

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



HİBRİT LİFLERLE GÜÇLENDİRİLMİŞ TALK CEVHERİ KATKILI
KALSİYUM ALÜMİNAT ÇİMENTOSU TABANLI HARÇLARIN
MEKANİK VE DURABİLİTE PERFORMANSI

ALPEREN KAMAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Arın YILMAZ (Tez Danışmanı)
Prof. Dr. Fatma Nurhayat DEĞİRMENCİ
Prof. Dr. Mücteba UYSAL

BALIKESİR, HAZİRAN – 2025

ETİK BEYAN

Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak tarafımda hazırlanan “**Hibrit Liflerle Güçlendirilmiş Talk Cevheri Katkılı Kalsiyum Alüminat Çimentosu Tabanlı Harçların Mekanik ve Durabilite Performansı**” başlıklı tezde;

- Tüm bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Kullanılan veriler ve sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Tüm bilgi ve sonuçları bilimsel araştırma ve etik ilkelere uygun şekilde sunduğumu,
- Yararlandığım eserlere atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,

beyan eder, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Alperen KAMAN

ÖZET

**HİBRİT LİFLERLE GÜÇLENDİRİLMİŞ TALK CEVHERİ KATKILI
KALSİYUM ALÜMINAT ÇİMENTOSU TABANLI HARÇLARIN MEKANİK VE
DURABİLİTE PERFORMANSI
YÜKSEK LISANS TEZİ
ALPEREN KAMAN
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. ARIN YILMAZ)
(EŞ DANIŞMAN: DOÇ. DR. YURDAKUL AYGÖRMEZ)
BALIKESİR, HAZİRAN - 2025**

Günümüzde yaşanan küresel ısınma ve sonucunda ortaya çıkan iklim değişikliği, kuraklık gibi gözlemlenen doğal afetler ile birlikte çevreye zarar veren uygulamalardan kaçınmak için daha çevreci çözümler aranmaktadır. Bu tez çalışmasında hızlı priz almasıyla ve yüksek sıcaklıklara karşı dayanımlı olan kalsiyum alüminat çimentosu yerine belirli oranlarda talk cevheri tozu ikame edilmiştir. İlk başta %0, %5, %10, %15 ve %20 oranlarında talk cevheri tozu bağlayıcı olarak çimento yerine kullanılmıştır. 7 ve 28 günlük basınç ve eğilmede çekme dayanım deneylerinden sonra en iyi sonuçların alındığı %0, %5 ve %10 talk içeren serilere sırasıyla %0, %0.3, %0.6 ve %0.9 oranlarında mikrofiber lif katılarak donma-çözülme, ultrases geçiş hızı, yüksek sıcaklık dayanımı ve basınç ve eğilmede çekme dayanımı deneyleri uygulanmıştır. Mekanik deneyler için 7, 28 ve 90 gün su kürü uygulanmıştır. Durabilite deneyleri için numuneler 28 gün sonra sudan çıkarılmıştır. Deneyler sonrasında numunelerin basınç ve eğilmede çekme dayanımlarındaki değişimleri ile ultrases geçiş hızlarındaki değişim incelenmiştir. Talk cevheri katkısı ile dayanımlar genel anlamda azalmış olmasına rağmen donma-çözülme deneyi sonrasında dayanımlarında artış gözlemlenmiştir. Lif ilavesinin olduğu numunelerde eğilmede çekme dayanımlarında artış gözlemlenmiştir.

ANAHTAR KELİMELELER: Kalsiyum alüminat çimentosu, mikrofiber lif, talk cevheri

ABSTRACT

**THE MECHANICAL AND DURABILITY PERFORMANCE OF TALC ORE
ADDITIVE CALCIUM ALUMINATE CEMENT BASED MORTARS
REINFORCED WITH HYBRID FIBERS
MSC THESIS
ALPEREN KAMAN
BALIKESIR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
CIVIL ENGINEERING
(SUPERVISOR: PROF. DR. ARIN YILMAZ)
(CO-SUPERVISOR: ASSOC. PROF. YURDAKUL AYGÖRMEZ)
BALIKESİR, JUNE - 2025**

Today, due to global warming and the resulting climate change, observed natural disasters such as drought, more environmentally friendly solutions are sought to avoid practices that harm the environment. In this thesis study, talc ore powder was substituted in certain proportions instead of calcium aluminate cement, which has a fast setting and is resistant to high temperatures. Initially, talc ore powder was used as a binder instead of cement in the proportions of 0%, 5%, 10%, 15% and 20%. After 7 and 28 days of compressive and flexural strength tests, the best results were obtained by adding 0%, 0.3%, 0.6% and 0.9% microfiber fiber to the series containing 0%, 5% and 10% talc, respectively, and freezing-thawing, ultrasound transmission rate, high temperature resistance and compressive and flexural strength tests were applied. For mechanical tests, 7, 28 and 90 days of water cure were applied. For durability tests, the samples were removed from water after 28 days. After the tests, the changes in the compressive and flexural strengths of the samples and the changes in ultrasound transmission rates were examined. Although the strengths generally decreased with the talc ore addition, an increase was observed in the strengths after the freeze-thaw test. An increase was observed in the flexural strengths in the samples with fiber addition.

KEYWORDS: Calcium aluminate cement, microfiber fiber, talc ore

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	v
TABLO LİSTESİ	ix
SEMBOLLER VE KISALTMALAR LİSTESİ	x
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	xi
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR TARAMASI	3
2.1 Kalsiyum Alüminat Çimentosu	3
2.2 Talk Cevheri	4
2.3 Liflerin Beton İçerisinde Kullanımı.....	6
2.3.1 Doğal lifler.....	8
2.3.2 Yapay lifler	8
2.4 Literatür Taraması.....	10
3. MALZEMELER VE DENEY YÖNTEMLERİ	21
3.1 Kullanılan Malzemeler	21
3.1.1 Kalsiyum alüminat çimentosu	21
3.1.2 Talk cevheri	21
3.1.3 Agregata	22
3.1.4 Mikrofiber lif	22
3.2 Deneysel Çalışmalar	23
3.2.1 Basınç dayanımı deneyi.....	25
3.2.2 Eğilmede çekme dayanımı deneyi.....	27
3.2.3 Ultrases geçiş hızı deneyi	28
3.2.4 Yüksek sıcaklık deneyi.....	28
3.2.5 Donma-çözülme deneyi.....	30
3.2.6 Çözelti etkisinin incelenmesi.....	30
4. DENEY SONUÇLARI	32
4.1 Mekanik Performans	32
4.1.1 Basınç ve eğilmede çekme dayanımı deneyi sonuçları	32
4.1.2 SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) ve XRD Analizi.....	45
4.2 Durabilite Performansı.....	46
4.2.1 Yüksek sıcaklık deneyi.....	46
4.2.1.1 Yüksek sıcaklık deneyi sonrası oluşan eğilmede çekme ve basınç dayanımı değerleri.....	46
4.2.1.2 Yüksek sıcaklık deneyi sonrası oluşan ultrases geçiş hızı değerleri	55
4.2.1.3 Yüksek sıcaklık deneyi sonrası oluşan ağırlık değişimleri	57
4.2.1.4 Yüksek sıcaklık deneyi sonrası görsel inceleme.....	57
4.2.2 Donma-çözülme deneyi	58
4.2.2.1 Donma-çözülme deneyi sonrası oluşan eğilmede çekme ve basınç dayanımı değerleri.....	59

4.2.2.2 Donma-çözülme deneyi sonrası oluşan ultrases geçiş hızı değerleri	67
4.2.2.3 Donma-çözülme deneyi sonrası oluşan ağırlık değişimleri	68
4.2.2.4 Donma-çözülme deneyi sonrası görsel inceleme	69
4.2.3 Çözelti etkisinin incelenmesi	70
4.2.3.1 Çözelti etkisi sonrası oluşan eğilmede çekme ve basınç dayanımı değerleri	70
4.2.3.2 Çözelti etkisi sonrası oluşan ultrases geçiş hızı değerleri	88
4.2.3.3 Çözelti etkisi sonrası oluşan ağırlık değişimleri	89
4.2.3.4 Çözelti etkisi sonrası görsel inceleme	91
4.2.3.5 Çözelti etkisi sonrası SEM analizi	93
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	95
5.1 Değerlendirme ve Öneriler	97
6. KAYNAKLAR	98
ÖZGEÇMİŞ	107



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Kalsiyum alüminat çimentosu, cüruflar ve Portland çimentosunun CaO-SiO ₂ -Al ₂ O ₃ oranı	4
Şekil 2.2: Talk cevheri	5
Şekil 2.3: Lif boyutunun gerilme-şekil değiştirme diyagramına etkisi.....	7
Şekil 2.4: Pamuk lif örneği	8
Şekil 2.5: Çelik lif çeşitleri.....	10
Şekil 3.1: Kalsiyum alüminat çimentosu	21
Şekil 3.2: Öğütülmemiş ve öğütülmüş talk cevheri	21
Şekil 3.3: Çalışma kapsamında kullanılan agrega.....	22
Şekil 3.4: Çalışma kapsamında kullanılan mikrofiber lif	23
Şekil 3.5: 50x50x50mm ebatındaki kalıplar	24
Şekil 3.6: 40x40x160mm ebatındaki kalıplar	25
Şekil 3.7: Küp numunelerin basınç dayanımının belirlenmesi için kullanılan kırma başlığı	25
Şekil 3.8: Prizma numunelerin basınç dayanımının belirlenmesi için kullanılan kırma başlığı.....	26
Şekil 3.9: Basınç dayanımı şemasal gösterimi.....	26
Şekil 3.10: Eğilmede çekme dayanımının belirlenmesi için kullanılan kırma başlığı.....	27
Şekil 3.11: Eğilmede çekme dayanımı şemasal gösterimi.....	27
Şekil 3.12: Ultrases geçiş hızı ölçüm cihazı	28
Şekil 3.13: Deneylerde kullanılan etüv	29
Şekil 3.14: Yüksek sıcaklık deneyinde kullanılan kül fırını	29
Şekil 3.15: Donma-çözülme kabini.....	30
Şekil 3.16: Sülfat etkisindeki numuneler	31
Şekil 4.1: Ön döküm eğilmede çekme dayanımı sonuçları.....	33
Şekil 4.2: Farklı su/çimento oranına sahip ön döküm eğilmede çekme dayanımı sonuçları	34
Şekil 4.3: Ön döküm basınç dayanımı sonuçları.....	35
Şekil 4.4: Farklı su/çimento oranına sahip ön döküm basınç dayanımı sonuçları	36
Şekil 4.5: Eğilmede çekme dayanımı sonuçları	38
Şekil 4.6: Basınç dayanımı sonuçları	39
Şekil 4.7: K serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği.....	40
Şekil 4.8: K3L serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği	40
Şekil 4.9: K6L serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği	41
Şekil 4.10: K9L serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği	41
Şekil 4.11: 5T serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği	42
Şekil 4.12: 5T3L serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği.....	42
Şekil 4.13: 5T6L serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği.....	43
Şekil 4.14: 5T9L serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği.....	43
Şekil 4.15: 10T serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği	43
Şekil 4.16: 10T3L serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği.....	44
Şekil 4.17: 10T6L serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği.....	44
Şekil 4.18: 10T9L serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği.....	44
Şekil 4.19: 28 gün su kürü uygulanmış a) K, b) K9L, c) 5T, d) 5T9L, e) 10T ve f) 10T9L serilerine ait SEM görüntüleri	45

ŞEKİL LİSTESİ (devam)

Sayfa

Şekil 4.20: Yüksek sıcaklık deneyi sonrası eğilmede çekme dayanımı sonuçları	48
Şekil 4.21: Yüksek sıcaklık deneyi sonrası basınç dayanımı sonuçları	49
Şekil 4.22: 500°C yüksek sıcaklık deneyi sonrası K serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği	50
Şekil 4.23: 500°C yüksek sıcaklık deneyi sonrası K3L serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği	50
Şekil 4.24: 500°C yüksek sıcaklık deneyi sonrası K6L serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği	51
Şekil 4.25: 500°C yüksek sıcaklık deneyi sonrası K9L serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği	51
Şekil 4.26: 500°C yüksek sıcaklık deneyi sonrası 5T serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği	52
Şekil 4.27: 500°C yüksek sıcaklık deneyi sonrası 5T3L serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği	52
Şekil 4.28: 500°C yüksek sıcaklık deneyi sonrası 5T6L serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği	53
Şekil 4.29: 500°C yüksek sıcaklık deneyi sonrası 5T9L serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği	53
Şekil 4.30: 500°C yüksek sıcaklık deneyi sonrası 10T serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği	54
Şekil 4.31: 500°C yüksek sıcaklık deneyi sonrası 10T3L serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği	54
Şekil 4.32: 500°C yüksek sıcaklık deneyi sonrası 10T6L serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme –şekil değiştirme grafiği	55
Şekil 4.33: 500°C yüksek sıcaklık deneyi sonrası 10T9L serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği	55
Şekil 4.34: Yüksek sıcaklık deneyi sonrası ultrases geçiş hız değerleri	56
Şekil 4.35: Yüksek sıcaklık deneyi sonrası oluşan ağırlık kaybı oranları	57
Şekil 4.36: Kontrol numuneleri yüksek sıcaklık etkisi a) 250°C b) 500°C c) 750°C	58
Şekil 4.37: %5 talk içeren numunelere yüksek sıcaklık etkisi a) 250°C b) 500°C c) 750°C	58
Şekil 4.38: %10 talk içeren numunelere yüksek sıcaklık etkisi a) 250°C b) 500°C c) 750°C	58
Şekil 4.39: Donma-çözülme deneyi sonrası eğilmede çekme dayanımı sonuçları	60
Şekil 4.40: Donma-çözülme deneyi sonrası basınç dayanımı sonuçları	61
Şekil 4.41: Donma-çözülme deneyi sonrası K serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği	61
Şekil 4.42: Donma-çözülme deneyi sonrası K3L serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği	62
Şekil 4.43: Donma-çözülme deneyi sonrası K6L serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği	62
Şekil 4.44: Donma-çözülme deneyi sonrası K9L serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği	63
Şekil 4.45: Donma-çözülme deneyi sonrası 5T serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği	63

