstermiştir 24 saatin sonunda sadece yüzeyinde çamurlaşma gözlemlenmiştir. %10 ve %20 oranlarında puzolan katkısı içeren P10-55C-3N ve P20-55C-3N numunelerinde yavaş bir çözünme gözlemlenmiştir. 24 saatin sonunda %20 puzolan katkılı olan P20-55C-3N numunesinde en sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 5.13 : Kılcallıkla su emme katsayısı değerleri

KILCALLIKLA SU EMME KATSAYISI (gr/m²/s^{0.5})			
K = Q/A*√t	24C-3N	P10-55C-3N	P20-55C-3N
9dk	0.08	0.09	0.06
16dk	0.08	0.09	0.06
25dk	0.08	0.09	0.06
36dk	0.07	0.09	0.06
49dk	0.07	0.10	0.06
1saat 04dk	0.07	0.09	0.06
1saat 21dk	0.07	0.09	0.06
1saat 40dk	0.07	0.10	0.06
2saat 01dk	0.07	0.09	0.06
2 saat 24dk	0.07	0.10	0.06
2saat 49dk	0.07	0.09	0.06
ORTALAMA	0.07	0.09	0.06

Zamana bağlı olarak kılcallıkla en yavaş su emen numune P20-55C-3N numunesidir. Suda dağılma deneyinde en olumlu sonuç yine P20-55C-3N numunesinde gözlemlenmiştir. Tüm numunelerin geneli için NaOH katkısının su dayanımını arttırdığı gözlemlenmiştir. Deneylerin devamında NaOH katkılı numuneler üzerinden devam edilmesinin uygun olacağına karar verilmiştir.



Şekil 5.37 : 12 dk. suda bekleyen numuneler

5.4.5 Genel sonuç

Kerpiç panel duvar üretilme olanaklarının araştırıldığı bu çalışmada ilk aşama deneyleri matris için uygun karışım oranları ve kürlenme koşullarını belirlemek için yapılmıştır. İlk aşama deneylerinden elde edilen sonuçlar birim hacim kütle, mekanik dayanım, Elastiklik modülü, tokluk ve su dayanımı açısından teker teker değerlendirilmiştir. Birim hacim kütle değerlendirmesinde puzolan katkılı numunelerin birim hacim kütlelerinin diğer numunelere oranla daha yüksek çıktığı, bu nedenle alçı katkılı numunelerin bu değerlendirme de daha avantajlı olduğu gözlemlenmiştir. Mekanik dayanım deneylerinde de puzolan katkılı numuneler beklenen performansın altında değerler sergilemiştir. En yüksek basınç dayanımı 3N-85C numunesinden, en yüksek eğilmede çekme dayanımı ise 3N-55CS numunesinden elde edilmiştir. Her iki numunenin de karışım oranları aynı sadece kürlenme koşulları farklıdır. Elastiklik Modülü, ve üretim enerjisi (üretim sıcaklığı) açısından değerlendirildiğinde ise en başarılı numunenin 3N-85C numunesi olduğu gözlemlenmiştir. Kılcallıkla su emme ve suda dağılma deneylerinde NaOH katkılı numunelerin suya daha dayanıklı oldukarı tesbit edilmiştir.

Bütün bu veriler ışığında ikinci aşama deneylerine karışım oranları, kütlece %10 alçı, % 3 NaOH, % 2 kireç (Alker + % 3 NaOH) ve % 27 su olan ve 85 °C etüv sıcaklığında kalıpsız olarak 48 saat kürlenlen 3N-85C numunesi üzerinden devam edilmesine karar verilmiştir.

5.5 Lif Katkısının Kerpicing Özellikleri Üzerindeki Etkisinin Belirlenmesi ile İlgili Deneyler ve Bulgular

Bu bölümde, kerpicing çağdaş yapım sistemlerinde de kullanılabilmesi için lif katkılı kerpiçten panel duvar üretme olanakları deneysel olarak araştırılmıştır. Bu kapsamda ilk aşama deneylerinde belirlenen karışım oranları ve kürleme koşullarına uygun olarak ikinci aşama deneylerinde kullanılacak matris hazırlanmıştır. Hazırlanan matris karışımına farklı miktarlarda ve boylarda lif katkısı eklenerek uygun lif boyu ve katkı miktarı belirlenmiştir.

İkinci aşama deneylerinde kullanılacak olan lif katkısının cinsi, boyu ve miktarı bölüm 4’de Lif Katkılı Kerpiç ile ilgili yapılan literatür araştırmasının değerlendirmesinde belirtilen gerekçelere dayanılarak belirlenmiştir.

Çizelge 5.14 : Lif katkılı kerpiç numunelerin karışım oranları ve lif boyları

				Kütlece Karışım Oranları (%)					
İKİNCİ AŞAMA DENEYLERİ	Grup No	Seri No	Numune No	TOPRAK	ALÇI	KİREÇ	PP LİF	LİF BOYU	NaOH
	1. GRUP	1	0.1L-6	100	10	2	0		3
		2	0.1L-9				0.1	6	
		3	0.1L-12					9	
								12	
	2. GRUP	1	0.5L-6	100	10	2	0.5	6	3
		2	0.5L-9					9	
		3	0.5L-12					12	
	3. GRUP	1	1L-6	100	10	2	1	6	3
		2	1L-9					9	
		3	1L-12					12	

İkinci aşama deneylerinde iki ana değişken bulunmaktadır; lif boyu, lif katkı miktarı. Numuneler kütlece polipropilen lif katkı miktarına bağlı olarak 3 gruba ayrılmıştır. Her grup kendi içinde lif boyuna bağlı olarak 3 seriye ayrılmıştır. Polipropilen lif katkı miktarı kütlece % 0.1, % 0.5 ve % 1 olarak belirlenmiştir. Lif boyları 6mm, 9mm ve 12mm arasında değişmektedir. Çizelge 5.14 :’de ikinci aşama deneylerinde kullanılan numunelerin karışım oranları ve lif boyları verilmiştir. Bütün seriler birim

hacim kütlesi, mekanik dayanım, ultra ses geçiş hızı ve Elastiklik Modülü, kılcal su emme, hacimce su emme deneylerine tabi tutulmuştur.

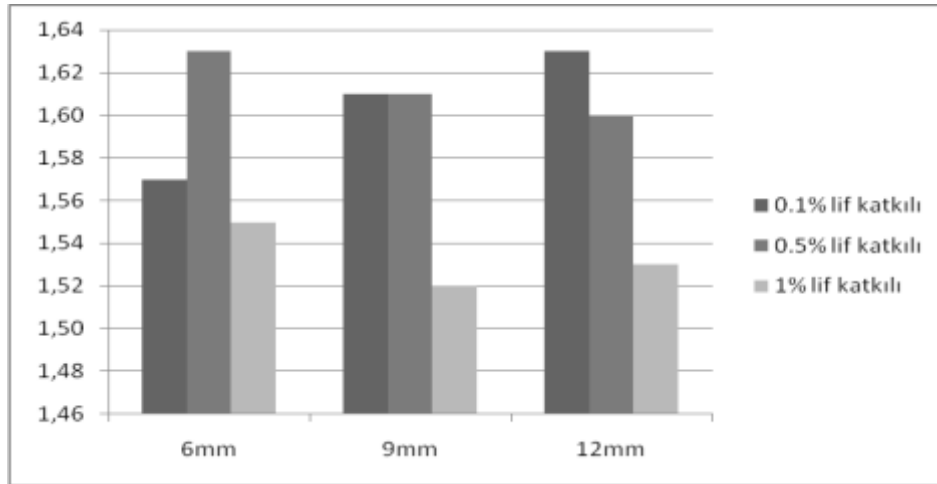
5.5.1 Deneyde kullanılan malzemeler

Lif katkılı numunelerin hazırlanması sırasında, matris malzemesi olan 3N-85C kodlu numune harcı Çizelge 5.14 :’de belirtilen oranlarda toprak, kireç, alçı ve lif katkısı ile önden kuru olarak homojen bir hal alana kadar karıştırılmıştır. Karışımlar mekanik olarak karıştırıcı kullanılarak hazırlanmıştır. Daha sonra kuru karışıma önce NaOH çözeltisi daha sonra geri kalan karma suyu eklenerek yaklaşık 5 dakika süre ile karıştırıldıktan sonra karışım kalıplara yerleştirilmiştir.

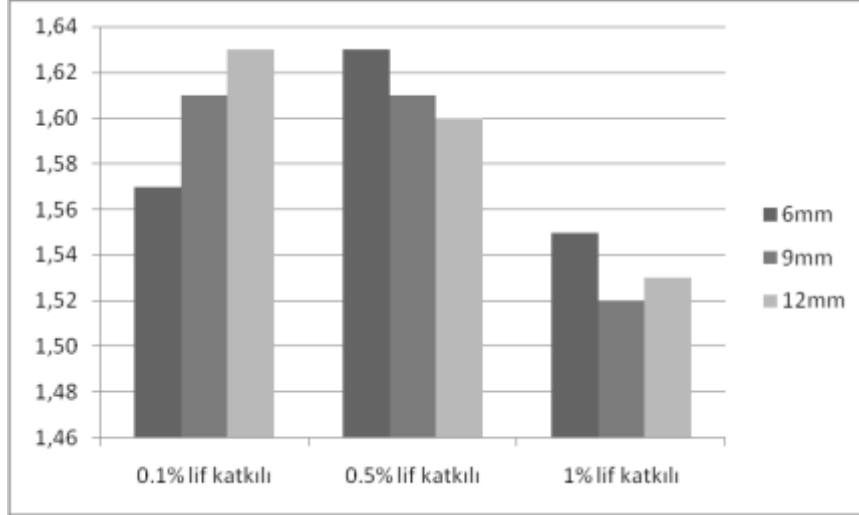
Bütün numuneler ilk aşama deneylerinde belirlenen uygun kütleme koşullarına göre, 85°C sıcaklıkta 48 saat süre ile kürlenmiştir.

5.5.2 Lif katkısının kerpicing birim hacim kütlesine etkisi

Üretilen panellerin boyutlandırılmasında birim hacim kütlesi önemli bir faktördür. İkinci aşama deneylerinden elde edilen birim hacim kütlesi değerleri Şekil 5.38 : ve Şekil 5.39 :’da lif katkı miktarı ve lif boyuna bağlı olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.38 : Lif katkı miktarına göre birim hacim kütlesi



Şekil 5.39 : Lif boyuna göre birim hacim kütlesi

Elde edilen bulgular ışığında;

En düşük (% 0.1) lif katkı oranında lif boyunun artmasıyla birim-hacim kütlenin gittikçe arttığı;

-daha yüksek lif katkı oranında (% 0.5 ve % 1) lif boyunun artmasıyla birim hacim kütlenin az da olsa düşme eğiliminde olduğu;

- en yüksek lif katkısı oranında, birim hacim kütlenin, genellikle en düşük olduğunu;

- % 0.5 lif katkı oranında ve tüm lif boylarında genellikle en yüksek birim hacim kütle değerleri elde edilirken, % 1 katkı oranında, tüm lif boylarında genellikle en düşük birim-hacim kütle değerleri elde ettiği, görülmektedir.

5.5.3 Lif katkısının mekanik dayanıma etkisi

Yığma yapılarda kullanılan kerpiç blok veya dökme yapılarda kerpiçten beklenen basınç dayanımının TS-2514' e göre 1N/mm² den az olmaması gerekmektedir. Bu değer çok katlı yapılarda kullanılan mevcut dolgu duvar malzemelerinin sahip olduğu değerlerin çok altındadır. Üretilecek olan lif katkılı kerpiç panel duvarın basınç dayanımının olabildiğince yüksek olması hedeflenmektedir. Yığma yapılarda malzemenin eğilmede çekme dayanımı çok önemsenmemektedir. Standartlarda yığma yapılarda kullanılan kerpiç blok için herhangi bir eğilmede çekme dayanımı limit değeri verilmemiştir. Ancak kerpiçten panel duvar üretilmesi durumunda malzemenin gevrekliği ve eğilmede çekme dayanımı önem kazanmaktadır. Numuneler değerlendirilirken sadece en yüksek mekanik dayanım değerlerine

bakılmamış, aynı zamanda kuvvet altında nasıl bir davranış sergilediği de incelenmiştir. Üretilen malzemelerden gerek deprem durumunda gerekse darbe aldığı anda enerjiyi bünyesinde soğurabilmesi ve kuvvet altında malzeme bütünlüğünü koruyabilmesi beklenmektedir.

İkinci aşama numuneleri iki farklı değişken içermektedir. Farklı oranlarda ve farklı boylarda lif katkısı içeren numuneler test edilmiştir. Değerlendirme hem lif katkı oranına bakılarak hem de lif boyuna bakılarak ayrı yapılmıştır. Çizelge 5.15 :’de ikinci aşama numunelerinin mekanik dayanım değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.15 : Lif katkılı kerpiç numunelerin mekanik dayanım değerleri

İKİNCİ AŞAMA DENEYLERİ

Grup No	Seri No	Numune No	Basınç dayanımı MPa*	Basınç dayanımı MPa**	Eğilmede çekme dayanımı MPa	***48 saat suda bekletildikten sonra	
						Basınç dayanımı MPa	Eğilmede çekme dayanımı MPa
		3N-85C	5.45		1.87		
%1 lif katkılı	6mm	0.1L-6	3.77	4.50	1.37	2.38	0.19
	9mm	0.1L-9	4.62	4.62	1.49	3.24	0.39
	12mm	0.1L-12	4.00	4.31	1.99	3.00	0.47
0.5% lif katkılı	1	0.5L-6	5.00	5.07	1.76	3.02	0.34
	2	0.5L-9	4.56	4.56	1.93	2.95	0.57
	3	0.5L-12	4.52	4.55	1.66	3.14	0.65
%1 lif katkılı	1	1L-6	3.60	4.05	1.56	3.07	1.03
	2	1L-9	3.19	6.36	1.72	2.53	0.69
	3	1L-12	2.96	5.61	1.45	2,45	0.78
* numunelerin ezilmeden taşıdığı en yüksek basınç dayanımı							
** numunelerin ezilirken taşıdığı en yüksek basınç dayanımı							
*** 48 saat suda bekletildikten sonra numunelerin mekanik dayanımı							

Lif katkı miktarına bağlı olarak numunelerin ezilmeden taşıdığı en yüksek basınç dayanımın değerleri ile ezilme anında taşıdığı en yüksek basınç dayanımı değerleri Çizelge 5.15 :’de bir arada verilmiştir. Elde edilen değerlerin çoğu referans numuneden elde edilen değer altında gözükmemektedir. Fakat lif katkısı içermeyen referans numune gevrek bir yapıya sahip olduğu için ilk çatlama anından itibaren dağılmaya başlamakta ve grafikte verilen en yüksek basınç dayanımına ulaştığında tamamen dağılmaktadır. Basınç dayanımı deneyinden sonra 3N-85C Şekil 5.40 :’da

görülmektedir. Lif katkılı numuneler daha plastik bir yapı sergilemektedir. Yük altında kırılıp dağılmak yerine ezilmektedir. Deney sırasında lif katkılı hiç bir numunede dağılıp parçalanma gözlemlenmemiştir. Kerpiçten panel duvar üretme çalışmalarında önemli bir hedef olan malzemenin gevrek yapısının daha sünek bir hale getirilmesi, lif katkısı ile sağlanmıştır.