ŞEKİL LİSTESİ (devam)

Sayfa

Şekil 4.46: Donma-çözülme deneyi sonrası 5T3L serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği	64
Şekil 4.47: Donma-çözülme deneyi sonrası 5T6L serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği	64
Şekil 4.48: Donma-çözülme deneyi sonrası 5T9L serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği	65
Şekil 4.49: Donma-çözülme deneyi sonrası 10T serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği	65
Şekil 4.50: Donma-çözülme deneyi sonrası 10T3L serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği	66
Şekil 4.51: Donma-çözülme deneyi sonrası 10T6L serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği	66
Şekil 4.52: Donma-çözülme deneyi sonrası 10T9L serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği	67
Şekil 4.53: Donma-çözülme deneyi sonrası ultrases geçiş hızlarında meydana gelen değişimler	68
Şekil 4.54: Donma-çözülme deneyi sonrası oluşan ağırlık değişimleri oranları	69
Şekil 4.55: Donma-çözülme öncesi ve sonrası numunelerin durumu a)K b)K3L c)K6L d)K9L e)5T f)5T3L g)5T6L h)5T9L i)10T j)10T3L k)10T6 l)10T9L serisi ...	69
Şekil 4.56: 2 ve 3 ay süreli MgSO ₄ çözeltilisine maruz kalan numunelerin eğilmede çekme dayanımları	73
Şekil 4.57: 2 ve 3 ay süreli MgSO ₄ çözeltilisine maruz kalan numunelerin basınç dayanımları	74
Şekil 4.58: 2 ve 3 ay süreli Na ₂ SO ₄ çözeltilisine maruz kalan numunelerin eğilmede çekme dayanımları	75
Şekil 4.59: 2 ve 3 ay süreli Na ₂ SO ₄ çözeltilisine maruz kalan numunelerin basınç dayanımları	76
Şekil 4.60: 3 ay MgSO ₄ çözeltisi etkisi sonrası K serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği	76
Şekil 4.61: 3 ay MgSO ₄ çözeltisi etkisi sonrası K3L serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği	77
Şekil 4.62: 3 ay MgSO ₄ çözeltisi etkisi sonrası K6L serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği	77
Şekil 4.63: 3 ay MgSO ₄ çözeltisi etkisi sonrası K9L serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği	78
Şekil 4.64: 3 ay MgSO ₄ çözeltisi etkisi sonrası 5T serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği	78
Şekil 4.65: 3 ay MgSO ₄ çözeltisi etkisi sonrası 5T3L serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği	79
Şekil 4.66: 3 ay MgSO ₄ çözeltisi etkisi sonrası 5T6L serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği	79
Şekil 4.67: 3 ay MgSO ₄ çözeltisi etkisi sonrası 5T9L serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği	80

ŞEKİL LİSTESİ (devam)

Sayfa

Şekil 4.68: 3 ay $MgSO_4$ çözeltisi etkisi sonrası 10T serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği	80
Şekil 4.69: 3 ay $MgSO_4$ çözeltisi etkisi sonrası 10T3L serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği	81
Şekil 4.70: 3 ay $MgSO_4$ çözeltisi etkisi sonrası 10T6L serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği	81
Şekil 4.71: 3 ay $MgSO_4$ çözeltisi etkisi sonrası 10T9L serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği	82
Şekil 4.72: 3 ay Na_2SO_4 çözeltisi etkisi sonrası K serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği	82
Şekil 4.73: 3 ay Na_2SO_4 çözeltisi etkisi sonrası K3L serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği	83
Şekil 4.74: 3 ay Na_2SO_4 çözeltisi etkisi sonrası K6L serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği	83
Şekil 4.75: 3 ay Na_2SO_4 çözeltisi etkisi sonrası K9L serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği	84
Şekil 4.76: 3 ay Na_2SO_4 çözeltisi etkisi sonrası 5T serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği	84
Şekil 4.77: 3 ay Na_2SO_4 çözeltisi etkisi sonrası 5T3L serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği	85
Şekil 4.78: 3 ay Na_2SO_4 çözeltisi etkisi sonrası 5T6L serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği	85
Şekil 4.79: 3 ay Na_2SO_4 çözeltisi etkisi sonrası 5T9L serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği	86
Şekil 4.80: 3 ay Na_2SO_4 çözeltisi etkisi sonrası 10T serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği	86
Şekil 4.81: 3 ay Na_2SO_4 çözeltisi etkisi sonrası 10T3L serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği	87
Şekil 4.82: 3 ay Na_2SO_4 çözeltisi etkisi sonrası 10T6L serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği	87
Şekil 4.83: 3 ay Na_2SO_4 çözeltisi etkisi sonrası 10T9L serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği	88
Şekil 4.84: $MgSO_4$ çözeltisinin oluşturduğu ağırlık kayıpları.....	90
Şekil 4.85: Na_2SO_4 çözeltisinin oluşturduğu ağırlık kayıpları	91
Şekil 4.86: 10T ve 10T3L serisine 2 ay $MgSO_4$ çözeltisi etkisi	91
Şekil 4.87: K ve K9L serisine 2 ay Na_2SO_4 çözeltisi etkisi	92
Şekil 4.88: 10T serisine 3 ay $MgSO_4$ çözeltisi etkisi	92
Şekil 4.89: 10T9L serisine 3 ay $MgSO_4$ çözeltisi etkisi	93
Şekil 4.90: 10T serisine 3 ay Na_2SO_4 çözeltisi etkisi.....	93
Şekil 4.91: 3 ay $MgSO_4$ çözeltisi etkisine bırakılmış a) K, b) K9L, c) 5T, d) 5T9L, e) 10T ve f) 10T9L serilerine ait SEM görüntüleri	94

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1: Talkın belirli özelliklerine göre kullanıldığı sektörler	5
Tablo 2.2: Bazı yapay lif türlerinin özellikleri	9
Tablo 2.3: Numunelerin karışım oranları	11
Tablo 3.1: Kalsiyum alüminat çimentosu kimyasal özellikleri	21
Tablo 3.2: Talk cevheri kimyasal özellikleri	22
Tablo 3.3: CEN standart kumu elek analizi.....	22
Tablo 3.4: İlk aşamada kullanılan karışım oranları	23
Tablo 3.5: Son aşamada kullanılan ve deneylere tabi tutulan karışım oranları	24
Tablo 4.1: Ön döküm eğilmede çekme dayanımı sonuçları	33
Tablo 4.2: Farklı su/çimento oranına sahip ön döküm eğilmede çekme dayanımı sonuçları	34
Tablo 4.3: Ön döküm basınç dayanımı sonuçları	34
Tablo 4.4: Farklı su/çimento oranına sahip ön döküm basınç dayanımı sonuçları	35
Tablo 4.5: Eğilmede çekme dayanımı sonuçları.....	38
Tablo 4.6: Basınç dayanımı sonuçları	39
Tablo 4.7: Yüksek sıcaklık deneyi sonrası eğilmede çekme dayanımı sonuçları.....	48
Tablo 4.8: Yüksek sıcaklık deneyi sonrası basınç dayanımı sonuçları	49
Tablo 4.9: Yüksek sıcaklık deneyi sonrası ultrases geçiş hızlarında meydana gelen değişimler	56
Tablo 4.10: Donma-çözülme deneyi sonrası eğilmede çekme ve basınç dayanımı sonuçları	60
Tablo 4.11: Donma-çözülme deneyi sonrası ultrases geçiş hızlarında meydana gelen değişimler	68
Tablo 4.12: 2 ve 3 ay süreli MgSO ₄ çözeltisine maruz kalan numunelerin eğilmede çekme dayanımları ve azalma oranları.....	72
Tablo 4.13: 2 ve 3 ay süreli MgSO ₄ çözeltisine maruz kalan numunelerin basınç dayanımları ve azalma oranları.....	73
Tablo 4.14: 2 ve 3 ay süreli Na ₂ SO ₄ çözeltisine maruz kalan numunelerin eğilmede çekme dayanımları ve azalma oranları.....	74
Tablo 4.15: 2 ve 3 ay süreli Na ₂ SO ₄ çözeltisine maruz kalan numunelerin basınç dayanımları ve azalma oranları.....	75
Tablo 4.16: 3 ay MgSO ₄ çözeltisine maruz kalan numunelerdeki ultrases geçiş hızı değişimleri	89
Tablo 4.17: 3 ay Na ₂ SO ₄ çözeltisine maruz kalan numunelerdeki ultrases geçiş hızı değişimleri	89

SEMBOLLER VE KISALTMALAR LİSTESİ

°C	: Kalsiyum oksit
µm	: Mikrometre
A	: Kesit alanı (mm ²)
ACI	: Amerikan Beton Enstitüsü
AH ₃	: Alüminyum hidroksit
Al ₂ O ₃	: Alüminyum oksit
b	: Numunenin genişliği (mm)
CaCO ₃	: Kalsiyum karbonat
CaO	: Kalsiyum oksit
CaSO ₄	: Kalsiyum sülfat
CEM	: Kalsiyumla zenginleştirilmiş siman
CEN	: Avrupa Standartlar Komitesi
d	: Numunenin kalınlığı (mm)
Fe ₂ O ₃	: Demir oksit
GPa	: Gigapascal
H ₂ O	: Hidrojen oksit
KAÇ	: Kalsiyum alüminat çimentosu
L	: Numunenin boyu
Mg ₃ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂	: Magnezyum silikat
MgO	: Magnezyum oksit
MgSO ₄	: Magnezyum sülfat
MÖ	: Milattan önce
MPa	: Megapascal
MPFÇ	: Magnezyum-potasyum fosfat çimentosu
Na ₂ SO ₄	: Sodyum sülfat
P	: Kırılma yükü (N)
PÇ	: Portland çimentosu
PVA	: Polivinil alkol
s/ç	: Su-çimento oranı
SiO ₂	: Silisyum dioksit
σ	: Basınç dayanımı

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimime başlamadan önce ve sonrasında beni destekleyen, değerli bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan ve bana yol gösteren değerli danışman hocam Prof. Dr. Arın YILMAZ'a saygılarımı ve teşekkürlerimi sunarım.

Tezimde bana her zaman yardımcı olan ve çalışmalarımın bir kısmını Yıldız Teknik Üniversitesinde gerçekleştirmeme olanak sağlayan değerli eş danışman hocam Doç. Dr. Yurdakul AYGÖRMEZ'e saygılarımı ve teşekkürlerimi sunarım.

Çalışma kapsamında kullanılan agregaların teminini sağlayan LİMAK Çimento'ya, talk cevherinin teminini sağlayan Hüseyin GÜRLEK'e, hem kalsiyum alüminat çimentosunun teminini sağlayan hem de talk cevherinin öğütülmesinde yardımcı olan Oğuz KIR'a, tez çalışmalarım devam ederken iş imkanı sağlayan Anıl ŞENER'e teşekkür ederim.

Hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini bir an bile eksik hissetmediğim babam Yusuf KAMAN, annem Birtane KAMAN ve biricik ablam Rabia KAMAN'a sonsuz teşekkürü bir borç bilirim.

Balıkesir, 2025

Alperen KAMAN

1. GİRİŞ

Ülkemizde ve dünyada hazır beton üretimi ve kullanımı ihtiyaçlar doğrultusunda neredeyse her geçen yıl artış göstermektedir. 1988 yılında 30 tesis ve 1.5 milyon m³ hazır beton üretimi gerçekleşmişken bu durum 2021 yılında 1106 tesis ve 105 milyon m³ hazır beton üretimine kadar gelmiştir (THBB, 2022).

Beton üretiminde geleneksel olan Portland çimentosu (PÇ) en yaygın kullanılan çimento türüdür. Bu sebeple PÇ türünün kullanıldığı çokça araştırma literatürde vardır. PÇ'nin farklı farklı avantajlı ve dezavantajlı yönü yapılan bu çalışmalar ve piyasada kullanımıyla beraber bilinmektedir. Bilinen bu avantajları daha da arttırmak ve dezavantajlarını azaltmak için PÇ'yle beraber bazı mineral katkı malzemeleri (yüksek fırın cürufu, uçucu kül, silis dumanı vb.) de kullanılmaktadır (Saydan, 2021). Uçucu kül gibi mineral malzemelerin ikame edilmesiyle betonun erken zamanlardaki mekanik performansında azalış meydana geldiği (Saydan, 2021; Li et al., 2002; Naik vd., 2002) ve geç priz almasına sebebiyet verdiği gözlemlenmiştir (Fu et al., 2002; Topçu ve Canbaz, 2001). PÇ'nin özelliklerinin bilinmesi sebebiyle de dünyada bazı ülkelere göre değişen belli standartlarda üretimi ve kullanılması zorunlu tutulmuştur (Saydan, 2021).

Kalsiyum Alüminat Çimentosu (KAÇ), PÇ'den hızlı priz alması, erken yaş dayanımı, artan ve değişen sıcaklıklardan ve dışarıdan gelen kimyasal etkilerden daha az etkilenmesi gibi çeşitli nitelikleriyle daha avantajlı bir konumdadır (Saydan, 2021; Scrivener, 2003; Scrivener and Capmas, 2003; Snelus et al., 1888). KAÇ'ın PÇ'ye göre çeşitli avantajlarının olmasının yanında maliyet ve çevreye karşı olumsuz etkisi gibi dezavantajları vardır örneğin hem üretimdeki malzemelerin maliyeti hem de boksit ve kalkerli karışımdan oluşan ve yaklaşık 1450°C gibi yüksek sıcaklıklara maruz bırakılıp soğuma işlemi uygulanmasından oluşan üretim aşamasında yapılan enerji sarfiyatı verilebilir (Saydan, 2021; Lafarge, 1923).

Dünyada, üretimde ve kullanılan araçlardan yayılan toplam CO₂ miktarının bir kısmı çimento üretimine aittir ve oluşan hava kirliliği ile birlikte günümüzde sıkça duyar olduğumuz karbon ayak izini arttırmaya sebebiyet vermektedir (Gönen vd., 2012). Aynı zamanda çimento üretiminde kullanılan klinkerin üretiminde kil ve kalker kullanılmaktadır ve bu üretim için de çok yüksek sıcaklıklara (1400-1500°C) ihtiyaç vardır. Yüksek

sıcaklıklara ulaşmak için de çok fazla enerji sarfiyatı meydana gelmektedir (Yadollahi vd., 2017).

Lif ikamesi ise özellikle eğilme dayanımlarını arttırıcı etkiye sahiptir. Betonda oluşan hava boşluklarını doldurur ve aderansı arttırır. Özellikle son yıllarda yüksek performanslı beton olarak çeşitli liflerin beton dayanımlarındaki etkisi araştırmacılar tarafından araştırılmaktadır. Çalışma kapsamında liflerin mekanik ve durabilite performansını nasıl etkilediği gerilme – şekil değiştirme diyagramları üzerinde değerlendirilmiştir.

Bu çalışmada ise bağlayıcı olarak özel bir çimento türü olan kalsiyum alüminat çimentosu ve belirli oranlarda öğütülmüş talk cevheri kullanılmıştır. Öncelikle harçlarda talk cevheri, kalsiyum alüminat çimentosu ile %20 oranına kadar (%5, %10, %15 ve %20) ikame edilmiştir. Basınç dayanımı ve eğilmede çekme dayanımı testleri sonucu en iyi sonucu veren %0, %5 ve %10 oranında talk cevheri içeren karışımlarda sırasıyla çimento ağırlığının %0, %0,3, %0,6 ve %0,9 oranında 6 mm boyutunda mikrofiber lif kullanılmıştır. Çalışma kapsamında mikrofiber liflerle güçlendirilmiş harçlarda bağlayıcı olarak özel bir çimento türü olan kalsiyum alüminat çimentosu yerine talk cevheri ikamesinin mekanik ve durabilite performansları üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

2. GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR TARAMASI

2.1 Kalsiyum Alüminat Çimentosu

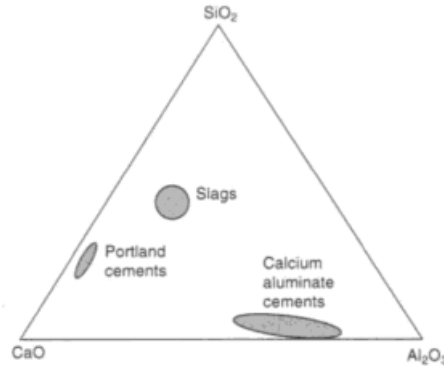
Çimento aslen Latince’de yer alan “Caementum” (taş kırıntısı) kelimesinden gelmektedir. Çimentonun bağlayıcılığı keşfedilmeden önce kireç yapılarında bağlayıcı olarak kullanılmaktaydı. 1824 yılında Joseph Aspdin tarafından kil ve kalkerin pişirilip öğütülmesi sonucu oluşan İngiltere’nin Portland adasından esinlenerek “Portland çimentosu” olarak buluş belgesi almıştır. Tam olarak bugünkü Portland çimentosu olmasa da bağlayıcı malzeme olarak bir milat sayılabilir. Bu keşiften sonra ilk çimento üretim tesisi 1848 yılında İngiltere’de inşa edilmiştir (Türk Çimento, 2024).

Portland çimentosu, kalker ve kilin homojen şekilde öğütülüp çok yüksek sıcaklıklarda (yaklaşık 1400-1500°C) pişirilmesi sonucu oluşan klinker ile alçı taşı ve istenilen özelliklere göre ilave malzemelerde karıştırılmasıyla elde edilir. Günümüzde çimento çeşitliliği araştırmalar sonucu artış göstermektedir. En yaygın olarak kullanılan çimentolar ise Portland Kompoze çimento, Cürüflü çimento, Sülfata Dayanıklı çimento gibi çimentoların yanında daha spesifik olan Beyaz çimento ve bu çalışmada da kullanılan Kalsiyum Alüminat çimentosu kullanılmaktadır (THBB, 2024).

Kalsiyum Alüminat çimentosu (KAÇ) ilk defa üretilme aşamasında yüksek alüminli çimento olarak adlandırılmış olup ilk önemli bilimsel incelemeleri Bied tarafından yapılmıştır (Bied, 1909). 1916 yılında ortaya çıkan, 1. Dünya Savaşı boyunca ve ardından devam eden kullanım süresi boyunca savaş alanlarında mevzilerin güçlendirilmesi gibi çeşitli amaçlarla kullanılmıştır (Touche, 1926). 1920’lerin sonuna kadar getiri amacıyla satılmamıştır (Bied, 1909). KAÇ, PÇ’nin 28 gün sonunda eriştiği mukavemet değerine 6 saat gibi kısa sürelerde gelmesi, hızlıca priz alması, asidik maruz kalmalara karşı dayanıklılığı ve sülfata karşı dayanıklılığı gibi özellikleri sayesinde çeşitli uygulama alanlarında kullanılmıştır (Scrivener, 1998; Sucu ve Delibaş, 2015).

KAÇ ve PÇ arasındaki bir diğer fark da priz aldığı süreden tam dayanımını alıncaya kadar aktif fazların değişiklik göstermesidir. Portland çimentolarında kalsiyum ve silisyum oksitleri sonucunda Trikalsiyum Silikat (C₂S – Alit) ve Dikalsiyum Silikat (C₃S – Belit) fazları oluşmaktadır ve su ile etkileşimi sonucunda C-S-H ve C-H hidratları oluşmaktadır. Fakat KAÇ, PÇ’den farklı olarak kalsiyum oksit ve alüminyum oksit birleşerek

Monokalsiyum Alüminat (CA) oluşturur ve su ile etkileşimi sonucunda kalsiyum alüminat hidratlarını oluşturmaktadır (Sucu ve Delibaş, 2015). KAÇ ve PÇ'nin CaO-SiO₂-Al₂O₃ sistemindeki yerleri Şekil 2.1'de görüldüğü gibidir.



Şekil 2.1: Kalsiyum alüminat çimentosu, cüruflar ve Portland çimentosunun CaO-SiO₂-Al₂O₃ oranı (Scrivener, 1998)

KAÇ'ın su ile reaksiyona girdikten sonra oluşacak fazlar kürlendiği sıcaklıklar önemli rol oynamaktadır. 15°C ve 15°C'den düşük sıcaklıklarda CH₁₀, 15°C ve 70°C aralığındaki sıcaklıklarda C₂AH₈ oluşurken 70°C ve üstü sıcaklıklarda ise AH₃ ve C₃AH₆ oluşumu gerçekleşir (Scrivener, 1998).

2.2 Talk Cevheri

Talk cevheri beyaz renkte olabileceği gibi yeşil rengi andıran saydam renkte de olabilir. Kaygan ve yumuşaktır. Mohs Sertlik Skalası 1'den 10'a kadar sertlik derecesinden oluşur. 1. derece en yumuşak, tırnakla çizilenlerden oluşurken 10. derece çok sert malzemeler için kullanılır. Talkın yumuşaklığı Mohs Sertlik Skalasına göre 1 olarak kabul edilir. Aynı zamanda talk sulu magnezyum silikattır. Formülü Mg₃Si₄O₁₀(OH)₂'dir (MTA, 2025). Talkın ideal kimyasal yapısında %63.5 SiO₂, %31.7 MgO ve %4.8 H₂O bulunması gerektiği belirtilmiştir (Bozkurt, 1969). Atmosfer hava şartlarında stabil olarak bozulmadan kalabilirler fakat bozulma ilerlerse kalsedon veya manyezite evrilebilmektedir (MacKenzie and Guilford, 1980).



Şekil 2.2: Talk cevheri (MTA, 2025)

Talkın asitlere ve ateşe karşı dayanıklılığı vardır. Talk türüne göre çok çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Örneğin; seramik üretiminde, böcek ilaçlarında, araçlarda, vücut için kullanılan pudralarda, saf özellikli ve CaCO_3 içeriği %2 ile 5 arasında olan talklar kağıt üretiminde, oluşacak olumsuz hava koşullarına karşı ve yüksek ateşe karşı dayanıklılığı sebebiyle çatı üretiminde kullanılmaktadır (MTA, 2025; Bozkurt, 1969; MacKenzie and Guilford, 1980; Sariz ve Nuhoğlu; 1992; Kutlu, 2013). Tablo 2.1’de değişen talk özelliklerine göre hangi sektörlerde kullanıldığı gösterilmiştir.

Tablo 2.1: Talkın belirli özelliklerine göre kullanıldığı sektörler (Kutlu, 2013)

Talk Özelliği	Talkın Fonksiyonu	Kullanılan Sektör
Plakalı	Yumuşaklık, Aşındırmama	Kozmetik, Kağıt, Çatı Kaplama Malzemesi
Plakalı	Basılabilirlik	Kaplanmış Kağıt
Plakalı	Yapışmazlık	Lastik Tekerlekler, Fırın, Yiyecek
Plakalı	Bariyer Etki	Boya, Yapıştırıcı Çimento
Plakalı ve Hidrofobluk	Bariyer Etki	Kaplanmış Kağıt, Çatı Kaplama Malzemesi
Organofilik	Kimyasal Talep	Kaplanmış Kağıt
Organofilik	Tutunma	Kozmetik, Kağıt (Yapışkan Kontrolü), Zeytinyağı
Organofilik ve Hidrofobik	Yumuşaklık, His	Kaplanmış Kağıt
Hidrofobik	Basılabilirlik, Gözeneklilik	Kaplanmış Kağıt
Hidrofobik	Anticaking	Hayvan Yemi, Yemek, Gübre
Magnezyum İçeriği	Fluks	Seramik Karo, Saniter, Sır, Süs Eşyası
Klaorit İçeriği	Düşük Termal Genleşme	Refrakter
Magnezyum ve Silikon İçeriği	Elektroizolasyon	Steatit ve Corderit
Molkeküler Yapısı	Çekirdekletirmek	Yan Kristal Polimerler
Non-polar	Elektroizolasyon	Kablo
Hareketsizlik	Bariyer Etki	Kauçuk
Hareketsizlik	Taşıyıcı	Premiksler, Pestisit, İlaç, Kozmetik

Talk rezervi dünyada birçok ülkede bulunur ve miktar olarak iyi durumda olan rezervler ise Avustralya, Avusturya, Brezilya, Çin ve ABD örnek olarak verilebilir. Ülkemizde bulunan talk rezerv alanları ise Aydın, Balıkesir, Bolu, Eskişehir, Sakarya ve Sivas'ta yer almaktadır (Kutlu, 2013).

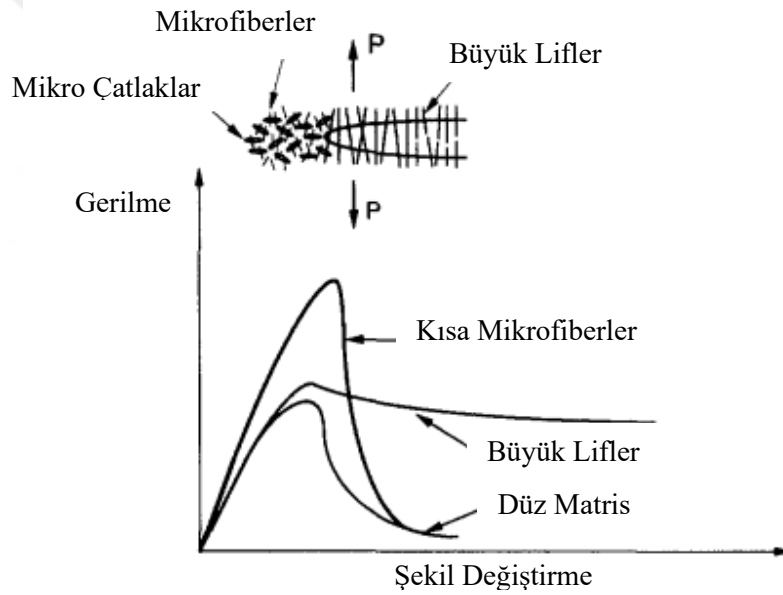
2023 yılında elde edilen verilere göre dış ticareti incelendiğinde ihracat miktarı 13.056 ton ve değeri 6.769.456 dolar, ithalat miktarı 40.411 ton ve değeri ise 14.918.994 dolar olarak gerçekleşmiştir. Diğer toplam ihraç edilen endüstriyel hammaddelerin maliyeti göz önüne alındığında pazar hacmi %0.57, ithal edilen endüstriyel hammaddelerin maliyetinin ise yaklaşık olarak %21.91'ine denk gelmektedir. 2022 yılından 2023 yılına talk cevheri ihracatta tonaj olarak %14.76'lık büyüme sağlarken değer olarak ise %33.78'lük büyümeyle endüstriyel hammaddeler içerisinde 5. sırada yer almıştır. İthalatta ise bir yıllık süreç içerisinde tonaj olarak %4.23'lük azalış göstermiş olup değer olarak ise %1.90'lık azalış göstermiştir (MTA, 2025b).

Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü'nün yaptıkları çalışmaları sonucunda Balıkesir ilinin toplam 2.5 ve 3 milyon ton potansiyel talk rezervi olduğu saptanmıştır. Bölgedeki talkların kimyasal yapısında Fe_2O_3 miktarı fazlaca olduklarından dolayı kullanım alanları kısıtlı olmaktadır. Bunun haricinde bölgedeki talklar renkli pişen seramik imalatında kullanılabilir oldukları belirtilmiştir (MTA, 2024).

2.3 Liflerin Beton İçerisinde Kullanımı

Lifler, belirli bir en boy oranında (Boy/Çap > 10) olan, genişliği maksimum 0.25 mm olan ve kesit alanı maksimum 0.05 mm^2 olan ve yapısı bakımından metal, polimer, mineral ve doğal yapılarda bulunabilen malzemelere denmektedir (Ünal vd., 2007; Güngör, 2013; ACI, 2010). ACI (Amerikan Beton Enstitüsü) komitesi kullanılacak olan liflerin en belirgin ve nicel ölçümü boy ve çap oranının yani narinlik oranını önemli bulmuşlardır (Ünal vd., 2007; ACI, 1997). Lif takviyesi yapılan betonların kullanım alanları giderek çeşitlilik kazanmaktadır. Bu alanlara örnek olarak, sanayi ile ilgili yapılar, beton yollar, tretuvar yapımı ve bomba gibi patlayıcı malzemelere maruz kalabilecek yüzeylerde kullanılmaktadır (Ünal vd., 2007; Topçu, 2004; Topçu ve Boğa, 2005). Betonarme binalardan da önce yapı imalatında kullanılan malzemeler olan kerpiç ve diğer harçlarda herhangi bir işleme uğramadan direkt kullanılabilen keten, kenevir ve bazı hayvanların kılları gibi doğal lifler uygulanmıştır (Sarı, 2013). Kompozit özelliğe sahip olan betonlarda agrega, su ve bağlayıcı

olarak kullanılan çimentoya ilave olarak bazı özellikleri iyileştirmek amacıyla çeşitli lifler katılmaktadır. Bu lifler doğal lifler olan saman gibi lifler olabileceği gibi yapay olan çelik, plastik lifler de olabilir (Fırat, 1996). Farklı boyutlarda lifler farklı avantaj ve dezavantajlar göz önünde bulundurularak seçilmektedir. Mikro boyutlardaki çatlakların ilerleyerek yapısal anlamda zarar verecek makro boyutlara ulaşmasını yavaşlatacak ya da durduracak özelliklere sahip mikro lifler kullanılacağı gibi makro boyutlara ulaşmış çatlakların kontrol edilmesi için makro lifler tercih edilmektedir. Mikro boyutlu lifler beton içerisinde yapılarından dolayı daha yoğun yer kaplayabilir ve malzemenin plastik şekil değiştirmesi başlamadan önceki elastik şekil değiştirme bölgesindeki davranışına katkı sağlar. Makro boyutlu lifler ise malzemenin çekme ve eğilme mukavemetinde artışa sebep olurken plastik şekil değiştirmeye maruz kalmış ve maksimum gerilme değerine ulaşmış malzemenin daha sünek davranmasına katkı sağlar (Çakır, 2013; Rossi, 2000). Bu farklara örnek olarak Şekil 2.3 gösterilebilir.



Şekil 2.3: Lif boyutunun gerilme-şekil değiştirme diyagramına etkisi (Betterman et al., 1995)

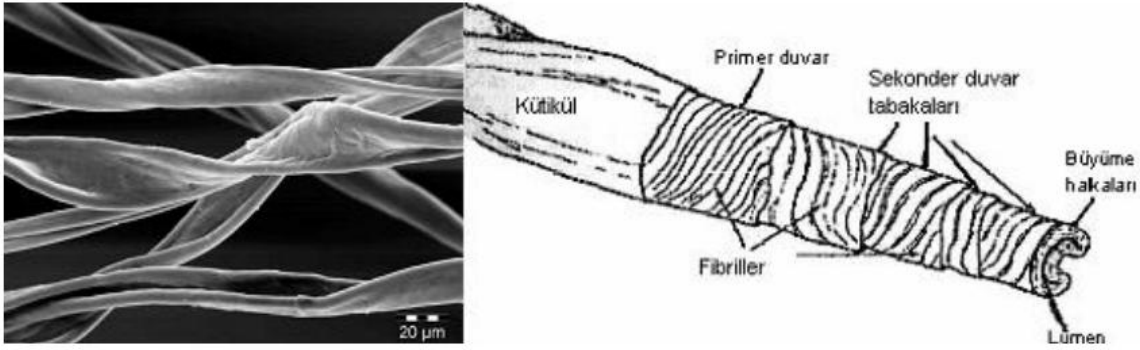
Lifler özellikle betona süneklik kazandırmaktadır. Bu faydasıyla birlikte gelen darbelere karşı mukavemetinin artırılması ve oluşacak çatlakların boyutunun çok fazla büyümeden istenilen seviyede tutabilmek amacıyla son yıllarda katkı malzemesi olarak kullanılmaktadır (Şenol, 2022). Lifler türüne, kimyasal ve fiziksel özelliklerine, dayanımı ve şekline göre gruplandırılmaktadır (Micelli et al., 2020). Bazı lif çeşitleri aşağıda gösterilmiştir: (Sarı, 2013; Şenol, 2022)

- Doğal Lifler

- Bitkisel Lifler
- Hayvansal Lifler
- Mineral Lifler
- Yapay Lifler
 - Polipropilen Lifler
 - Cam Lifler
 - Çelik Lifler
 - Karbon Lifler
 - Seramik Lifler

2.3.1 Doğal lifler

Eski zamanlarda kullanılan saman, at yelesi gibi liflerin yanında kenevir, asbest, hindistan cevizi ve bambu gibi lifler doğal lifler bulunmaktadır (Sarı, 2013; Şenol, 2022). Şekil 2.4’te doğal lif olan pamuk lifinin örneği verilmiştir.



Şekil 2.4: Pamuk lif örneği (MEB, 2011)

Troia Kazıları ile MÖ 2500 yılına ait ve bulunduğu tarih ile beraber en eski doğal lif uygulamasıdır. Pişmiş tuğlaların örülerek oluşturulan duvarların üzerine uygulanan sıvaların içinde saman ve keçi kılı bulunmuştur. Bu ise mikro donatısının ilk modelleridir (Ekincioglu, 2003). 4500 yıl önce kullanıldığı bilinen samanın takviye edildiği kil, en eski doğal liftir (İpek, 2007).

2.3.2 Yapay lifler

Dokuma ve petrol sanayisinde yaşanan değişimler ve ilerlemeler sayesinde yapay lif üretimi gerçekleşmiştir. Çelik, polipropilen, polietilen, cam ve karbon lifler bazı yapay lif türlerindedir. Bu tür lifler doğal liflere göre daha yüksek çekme dayanımına sahiptir (Arslan ve Sarıkaya, 2021). Yapay liflere ait bazı özellikler Tablo 2.2’de gösterilmiştir.

Tablo 2.2: Bazı yapay lif türlerinin özellikleri (Şenol, 2022)

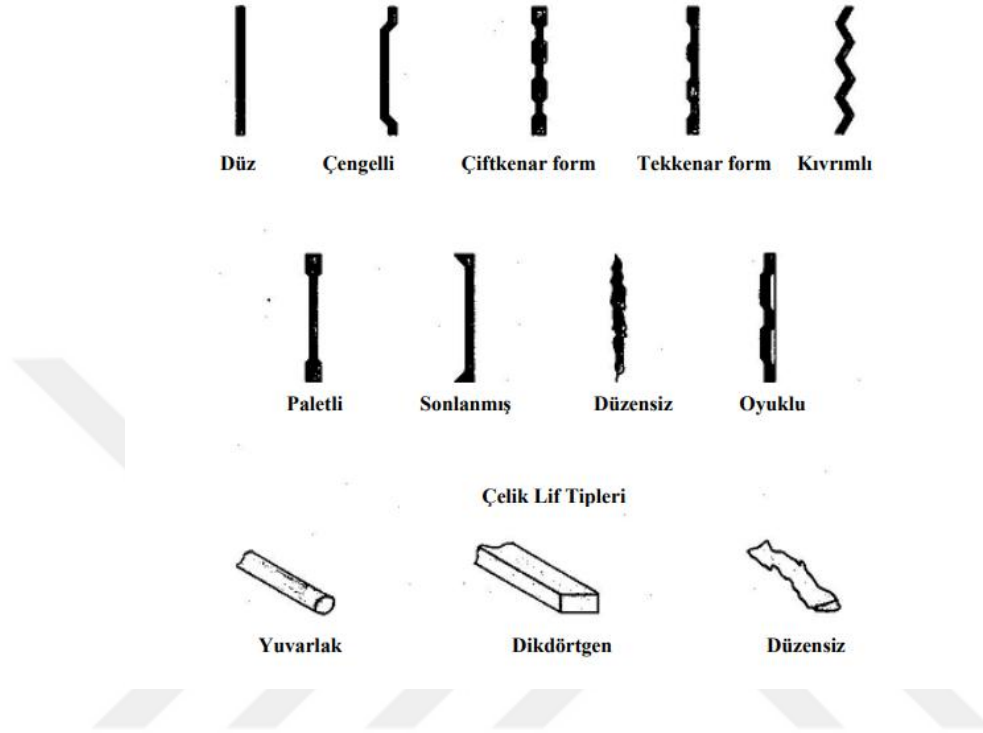
Lif Çeşidi	Uzunluk (mm)	Çap (μm)	Yoğunluk (g/cm^3)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Elastik Modülü (GPa)
Polipropilen	6-50	15-20	0.91	270-700	3.0-3.5
Cam	3-50	11-40	2.3-2.7	1200-3400	72-87
Çelik	10-60	0.16-2.60	7.85	500-2000	200
Karbon	3-50	7-15	1.95	2200	390

Polipropilen lifler betonlara kılcal çatlakların önlenmesinde, boşlukların kapatılmasında ve dayanım kazanmasında olumlu katkılarından dolayı çok çeşitli kullanıma alanlarına sahiptir. Örneğin beton yollarda, shotcrete uygulanmasında ve yüksek sıcaklığa kalacak yapılar gösterilebilir (Salemi and Behfarnia, 2013; Asoka et al., 2010; Uğur ve Ünal, 2022). Aynı zamanda polipropilen lifin kullanımıyla yüksek basınç dayanımına sahip betonlar özel yapı türü olan köprü, nükleer santral gibi çeşitli yapılarda kullanılmaktadır (Bošnjak et al., 2013; Afroughsabet and Ozbakkaloglu, 2015).

Cam lifler, 1200-1500°C sıcaklıklarda eritilmiş camların istenilen boyutlarda kesilmesiyle elde edilmektedir (Ali vd., 2019). Betonda kullanılması için ise %16-20 arasında zirkonya içermeli ve alkaliye dayanıklı olmalıdır (Plizzari and Mindess, 2019; İskender ve Karasu, 2018). Yüksek sıcaklıklara karşı dayanımı, ısı iletkenlik katsayısının az oluşu, çevreden gelebilecek kimyasal etkilere karşı dayanıklı oluşu ve yüksek mukavemeti gibi sebeplerden dolayı betonda cam lifler kullanılmaktadır (Çelikkanat, 2022).

Çelik lifler, karbon içeriği düşük bir çelik olan C1008 türü çelikten üretilir. Bu lifler büyük çekme kuvvetine karşı uzama miktarı düşüktür (Topçu, 2006). Çelik lifler betona basınç dayanımından çok süneklik kazandırmak ve eğilme dayanımını artırmak için tercih edilmektedir. Betonların enerji sönümlenme kapasitesi artış göstermekte ve deprem gibi sisteme etkiyecek yüklere karşı daha sünek bir davranış göstermektedir (Yerlikaya, 2003). Çelik liflerin üretimi farklı şekillerde gerçekleştirilmektedir (DSİ, 1994). Farklı şekle, uzunluğa ve kalınlığa sahip çelik lifler mevcuttur. TS 10513'te belirtilen şartlar göz önünde bulundurularak bu türler arasından seçilir ve beton içerisinde kullanılmalıdır. Bu lifler genel olarak tokluk değerlerini arttırdığından dolayı depreme karşı dayanıklı olması gereken yapılarda, yıpranmalara ve çekme dayanımına olumlu etkilerinden dolayı yol kaplamaları ve

barajlarda, aşırı ısınıp soğuyan ortam şartlarına maruz kalacak yapılarda ve savunma alanında patlama etkisinin söndürülmesinde kullanılmaktadır (Kozak, 2013). Bazı çelik lif çeşitleri Şekil 2.5'te gösterildiği gibidir.