Şekil 5.40 : Basınç dayanımı deneyinden sonra 3N-85C numunesi

Lif katkısının lif boyuna ve miktarına bağlı olarak malzemenin yük altındaki davranışı Şekil 5.41 :-5.49’da yer alan numune resimlerinde görülmektedir. Lif katkılı numunelerde yüzey çatlakları ve ezilme gözlemlenmesine rağmen kopma ya da dağılma olmadığı resimlerde de görülmektedir



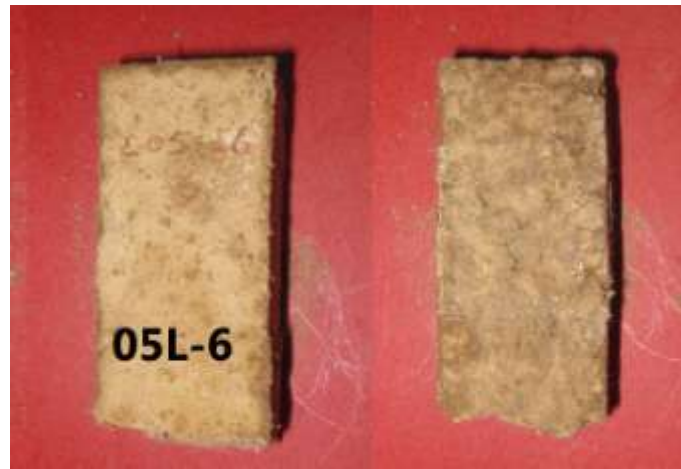
Şekil 5.41 : Kütlece %1 oranında 6mm uzunluğunda lif katkısı içeren 01L-6 numunesi



Şekil 5.42 : Kütlece %1 oranında 9mm uzunluğunda lif katkısı içeren 01L-9 numunesi



Şekil 5.43 : Kütlece %1 oranında 12mm uzunluğunda lif katkısı içeren 01L-12 numunesi



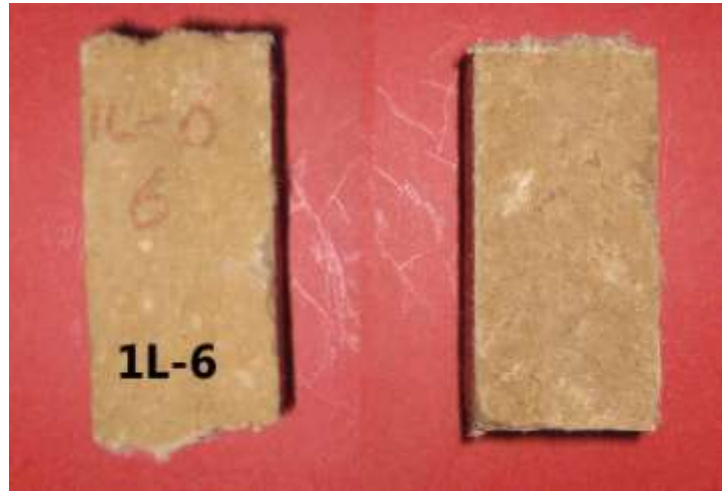
Şekil 5.44 : Kütlece 0.5% oranında 6mm uzunluğunda lif katkısı içeren 05L-6 numunesi



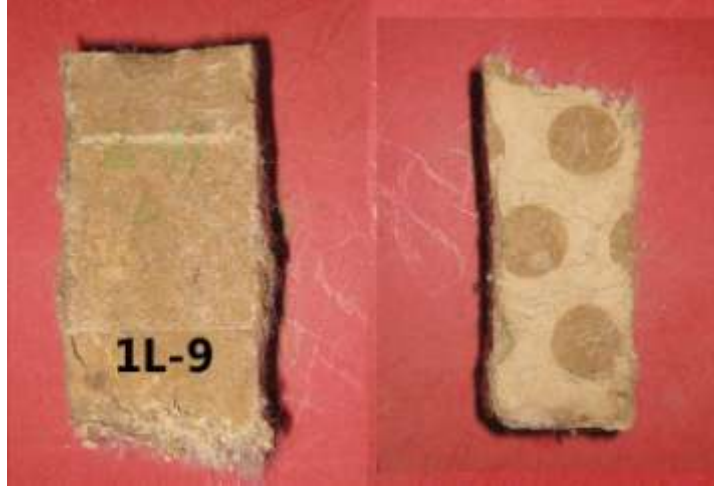
Şekil 5.45 : Kütlece 0.5% oranında 9mm uzunluğunda lif katkısı içeren 05L-9 numunesi



Şekil 5.46 : Kütlece 0.5% oranında 12mm uzunluğunda lif katkısı içeren 05L-12 numunesi



Şekil 5.47 : Kütlece %1 oranında 6mm uzunluğunda lif katkısı içeren 01L-6 numunesi



Şekil 5.48 : Kütlece %1 oranında 9mm uzunluğunda lif katkısı içeren 01L-9 numunesi

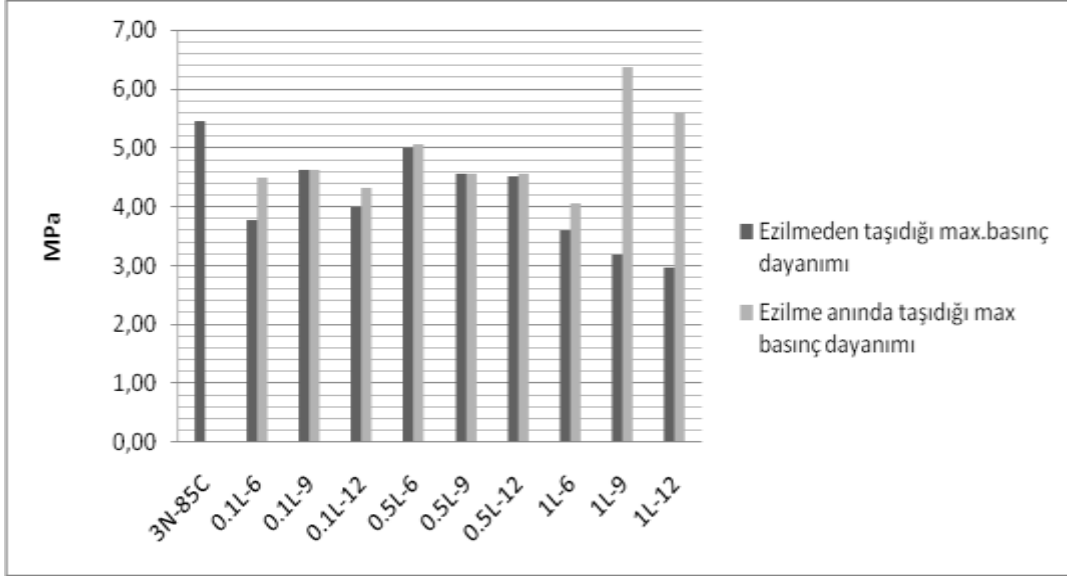


Şekil 5.49 : Kütlece %1 oranında 12mm uzunluğunda lif katkısı içeren 01L-12 numunesi

İkinci aşama numunelerinin ilk ezilmenin başladığı anda taşıdığı yük ile ezilme anında taşıdığı yük, lif katkı miktarı ve boyuna göre değişiklik göstermektedir. Bazı numunelerin ezilirken yük alma kapasitelerinin arttığı gözlemlenmiştir.

Lif Katkısının Kerpicin Basınç Dayanımı Üzerindeki Etkisi

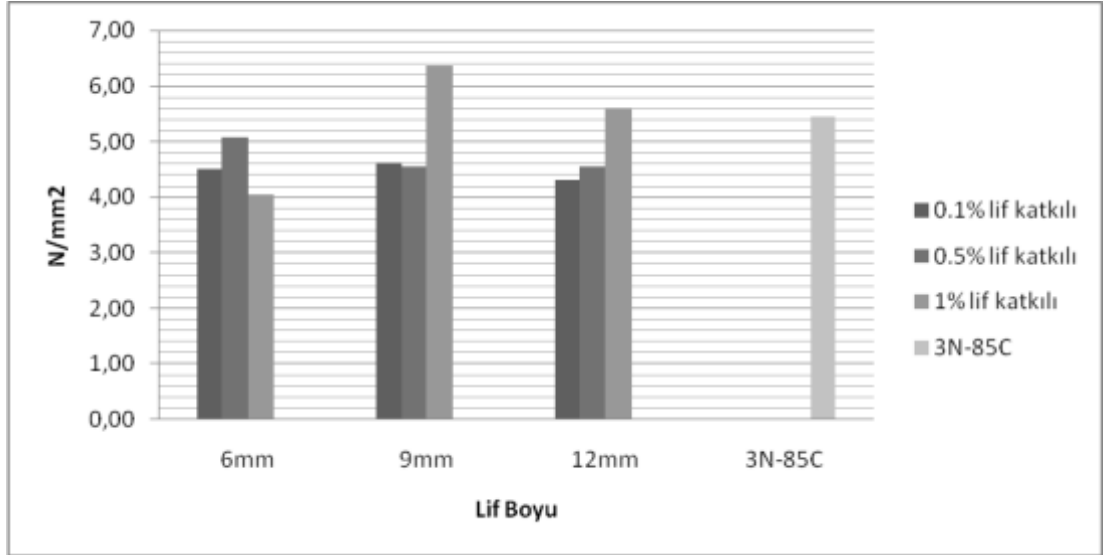
Numunelerden elde edilen basınç dayanımı değerleri $2.96 - 6.36 \text{ N/mm}^2$ arasında değişmektedir. Şekil 5.50 :’de grafikte görüldüğü üzere ilk ezilme anına kadar olan basınç dayanımı değerleri ile ezilme anındaki basınç dayanımı değerleri bir birinden farklıdır. Bütün numunelerin ezilirken yük almaya devam ettiği hatta birçok numunenin ezilme anında basınç dayanımı değerlerinde artış olduğu görülmüştür.



Şekil 5.50 : Lif katkılı kerpiç numunelerin ezilmeden ve ezilirkenki basınç dayanımı

Basınç altında en az yükleme ile ezilmeye başlayan % 1 oranında lif katkısı içeren numuneler en yüksek basınç dayanımına sahip olan numunelerdir. Bu numunelerde ezilme süresince dayanımın ilk ezilme anına oranla; lif boyuna bağlı olarak 6mm uzunluğunda lif içerenlerde % 12.5, 9mm uzunluğunda lif içerenlerde % 99.3 ve 12mm unluğunda lif içerenlerde % 89.5 oranında arttığı gözlemlenmiştir.

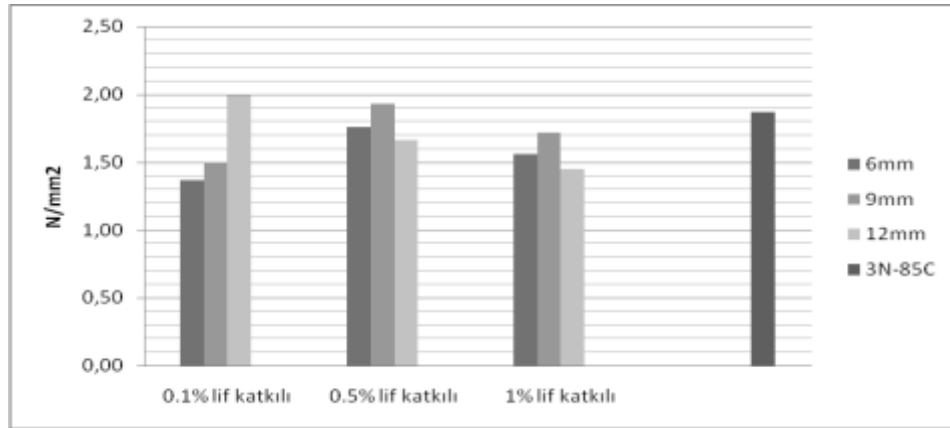
Aynı miktarda farklı boyda lif içeren numunelerde lif boyuna bağlı olarak elde edilen basınç dayanımı değerleri Şekil 5.51 :’de verilmiştir. % 0.1 ve % 1 oranında lif katkısı içeren numunelerde lif boyu 6 mm.’den 9 mm.’ye çıkarıldığında basınç dayanımı artarken, 9 mm.’den 12 mm.’ye çıkarıldığında basınç dayanımının azaldığı gözlemlenmiştir. % 0.5 oranında lif katkısı içeren numunelerde lif boyundaki artışa bağlı olarak basınç dayanımında azalma gözlemlenmiştir. Lif katkı miktarı ve boyu arasında tutarlı bir bağ kurulamamıştır. Lif katkı miktarı değiştikçe uygun lif boyu da değişmektedir. % 0.1 ve % 1 oranında lif içeren numuneler için uygun lif boyu 6mm olarak belirlenmiştir. % 0.5 oranında lif içeren numuneler içinse uygun lif boyu 9mm olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.51 : Lif boyuna bağlı olarak lif katkıli kerpiç numunelerin basınç dayanımı

Lif Katkısının Kerpicing Eğilmede Çekme Dayanımı Üzerindeki Etkisi

İkinci aşama numunelerin eğilmede çekme dayanımı değerleri Çizelge 5.15 :’de görülmektedir. Numunelerin lif katkı miktarına bağlı eğilmede çekme dayanımı grafiği Şekil 5.52 :’de verilmiştir.