Şekil 2.5: Çelik lif çeşitleri (Durmaz, 2007)

2.4 Literatür Taraması

Dündar vd. (2019), yapmış olduğu çalışmada profillit tozu ve polipropilen lifler kullanılarak elde edilen harçların fiziksel ve mekanik performansına bakılmıştır. 40x40x160 mm boyutundaki kaplarla üretilen harçlarda bağlayıcı olarak CEM I 42.5R Portland çimentosu kullanılmıştır. Su/çimento oranı 0.5 olarak seçilmiştir. Toz haline getirilmiş olan profillit malzeme çimentoya oranla sırasıyla %0, %10, %20 ve %30 olarak ilave edilmiştir. Polipropilen lif ise sırasıyla %0, %0,1, %0,3 ve %0,5 olarak seçilmiştir. Deneydeki numunelerin adları ve karışım oranları Tablo 2.3'te gösterilmiştir.

Tablo 2.3: Numunelerin karışım oranları

Numune Adı	Kum (g)	Çimento (g)	Profillit (g)	Lif Oranı (%)	Lif (g)
R	1350	450	0	0	0
R-1	1350	450	0	0.1	0.4
R-3	1350	450	0	0.3	1.2
R-5	1350	450	0	0.5	2
P10	1350	405	45	0	0
P10-1	1350	405	45	0.1	0.4
P10-3	1350	405	45	0.3	1.2
P10-5	1350	405	45	0.5	2
P20	1350	360	90	0	0
P20-1	1350	360	90	0.1	0.4
P20-3	1350	360	90	0.3	1.2
P20-5	1350	360	90	0.5	2
P30	1350	315	135	0	0
P30-1	1350	315	135	0.1	0.4
P30-3	1350	315	135	0.3	1.2
P30-5	1350	315	135	0.5	2

Numuneler kalıplardan çıkarıldıktan sonra 28 gün kür için suda bekletilmiştir. 7. gün sonunda numunelerin eğilme ve basınç dayanımlarına bakılmıştır. 28. gün sonunda ise eğilme ve basınç dayanımlarıyla beraber numunelerin diğer fiziksel özellikleri için deneylere tabi tutulmuştur.

Profillit oranı arttıkça su emme oranında ve porozite yüzdelerinde bir artış olduğu, lif oranı arttığında porozite yüzdelerinde bir azalma olduğu deneyler sonunda saptanmıştır. 7 günlük eğilme dayanımlarında en yüksek dayanım R-1 isimli numunede, en düşük dayanım P20 isimli numunede gözlemlenmiştir. 28 günlük eğilme dayanımlarında ise en yüksek dayanım R isimli numunede, en düşük dayanım ise P20 isimli numunede gözlemlenmiştir. 28 günlük basınç dayanımlarında en düşük dayanımlar eğilme dayanımları sonucuyla aynı gerçekleşirken en yüksek dayanım P10-1 isimli numunede gerçekleşmiştir. Çalışma sonunda profillit tozunun harç içerisinde mineral katkı malzemesi olarak kullanılabilmesine, fiziksel ve mekanik performansını arttırdığı ve lifin ikame edilmesiyle de performansın daha da iyileştiği sonucuna varılmıştır.

Kaplan (2020), tarafından yapılan çalışmada bağlayıcı olarak CEM I-42.5/R kullanılırken, öğütülmüş profillit tozu ve yüksek fırın cürufu katkı malzemesi olarak kullanılmıştır. Kullanılan öğütülmüş profillit tozu ve yüksek fırın cürufu sırasıyla %5, 10 ve 15 olarak

denemeler sonucu tespit edilmiştir. Hazırlanan numuneler 40x40x160 mm kalıplardan çıkarıldıktan sonra kür havuzuna yerleştirilmiştir. Harçlar, uygulanacak deneylere bağlı olarak değişen kür sürelerince (7, 28, 56 ve 90 gün) bu havuzlarda tutulmuştur. Uygulanan deneyler ise sırasıyla su emme ve porozite deneyi, kapiler su emme deneyi, ultrases geçiş hızı deneyi, eğilme ve basınç dayanımı deneyidir. Son olarak sülfirik asit ortamında bekletilen numunelere asit etkisi ile ağırlık ve dayanım kaybı deneyi uygulanmıştır. Öğütülmüş profillit tozu katkılı harçlarda, yüksek fırın cürufu katkılı harçlara göre daha düşük su emme ve porozite yüzdesine ulaşılmıştır. Kapiler su emme deneyinde yüksek fırın cürufu katkılı harçlarda, öğütülmüş profillit tozu katkılı harçlara göre daha düşük sonuçlara ulaşılmıştır. Porozitesi düşük olan harçların ultrases geçiş hızlarının yüksek olduğu ayrıca gözlemlenmiştir. Sülfirik aside maruz kalan numunelerde en iyi performans öğütülmüş profillit tozu katkılı harçlarda olduğu gözlemlenmiştir. Araştırmacı, çalışmasının sonunda öğütülmüş profillit tozunun katkı malzemesi olarak kullanıldığında harçlara fiziksel ve mekanik özellikleri bakımından olumlu yönde etkisinin olabileceği sonucuna varmıştır.

Yapıcı vd. (2022), yapmış oldukları çalışmada bazalt agregası kullanılan malzemesine profillit ve zeolit katkısının malzemeler üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Profillit ve zeolit katkıları bazalt ile belli oranlarda ayrı ayrı %0, 5, 10 ve 15 olacak şekilde seçilmiştir. Numunelere 28 gün su kürü uygulandıktan sonra mekanik ve ısıl özellikleri ile beraber kuru yığın yoğunluk deneyleri uygulanmıştır. Deneyler sonucunda, her iki katkı çeşidine göre en yüksek basınç ve eğilme dayanımlarına %5 katkı seviyesinde ulaşılmıştır. %5 zeolit katkısı sonucunda basınç mukavemeti 27.65 MPa iken eğilme mukavemeti 5.45 MPa olarak ölçülmüştür. Aynı oranda profillit katkısında ise basınç mukavemeti 21.65 MPa, eğilme mukavemeti 5.95 MPa olarak ölçülmüştür. İki katkının da %5 olarak uygulanmasında ısıl iletkenlikler birbirine eşit ve 1.21 W/m.K ölçülmüştür. Son olarak kuru yığın yoğunlukları da karşılaştırıldığında sadece en yüksek basınç ve eğilme dayanımlarına ulaşılan %5 katkı oranında profillitin kullanıldığı numunelerde zeolite göre yoğunluk düşük gelmiştir. Çalışma sonunda araştırmacı profillit malzemesinin hafif beton imalatında kullanılabilir olduğu sonucuna varmıştır.

Alişer vd. (2016), yapmış oldukları çalışmada cam lif ikame edilen CEM I 42.5 N tipinde Portland çimentolu harçlara mermer tozu katılmasının sülfat çözeltisine karşı değişimini incelemiştir. Su/çimento oranı 0.50 olarak seçilmiştir. Cam lifler 6 mm boyutlarındadır ve sırasıyla 0.25, 0.50, 0.75 ve 1 kg/m³ olarak karışıma ikame edilmiştir. İnce agregaların (0-

0.25mm) yerine %10, %20, %30, %40 ve %50 oranlarında mermer tozu eklenmiştir. Numuneler kalıplardan çıkarıldıktan sonra 28 gün su ortamında kürlenmiştir. Ardından 3 farklı ortamda (su, sülfat çözeltisi ve sülfatlı çözeltide ıslatıp kurulum) 150 gün süresince %5 derişime sahip sodyum sülfata maruz bırakılmıştır. Araştırmacılar, üretilen numunelerin boylarında meydana gelen değişimleri ve kapiler su emmeleri incelemişlerdir. Deneyler sonucunda devamlı olarak su ortamında kürlenlen numunelerde cam lif artışı ile genleşme miktarında artış halinde olduğu fakat mermer tozunun eklenmesiyle bu genleşme miktarında azalma olduğu sonucuna varılmıştır. Devamlı olarak sülfat çözeltisinde bekletilen numunelerde oluşan genleşme miktarı, sülfat çözeltisinde ıslatıp kurulum yapılan numunelerde oluşan genleşme miktarından daha az olarak gerçekteleşmiştir. Araştırmacılar liflerin zamanla sülfat etkisine maruz kalmalarıyla üstlerinde boşluk oluşturduğunu ve bu durumunda genleşme miktarlarında artışa sebebiyet verebileceğini belirtmişlerdir. Kapiler su emme deneyinin sonucunda ise sülfat çözeltisinde ıslatıp kurulum yöntemi uygulanan numunelerinin kapilaritesinin daha fazla olduğu sonucuna varılmıştır. İnce yapıda bulunan mermer tozunun kapilariteyi düşürdüğü fakat lif ikamesinin artmasıyla kapilaritede artış olduğu araştırmacılar tarafından belirtilmiştir.

Tuyan vd. (2020), yapmış oldukları çalışmada kalsiyum alüminat çimentosu yerine %10 ve %40 arasında değişen oranlarda yüksek fırın cürufu ve uçucu kül ikamesi yapılmıştır. Su/çimento oranı 0.50 olarak seçilmiştir. 3, 7, 28 ve 90. gün sonunda eğilme ve basınç dayanımı deneyleri uygulanmıştır. Aynı zamanda sülfat etkisi, yüksek sıcaklık deneyi de uygulanmıştır. Deneyler sonucunda uçucu kül kullanılan numunelerin yüksek fırın cürufu kullanılan numunelere kıyasla daha iyi mekanik performans gösterdiği sonucuna varılmıştır. Sülfat çözeltisinin etkisi incelendiğinde en düşük genleşme miktarı kontrol, %10 yüksek fırın cürufu ve %20 uçucu kül içeren harçlarda meydana geldiği araştırmacılar tarafından belirtilmiştir. Yüksek sıcaklık deneyleri sonucunda genel olarak %20 uçucu kül ikamesinin, kontrol ve %10 yüksek fırın cürufu içeren harçlara göre artan derecelerde daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir fakat 900°C'lere gelindiğinde %10 yüksek fırın cürufu ikamesi diğer serilere göre daha iyi sonuç vermiştir. Araştırmacılar çalışma sonunda farklı mineral maddelerin ikamesinin harçlardaki etkilerinin araştırılması gerektiği önerisinde bulunmuştur.

Khaliq ve Khan (2015), çalışmasında kalsiyum alüminatlı çimentolu ve portland çimentolu beton üreterek sırasıyla 23, 200, 400, 600 ve 800°C sıcaklıklarında basınç dayanımı ve

yarmada çekme dayanımı gibi deneyleri uygulamışlardır. Su/çimento oranı 0.50 olarak seçilmiştir. PÇ ve KAÇ olmak üzere iki farklı bağlayıcı kullanılan numunelerin 3, 14 ve 28 gün basınç dayanımları incelendiğinde kalsiyum alüminat çimentolu betonların dayanımı Portland çimentolu betonlara kıyasla daha yüksek gözlemlenmiştir. Artan sıcaklıklar betonların basınç dayanımlarını düşürmüştür fakat kalsiyum alüminat çimentolu betonlar genel olarak Portland çimentolu betonlara göre daha yüksek basınç dayanımı gözlemlenmiştir.

Eren vd. (2023) yapmış oldukları çalışmada kalsiyum alüminat çimentosunun olumsuz özelliği olan değişen çevre şartları altında bazı dönüşüm reaksiyonları gelişimini iyileştirmek adına mineral katkı (SiO_2 ve CaSO_4) ilave etmişlerdir. Araştırmacılar karışım oranlarını katkı olmayan, %8 SiO_2 , %16 SiO_2 , %30 CaSO_4 ve %50 CaSO_4 katkılı olarak seçmişlerdir. Su/çimento oranı 0.50 olarak seçilmiştir. Betonların taze hali ile 400 gün boyunca farklı günlerde sertleşmiş betonlara deneyler uygulanmıştır. Katkisız kalsiyum alüminatlı çimento harçlarında 3 günlük basınç dayanımı değeri maksimum olarak gerçekleşmiş olup ilerleyen günlerde bu dayanım azalış göstermiştir. 3. gün basınç dayanımı 400. güne gelindiğinde %47 azalış göstermiştir. %8 SiO_2 , %16 SiO_2 ve %30 CaSO_4 içeren harçlar 28. günde maksimum basınç dayanımı değeri göstermiş olup ilerleyen günlerde dayanımlarda azalış gözlemlenmiştir. Sadece %50 CaSO_4 içeren harçlarda 28. günden sonra dayanımlarda azalış gözlemlenmemiştir. Katkı oranı arttıkça ilerleyen yaşlarda dayanım kaybı daha az olduğu saptanmıştır. Mineral takviyeleri, katkisız harçlara kıyasla 400 güne gelindiğinde basınç dayanımlarında artışa sebebiyet vermiştir. Eğilme dayanımları incelendiğinde ise %16 SiO_2 içeren harçlar dışında 28 günden 400 güne artan yaşlarda dayanımda düşüş olduğu araştırmacılar tarafından gözlemlenmiştir.

Köksal vd. (2023), yapmış oldukları çalışmada Portland ve kalsiyum alüminat çimentosu olmak üzere iki farklı çimento tipi kullanılmıştır. Çimentoya göre dört farklı oranda (3, 4, 5 ve 6) ince agrega olarak genişletilmiş vermükülit tozu kullanılan ve hafif beton olarak üretilen bu harçların yalıtım ve yüksek sıcaklıklara karşı dayanıklılıkları araştırılmıştır. Sıcaklık deneyleri 20°C , 300°C , 600°C , 900°C ve 1100°C ortam sıcaklıklarında gerçekleştirilmiştir. Basınç dayanımları incelendiğinde kalsiyum alüminatlı çimento kullanılan harçların dayanımları Portland çimentosuna göre artan sıcaklıklarda daha az değişime uğrayarak daha iyi sonuçlar vermiştir. Vermükülit oranı arttıkça iki çimento türünde de dayanımlar azalış göstermiştir. Eğilme dayanımlarında da sonuç benzer şekilde

görülmüştür. Artan sıcaklıklarda kalsiyum alüminat çimentolu harçlar daha performanslı ve stabil bir dayanım göstermişlerdir.

Kırca vd. (2013), çalışmalarında su/çimento oranını 0.50 ve agrega olarak CEN standart kumunu seçmiş olup yüksek fırın cürufunun kalsiyum alüminat çimentosuyla (ISIDAÇ 40) %0'dan %80'e kadar değiştirilmesinin basınç dayanımına etkisini araştırmışlardır. Bir grup numuneler 20°C, 30°C, 40°C ve 50°C sıcaklıklarda 210 gün boyunca kürlenmiş olup bir grup numuneler de 28 gün boyunca sabit 20°C sıcaklıkta kürendikten sonra kalan 182 gün boyunca da sırasıyla 30°C, 40°C ve 50°C sıcaklıkta kürlenmiştir. 210 gün boyunca sabit sıcaklıkta kürlenmiş numunelerin basınç dayanımları incelendiğinde artan sıcaklıklar dayanımlarda düşüşe sebep olmuştur. Yüksek fırın cürufunun bağlayıcı olarak kullanılma oranı arttıkça dayanımı olumsuz etkilediği, kürlenme sıcaklıklarının artmasıyla dayanımı olumlu yönde etkilediği görülmektedir. %80 oranında ikame edilen yüksek fırın cürufu numunelerde aynı şartlardaki numunelerden daha düşük dayanıma ulaşılmıştır. Ancak yüksek fırın cürufunun %0 ve %20 olarak ikame edilen numunelerde 28. günden sonra genel olarak dayanımlarda artış olmuştur. 28 günden sonra değişen sıcaklıklarda kürlenmiş numunelerin basınç dayanımları incelendiğinde ise 210 gün sabit kürlenmiş numunelerle benzer sonuçlar elde edilmiştir. Artan sıcaklıklarda %40 ve %60 oranında yüksek fırın cürufu içeren numuneler kontrol numunesi sayılabilecek 20°C kür ortamında %0 yüksek fırın cürufu içeren numunelerin dayanımlarına benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Gu vd. (1997), yaptıkları çalışmada Portland çimentosuyla kalsiyum alüminat çimentosunu belirli oranlarda (92.5/7.5, 80/20 ve 20/80) karıştırarak silindir numuneler üretmiş ve erken dayanım gelişimini incelemişlerdir. Su/çimento oranı 0.40 olarak seçilmiştir. 72 saat boyunca farklı saat dilimlerinde basınç dayanımları ölçülen numunelerde en yüksek dayanımlar kalsiyum alüminat çimentosunun %80 oranında kullanıldığı numunelerde gözlemlenmiştir.

Sakai vd. (2010), yapmış oldukları çalışmada kalsiyum alüminat çimentosu tabanlı ultra yüksek dayanımlı, su/çimento oranının 0.10, 0.15, 0.20 ve 0.30 olarak değiştiği ve silika dumanının %10 oranında bağlayıcı olarak kullanıldığı numunelerin erken yaşlardaki mekanik performansı ve iç yapısı incelemişlerdir. 7 gün boyunca kürlenmiş numuneler için kür sıcaklıkları 40°C ve 60°C olarak belirlenmiştir. Alüminatlı çimento ve ultra ince malzeme kullanılan sistemlerde su kullanımının artmasıyla hidratlaşmaya bağlı dönüşüm

reaksiyonları gerçekleşir ve zamana bağlı dayanımlarda düşüş meydana gelmekte (Sakai et al., 2010) olduğunu araştırmacılar belirterek su/bağlayıcı oranını düşük tutup süper akışkanlaştırıcı kullanmışlardır. Su/bağlayıcı oranı arttıkça dayanımlarda düşüş olduğu çalışma sonunda gözlemlenmiştir. 0.15 su/bağlayıcı oranı olan numune dışında 60°C ortamında kürlenmiş numuneler dayanım olarak 40°C ortamında kürlenmiş numunelerden daha yüksek sonuç elde edilmiştir.

Zhang vd. (2018), Magnezyum-potasyum fosfat çimentosunun (MPFÇ) yüksek sıcaklık ve suya karşı dayanımı üzerinde kalsiyum alüminat çimentosunun etkisini araştırmışlardır. Kalsiyum alüminat çimentosu MPFÇ içinde yer alan MgO'in ağırlıkça %0, %20, %30 ve %40'ı oranınca ikame edilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda kalsiyum alüminat çimentosu oranı arttıkça basınç dayanımlarında artış olduğu gözlemlenmiştir. Genel olarak 7. günden sonra 28. güne kadar basınç dayanımlarında düşüş olduğu gözlemlenmiştir. Bu düşüş miktarı eklenen kalsiyum alüminat çimentosu ile azalmıştır. Yüksek sıcaklık deneyi için 20°C, 400°C, 600°C, 800°C, 1000°C ve 1200°C sıcaklıklar uygulanmıştır. Deney sonrası basınç dayanımı testi yapılan numunelerden elde edilen sonuçlara göre sıcaklık arttıkça dayanımlar düşmüştür fakat 1000°C'den 1200°C'ye geçildiğinde kalsiyum alüminat çimentosu eklenmeyen numuneler dışında diğer serilerde dayanım artmıştır.

Chinchillas-Chinchillas vd. (2019), yapmış oldukları çalışmada 1.01 µm boyutlarındaki poliakrilonitril mikrofiberlerin Portland çimentolu harçlara etkisini araştırmışlardır. 4 farklı oranda (%0, %0.05, %0.1 ve %0.2) bu lif kullanılmıştır. S/ç oranı 0.58 seçilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda lif oranı arttıkça porozite oranı da azalmaktadır. Kapilarite de porozite oranıyla benzer sonuç göstermiştir. Basınç ve eğilme dayanımları artan lif oranıyla beraber artış halindedir. En yüksek dayanımlar %0.2 oranında lif kullanılan numunelerde gerçekleşmiştir. Artan lif oranının numunelerin suyun nüfus etmesine karşı direnci de arttırdığı sonucu araştırmacılar tarafından belirtilmiştir.

Pei ve Zhang (2024), sülfirik bakır artıklarını doğaya zararını önlemek adına kalsiyum alüminat çimentosuna bağlayıcı olarak ikame eden bir çalışma yapmışlardır. Atık bakırlar çimentoyla %5, %10, %15 ve %20 oranlarında değiştirilmiştir. Su/çimento oranı 0.40 olarak seçilmiştir. 8 saat, 1 gün, 3 gün 7 gün ve 28 gün basınç dayanımları incelendiğinde %5 bakır atık kullanılan numunelerde bütün sürelerde en iyi dayanımlar elde edilmiştir. Artan atık

bakır oranı ile dayanımlarda düşüş gözlemlenmiştir. %10 atık bakır kullanımıyla hiç kullanılmayan numunelerin basınç dayanımları benzer gözlemlenmiştir.

Kesikidou ve Stefanidou (2019), yapmış oldukları çalışmada üç adet farklı lif tipi (Hint keneviri, hindistan cevizi ve yosun) ile CEM II 32.5 çimento harcı ve CL80 kireç harcı üretilmiştir. Kontrol numunesi dışında lif oranı sabit ve %1.5 olarak seçilmiştir. Su/bağlayıcı oranı ise değişen lif tipiyle beraber değişken oranlarda kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda en yüksek eğilme dayanımı değeri yosun tipi lif kullanılan çimento harçlarında 6.29 MPa olarak gözlemlenmiştir. Kireç harçlarında en yüksek dayanım 0.60 MPa eğilme dayanımıyla Hint keneviri kullanılan harçlarda gözlemlenmiştir. Her iki harç tipinde de lif katkısı kendi içindeki kontrol numunesinin eğilme dayanımı değerini arttırmıştır. Basınç dayanımları incelendiğinde kireç harçlarında en yüksek dayanım yosun kullanılan numunelerde gerçekleşirken çalışma kapsamında en yüksek dayanım lif kullanılmayan çimento harçlarında 62.07 MPa olarak ölçülmüştür. Çimento kullanılan harçlarda lif ilavesi basınç dayanımlarını düşürmüştür.

Betterman vd. (1995), yaptıkları çalışmada farklı uzunluklardaki (4, 7 ve 12 mm) polivinil alkol (PVA) lifin çimento harçlarına ikamesinin etkisini incelemişlerdir. Çimento ağırlığının %18'i kadar silis dumanı ilave edilen harçlarda su/bağlayıcı oranı ise 0.30 olarak seçilmiştir. Düşük su/bağlayıcı oranı nedeniyle harçlardaki çimento ağırlığının %3-5 oranında kıvamını artırmak amacıyla WRDA-19 süperakışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Araştırmacılar çalışma sonunda fiber oranının sabit bir şekilde tutulup fiberlerin çapları azaltıldığında ilk gerilme dayanımında artış olduğunu belirtmişlerdir. Aynı zamanda 4 mm ve 12 mm boyutlarındaki liflerin hibrit kullanıldığı numuneler üzerinde yapılan deney sonucunda ilk gerilme dayanımının tek kullanıma göre biraz daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Banthia ve Gupta (2006), çalışmalarında polipropilen liflerin betonlarda oluşacak kırılmaları durdurmada etkili olduğu sonucuna varmışlardır. Liflerin; çatlakların sayısını, derinliğini ve genişliğini azaltacak etkiye sahip olduğunu belirten araştırmacılar ince liflerin daha kalın olanlardan daha fazla etkiye sahip olduğunu ve uzun liflerin kısa liflere göre daha fazla etkiye sahip olduğunu ifade etmişlerdir.

Bhutta vd. (2019), yapmış oldukları çalışmada uçucu kül tabanlı geopolimer betonlarda altı farklı mikro lif tipinin (yüksek dayanımlı çelik lif, atık çelik yün lif, polivinil alkol,

polipropilen, polyester ve karbon) %0.5 ve %1 oranında kullanılmasının etkileri araştırılmıştır. Harçların işlenebilirlikleri incelendiğinde lif oranının artması işlenebilirliği azaltmıştır. En yüksek işlenebilirlik yüksek dayanımlı çelik lifin kullanılmasıyla gerçekleşirken en düşük işlenebilirlik polyester lif kullanımıyla gerçekleşmiştir. Basınç dayanım testi 4 saat ve 24 saat olarak uygulanmıştır. 4 saat sonunda en yüksek dayanım 52.75 MPa değeriyle doğranmış çelik yün lifin %0.5 olarak kullanıldığı harçlarda gözlemlenirken en düşük dayanım ise 36.51 MPa olarak polyester lifin %1 olarak kullanıldığı harçlarda gözlemlenmiştir. 24 saat sonunda ölçülen basınç dayanımları incelendiğinde ise en yüksek dayanım 51.51 MPa ile doğranmış çelik yün lifin %1 olarak kullanıldığı harçlarda, en düşük dayanım karbon lifin %0.5 olarak kullanıldığı harçlarda gözlemlenmiştir. Yüksek dayanımlı çelik lif, polipropilen lif ve karbon liflerin kullanılması ile artan kür süresince dayanımlarda düşüş yaşanmıştır. Lif oranının artışı harçların daha sünek kırılmasına yol açtığı gerilme-şekil değiştirme diyagramlarından ulaşılmıştır.

Boris vd. (2016), çalışmalarında karbon türü lif ikamesinin kalsiyum alüminat çimentosu tabanlı harçların erken hidrasyonu üzerine incelemelerde bulunmuşlardır. Karbon lifleri çimento ağırlığının %0, %0.125, %0.25 ve %0.6 oranlarında ikame edilmiş olup su/çimento oranı 0.35 olarak seçilmiştir. 40x40x160 mm boyutlarında imal edilen numuneler 3 gün boyunca 10°C, 20°C ve 30°C altında kürlenmiştir. 3 gün sonunda %0 ve %0.6 lif içeren numunelere eğilme ve basınç dayanımları uygulanarak karşılaştırılmıştır. Yapılan deney sonucunda artan lif oranı eğilme ve basınç dayanımlarını arttırmış olup, eğilme dayanımlarında en yüksek dayanımlar 10°C kür uygulanan numunelerde, basınç dayanımlarında ise en yüksek dayanımlar 30°C altında kürlenmiş numunelerde gözlemlenmiştir. Karbon liflerin, numunelerin 48 saat hidrasyonu süresi boyunca daha fazla ısı salınımı olmasına sebep verdiği çalışmalar sonucunda anlaşılmıştır.