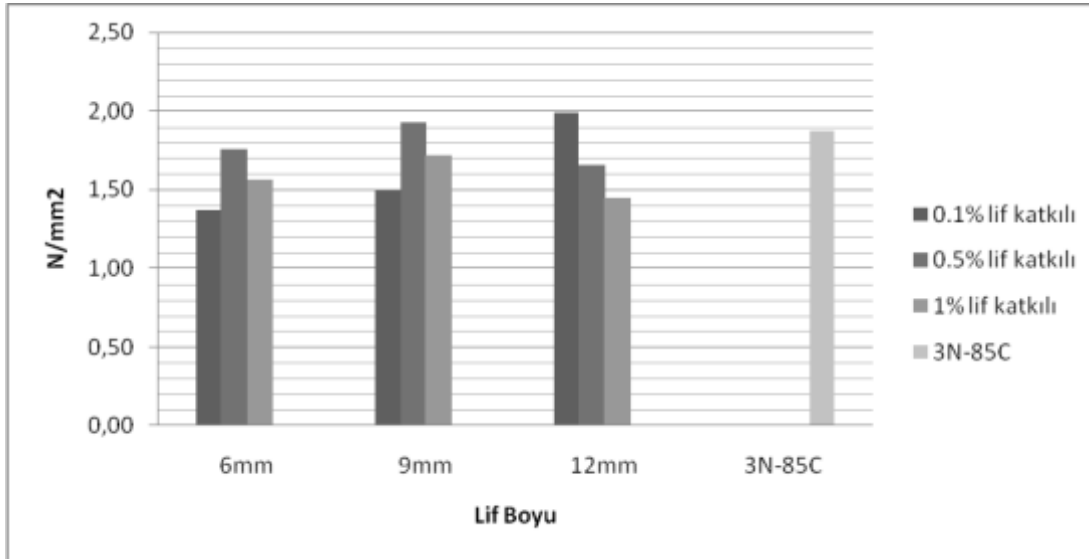
Şekil 5.52 : Lif katkı miktarına göre lif katkıli kerpiç numunelerin eğilmede çekme dayanımı

İkinci aşama numunelerinin eğilmede çekme dayanımı değerleri 1.37-1.99 N/mm² arasında değişmektedir. En yüksek eğilmede çekme dayanımı % 1 oranında 12mm uzunluğunda lif katkısı içeren numunede, 1.99 N/mm² olarak ölçülmüştür. En düşük değer ise %1 oranında 6mm uzunlukta lif katkısı içeren numuneden elde edilmiştir.

% 1 oranında lif katkısı içeren numunelerde lif boyu 6mm'den 9 mm.'ye çıkarıldığında eğilmede çekme dayanımında % 28 artış gözlemlenirken, lif boyunun 12 mm.'ye çıkarılması eğilmede çekme dayanımında % 34 oranında artış gözlemlenmiştir. Lif boyundaki artış ile doğru orantılı olarak eğilmede çekme dayanımının arttığı gözlemlenmiştir.

Lif katkı miktarının % 0.5 olduğu numunelerde lif boyu 6 mm den 9 mm'ye çıkarıldığında, eğilmede çekme dayanımında % 44 artış sağlarken, lif boyunun 12 mm'ye çıkarılması eğilmede çekme dayanımında % 49 oranında azalmasına yol açmıştır.

Lif katkısı % 0.5 ve % 1 olan numuneler de lif boyuna bağlı olarak benzer davranış sergilemişlerdir. Üretilen numuneler arasında sadece % 1 oranında 12 mm uzunluğunda lif katkısı içeren ve 0.5% oranında 9mm uzunluğunda lif katkısı içeren numunelerin eğilmede çekme dayanımı değerleri referans numuneden yüksek ölçülmüştür.



Şekil 5.53 : Lif boyuna göre lif katkılı kerpiç numunelerin eğilmede çekme dayanımı

Şekil 5.53 :’de 2. aşama numunelerinin lif boyuna göre eğilmede çekme dayanımı grafiği verilmiştir. Lif boyuna bağlı olarak eğilmede çekme dayanımları incelendiğinde 6mm ve 9mm uzunluğunda lif katkısı içeren numunelerde eğilmede çekme dayanımı açısından uygun lif katkı miktarının % 0.5 olduğu belirlenmiştir. Lif boyu 12mm olan numunelerde katkı miktarı ile lif eğilmede çekme dayanımı arasında doğrusal bir ilişki olduğu gözlemlenmiştir. Lif katkı miktarı arttıkça

numunelerin eğilmede çekme dayanımları azalmaktadır. Lif boyu 12 mm olan numuneler için eğilmede çekme dayanımları incelendiğinde uygun katkı miktarı % 1 olarak belirlenmiştir.

İkinci aşama numunelerinin mekanik dayanımlarının lif boyuna ve katkı miktarına bağlı olarak değerlendirilmesi;

-Lif katkı boyuna göre basınç dayanımları değerlendirildiğinde % 1 oranında lif katkısı içeren numuneler en iyi sonucu vermiştir. Lif katkı miktarındaki artışın basınç dayanımını arttırdığı gözlemlenmiştir.

-Basınç dayanımı lif boyuna göre incelendiğinde lif boyu 9 mm olan numunelerde en yüksek basınç dayanımı ölçülmüştür. Lif boyu ile basınç dayanımı arasında doğrusal bir ilişki kurulamamıştır. Belli bir boydan daha uzun veya kısa olduğunda lif katkısız numuneye göre daha düşük basınç dayanımı göstermektedir.

-Eğilmede çekme dayanımı açısından incelendiğinde lif katkı oranı % 0.5 olan numunelerde en yüksek eğilmede çekme dayanımı ölçülmüştür. Diğer tüm numuneler lif katkısız numunenin eğilmede çekme dayanımının altında kalmıştır. Lif katkısı malzemenin eğilme dayanımını beklenildiği kadar olumlu etkilememiştir.

-Eğilmede çekme dayanımları lif boyu açısından değerlendirildiğinde % 0.1 oranında katkı içeren seri hariç diğer iki seride en iyi değerler 9 mm uzunluğunda lif katkısı içeren numunelerden elde edilmiştir. % 0.1 oranında lif katkısı içeren seri de ise lif boyu ile eğilmede çekme dayanımı arasında doğrusal bir ilişki vardır.

-Lif katkısı malzemenin eğilme ve basınç kuvvetleri altında dağılmasını önlemiştir. Katkısız numuneler kuvvet altında parçalanırken lif katkılı numuneler deforme olsalar da bütünlüklerini kurmuşlardır

Mekanik deney sonuçları değerlendirildiğinde eğilmede çekme ve basınç dayanımı açısından en iyi performans sergileyen numunenin % 1 oranında ve 9 mm uzunluğunda lif katkısı içeren 1L-9 numunesi olduğuna karar verilmiştir.

5.5.3.1 48 saat suda bekletmenin lif katkılı kerpicin mekanik dayanımı üzerindeki etkisi

48 saat suda bekletilen numuneler kurutulduktan sonra mekanik dayanımları incelenmiştir. Suyun malzemenin mekanik dayanımını nasıl etkilediği gözlemlenmiştir. 48 saat suda bekletildikten sonra eğilmede çekme ve basınç dayanımı deneylerine tabi tutulan numunelerin resimleri Şekil 5.54 : - 5.62 arasında verilmiştir.

Resimlerden de görüldüğü üzere suda bekletildikten sonra kurutulan numunelerin renklerinde açılma gözlemlenmiştir. NaOH katkısının yüzeyde oluşturduğu ince sır tabakasının suda çözünmüş olmasının bu renk değişikliğine yol açtığı var sayılmaktadır.

Sudan çıkarıldıktan sonra basınç ve eğilmede çekme deneylerine tabi tutulan numunelerden elde edilen değerler, suda bekletilmeyen numunelerden alınan değerlerle karşılaştırmalı olarak Çizelge 5.16 :’da verilmiştir. Suda bekleyen tüm numunelerin mekanik dayanımlarında azalma gözlemlenmiştir. Suda bekletilen numunelerin basınç değerleri, ilk çatlamanın gözlemlendiği andaki değerleridir. Basınç dayanımındaki azalma hesaplanırken tüm numunelerin ezilmeden taşıdıkları en yüksek yük temel alınmıştır.

Suda bekletilen numunelerde daha gevrek bir yapı gözlemlenmiştir. Suda geçen 48 saat numunelerdeki lif katkısı ile matris arasındaki aderansın azalmasına yol açmıştır. Bu numuneler arasında basınç dayanımında en fazla azalma % 0.5 oranında lif katkısı içeren numunelerde ölçülmüştür. Lif katkı miktarı %1 olan numunelerde basınç dayanımı diğerlerine göre en az azalmıştır. Eğilmede çekme dayanımındaki azalmanın lif katkı miktarı ile doğru orantılıdır. Lif katkı miktarı arttıkça, eğilmede çekme dayanımındaki düşüş de azalmıştır. Şekil 5.63 :’de suda bekletilen numunelerde lif katkı miktarına bağlı olarak mekanik dayanımında gözlemlenen düşüş % cinsinden görülmektedir.



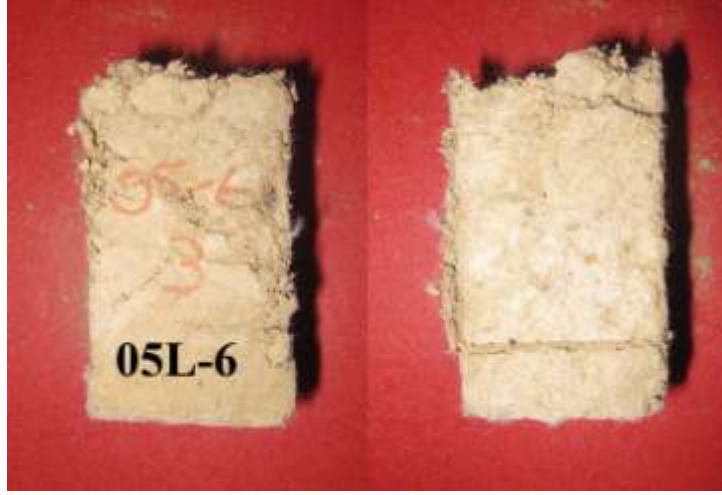
Şekil 5.54 : 48 saat suda bekletildikten sonra 01L-6 numunesi



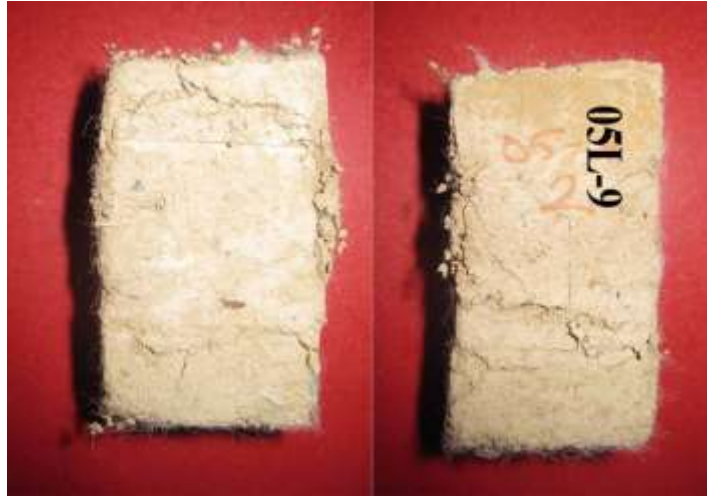
Şekil 5.55 : 48 saat suda bekletildikten sonra 01L-9 numunesi



Şekil 5.56 : 48 saat suda bekletildikten sonra 01L-12 numunesi



Şekil 5.57 : 48 saat suda bekletildikten sonra 05L-6 numunesi



Şekil 5.58 : 48 saat suda bekletildikten sonra 05L-9 numunesi



Şekil 5.59 : 48 saat suda bekletildikten sonra 05L-12 numunesi



Şekil 5.60 : 48 saat suda bekletildikten sonra 1L-6 numunesi



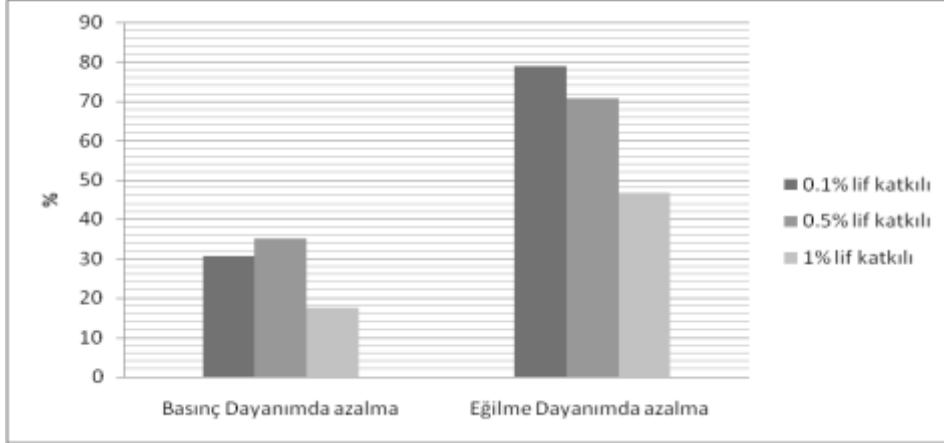
Şekil 5.61 : 48 saat suda bekletildikten sonra 1L-9 numunesi



Şekil 5.62 : 48 saat suda bekletildikten sonra 1L-12 numunesi

Suda bekleyen numunelerin mekanik davranışlarındaki değişim lif boyuna bağlı olarak da değerlendirilmiştir. Şekil 5.70’de görüldüğü üzere lif boyundaki artış ile

basınç dayanımındaki azalma arasında doğrudan bir ilişki vardır. Lif boyundaki artış basınç dayanımını olumlu etkilemektedir. Eğilmede çekme dayanımında ise en iyi sonuçlar 12mm uzunluğunda lif katkısı içeren numunelerden elde edilirken en düşük eğilmede çekme dayanımı değerleri 9mm uzunluğunda lif katkısı içeren numunelerden elde edilmiştir.



Şekil 5.63 : Suda bekletilen lif katkılı kerpiç numunlerin mekanik dayanımında gözlemlenen azalma

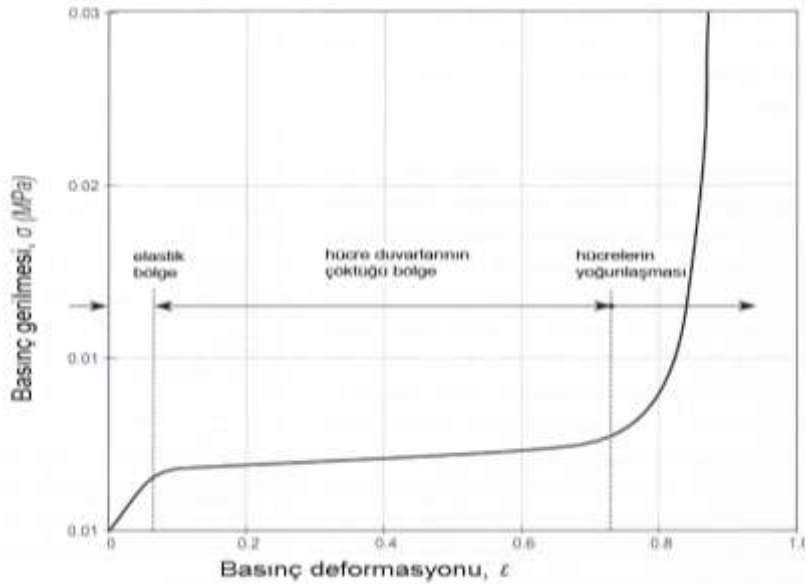
48 saat suda bekletilen tüm numunelerin mekanik dayanımında azalma gözlemlenmiştir. Hem basınç hem de eğilmede çekme dayanımında en az azalma %1 oranında lif katkısı içeren numunelerde ölçülmüştür. Lif boyu açısından değerlendirildiğinde ise 12 mm uzunluğunda lif katkısı içeren numunelerin dayanımında daha az düşme gözlemlenmiştir. Lif boyu ve miktarı malzemenin suya dağılma süresini doğrudan etkilemektedir.