Vejmelkova vd. (2018), yapmış oldukları çalışmada 6 mm ve 12 mm olmak üzere iki farklı uzunluktaki lifin farklı oranlarda (12 mm uzunluğundaki lifin 6 mm uzunluğundaki life kıyasla 100:0, 90:10, 80:20) kalsiyum alüminat çimentosu üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Su/çimento oranı 0.25 olarak seçilmiş olup ilave olarak süperakışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Yüksek sıcaklıklarda (400°C ve 1000°C) mekanik ve durabilite performansları belirlenmiştir. En yüksek basınç ve eğilme dayanımı 12 mm uzunluğundaki bazalt lifin 6 mm olan life oranla 90:10 olarak kullanıldığı seride ulaşılmıştır. Lif kullanımı hem normal

kür koşulu altında hem de yüksek sıcaklık deneyi sonrası oluşan eğilme ve basınç dayanımlarını arttırmıştır.

Zhang vd. (2023), yapmış oldukları çalışmada bazalt fiberlerin çimento ağırlığına oranla %0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 ve 0.5 oranlarında ikamesinin etkilerini araştırmışlardır. Bazalt fiberlerinin boyutu 5 mm'dir. Çimento olarak kalsiyum alüminat çimentosu kullanılırken çimento ağırlığının %30'u kadar cürufla değiştirilmiştir. Su/çimento oranı 0.44 olarak seçilmiştir. 1., 3., 7. ve 14. gün sonunda basınç ve çekme dayanımı deneyi uygulanmıştır. Deney sonuçlarına göre %0.4 lif oranına kadar lif oranı arttıkça basınç ve çekme dayanımının arttığı gözlemlenmiştir. Bütün serilerde artan yaş boyunca dayanımlarında artış halinde olduğu gözlemlenmiştir. Aynı zamanda 21 ve 28 gün kür uygulanan %0 ve %0.4 lif içeren numunelere 500°C sıcaklık deneyi uygulanmış olup lif ikamesinin dayanımları arttırdığı gözlemlenmiştir.

Güleç (2024), yapmış olduğu çalışmada değişen su/çimento oranının kalsiyum alüminat çimentosu tabanlı betonların yüksek sıcaklık performansı incelenmiştir. Su/çimento oranları sırasıyla 0.35, 0.40 ve 0.45 olarak üç tane seçilmiş olup bu betonların 600°C ve normal şartlardaki basınç dayanımları karşılaştırılmıştır. Çökme deneyi de uygulayan araştırmacılar değişen su/çimento oranının normal Portland çimentolu betonlara kıyasla kalsiyum alüminat çimentolu betonları daha çok değiştirdiğini belirtmişlerdir. Artan su/çimento oranı ve 600°C'de uygulanan yüksek sıcaklık deneyi basınç dayanımını düşürmüştür.

Eren (2022), çalışmasında kalsiyum alüminat çimentosu tabanlı harçlara yapılan ilave katkıların uzun dönem sonunda etkisini araştırmıştır. Katkı olarak üç farklı katkı ve üç farklı oranlarda kullanılmıştır. Bağlayıcı ağırlığına oranla SiO₂ %8 ve %16, CaSO₄ %30 ve %50 ve Portland çimentosu ise %20 ve %50 olarak çimento yerine ikame edilmiştir. Su/çimento oranı 0.5 olarak seçilmiştir. Eğilme dayanımı değerleri için 40x40x160 mm boyutlarında, basınç dayanımı değerleri içinse 40x40 mm boyutlarında numunelere 1, 3, 7, 28, 90, 180 ve 400 gün sonunda deney uygulanmıştır. Katkı ilavesiyle maksimum dayanımlara daha geç ulaşılmıştır. Katkı kullanılmayan numunelerde maksimum dayanıma 3. gün sonunda ulaşılırken katkılarla beraber 90. güne kadar uzamıştır. Eğilme dayanımı açısından en yüksek dayanıma 10.7 MPa olarak katkısız numunelerde ulaşılmıştır fakat kür uygulanan gün sayısı arttıkça dayanımlarda düşüş meydana gelmiştir. Basınç dayanımlarında ise en yüksek

dayanım 73.7 MPa ile yine katkısız numunelerde ulaşılmıştır. Basınç dayanımı değerleri eğilme dayanım değerleriyle paralellik göstermektedir.

Win vd. (2024), çalışmalarında çelik ve polipropilen türündeki liflerin kalsiyum alüminat çimentosu tabanlı harçlara etkilerini incelemiştir. Çelik lifin uzunluğu 6 mm iken polipropilen lifin uzunluğu 12 mm'dir. Su/çimento oranı 0.55 seçilmiş olup iki farklı lif türü de %1 ve %2 oranında kullanılmıştır. 7 ve 28. gün sonunda yapılan basınç deneyleri sonunda lif katkıları 7. gün dayanımlarını düşürmüş olup 28. gün dayanımlarını %2 polipropilen lif kullanılan numuneler dışında arttırmıştır. Bütün serilerde 28. güne gelindiğinde dayanımlarda azalma gözlemlenmiştir. Eğilme dayanımı deneyi ise 28 gün su kürü uygulanan numunelere uygulanmıştır. Lif ilavesi dayanımları arttırmıştır. En yüksek dayanım çelik liflerin %1 olarak kullanıldığı seride ulaşılmıştır.

3. MALZEMELER VE DENEY YÖNTEMLERİ

3.1 Kullanılan Malzemeler

3.1.1 Kalsiyum alüminat çimentosu

Bu çalışmada bağlayıcı olarak kullanılan ÇİMSA firmasının üretimi olan ISIDAÇ40 (KAÇ) çimentosu kullanılmıştır. Deneyin ilk aşamasında sırasıyla %100, %95, %90, %85 ve %80 oranlarında kullanılmıştır. Kimyasal özellikleri Tablo 3.1’de verilmiştir. Şekil 3.1’de kalsiyum alüminat çimentosu verilmiştir.



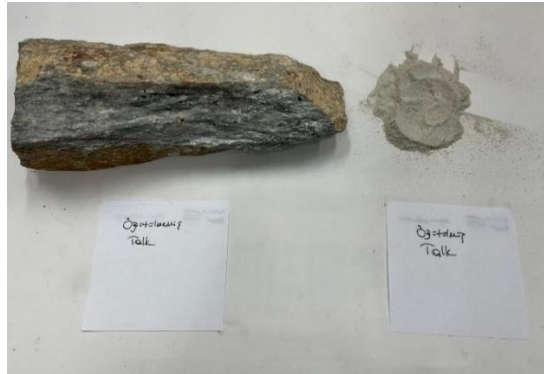
Şekil 3.1: Kalsiyum alüminat çimentosu

Tablo 3.1: Kalsiyum alüminat çimentosu kimyasal özellikleri

Kimyasal Özellikler %	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Kızdırma Kaybı
K	3.60	39.80	17.05	36.20	0.65	0.04	0.30

3.1.2 Talk cevheri

Çalışmada kullanılan talk cevheri Balıkesir ili Dursunbey ilçesinden taş olarak temin edilmiştir. Daha sonra öğütülerek çimento ile beraber bağlayıcı olarak kullanılmıştır. Kimyasal özellikleri Tablo 3.2’de gösterildiği gibidir. Öğütülmemiş ve öğütülmüş haldeki talk cevheri Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2: Öğütülmemiş ve öğütülmüş talk cevheri

Tablo 3.2: Talk cevheri kimyasal özellikleri

Kimyasal Özellikler %	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	MnO	Cr ₂ O ₃
T	61.16	0.13	0.67	0.15	32.22	0.01	0.01	0.25

3.1.3 Agregata

Çalışmada Limak Çimento firmasının üretmiş olduğu CEN standart kumu kullanılmıştır. Şekil 3.3'te kullanılan agregata verilmiş olup Tablo 3.3'te elek analiz sonucu gösterilmiştir.



Şekil 3.3: Çalışma kapsamında kullanılan agregata

Tablo 3.3: CEN standart kumu elek analizi

Elek Göz Açıklığı (mm)	Toplam Elekte Kalan (%)
0.08	99 ± 1
0.16	87 ± 5
0.50	67 ± 5
1.00	33 ± 5
1.60	7 ± 5
2.00	0

3.1.4 Mikrofiber lif

Çalışmada 6 mm boyutuna sahip polipropilen lif, harçların dayanımlarına etkisini incelemek için katkı olarak kullanılmıştır. Mikrofiber lif Şekil 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.4: Çalışma kapsamında kullanılan mikrofiber lif

3.2 Deneysel Çalışmalar

Bu çalışma kapsamında özel bir çimento türü olan kalsiyum alüminat çimentosuyla beraber bağlayıcı olarak belirli oranlarda talk cevheri ve katkı olarak da farklı lif oranlarıyla oluşturulan harçların hem mekanik hem de durabilite performansı incelenmiştir. Çalışmanın ilk aşamasında lifler kullanılmamıştır. Talk cevheri %20'ye kadar (%5, %10, %15 ve %20) ikame edilmiştir. Talk cevheri oranı sırasıyla %5, %10, %15 ve %20 olduğu için karışım adı olarak bu yüzdeler alınmıştır. Karışım oranları Tablo 3.4'te gösterilmiştir. Bu numunelere ve kontrol numunesine (bağlayıcı olarak %100 kalsiyum alüminat çimentosu kullanılmıştır) 7. ve 28. gün sonunda basınç dayanım ve eğilmede çekme dayanımı deneyleri uygulanmıştır. En iyi sonucu veren talk cevheri oranı %5 ve %10 olan karışımlara ve kontrol numunesine, 6 mm boyutunda mikrofiber lif eklenerek harçların dayanım ve dayanıklılık özellikleri araştırılmıştır. İkinci aşamada ise numuneler içerdikleri talk ve lif oranlarına göre isimlendirilmiştir. Kısaltmaların başındaki rakam talkın % kaç olarak gösterildiğini ifade ederken iki harf arasında "L" sembolünün önündeki rakam ise lifin yüzdesini göstermektedir. Tablo 3.5'te karışım oranları ve karışım adları gösterilmiştir.

Tablo 3.4: İlk aşamada kullanılan karışım oranları

Karışım Adı	Agrega (g)	Talk Cevheri (g)	Kalsiyum Alüminat Çimentosu (g)	Su (g)	Su/Çimento Oranı
K	1170	0	450	202.5	0.45
5T	1170	22.5	427.5	202.5	0.45
10T	1170	45	405	202.5	0.45
15T	1170	67.5	382.5	202.5	0.45
20T	1170	90	360	202.5	0.45

Tablo 3.5: Son aşamada kullanılan ve deneylere tabi tutulan karışım oranları

Karışım Adı	Agrega (g)	Talk Cevheri (g)	Kalsiyum Alüminat Çimentosu (g)	Su (g)	Mikrofiber Lif (g)
K	1170	0	450	202.5	0
K3L	1170	0	450	202.5	1.35
K6L	1170	0	450	202.5	2.7
K9L	1170	0	450	202.5	4.05
5T	1170	22.5	427.5	202.5	0
5T3L	1170	22.5	427.5	202.5	1.35
5T6L	1170	22.5	427.5	202.5	2.7
5T9L	1170	22.5	427.5	202.5	4.05
10T	1170	45	405	202.5	0
10T3L	1170	45	405	202.5	1.35
10T6L	1170	45	405	202.5	2.7
10T9L	1170	45	405	202.5	4.05

Harçlar hazırlandıktan sonra 50x50x50 mm kalıplar kullanılarak küp numuneler ve 40x40x160 mm kalıplar kullanılarak prizmatik numuneler hazırlanmıştır. Bu kaplar Şekil 3.5 ve Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 3.5: 50x50x50 mm ebatındaki kalıplar



Şekil 3.6: 40x40x160 mm ebatındaki kalıplar

3.2.1 Basınç dayanımı deneyi

Basınç dayanım değerleri standartlarda belirlenen yükleme hızlarına göre numunelere uygulanmıştır. Küp numuneler için deneyin yapıldığı kırma başlığı Şekil 3.7’de, eğilmede çekme dayanımı deneyi yapılan ve iki parçaya ayrılan numuneler için kullanılan kırma başlığı Şekil 3.8’de gösterilmiştir.

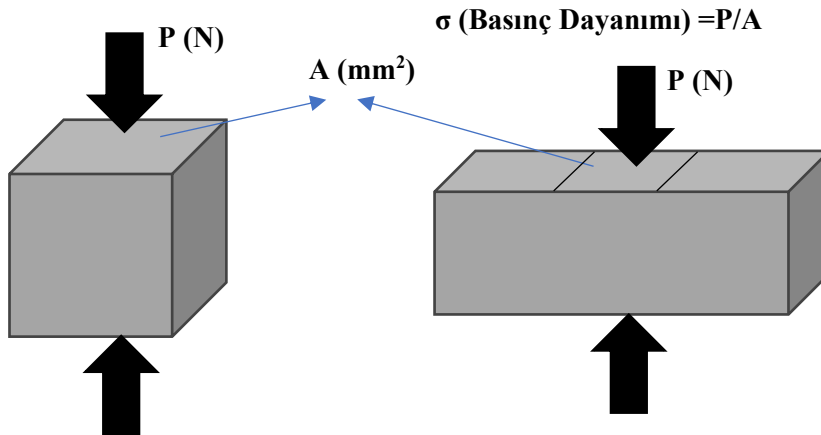


Şekil 3.7: Küp numunelerin basınç dayanımının belirlenmesi için kullanılan kırma başlığı



Şekil 3.8: Prizma numunelerin basınç dayanımının belirlenmesi için kullanılan kırma başlığı

Şekil 3.5'te gösterilen küp şeklindeki kalıplar sıvı yağ ile ve Şekil 3.6'da gösterilen kalıplar kırmızı gres yağı ile yağlanıp belirlenen oranlarla hazırlanan harçlar kalıplara döküldükten bir gün sonra su kürüne bırakılmıştır. Dökümün yapıldığı tarihten itibaren 7. ve 28. Gün sonundaki basınç dayanımlarına bakılmıştır. Prizma numuneler için eğilme çekme dayanımı deneyinin ardından oluşan iki parçaya da basınç dayanımı deneyi yapılmıştır. Küp numuneler için 3.75 kN/s, prizma numuneler için 2.4 kN/s yük verilmiştir. Şekil 3.9'da basınç dayanımının hesaplanması şemasal olarak gösterilmiştir.