Çizelge 5.16 : 48 saat suda bekleyen lif katkılı kerpiç numunelerin mekanik dayanımları

İKİNCİ AŞAMA DENEYLERİ	Grup No	Seri No	Numune No	Basınç dayanımı MPa*	Basınç dayanımı MPa**	Eğilmede çekme dayanımı MPa	***48 saat suda bekledikten sonra			
							Basınç dayanımı MPa	Eğilmede çekme dayanımı MPa	Basınç dayanımında azalma (%)	Eğilmede çekme dayanımında azalma (%)
			3N-85C	5.45		1.87				
	%1 lif katkılı	6mm	0.1L-6	3.77	4.50	1.37	2.38	0.19	36.87	86.13
		9mm	0.1L-9	4.62	4.62	1.49	3.24	0.39	29.87	73.83
		12mm	0.1L-12	4.00	4.31	1.99	3.00	0.47	25.00	76.38
	0.5% lif katkılı	6mm	0.5L-6	5.00	5.07	1.76	3.02	0.34	39.60	80.68
		9mm	0.5L-9	4.56		1.93	2.95	0.57	35.31	70.47
		12mm	0.5L-12	4.52	4.05	1.66	3.14	0.65	30.53	60.84
	%1 lif katkılı	6mm	1L-6	3.60	4.05	1.56	3.07	1.03	14.72	33.97
		9mm	1L-9	3.19	6.36	1.72	2.53	0.69	20.69	59.88
		12mm	1L-12	2.96	5.61	1.45	2.45	0.78	17.23	46.21
* numunelerin ezilemeden taşıdığı en yüksek basınç dayanımı										
** numunelerin ezilirken taşıdığı en yüksek basınç dayanımı										

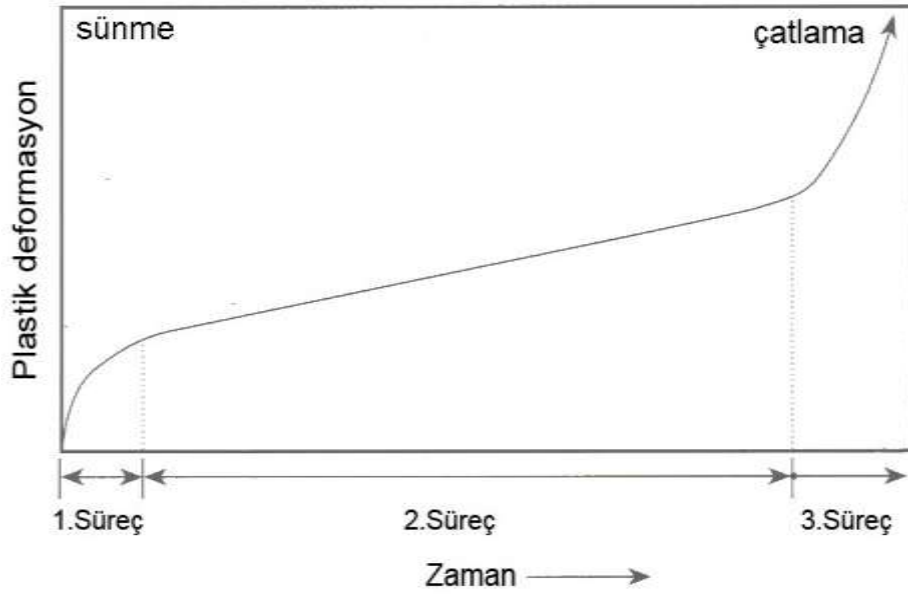
5.5.3.2 Lif katkılı kerpiç numunelerin yük altındaki davranışı

Şekil 5.64 :’de deney numunelerinin davranışını açıklayabilmek amacı ile, basınç altında üç aşamalı davranış gösteren malzemeler için basınç gerilmesi altında deformasyon grafiği verilmiştir. Grafikte 1. Bölge hücre duvarının sıkıştığı, ancak tam olarak deforma olmadığı kısa elastik bölgedir. 2. Bölgeyi hücre duvarlarının sıkışmaya başladığı (deformasyon) bölgesidir. 3. Bölge ise hücre duvarlarının çöktüğü ve içindeki havanın tamamıyla boşaldığı bölgedir. Grafiğe göre deformasyon; yavaş bir şekilde başlar, sürekli ve eşit şekilde artarak devam eder (2. bölge), bu arada malzeme sertleşir ve en sonunda üzerine gelen yük yeterli derecede büyük ise malzeme kırılır [42].



Şekil 5.64 : Basınç gerilmesi altında şekil değiştirme [42]

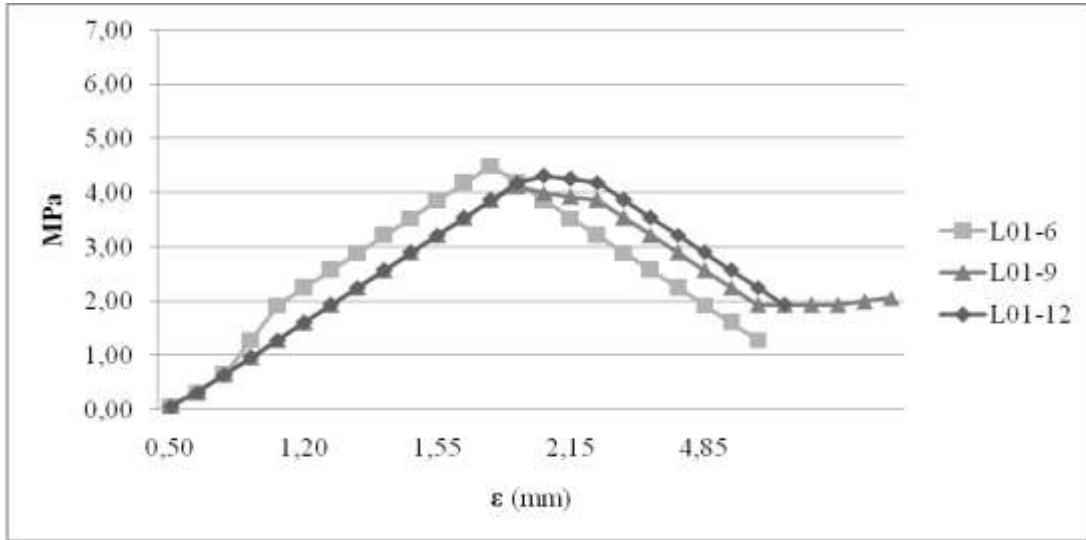
Şekil 5.65 :’de plastik deformasyon özelliği gösteren malzemelerin zamana bağlı deformasyon grafiği verilmiştir. Malzeme cinsine ve yükleme biçimine bağlı olarak, malzemenin aldığı gerilme ve deformasyon, geçen zaman ve kırılma olasılığı değişir [42].



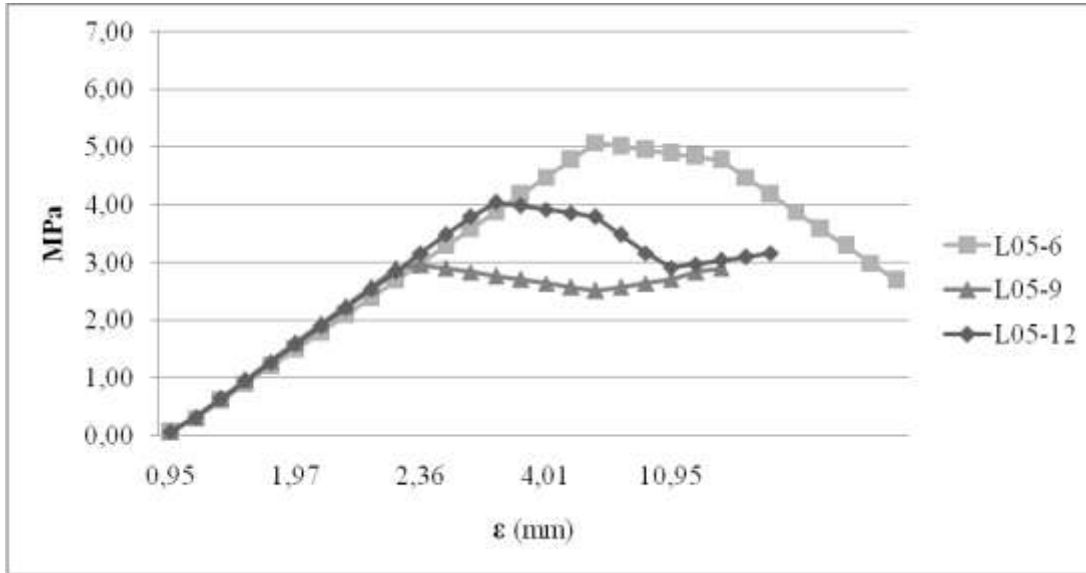
Şekil 5.65 : Zamana bağlı plastik deformasyon [42]

Şekil 5.66 :’de % 0.1 oranında lif katkısı içeren numunelerin, Şekil 5.67 :’de ise % 0.5 oranında lif katkısı içeren numunelerin basınç gerilmesi altında şekil değiştirmesi görülmektedir. Her iki serinin de yük altında davranışı aynıdır. Belli bir yükleme noktasına kadar yük artışı ile şekil değiştirme doğru orantılıdır. Daha sonrasında yük taşıma kapasitesi giderek azalmakta ve deformasyon devam etmektedir. Bu bölgedeki deformasyon kalıcıdır. Her iki seride de 9 mm uzunluğunda lif katkısı içeren numunelerde, diğerlerinden farklı olarak bir miktar ezildikten sonra tekrar yük almaya başlamıştır. Malzeme çökme sırasında sıkışmaya başlar. Böylece malzeme yeniden sertleşmeye ve yük almaya başlar. Yeteri kadar yükleme yapıldığında malzeme kırılır. Malzemeler plastik deformasyon özelliği göstermiştir.

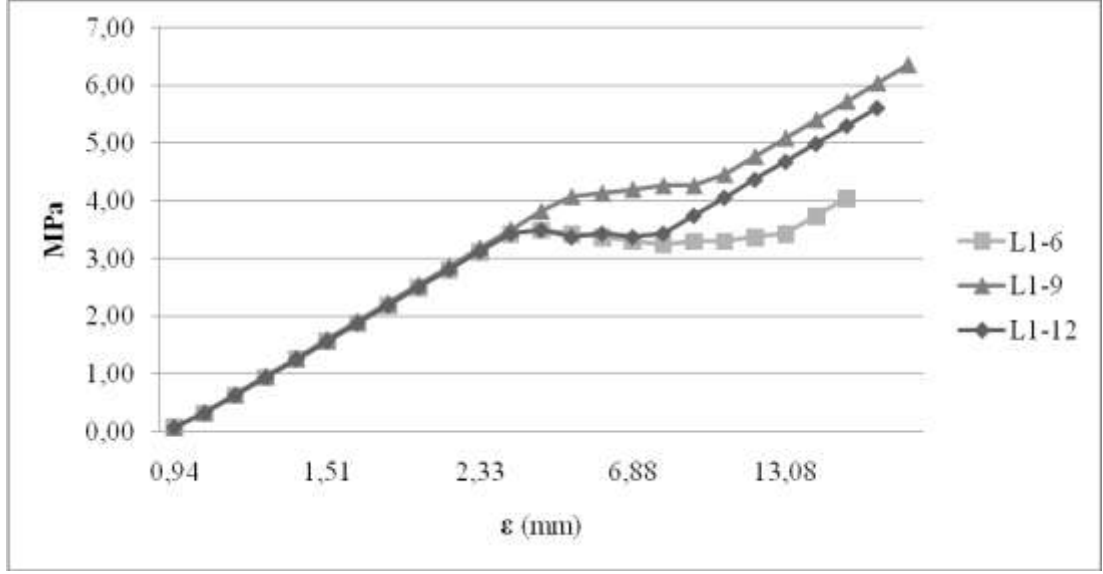
Şekil 5.68 :’de % 1 oranında lif katkısı içeren numunelerde basınç gerilmesi altında şekil değiştirme grafiği verilmiştir. % 1 oranında lif içeren numuneler de diğerleri gibi en yüksek yük taşıma kapasitesine ezilmeye başladıktan sonra ulaşmıştır. Bu serideki numunelerin davranışı Şekil 5.64 :’de örnek olarak verilen grafik ile benzer davranış sergilemektedir. Lif boyundan bağımsız olarak % 1 oranında lif içeren tüm numunelerde, kısa elastik bölgede şekil değiştirmeye bağlı olarak yük taşıma kapasitesinde lineer bir artış vardır İkinci bölgede ise deformasyon artarak devam etmiştir. Hücre duvarlarının çöktüğü, içindeki havanın boşaldığı 3. Bölge de ise malzeme sıkışarak yeniden sertleşmeye ve yük almaya başlamıştır.



Şekil 5.66 : % 0.1 oranında lif katkısı içeren numunelerde şekil değiştirme



Şekil 5.67 : 0.5% oranında lif katkısı içeren numunelerde şekil değiştirme



Şekil 5.68 : % 1 oranında lif katkısı içeren numunelerde şekil değiştirme

Tüm numuneler Şekil 5.65 :’de örnek grafikte gösterildiği gibi plastik deformasyon özelliği sergilemişlerdir. Lif katkı miktarı % 0.1 ve % 0.5 olan numunelerde yük ile şekil değiştirme arasında lineer bir ilişki gözlemlenmiştir. En yüksek yük taşıma kapasitesine ulaşan numunelerin yük taşıma kapasitesinde şekil değiştirmeye bağlı olarak lineer bir düşüş gözlemlenmiştir. % 1 oranında lif katkısı içeren tüm numuneler ve 0.1L-9 ve 0.5L-12 numunelerinde, belli bir boy değiştirmeden sonra, tekrar yük almaya başladıkları gözlemlenmiştir.

Tokluk; malzemenin birim hacmi başına düşen plastik şekil değiştirme enerjisi olarak tanımlanır ve malzemenin kırılincaya kadar enerji depolama veya soğurma yeteneğini gösterir. Tokluk, genellikle kuvvet-şekil değiştirme eğrisinin altında kalan alanın hesaplanması ile bulunur. Grafikler üzerinden numunelerin tıkluk değerleri incelendiğinde en yüksek tokluk değerine sahip numunenin 1L-9 numunesi olduğu görülmektedir.

Yük altındaki davranışı ve mekanik dayanımı göz önüne alındığında 1L-9 numunesi kerpiçten panel duvar üretimi için en uygun numune olarak görünmektedir.

5.5.4 Lif karkılı kerpicin suya karşı direnci

Malzemelerin yüzeyleri su ile temas ettiğinde zamanla emilen su miktarını belirlemek için malzemelere kılcallıkla su emme deneyi yapılmıştır. 2. Aşama

numunelerinin kılcallıkla su emme katsayısı 1.52 ile 1.77 arasında değişmektedir. Numunelerin kılcallıkla su emme katsayıları Çizelge 5.17 :’de görülmektedir.

% 1 oranında 9 mm ve 12 mm boyunda lif içeren numunelerde kılcallıkla su emme katsayısı bir birine çok yakın çıkmıştır. 6mm uzunluğunda lif içeren numunenin kılcallıkla su emme kapasitesinin yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Kütlece % 0.5 oranında lif katkısı içeren numunelerde kılcallıkla su emme katsayısı lif boyu ile doğru orantılı olarak artmaktadır.

Kütlece %1 oranında lif katkısı içeren numunelerde kılcallıkla su emme katsayısı değerleri 1L-6 > 1L-12 > 1L-9 şeklindedir.

Çizelge 5.17 : 48 saat suda bekletilen lif katkılı kerpiçten elde edilen bulgular

İKİNCİ AŞAMA DENEYLERİ	Grup No	Seri No	Numune No	*48 saat suda bekledikten sonra		Kılcal su emme katsayısı	Yüzey erozyonu (%) **
				Basınç dayanımı MPa	Eğilmede çekme dayanımı MPa		
			3N-85C				
	%1 lif katkılı						
		6mm	0.1L-6	2.38	0.19	1.69	2.06
		9mm	0.1L-9	3.24	0.39	1.54	2.36
		12mm	0.1L-12	3.00	0.47	1.55	1.90
	0.5% lif katkılı	6mm	0.5L-6	3.02	0.34	1.52	1.22
		9mm	0.5L-9	2.95	0.57	1.57	1.38
		12mm	0.5L-12	3.14	0.65	1.75	1.70
	%1 lif katkılı	6mm	1L-6	3.07	1.03	1.52	3.85
		9mm	1L-9	2.53	0.69	1.77	3.60
		12mm	1L-12	2.45	0.78	1.67	4.00
* 48 saat suda bekletildikten sonra numunelerin mekanik dayanımı							
** 48 saat suda bekletildikten sonra numunelerin yüzeylerinde gözlemlenen erozyon							

Kılcallıkla su emme deneyi uygulanan numuneler daha sonra 48 saat su dolu kabın içine batırılarak bekletilmiştir. Malzemelerin suya doygun ağırlıkları ve su içindeki yüzey erozyonu değerleri incelenmiştir Çizelge 5.17 :’de numunelerin su dayanımı değerleri ve suda bekledikleri süre boyunca meydana gelen yüzey erozyonu yüzde cinsinden verilmiştir. Suda bekletilen numunelerin hem eğilmede çekme dayanımlarında hem de basınç dayanımlarında % 75 ile % 39 arasında azalma ölçülmüştür. Eğilmede çekme dayanımındaki azalma basınç dayanımına oranla daha

fazladır. Lif katkı miktarına bağılı olarak değerlendirildiğinde en az dayanım kaybı (ortalama % 53) lif katkı miktarı % 1 olan numunelerde gözlemlenmiştir. Lif katkı miktarındaki artış, malzemenin suda çözünerek dayanımını kaybetmesini azaltırken, malzemenin bünyesine daha fazla su almasına yol açmaktadır.

5.6 Değerlendirme

Çizelge 5.18 :’de ikinci aşama numunelerinden elde edilen tüm bulgular bir arada verilmiştir.

Lif katkısının kerpiç malzemenin özellikleri üzerindeki etkisinin araştırıldığı numuneler arasında en düşük birim hacim kütlesi kütlece %1 oranında, 9mm uzunluğunda lif katkısı içeren 1L-9 nolu numunesinde ölçülmüştür. Numunelerin Basınç dayanımı, eğilmede çekme dayanımı, Elastisite Modülü ve tokluk değerleri incelendiğinde en iyi sonuçları veren numunenin 1L-9 olduğuna görölmüştür. Kılcallıkla su emme katsayısı ve yüzey erozyon oranının yüksek olmasına rağmen bünyesine su aldığında en az dayanım kaybeden numunelerden biridir.

Kerpiçten panel duvar üretilme olanaklarının araştırıldığı bu çalışmada, 1L-9 nolu numunenin kerpiç panel duvar olarak kullanılabileceği deneysel olarak ortaya konmuştur.

Çizelge 5.18 : Lif katkılı kerpiç numunelerinden elde edilen bulgular

İKİNCİ AŞAMA DENEYLERİ	Grup No	Seri No	Numune No	B. Hacim kütlesi gr/cm ³	Ultra ses geçiş hızı V (km/sn)	Elastiklik Modülü kN/mm ²	*Basınç dayanımı MPa	**Basınç dayanımı MPa	*Eğilmede çekme dayanımı MPa	***48 saat suda bekledikten sonra		Kılcal su emme katsayısı	Yüzey erozyonu (%) ****
										Basınç dayanımı MPa	Eğilmede çekme dayanımı MPa		
			3N-85C	1.68	1.92	6.30	5.45		1.87				
	%1 lif katkılı	6mm	0.1L-6	1.57	1.67	4.49	3.77	4.50	1.37	2.38	0.19	1.69	2.06
		9mm	0.1L-9	1.61	1.70	4.75	4.62	4.62	1.49	3.24	0.39	1.54	2.36
		12mm	0.1L-12	1.63	1.73	4.99	4.00	4.31	1.99	3.00	0.47	1.55	1.90
	0.5% lif katkılı	6mm	0.5L-6	1.63	1.72	4.99	5.00	5.07	1.76	3.02	0.34	1.52	1.22
		9mm	0.5L-9	1.61	1.72	4.87	4.56	4.56	1.93	2.95	0.57	1.57	1.38
		12mm	0.5L-12	1.60	1.66	4.52	4.52	4.55	1.66	3.14	0.65	1.75	1.70
	%1 lif katkılı	6mm	1L-6	1.55	1.43	3.22	3.60	4.05	1.56	3.07	1.03	1.52	3.85
		9mm	1L-9	1.52	1.40	3.03	3.19	6.36	1.72	2.53	0.69	1.77	3.60
		12mm	1L-12	1.53	1.38	2.98	2.96	5.61	1.45	2.45	0.78	1.67	4.00
* numunelerin ezilemeden taşıdığı en yüksek basınç dayanımı													
** numunelerin ezilirken taşıdığı en yüksek basınç dayanımı													
*** 48 saat suda bekletildikten sonra numunelerin mekanik dayanımı													
**** 48 saat suda bekletildikten sonra numunelerin yüzeylerinde gözlemlenen erozyon													

6. SONUÇ

Kerpiçten panel duvar üretilmemesinin en önemli nedenlerinden biri, kesit kalınlığının ve birim hacim kütlesinin fazla olmasıdır. Bu çalışmada, kerpicing katkı maddesi ile birim hacim kütlesinin azaltılabileceği ortaya koymuştur. Daha hafif bir malzeme haline gelmesi binaya bindireceği yükü azaltarak çok katlı yapılarda kullanılabilmesi için olanak sağlamaktadır.

Kerpicing kesit kalınlığı hem malzemenin mekanik dayanımı ile hem de gevrek yapısı ile doğrudan ilgilidir. Yığma yapılarda kullanılan kerpiç blok, basınç dayanımı düşük ve eğilmede çekme dayanımı ihmal edilecek kadar az olan bir yapı malzemesidir. Bu çalışmada yapılan deneyler ortaya koymuştur ki;

- NaOH katkılı kerpiçin birim hacim kütlesi katkısız kerpiçten daha azdır, fakat NaOH katkı miktarı arttıkça birim hacim kütlesi artmaktadır. NaOH katkısı kerpicing mekanik dayanımını arttırmaktadır. Ancak uygun katkı miktarını (kütlece %3) aşıldıktan sonra dayanımda yeniden azalmaya yol açtığı gözlemlenmiştir. Anyı davranış malzemenin Elastiklik Modülü için de geçerlidir. NaOH katkısı kerpicing suda dağılmasını önleyerek suya karşı dirençli olmasını da sağlamaktadır.
- Kireç katkısı kerpicing birim hacim kütlesini azaltmaktadır. Kireç katkısı arttıkça kerpicing suya karşı direnci arttırmakta fakat uygun katkı miktarı (kütlece %2) aşıldığında kerpicing mekanik dayanımı olumsuz etkilemektedir.
- Lif katkısının, kerpicing fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisi, lif katkı miktarına ve lif boyuna bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Genel bir değerlendirme yapılırsa lif katkı miktarı arttıkça kerpicing birim hacim kütlesinde azalma gözlemlendiği söylenebilir. Ancak lif boyuna bağlı olarak sonuçlar değişkenlik göstermektedir. Lif katkısı malzemenin mekanik dayanımını arttırmıştır. Lif katkısının en önemli faydalarından biri malzemenin yük altında dağılmasını önlemiş olmasıdır. Yük altında malzeme deforme olsa bile bütünlüğünü koruyarak herhangi bir çökme veya yıkılma

durumunda önemli bir avantaj sağlamaktadır. Bunların yanında lif katkısı, kerpicingin enerji soğurma özelliğini de önemli ölçüde arttırmıştır.

Deney bulguları göstermiştir ki lif ve bağlayıcı katkısı ile kerpici güçlendirmek, kullanım alanlarını genişletmek mümkündür. Çizelge 6.1’de bölücü duvar olarak kullanılan bazı yapı malzemelerinin özellikleri deneylerde en iyi sonuç veren numune olan kütlece %1 oranında, 9mm uzunluğunda lif katkısı içeren 1L-9 numunesinin özellikleri ile bir arada verilmiştir. Birbirinden farklı özellikler sergileyen bu malzemelerle karşılaştırıldığında, 1L-9 numunesinin üretim maliyetinin çok düşük ve ekolojik bir malzeme olması avantaj sağlamaktadır. Birim hacim ağırlığı benzer özellik sergileyen göre daha fazla olsada, katkısız kerpiç bloğa göre daha hafif ve ince bir malzeme haline gelebileceği deneylerle ortaya konduğu için çok katlı yapılarda panel duvar olarak kullanılabilir. Basınç dayanımı tabloda yer alan diğer malzemeler ile karşılaştırıldığında gaz beton ve BİMSin bazı çeşitlerinden daha yüksek değere sahiptir. 1L-9, tablodaki malzemeler arasında Yonga levha hariç, diğer malzemelerden daha yüksek eğilmede çekme dayanımına sahiptir. Alçıpanın su emme katsayısı $4 \text{ kg/m}^2\sqrt{\text{h}}$, gaz betonun $4-8 \text{ kg/m}^2\sqrt{\text{h}}$ iken 1L-9 numunesinin kılcallıkla su emme katsayısı $1.7 \text{ kg/m}^2\sqrt{\text{h}}$ dir.

Bu çalışma, lif ve bağlayıcı katkısı ile güçlendirilmiş kerpiçten panel duvar üretmenin olanaklı olduğunu göstermiştir. Kerpiç panel duvarın yapı sektöründe yerini alabilmesi için bu çalışmada yer almayan diğer bölücü duvar performans gereksinimlerinin de incelenmesi gerekmektedir. Kerpiç panel duvarın yapıda nasıl uygulanacağı da araştırılmayı bekleyen bir başka konudur.

Çizelge 6.1 : Malzeme Tablosu

YONGA LEVHA	Çimentolu yonga levhadır, Ağaç ve çimentonun olumlu özelliklerini biryesinde birleştiren yapı levhası		BirimHacim ağırlığı g/cm ³	Panel Boyutu cm	Su Emme Katsayısı kg/m ² \h	Basınç Dayanımı N/mm ²	Elastisite Modülü N/mm ²	Eğilme Mukavemeti N/mm ²
			1,3	Genişlik: 125 Uzunluk: 250-300 Kalınlık: 0,8-2,4		15	9	10
BİMS	bims agregaları kullanılarak gerektiğinde kum ilave edilerek üretilen hafif beton		BirimHacim ağırlığı g/cm ³	Panel Boyutu cm	Hcımce su emme	Basınç Dayanımı N/mm ²	Elastisite Modülü N/mm ²	Eğilme Mukavemeti N/mm ²
			1 - 1,3	Genişlik: 125 Uzunluk: 250-300 Kalınlık: 0,8-2,4	23,84	4 - 16	700	
1L - 9	alçı, kireç, NaOH ve polipropilen lif katkılı kerpiç panel		BirimHacim ağırlığı g/cm ³	Numune Boyutu cm	Su Emme Katsayısı kg/m ² \h	Basınç Dayanımı N/mm ²	Elastisite Modülü N/mm ²	Eğilme Mukavemeti N/mm ²
			1,52	Genişlik: 4 Uzunluk: 16 Kalınlık: 4	1,77	6,36	3,03	1,73

Çizelge 6.1: Malzeme Tablosu (devam)

ALÇI PANEL DUVAR			Duvar Ağırlığı g/cm ²	Panel Boyutu cm	Su Emme Katsayısı kg/m ² v/h	Basınç Dayanımı N/mm ²	Elastisite Modülü N/mm ²	Eğilme Mukavemeti N/mm ²
bir alçı çekirdek ve bu çekirdeğin her iki tarafına sıvıca yapıştırılmış kağıt tabakaların oluşturduğu düz, dikdörtgen levhalardır.	0,065		genişlik: 40-60-90-120	4				
			uzunluk: 120-150-180-200					
			kalınlık: 0,95-1,25-1,5-1,8					
GAZBETON	Gazbeton blok; Gazbetondan yapılmış prefabrike donatısız yapı bileşeni		BirimHacim ağırlığı g/cm ³	Panel Boyutu cm	Su Emme Katsayısı kg/m ² v/h	Basınç Dayanımı N/mm ²	Elastisite Modülü N/mm ²	Eğilme Mukavemeti N/mm ²
			0,35	Genişlik: 25	4-8	2,5	0,07	0,5
			0,41			3,3	0,1	0,66
			0,47	uzunluk: 60		4	0,13	0,8
			0,55			4,5	0,17	0,9
			0,64	Kalınlık:		6	0,23	0,12
			0,78	7,5-30		7,5	0,3	0,15
	Gazbeton panel; Gazbetondan yapılmış prefabrike donatılı yapı bileşeni		0,5	Genişlik: 650		3,5	175	0,7
			0,6	uzunluk: 400-600		4	225	0,8
			0,7	Kalınlık: 10-30		5	275	0,1

KAYNAKLAR

- [1] **Işık, B.**, 2003, Depreme Dayanıklı Yapı Elde Edilmesi için Alker Duvarın Tasarım Kriterlerinin Araştırılması, *Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*. 26-30 Mayıs İstanbul: CD Bildiri No:AE-048.
- [2] **Kafescioğlu, R.**, 1980, Yapı Malzemesi Olarak Kerpicing Alçı ile stabilizasyonu, *TÜBİTAK*, Proje no 505.
- [3] **Schonnopp, G.**, 1943, *Die Lehm- und Ziegelbau Weisen Teil I und II*, Industrie- und Handelsverlag G.M.B.H., Hamburg.
- [4] **Ragassi, V.**, 1985, *Compressed Earth Blocks*, A Publication of the Deutsches Zentrum für Entwicklungstechnologien, Germany, ISBN 3 5280 2079 2.
- [5] **Ersoy, H. Y.**, 2001, *Kompozit Malzeme*, Literatür yayıncılık, İstanbul, ISBN 975-8431-47-1.
- [6] **Kömürcüoğlu, E. A.**, 1962, *Yapı malzemesi olarak kerpiç ve kerpiç inşaat sistemleri*, İTÜ Yayınları, İstanbul.
- [7] **Holmes, S., & Wingate, M.**, 2000, *Building with Lime*, Intermediate Technology Publications, London, ISBN 1-85339-384-3.
- [8] **Mavi, Ö.**, 2000 *Kireç harç ve sıvaların fiziksel ve mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.U Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [9] **Edwin, C. E.**, 2005. *Cements, Limes and Plasters: their materials, manufacture, and properties*, Donhead Publishing, New York, ISBN 978 1 873394 73 1.
- [10] **Çokça, E.**, 2001, Use of Class C Flyash for the Stabilization of an Expansive Soil, *Journal Of Geotechnical And Geoenvironmental Engineering*, Vol. 127, No. 7, July 2001, pp. 568-573.
- [11] **Middleton, G. F.**, 1987, *Earth-Wall Construction*, Csiro Publishing, Australia, ISBN 064305449.
- [12] **Reddy, B. V. & Lokras, S. S.**, 1998. Steam-Cured Stabilised Soil Blocks For Masonry Construction, *Energy and Buildings*, 29 (01). pp. 29-33 .
- [13] **Değirmenci, N.**, 2005, Endüstriyel Atıkların (Fosfoalçı) Kerpiç Stabilizasyonunda Kullanılması, *G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi*, ISSN 1303-9709. 18(3):505-51.
- [14] **Yang, J., Liu, W., Zhang, L. & Xiao, B.**, 2009, Preparation of load-bearing building materials from autoclaved phosphogypsum, *Construction and Building Materials*, 23 (2009) pp 687–693.

- [15] **Kafesçioğlu, R.**, 2008, Gypsum-Stabilized Adobe (Alker) Structures: An Evaluation of Their Social, Economic and Environmental Advantages, *8th International Seminar on Structural Masonry*, 5-7 Kasım 2008 İstanbul: İTÜ Yayınları.
- [16] **Akman, S.**, 1990, *Yapı Malzemeleri*, İTÜ Yayınları, İstanbul.
- [17] **ACI Cmittee 232 Report**, 1994, Use Of Natural Pozzolans In Concrete, *ACI Materials Journal*, 91 (4), pp 410-426 .
- [18] **Koçataşkın, F.**, 1969, *Yapı Malzemesi Bilimi*, İTÜ Yayınları, İstanbul.
- [19] **Acun, S. & Gürdal, E.**, 2003, Yenilenebilir Bir Malzeme: Kerpiç Ve Alçılı Kerpiç, *TMH - Türkiye Mühendislik Haberleri*, Sayı 427.
- [21] **Rejinders, J.**, 2007, Cleaner phosphogypsum, coal combustion ashes and waste incineration ashes for application in building materials, *Building and Environment*, 42, pP10-55C36–1042.
- [22] **Akgül E.**, 2006, *Datça Bölgesindeki Volkanik Tüflerin Yapı Malzemesi Olarak Değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [23] **Koçu, N.**, 1997, *Konya çevresindeki volkanik tüflerin yapı malzemesi olarak değerlendirilmesi ve özelliklerinin belirlenmesi üzerine bir araştırma*, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [24] **Ömer, C.**, 2008, Ferrokrom Cürufunun Kerpicingin Mühendislik Özelliklerine Etkisi, *Journal of Technical-Online*, Volume 7, Number:2-2008.
- [25] **Kıvrak, J.**, 2007, *Silis Dumanı Katkılı Kerpiçlerin Mekanik Ve Fiziksel Özelliklerinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [26] **Billong, N., Mello. U. C. & Njopwouo, D.**, 2008, Properties of compressed lateritic soil stabilized with a burnt clay–lime binder: Effect of mixture components, *Construction and Building Material*, 23 (2009), pp 2457-2460.
- [27] **Jadhoa, P. D. & Nagarnaik, P. B.**, 2008, Strenght Characteristics of Soil Fly ash Mixtures Reinforced with Randomly Oriented Polypropylene Fibers, *First International Conference on Emerging Trends in Engineering and Technology*. 16-18 July 2008 India.
- [28] **Davidovits, J.**, 2006, *Geopolimer Institute*. <http://www.geopolymer.org/>, [Ziyaret Tarihi: 12.6.2009].
- [29] **Davidovits, J.**, 2002, 30 Years of Successes and Failures in Geopolimer Applications, *Geopolimer 2002 Conference*. 28-29 October 2002 Australia. CD: ISBN 0-9750242-0-5.
- [30] **Rangan, B. V. & Hardjjito, D.**, 2005, “Development and Properties of Low Calcium Fly Ash Based Geopolymer Concrete”, *J Master Sci* , 43, pp 824–831.
- [31] **Geopolimer Institute**, *The geopolimer brick L.T.G.S.* [online]. <http://www.geopolymer.org/applications/ltgs-brick-low-cost-construction-material>(ziyaret Tarihi: 13.6.2009].

- [32] **Mikuni, A., & Komatsu, R.**, 2007, Dissolution properties of some fly ash fillers applying to geopolimeric materials in alkali solution, *J Master Sci*, 42, pp2953-2957.
- [33] **Alonso, S. & Palomo, A.**, 2001, Alkaline activation of metakaolin and calcium hydroxide mixtures: influence of temperature, activator concentration and solids ratio, *Material Letters*, 47(1-2), pp 55-62.
- [34] **Wu, H. C. & Sun, P.**, 2007, New building materials from fly ash-based lightweightinorganic polymer, *Construction and Building Materia*, 21, pp 211-217.
- [35] **Barbero, E. J.**, 1998, *Introduction to Composite Materials Design*, Taylor&Francis publishing, London, ISBN 1-56032-701-4.
- [36] **Kayrak, A.**, 1999, *Havacılık Kompozitleri ve Mukavemet-Maliyet analizleri*, Anadolu Üniversitesi Yayınları, Eskişehir, ISBN 9754928606.
- [37] **Bentur, A. & Mindess, S.**, 2009. *Fibre Reinforced Cement Composites*, Elsevier Applied, London.
- [38] **Özkul, M. H.**, 2009, *Composit Materials Ders Notları*, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- [39] **Onaran, R. K.**, 1999, *Malzeme Bilimi*, Bilim Teknik Yayınları, İstanbul, ISBN 9755400176.
- [40] **Balaguru, P. N., & Shah, P. S.**, 1992, *Fiber Reinforced Cement Composites*, McGraw-Hill, NewYork.
- [41] **Hollaway, L.**, 1993, *Polymer Composites for Civil and Structural Engineering*, Blackie academic & Professional, London.
- [42] **Postacioğlu, P.**, 1986, *Beton Bağlayıcı Maddeler, Agregalar, Beton Cilt: 1 Bağlayıcı Maddeler*, Teknik kitaplar yayın evi, İstanbul.

Kaynak Olarak Kullanılan Standatlar

Türk Standartları Enstitüsü

TS 2514, (1967), Kerpiç Bloklar Yapım ve Uygulama. Ankara, Türkiye.

TS 2515, (1985), Kerpiç Yapıların Yapım Kuralları. Ankara, Türkiye.

TS 699, (2009). Doğal Yapı Taşları – İnceleme ve Laboratuvar Deneyleri Yöntemleri. Ankara, Türkiye.

TS EN 772 - 11, (2002). Kâgir Birimler - Deney Metotları - Bölüm 11 : Betondan, Yapay Ve Doğal Taştan Yapılmış Kâgir Birimlerde Kapiler Su Emme Ve Kıl Kâgir Birimlerde İlk Su Emme Hızının Tayini. Ankara, Türkiye.

TS EN 772 - 16, (2002). Kâgir Birimler - Deney Metotları - Bölüm 16: Boyutların Tayini. Ankara, Türkiye.

TS EN 771, (2002). Kâgir Birimler - Deney Metotları - Bölüm 1 : Basınç Dayanımının Tayini. Ankara, Türkiye.

American Standarts For Testing Material (ASTM).

ASTM C67, Standard Test Methods For Sampling And Testing Brick And Structural Clay Tile. America.

ASTM E2497, Standard Test Method For Evaluating Springback Of Sheet Metal Using The Demeri Split Ring Test. America.

ASTM C618, Standard Specification For Coal Fly Ash And Raw Or Calcined Natural Pozzolan For Use İn Concrete. America.

EKLER

EK A. : Deney sonuçlarına ait çizelgeler

Çizelge A.1 : İlk aşama deney numunelerinin birin hacim ağırlık değerleri

numune no	a (mm)	b (mm)	h (mm)	ağırlık (gr)	hacim (mm ³)	birim hacim kütlesi	ortalama (gr/cm ³)
Alker-1	40.68	156.31	39.26	431.64	249.6422	1.73	1.73
Alker-2	41.32	156.53	39.21	437.89	253.6032	1.73	
Alker-3	40.36	156.47	39.52	438.7	249.5739	1.76	
3N-24C-1	39.45	156.82	39.08	418.87	241.7703	1.73	1.73
3N-24C-2	40.8	157.08	39.67	413	254.2396	1.62	
3N-24C-3	38.82	156.49	40.49	416.09	245.9744	1.69	
P10-55C-1	40.41	155.72	38.45	433.31	241.9522	1.79	1.79
P10-55C-2	40.55	156.24	39.48	438.18	250.1268	1.75	
P10-55C-3	40.42	156.22	39.17	436.22	247.3355	1.76	
P10-55C-3N-1	42.03	156.43	40	452.66	262.9901	1.72	1.72
P10-55C-3N-2	42.04	159.37	40.64	450.94	272.2845	1.66	
P10-55C-3N-3	42.62	159.87	39.62	448.19	269.9572	1.66	
P20-55C-1	39.88	156.55	38.92	434.75	242.9859	1.79	1.79
P20-55C-2	39.56	156.47	39.3	435.41	243.2652	1.79	
P20-55C-3	39.6	156.54	39.16	432.66	242.7522	1.78	
P20-55C-3N-1	42.86	156.82	39.86	458.23	267.9112	1.71	1.71
P20-55C-3N-2	41.97	159.92	40.96	452.47	274.9171	1.65	
P20-55C-3N-3	39.88	156.55	38.92	434.75	242.9859	1.79	

Çizelge A.2 : İlk aşama deney numunelerinin birin hacim ağırlık değerleri

numune no	a (mm)	b (mm)	h (mm)	ağırlık (gr)	hacim (mm ³)	birim hacim kütlesi	ortalama (gr/cm ³)
1-K4-85C	40.79	159.3	41.91	424.84	272.32	1.56	1.57
2-K4-85C	40.28	158.89	42.51	430.27	272.07	1.58	
3-K4-85C	39.73	158.8	43.85	434.95	276.66	1.57	
P1-85C-0K	40.36	158.46	42.71	440.10	273.15	1.61	1.61
P2-85C-0K	41.08	159.2	43.15	442.45	282.20	1.57	
P3-85C-0K	40.5	158.82	42.38	450.94	272.60	1.65	
P1-85C-4K	39.85	159.53	42.12	444.50	267.77	1.66	1.65
P2-85C-4K	40.7	159.76	42.83	452.22	278.49	1.62	
P3-85C-4K	39.5	159.26	42.81	450.92	269.31	1.67	

Çizelge A.3 : İlk aşama deney numunelerinin EM değerleri

numune no	L (km)	t (sn)	V (km/sn)	g (m/sn ²)	E (kg/cm ²)	EM (N/mm ²)	ortalama (gr/cm ³)
Alker-1	0.000156	0.000108	1.444444	9.81	38600.55	3.66	3.66
Alker-2	0.000156	0.000106	1.471698	9.81	38122.27	3.81	
Alker-3	0.000156	0.000105	1.485714	9.81	39552.15	3.96	
3N-24C-1	0.000156	0.000098	1.591837	9.81	44751.16	4.48	4.48
3N-24C-2	0.000157	0.000094	1.670213	9.81	46193.55	4.62	
3N-24C-3	0.000156	0.000094	1.659574	9.81	47492.15	4.75	
P10-55C-1	0.000156	0.000132	1.181818	9.81	25497.73	2.55	2.55
P10-55C-2	0.000157	0.000140	1.121429	9.81	22457.77	2.25	
P10-55C-3	0.000156	0.000137	1.138686	9.81	23310.85	2.33	
P10-55C-3N-1	0.000156	0.000156	1.000000	9.81	17545.42	1.75	1.75
P10-55C-3N-2	0.000159	0.000150	1.060000	9.81	18968.74	1.90	
P10-55C-3N-3	0.000159	0.000158	1.006329	9.81	17138.72	1.71	
P20-55C-1	0.000156	0.000120	1.300000	9.81	30823.09	3.08	3.08
P20-55C-2	0.000156	0.000122	1.278689	9.81	29831.77	2.98	
P20-55C-3	0.000159	0.000120	1.325000	9.81	31896.74	3.19	
P20-55C-3N-1	0.000156	0.000128	1.218750	9.81	25897.2	2.59	2.59
P20-55C-3N-2	0.000159	0.000134	1.186567	9.81	23621.3	2.36	
P20-55C-3N-3	0.000156	0.000128	1.218750	9.81	27090.61	2.71	

Çizelge A.4 : İlk aşama deney numunelerinin EM değerleri

numune no	L (km)	t (sn)	V (km/sn)	g (m/sn ²)	EM (N/mm ²)	ortalama (gr/cm ³)
2-2N-85C	0.000158	0.000097	1.628454	9.81		4.64
3-2N-85C	0.000158	0.000095	1.660105	9.81	4.54	
1-2N-85C	0.000158	0.000094	1.678085	9.81	4.74	
1-3N-85C	0.000158	0.000083	1.900843	9.81	6.25	6.30
2-3N-85C	0.000157	0.000082	1.916829	9.81	6.19	
3-3N-85C	0.000157	0.000081	1.934074	9.81	6.46	
1-4N-85C	0.000158	0.000084	1.881905	9.81	6.06	5.88
2-4N-85C	0.000158	0.000086	1.831977	9.81	5.74	
3-4N-85C	0.000158	0.000086	1.835465	9.81	5.84	
1-3N-55C	0.000158	0.000095	1.663158	9.81	7.66	8.12
2-3N-55C	0.000158	0.000093	1.698925	9.81	8.30	
3-3N-55C	0.000158	0.000094	1.680851	9.81	8.40	
1-3N-55C-S	0.000157	0.000079	1.987342	9.81	10.94	11.30
2-3N-55C-S	0.000157	0.000078	2.012821	9.81	11.69	
3-3N-55C-S	0.000157	0.000079	1.987342	9.81	11.26	
1-3N-55C-95	0.000159	0.000109	1.458716	9.81	5.71	5.69
2-3N-55C-95	0.000159	0.000108	1.472222	9.81	5.73	
3-3N-55C-95	0.000159	0.000109	1.458716	9.81	5.62	

Çizelge A.5 : İlk aşama deney numunelerinin EM değerleri

numune no	L (km)	t (sn)	V (km/sn)	g (m/sn ²)	N/mm2	EM (N/mm ²)	ortalama (gr/cm ³)
1-K4-85C	0.000159	0.000098	1.625510	9.81	4201.928	4.20	4.16
2-K4-85C	0.000159	0.000098	1.621327	9.81	4237.756	4.24	
3-K4-85C	0.000159	0.000100	1.588000	9.81	4041.408	4.04	
P1-85C-0K	0.000158	0.000100	1.584600	9.81	4124.025	4.12	4.14
P2-85C-0K	0.000159	0.000098	1.624490	9.81	4217.692	4.22	
P3-85C-0K	0.000159	0.000102	1.557059	9.81	4088.261	4.09	
P1-85C-4K	0.000160	0.000122	1.307623	9.81	2893.402	2.89	2.90
P2-85C-4K	0.000160	0.000120	1.331333	9.81	2933.890	2.93	
P3-85C-4K	0.000159	0.000123	1.294797	9.81	2861.440	2.86	

Çizelge A.6 : İlk aşama deney numunelerinin mekanik dayanım değerleri

numune no	b' (mm)	A (mm)	P (N)	Basınç dayanımı (N/mm ²)	ortalama (N/mm ²)	l (mm)	F (N)	Eğilmede çekme dayanımı (N/mm ²)	ortalama (N/mm ²)
Alker-1	40	1627.2	5900	3.63	3.63	145	490	1.70	1.70
Alker-2	40	1652.8	6300	3.81		145	430	1.47	
Alker-3	40	1614.4	6400	3.96		145	510	1.76	
3N-24C-1	40	1578	8500	5.39	5.39	145	400	1.44	1.44
3N-24C-2	40	1632	8020	4.91		145	350	1.19	
3N-24C-3	40	1552.8	8120	5.23		145	410	1.40	
P10-55C-1	40	1616.4	3000	1.86	1.86	145	120	0.44	0.44
P10-55C-2	40	1622	2720	1.68		145	110	0.38	
P10-55C-3	40	1616.8	2540	1.57		145	125	0.44	
P10-55C-3N-1	40	1681.2	3810	2.27	2.27	145	120	0.39	0.39
P10-55C-3N-2	40	1681.6	2880	1.71		145	150	0.47	
P10-55C-3N-3	40	1704.8	3200	1.88		145	130	0.42	
P20-55C-1	40	1595.2	3440	2.16	2.16	145	160	0.58	0.58
P20-55C-2	40	1582.4	2930	1.85		145	175	0.62	
P20-55C-3	40	1584	3540	2.23		145	160	0.57	
P20-55C-3N-1	40	1714.4	4120	2.40	2.40	145	210	0.67	0.67
P20-55C-3N-2	40	1678.8	3820	2.28		145	175	0.54	
P20-55C-3N-3	40	1595.2	4320	2.71		145	210	0.76	

Çizelge A.7 : İlk aşama deney numunelerine ait mekanik dayanım değerleri

numune no	b' (mm)	A (mm)	P (N)	Basınç dayanımı (N/mm ²)	ortalama (N/mm ²)	l (mm)	F (N)	Eğilmede çekme dayanımı (N/mm ²)	ortalama (N/mm ²)
2-2N-85C	40	1574.4	6410	4.07	3.95	140	410	1.29	1.36
3-2N-85C	40	1592	6300	3.96		140			
1-2N-85C	40	1569.6	6000	3.82		140	425	1.43	
1-3N-85C	40	1567.2	8600	5.49	5.45	140	570	1.97	1.87
2-3N-85C	40	1592.4	8530	5.36		140	515	1.70	
3-3N-85C	40	1566.8	8630	5.51		140	580	1.95	
1-4N-85C	40	1577.6	7200	4.56	4.58	140	400	1.34	1.44
2-4N-85C	40	1582.8	7520	4.75		140	430	1.42	
3-4N-85C	40	1568.8	6930	4.42		140	460	1.55	
1-3N-55C	40	1594.4	4780	3.00	3.17	150	175	0.58	0.86
2-3N-55C	40	1597.2	4740	2.97		150	270	0.93	
3-3N-55C	40	1578	5600	3.55		150	310	1.09	
1-3N-55C-S	40	1623.6	7330	4.51	4.62	150	660	2.22	2.20
2-3N-55C-S	40	1576.4	7310	4.64		150	600	2.12	
3-3N-55C-S	40	1602.4	7560	4.72		150	650	2.26	
1-3N-55C-95	40	1574	5500	3.49	3.37	150	330	1.08	1.00
2-3N-55C-95	40	1593.2	5360	3.36		150	310	1.00	
3-3N-55C-95	40	1590.8	5150	3.24		150	290	0.93	

Çizelge A.8 : İlk aşama deney numunelerine ait mekanik dayanım değerleri

numune no	b' (mm)	A (mm)	P (N)	Basınç dayanımı (N/mm ²)	ortalama (N/mm ²)	l (mm)	F (N)	Eğilmede çekme dayanımı (N/mm ²)	ortalama (N/mm ²)
1-K4-85C	40	1631.6	6840	4.19	4.34	145	550	1.67	1.51
2-K4-85C	40	1611.2	6610	4.10		145	480		
3-K4-85C	40	1589.2	7520	4.73		145	475	1.35	
P1-85C-0K	40	1614.4	6120	3.79	3.74	145	420	1.24	1.17
P2-85C-0K	40	1643.2	5960	3.63		145	390	1.11	
P3-85C-0K	40	1620	6160	3.80		145	390	1.17	
P1-85C-4K	40	1594	7500	4.71	4.73	145	260	0.80	0.83
P2-85C-4K	40	1628	7420	4.56		145	340	0.99	
P3-85C-4K	40	1580	7780	4.92		145	235	0.71	

Çizelge A.9 : İlk aşama deney numunelerinin zamana bağlı su emme miktarı

Kılcal Su Emme	3N-24C-1	3N-24C-2	3N-24C-3	P10-55C-3N-1	P10-55C-3N-2	P10-55C-3N-3	P20-55C-3N-1	P20-55C-3N-2	P20-55C-3N-3
etüv kurusu	178.11	189.71	169.68	219.96	220.04	204.67	225.90	198.42	210.12
ortam nem ağırlığı	178.16	189.73	170.45	221.56	221.89	206.27	227.04	199.51	211.24
ilk su emme	178.53	190.06	170.90	222.28	222.52	206.88	227.71	200.31	211.91
1dk	180.78	192.43	173.20	225.13	225.33	209.90	230.35	203.03	214.73
4dk	183.00	194.55	175.34	227.75	227.77	212.27	231.85	204.75	216.36
9dk	184.92	196.66	177.43	230.11	230.19	214.66	233.69	206.55	218.24
16dk	186.76	198.66	179.41	232.63	232.80	217.10	235.40	208.31	220.02
25dk	188.74	200.61	181.26	235.00	235.21	219.50	237.14	210.17	221.78
36dk	190.61	202.47	183.13	237.32	237.63	221.92	238.86	211.94	223.56
49dk	192.46	204.35	184.98	239.79	240.01	224.35	240.59	213.74	225.31
1saat 04dk	194.27	206.18	186.81	242.20	242.37	226.78	242.28	215.53	227.03
1saat 21dk	196.07	208.08	188.67	244.64	244.75	229.17	244.03	217.28	228.81
1saat 40dk	197.85	209.99	190.54	247.09	247.21	231.60	245.75	219.16	230.66
2saat 01dk	199.71	211.85	192.35	249.48	249.66	234.02	247.38	220.84	232.36
2 saat 24dk	201.56	213.75	194.23	251.94	252.11	236.44	249.08	222.60	234.13
2saat 49dk	203.40	215.62	195.97	254.33	254.50	238.78	250.78	224.26	235.80
3saat 16dk	205.27	217.53	197.50	256.78	256.93	241.08	252.55	226.01	237.58
24 saat suda	207.40	219.30	200.00	260.01	260.28	241.63	257.10	230.71	240.60

Çizelge A.10 : İlk aşama deney numunelerinin kılcallıkla su emme değerleri

	3N-24C-1		3N-24C-2		3N-24C-3		3N-24C
	Ms-Mo	Su emme	Ms-Mo	Su emme	Ms-Mo	Su emme	Ortalama
ilk su emme	2.25	1.43	2.37	1.54	2.30	1.42	1.81
1dk	2.22	1.41	2.12	1.38	2.14	1.33	1.67
4dk	1.92	2.44	2.11	2.74	2.09	2.59	2.39
9dk	1.84	3.42	2.00	3.89	1.98	3.68	2.99
16dk	1.98	5.02	1.95	5.06	1.85	4.58	3.69
25dk	1.87	5.93	1.86	6.04	1.87	5.79	4.30
36dk	1.85	7.04	1.88	7.32	1.85	6.88	4.99
49dk	1.81	8.04	1.83	8.31	1.83	7.93	5.59
1saat 04dk	1.80	9.13	1.90	9.86	1.86	9.22	6.40
1saat 21dk	1.78	10.16	1.91	11.16	1.87	10.42	7.10
1saat 40dk	1.86	11.80	1.86	12.07	1.81	11.21	7.75
2saat 01dk	1.85	12.91	1.90	13.56	1.88	12.81	8.61
2 saat 24dk	1.84	14.01	1.87	14.56	1.74	12.93	9.02
2saat 49dk	1.87	15.42	1.91	16.11	1.53	12.32	9.46
3saat 16dk	2.13	18.92	1.77	16.08	2.50	21.68	12.19

Çizelge A.11 : İlk aşama deney numunelerinin kılcallıkla su emme değerleri

	P10-55C-3N-1		P10-55C-3N-2		P10-55C-3N-3		P10-55C-3N
	Ms-Mo	Su emme	Ms-Mo	Su emme	Ms-Mo	Su emme	Ortalama
ilk su emme	2.85	1.82	2.81	1.68	3.02	1.91	2.25
1dk	2.62	1.67	2.44	1.46	2.37	1.50	1.89
4dk	2.36	3.01	2.42	2.89	2.39	3.02	2.74
9dk	2.52	4.81	2.61	4.67	2.44	4.62	3.83
16dk	2.37	4.53	2.41	5.75	2.40	6.06	4.23
25dk	2.32	7.39	2.42	7.22	2.42	7.64	5.42
36dk	2.47	9.44	2.38	8.52	2.43	9.20	6.39
49dk	2.41	10.74	2.36	9.85	2.43	10.74	7.22
1saat 04dk	2.44	12.43	2.38	11.36	2.39	12.07	8.13
1saat 21dk	2.45	14.04	2.46	13.21	2.43	13.80	9.19
1saat 40dk	2.39	15.22	2.45	14.62	2.42	15.27	10.00
2saat 01dk	2.46	17.23	2.45	16.08	2.42	16.80	11.00
2 saat 24dk	2.39	18.27	2.39	17.11	2.34	17.72	11.57
2saat 49dk	2.45	20.29	2.43	18.84	2.30	18.87	12.55
3saat 16dk	3.23	28.80	3.35	27.98	0.55	4.86	13.11

Çizelge A.12 : İlk aşama deney numunelerinin kılcallıkla su emme değerleri

	P20-55C-3N-1		P20-55C-3N-2		P20-55C-3N-3		P20-55C-3N
	Ms-Mo	Su emme	Ms-Mo	Su emme	Ms-Mo	Su emme	Ortalama
ilk su emme	2.64	1.55	2.72	1.58	2.82	1.66	2.07
1dk	1.5	0.88	1.72	1.00	1.63	0.96	1.24
4dk	1.84	2.15	1.8	2.09	1.88	2.22	2.03
9dk	1.71	3.00	1.76	3.07	1.78	3.15	2.55
16dk	1.74	3.06	1.86	4.33	1.76	4.15	3.03
25dk	1.72	5.03	1.77	5.15	1.78	5.25	3.80
36dk	1.73	6.08	1.8	6.28	1.75	6.19	4.42
49dk	1.69	6.92	1.79	7.29	1.72	7.10	4.97
1saat 04dk	1.75	8.19	1.75	8.14	1.78	8.40	5.65
1saat 21dk	1.72	9.06	1.88	9.84	1.85	9.82	6.49
1saat 40dk	1.63	9.54	1.68	9.77	1.7	10.03	6.54
2saat 01dk	1.7	10.95	1.76	11.26	1.77	11.49	7.44
2 saat 24dk	1.7	11.94	1.66	11.59	1.67	11.82	7.74
2saat 49dk	1.77	13.47	1.75	13.23	1.78	13.65	8.78
3saat 16dk	4.55	37.29	4.7	38.28	3.02	24.94	21.64

Çizelge A.13 : İkinci aşama numunelerinin birim hacim değerleri

numune no	a (mm)	b (mm)	h (mm)	ağırlık (gr)	hacim (mm ³)	birim hacim kütlesi	ortalama (gr/cm ³)
1L-6-1	40.15	158.5	40.47	404.65	257.542	1.57	1.55
1L-6-2	40.27	158.41	41.31	408.37	263.5235	1.55	
1L-6-3	39.69	158.41	41.3	408.65	259.6652	1.57	
1L-6-4	40.25	159.01	39.88	389.5	255.2381	1.53	
1L-6-5	40.15	159.15	39.74	388.47	253.9335	1.53	
1L-6-6	40.18	158.82	39.83	391.24	254.1707	1.54	
1L-9-1	39.78	158.41	39.66	378.51	249.9195	1.51	1.52
1L-9-2	39.31	156.02	39.31	374.6	241.094	1.55	
1L-9-3	39.35	158.06	39.84	379.23	247.7913	1.53	
1L-9-4	39.3	158.46	39.77	371.46	247.6668	1.50	
1L-9-5	39.37	158.31	40.07	376.66	249.7429	1.51	
1L-9-6	39.42	158.56	39.96	372.96	249.7674	1.49	
1L-12-1	40.11	158.92	39.62	389.53	252.549	1.54	1.53
1L-12-2	40.97	158.6	39.45	389.35	256.3399	1.52	
1L-12-3	40.93	158.35	39.09	391.48	253.3527	1.55	
1L-12-4	40.08	157.75	40.65	390.47	257.0145	1.52	
1L-12-5	40.56	157.23	39.56	392.43	252.284	1.56	
1L-12-6	40.63	157.7	39.87	387.97	255.4611	1.52	

Çizelge A.14 : İkinci aşama deney numunelerinin EM değerleri

numune no	L (km)	t (sn)	V (km/sn)	g (m/sn ²)	N/mm ²	EM (N/mm ²)	ortalama (gr/cm ³)
1L-6-4	0.000159	0.000110	1.445545	9.81	3250.547	3.25	3.22
1L-6-5	0.000159	0.000110	1.446818	9.81	3264.347	3.26	
1L-6-6	0.000159	0.000112	1.418036	9.81	3155.173	3.16	
1L-9-4	0.000158	0.000111	1.427568	9.81	3115.793	3.12	3.03
1L-9-5	0.000158	0.000112	1.413482	9.81	3071.624	3.07	
1L-9-6	0.000159	0.000115	1.378783	9.81	2893.671	2.89	
1L-12-4	0.000158	0.000115	1.371739	9.81	2914.098	2.91	2.98
1L-12-5	0.000157	0.000115	1.367217	9.81	2964.003	2.96	
1L-12-6	0.000158	0.000112	1.408036	9.81	3069.246	3.07	

Çizelge A.15 : İkinci aşama deney numunelerinin mekanik dayanım değerleri

numune no	b' mm	A mm	P N	Basınç dayanımı N/mm ²	Ortalama N/mm ²	l mm	F N	Eğilmede çekme N/mm ²	Ortalama N/mm ²
SERİ 1-1									
1L-6-1	40	1606	4450	2.77	3.07*	145	310	1.03	1.03*
1L-6-2	40	1610.8	5400	3.35		145	320	1.01	
1L-6-3	40	1587.6	4900	3.09		145	330	1.06	
1L-6-4	40	1610	5660	3.52	3.60	145	470	1.60	1.56
1L-6-5	40	1606	5900	3.67		145	475	1.63	
1L-6-6	40	1607.2	5810	3.61		145	430	1.47	
SERİ 1-2									
1L-9-1	40	1591.2	4000	2.51	2.53*	145	230	0.80	0.69*
1L-9-2	40	1572.4	4000	2.54		145	180	0.64	
1L-9-3	40	1574	4000	2.54		145	180	0.63	
1L-9-4	40	1572	6300	4.01	3.85	145	560	1.96	1.72
1L-9-5	40	1574.8	6000	3.81		145	480	1.65	
1L-9-6	40	1576.8	5900	3.74		145	450	1.55	
SERİ 1-3									
1L-12-1	40	1604.4	3980	2.48	2.45*	145	200	0.69	0.78*
1L-12-2	40	1638.8	4000	2.44		145	240	0.82	
1L-12-3	40	1637.2	4000	2.44		145	240	0.83	
1L-12-4	40	1603.2	4960	3.09	2.96	145	490	1.61	1.45
1L-12-5	40	1622.4	4800	2.96		145	410	1.40	
1L-12-6	40	1625.2	4600	2.83		145	400	1.35	
SERİ 2-1									
0.5L-6-1	40	1608.8	5300	3.29	3.02*	145	125	0.41	0.34*
0.5L-6-2	40	1611.6	4700	2.92		145	100	0.32	
0.5L-6-3	40	1576	4500	2.86		145	90	0.31	
0.5L-6-4	40	1575.6	8020	5.09	5.00	145	500	1.71	1.76
0.5L-6-5	40	1596	7960	4.99		145	560	1.81	
0.5L-6-6	40	1603.2	7900	4.93		145	520	1.75	
SERİ 2-2									
0.5L-9-1	40	1553.6	4650	2.99	2.95*	145	150	0.53	0.57*
0.5L-9-2	40	1572.4	4700	2.99		145	180	0.63	
0.5L-9-3	40	1604.4	4620	2.88		145	150	0.53	
0.5L-9-4	40	1562	6800	4.35	4.56	145	550	1.97	1.93
0.5L-9-5	40	1589.2	7400	4.66		145	530	1.88	
0.5L-9-6	40	1577.6	7380	4.68		145	550	1.95	

*48 saat suda bekleyen numunelerin mekanik dayanım değerler

Çizelge A.16 : İkinci aşama deney numunelerinin mekanik dayanım değerleri

numune no	b' mm	A mm	P N	Basınç dayanımı N/mm2	Ortalama N/mm2	l mm	F N	Eğilmede çekme N/mm ²	Ortalama N/mm ²
SERİ 2-3									
0.5L-12-1	40	1579.6	4580	2.90	3.14*	145	180	0.65	0.75*
0.5L-12-2	40	1576.4	5160	3.27		145	310	1.09	
0.5L-12-3	40	1586	5160	3.25		145	150	0.52	
0.5L-12-4	40	1560	7380	4.73	4.52	145	520	1.76	1.66
0.5L-12-5	40	1602	7140	4.46		145	480	1.59	
0.5L-12-6	40	1594	6960	4.37		145	490	1.62	
SERİ 3-1									
0.1L-6-1	40	1569.6	4300	2.74	2.38*	145	45	0.16	0.19*
0.1L-6-2	40	1572	3600	2.29		145	70	0.25	
0.1L-6-3	40	1587.6	3360	2.12		145	45	0.16	
0.1L-6-4	40	1593.6	5920	3.71	3.77	145	380	1.34	1.37
0.1L-6-5	40	1584.4	6180	3.90		145	375	1.33	
0.1L-6-6	40	1588	5880	3.70		145	400	1.43	
SERİ 3-2									
0.1L-9-1	40	1567.2	4960	3.16	3.24*	145	120	0.43	0.39*
0.1L-9-2	40	1572	5300	3.37		145	110	0.39	
0.1L-9-3	40	1563.6	4960	3.17		145	100	0.36	
0.1L-9-4	40	1588.4	6810	4.29	4.41	145	460	1.57	1.49
0.1L-9-5	40	1580	7020	4.44		145	410	1.42	
0.1L-9-6	40	1564	7040	4.50		145	420	1.49	
SERİ 3-3									
0.1L-9-1	40	1574.4	3980	2.53	3.00*	145	170	0.59	0.47*
0.1L-9-2	40	1567.6	4800	3.06		145	130	0.46	
0.1L-9-3	40	1557.6	5300	3.40		145	110	0.37	
0.1L-9-4	40	1605.2	7800	4.86	4.62	145	615	2.14	1.99
0.1L-9-5	40	1568	6900	4.40		145	550	1.98	
0.1L-9-6	40	1582.4	7280	4.60		145	520	1.86	

*48 saat suda bekleyen numunelerin mekanik dayanım değerleri

Çizelge A.17 : İkinci aşama deney numunelerinin kılcallıkla su emme değerleri

Numune No	SERİ 1-1				
	1L-6-1	1L-6-2	1L-6-3	ortalama	Kılcallık katsayısı
1dk	1.865	3.150	3.166	2.727	
4dk	4.763	3.937	4.057	4.253	2.126
9dk	6.979	5.741	6.040	6.253	2.084
16dk	7.958	6.763	7.199	7.306	1.827
25dk	8.985	8.001	8.498	8.495	1.699
36dk	10.155	9.197	9.718	9.690	1.615
49dk	11.318	10.363	10.908	10.863	1.552
1saat 04dk	12.475	11.656	12.189	12.107	1.513
1saat 21dk	13.749	13.189	13.751	13.563	1.507
1saat 40dk	15.054	14.625	15.239	14.973	1.497
2saat 01dk	16.592	15.695	16.618	16.302	1.482
2 saat 24dk	17.638	17.294	17.911	17.615	1.468
Numune No	SERİ 2-1				
	0.5L-6-1	0.5L-6-2	0.5L-6-3	ortalama	Kılcallık katsayısı
1dk	3.744	3.736	3.639	3.706	
4dk	5.497	5.413	5.346	5.419	2.709
9dk	6.800	6.733	6.806	6.780	2.260
16dk	7.841	7.726	8.141	7.903	1.976
25dk	8.797	3.294	9.514	7.202	1.440
36dk	9.741	9.712	10.861	10.105	1.684
49dk	10.788	10.657	12.121	11.188	1.598
1saat 04dk	11.792	11.771	13.399	12.321	1.540
1saat 21dk	12.736	12.891	14.677	13.435	1.493
1saat 40dk	13.698	13.987	16.024	14.570	1.457
2saat 01dk	14.830	15.198	17.252	15.760	1.433
2 saat 24dk	15.896	16.373	18.757	17.009	1.417
Numune No	SERİ 3-1				
	0.1L-6-1	0.1L-6-2	0.1L-6-3	ortalama	Kılcallık katsayısı
1dk	2.736	3.138	3.062	2.979	
4dk	4.479	5.391	5.022	4.964	2.482
9dk	6.040	7.296	6.553	6.630	2.210
16dk	7.621	8.942	7.828	8.131	2.033
25dk	9.015	10.479	9.077	9.524	1.905
36dk	10.441	11.983	10.320	10.915	1.819
49dk	11.958	13.346	11.467	12.257	1.751
1saat 04dk	13.468	14.766	12.620	13.618	1.702
1saat 21dk	15.049	16.135	13.773	14.986	1.665
1saat 40dk	16.675	17.510	15.118	16.435	1.643
2saat 01dk	18.379	18.937	16.477	17.931	1.630
2 saat 24dk	19.915	20.319	17.739	19.324	1.610

Çizelge A.18 : İkinci aşama deney numunelerinin kılcallıkla su emme değerleri

Numune No	SERİ 1-2				
	1L-9-1	1L-9-2	1L-9-3	ortalama	Kılcallık katsayısı
1dk	3.125	2.809	3.489	3.141	
4dk	4.621	6.090	5.811	5.507	2.754
9dk	6.636	8.497	8.528	7.887	2.629
16dk	7.841	9.688	9.862	9.130	2.282
25dk	9.001	10.827	11.125	10.317	2.063
36dk	10.275	12.289	12.534	11.699	1.950
49dk	11.612	13.344	13.867	12.941	1.849
1saat 04dk	12.816	14.768	15.232	14.272	1.784
1saat 21dk	14.261	16.081	16.604	15.649	1.739
1saat 40dk	15.707	17.570	17.988	17.088	1.709
2saat 01dk	17.222	19.019	19.398	18.546	1.686
2 saat 24dk	18.812	20.469	20.788	20.023	1.669
Numune No	SERİ 1-2				
	0.5L-9-1	0.5L-9-2	0.5L-9-3	ortalama	Kılcallık katsayısı
1dk	3.187	3.250	2.832	3.089	
4dk	5.288	4.875	4.654	4.939	2.469
9dk	6.729	6.499	6.137	6.455	2.152
16dk	7.970	8.156	7.396	7.841	1.960
25dk	9.108	9.646	8.649	9.135	1.827
36dk	10.162	11.027	9.838	10.342	1.724
49dk	11.202	12.369	10.957	11.510	1.644
1saat 04dk	12.321	13.699	12.108	12.709	1.589
1saat 21dk	13.407	14.900	13.271	13.859	1.540
1saat 40dk	14.551	16.171	14.716	15.146	1.515
2saat 01dk	15.688	17.443	16.167	16.433	1.494
2 saat 24dk	16.787	18.676	17.497	17.653	1.471
Numune No	SERİ 3-2				
	0.1L-9-1	0.1L-9-2	0.1L-9-3	ortalama	Kılcallık katsayısı
1dk	2.674	2.545	2.154	2.458	
4dk	4.157	3.708	3.591	3.819	1.909
9dk	5.569	5.220	5.014	5.268	1.756
16dk	6.981	6.686	6.761	6.809	1.702
25dk	8.347	8.101	8.171	8.206	1.641
36dk	9.733	9.599	9.627	9.653	1.609
49dk	11.112	11.143	11.044	11.100	1.586
1saat 04dk	12.329	12.493	12.299	12.374	1.547
1saat 21dk	13.676	13.843	13.587	13.702	1.522
1saat 40dk	14.938	15.155	14.816	14.970	1.497
2saat 01dk	17.111	16.550	16.032	16.564	1.506

Çizelge A.19 : İkinci aşama deney numunelerinin kılcallıkla su emme değerleri

Numune No	SERİ 1-3				
	1L-19-12	1L-12-2	1L-12-3	ortalama	Kılcallık katsayısı
1dk	3.455	1.473	4.494	3.140	
4dk	5.160	2.933	5.956	4.683	2.342
9dk	6.488	4.090	7.194	5.924	1.975
16dk	9.747	5.339	8.525	7.871	1.968
25dk	9.389	6.633	9.963	8.661	1.732
36dk	11.169	8.031	11.382	10.194	1.699
49dk	12.957	10.246	12.769	11.990	1.713
1saat 04dk	14.819	11.341	14.119	13.426	1.678
1saat 21dk	16.518	12.943	15.538	15.000	1.667
1saat 40dk	18.186	14.447	16.969	16.534	1.653
2saat 01dk	19.790	16.000	18.376	18.055	1.641
2 saat 24dk	21.364	17.683	19.838	19.628	1.636
Numune No	SERİ 1-3				
	0.5L-12-1	0.5L-12-2	0.5L-12-3	ortalama	Kılcallık katsayısı
1dk	2.857	3.590	4.215	3.554	
4dk	4.500	5.580	6.148	5.409	2.705
9dk	5.999	7.385	7.622	7.002	2.334
16dk	7.674	8.908	9.077	8.553	2.138
25dk	9.335	10.227	10.402	9.988	1.998
36dk	10.932	11.526	11.727	11.395	1.899
49dk	12.497	12.748	12.969	12.738	1.820
1saat 04dk	13.938	13.906	14.346	14.063	1.758
1saat 21dk	15.438	15.193	15.748	15.460	1.718
1saat 40dk	16.990	16.664	17.339	16.998	1.700
2saat 01dk	18.722	18.040	18.735	18.499	1.682
2 saat 24dk	20.319	19.352	20.170	19.947	1.662
Numune No	SERİ 3-3				
	0.1L-12-1	0.1L-12-2	0.1L-12-3	ortalama	Kılcallık katsayısı
1dk	2.741	2.795	2.975	2.837	
4dk	4.201	3.878	3.940	4.006	2.003
9dk	5.749	5.121	5.023	5.298	1.766
16dk	7.081	6.512	6.395	6.663	1.666
25dk	8.871	7.871	7.742	8.161	1.632
36dk	9.892	9.249	9.076	9.406	1.568
49dk	11.352	10.948	10.830	11.043	1.578
1saat 04dk	12.716	12.371	12.264	12.450	1.556
1saat 21dk	14.144	13.864	13.723	13.910	1.546
1saat 40dk	15.584	15.261	15.095	15.313	1.531
2saat 01dk	17.189	16.768	16.454	16.804	1.528

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Filiz AKKAŞ

Doğum Yeri ve Tarihi: KONYA 07/01/1985

Lisans Üniversite: İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

Filiz Akkaş ilk ve orta öğretimini Ankara’da tamamladı. 2003 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesinde Mimarlık lisans eğitimine başladı. 2008 yılında lisans eğitimini tamamladıktan sonra İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsünde, Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi Bölümünde yüksek lisans yapmaya başladı. 2003 yılından beri mimari bürolarda çalışmaktadır.