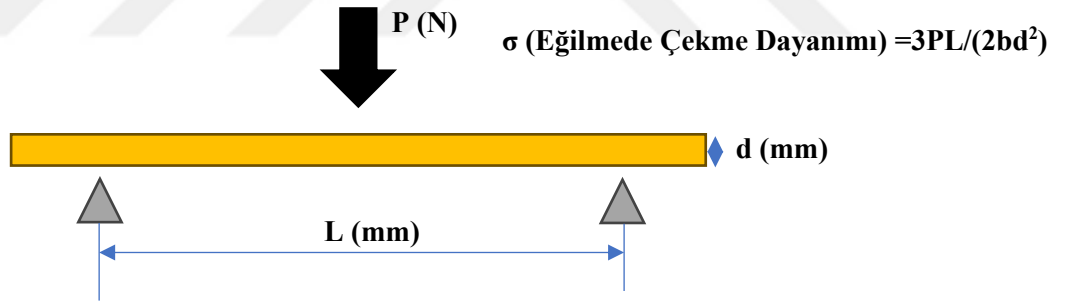
Şekil 3.9: Basınç dayanımı şemasal gösterimi

3.2.2 Eğilmede çekme dayanımı deneyi

Bu deney 40x40x160 mm ölçülerinde üretilen prizmatik numunelere uygulanmıştır. Kullanılan kırma başlığı Şekil 3.10’da gösterildiği gibidir.



Şekil 3.10: Eğilmede çekme dayanımının belirlenmesi için kullanılan kırma başlığı. Ölçüm aletinden dolayı mesnet açıklığı 100 mm’dir. Yük tekil olarak tam orta noktadan uygulanmıştır. Eğilmede çekme dayanımının şemasal gösterimi Şekil 3.11’de gösterildiği gibidir.



Şekil 3.11: Eğilmede çekme dayanımı şemasal gösterimi

$$\sigma \text{ (Eğilmede Çekme Dayanımı)} = \frac{3PL}{2bd^2}$$

σ : Eğilmede çekme dayanımı (N/mm²),

P: Kırılma yükü (N),

b: Numunenin genişliği (mm),

d: Numunenin kalınlığı (mm).

3.2.3 Ultrases geçiş hızı deneyi

Ultrases geçiş hızı deneyi numunelerde herhangi bir tahribata sebep olmadan yapının içyapısıyla ilgili bilgi alınması için önemli deneylerden birisidir. Bu deney, numunelerin homojen olup olmaması, boşlukların veya çatlakların varlığı ve eğilme ve basınç dayanımları hakkında yorum yapılmasını sağlamaktadır. Deneylerden önce ölçüm yapılacak konuma jel sürülür. Cihazın iki probu arası yüksek frekanslı ses iletilerek aradaki geçen süre hesaplanır. Katedilen mesafe (m), geçen süreye (s) bölünerek ultrases hızı (m/s) bulunur. Ultrases geçiş hızı ölçüm cihazı Şekil 3.12’de gösterildiği gibidir.



Şekil 3.12: Ultrases geçiş hızı ölçüm cihazı

3.2.4 Yüksek sıcaklık deneyi

28 gün su kürü uygulanan prizma ve küp numuneler yüksek sıcaklık deneyi öncesinde 24 saat boyunca $100\pm 5^\circ\text{C}$ sıcaklıktaki etüvde tutulmuştur. Her bir seri için ikişer adet prizma ve ikişer adet küp numune üretilmiştir. 24 saat sonrasında bu numunelerin ağırlıkları ve ultrases geçiş hızları ölçülmüştür. Yüksek sıcaklık deneyinde sıcaklık artışı dakikada 5°C olacak şekilde programlanmıştır. Numuneler belirlenen hedef sıcaklıklara (250°C , 500°C ve 750°C) ulaşıktan sonra 1 saat kül fırınında bekletilmiştir. Yüksek sıcaklık deneyi sonrasında ani sıcaklık değişimlerinin numunelerde şok oluşturmaması için kül fırın kapağı deney sonunda açık bırakılmıştır. Oda sıcaklığına gelen numunelerde ise deney öncesine göre ağırlık ve ultrases geçiş hızı değerleri kayıpları tespit edilmiştir. Daha sonrasında numunelerin eğilmede çekme ve basınç dayanım değerlerine bakılmıştır. Yüksek sıcaklık deneyinde kullanılan etüv ve kül fırın sırasıyla Şekil 3.13 ve 3.14’te gösterildiği gibidir.



Şekil 3.13: Deneylerde kullanılan etüv



Şekil 3.14: Yüksek sıcaklık deneyinde kullanılan kül fırın

3.2.5 Donma-çözülme deneyi

28 gün su kürü uygulanan her bir seriden ikişer adet küp ve prizma numuneler üzerinde donma-çözülme testi uygulanmıştır. Deneyde kullanılan donma-çözülme kabini deneyden önce 4 saat -20°C ve 4 saat $+20^{\circ}\text{C}$ sıcaklıklarında kalacak şekilde 8 saatlik döngüye ayarlanmıştır. 8 saatlik bu döngüye ise 1 çevrim denilmiştir. Her bir seriye ait numuneler çevrim sayısı 100 olacak şekilde donma-çözülme kabininde bekletilmiştir. Numunelerin ağırlık ve ultrases geçiş hızlarındaki farkları not edilmiştir. Daha sonra eğilme ve basınç dayanımlarına bakılmıştır. Şekil 3.15'te donma-çözülme kabini gösterilmiştir.



Şekil 3.15: Donma-çözülme kabini

3.2.6 Çözelti etkisinin incelenmesi

Numuneler 28 gün su kürü uygulandıktan sonra 2 ay ve 3 ay süre boyunca plastik kap içerisinde %10 derişime sahip Magnezyum Sülfat (MgSO_4) ve %10 derişime sahip Sodyum Sülfat (Na_2SO_4) çözeltilerinde bekletilmiştir. %10 derişimi korumak adına 30 günde bir çözeltiler tazelenmiştir. Belirtilen süreler sonunda numuneler oda sıcaklığı olan 25°C sıcaklığında kurumaya bırakılmıştır. Deneyin ardından çözelti etkisinin ağırlık ve ultrases geçiş hızındaki değişimleri incelenmiştir. Aynı zamanda numunelerde oluşan fiziksel değişimler de incelenmiştir. Şekil 3.16'da sülfat etkisine bırakılan plastik kap içerisindeki numuneler gösterilmiştir.



Şekil 3.16: Sülfat etkisindeki numuneler



4. DENEY SONUÇLARI

4.1 Mekanik Performans

Çalışma kapsamında üretilen numunelerin mekanik performanslarını belirlemek amacıyla 7., 28. ve 90. gün sonunda numunelere basınç ve eğilmede çekme dayanımı deneyleri yapılmıştır.

4.1.1 Basınç ve eğilmede çekme dayanımı deneyi sonuçları

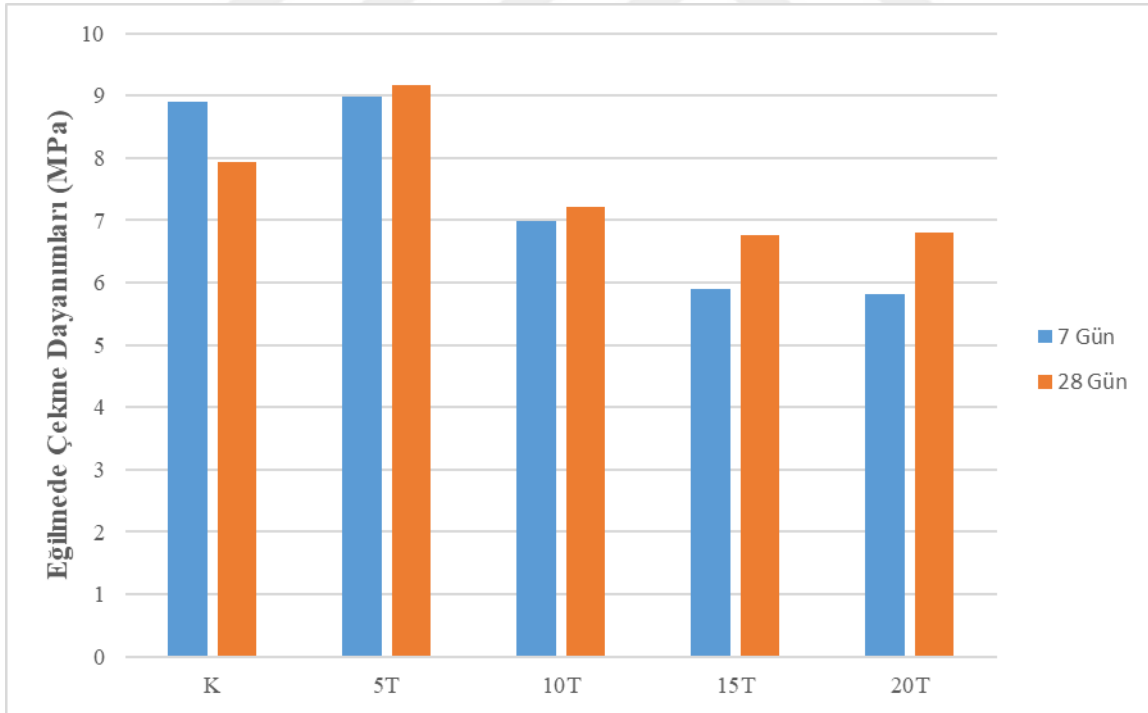
Deneylerin ilk aşamasında hangi oranda talk cevherinin kullanılmasını belirlemek için ön dökümler yapılmıştır. Ön dökümlerde çimento yerine sırasıyla %0, %5, %10, %15 ve %20 oranlarında öğütülmüş talk cevheri kullanılmıştır. Aynı zamanda su/çimento oranının da belirlenmesi için %15 ve %20 oranlarında öğütülmüş talk cevheri içeren numunelerde 0.5 su/çimento oranına sahip numuneler üretilmiş olup eğilmede çekme ve basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Ön dökümlerde üretilen numunelerin 7 ve 28 günlük basınç ve eğilmede çekme dayanımları incelenmiştir. Eğilmede çekme dayanımı değerleri incelendiğinde artan kür süresi sonucu dayanımlarda artış olduğu gözlemlenmiştir. 7 günlük eğilme dayanımı sonuçlarında K serisine göre 5T serisi %1.01 artış oranıyla en yüksek dayanıma sahip seri olurken en düşük dayanım %-34.72 azalışla 20T serisi olmuştur. 28 gün sonunda 7 günlük dayanımlarla benzer olarak K serisine göre %15.49 artışla 5T serisi en yüksek dayanımı vermiştir. En düşük dayanım ise %-14.74'lük azalışla 15T serisi numunelerinden elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 4.1 ve Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Su/çimento oranının belirlenebilmesi için yapılan eğilmede çekme dayanımı deneyinde su/çimento oranının 0.45'ten 0.5'e çıkarılmasının dayanımlarda düşüşe sebebiyet verdiği gözlemlenmiştir. Talk oranı arttıkça su/çimento oranının artışı dayanımlarda gözlemlenen azalmayı artırmıştır. Sonuçlar Tablo 4.2 ve Şekil 4.2'de gösterilmiştir.

Basınç dayanımları incelendiğinde ise 7 günlük basınç dayanımlarının K serisine göre bütün serilerde azaldığı ve talk oranı arttıkça basınç dayanımlarının azaldığı sonucuna varılmıştır. Uygulanan su kürü arttıkça dayanımlar 7 güne göre artış göstermiş olup K serisinin basınç dayanımına daha yakın sonuçlar elde edilmiştir. 28. günde en yüksek dayanım K serisinden %6.56 fazla dayanıma sahip olan 5T serisinde ulaşılmıştır. Diğer serilerde 7 günlük basınç dayanımlarına benzer şekilde talk oranı arttıkça dayanımlarda azalış gözlemlenmiştir. En düşük dayanım %-30.88'lik azalışla 20T serisinde elde edilmiştir. Sonuçlar Tablo 4.3 ve Şekil 4.3'te gösterilmiştir. Farklı su/çimento oranına sahip 15T ve 20T serisi numunelerine

basınç dayanımı deneyi uygulanmıştır. 7 günlük basınç dayanımlarına bakıldığında 15T serisinde su/çimento oranı 0.45'ten 0.5'e çıktığında dayanımda %-0.20 oranında azalma olduğu fakat 20T serisinde %3.49 oranında artış olduğu gözlemlenmiştir. 28 günlük basınç dayanımlarında ise 7 güne göre tam tersi sonuçlar gerçekleşmiştir. 15T serisinde %4.27'lik bir artış gözlemlenirken 20T serisinde %-9.38'lik bir azalma gözlemlenmiştir. Sonuçlar Tablo 4.4 ve Şekil 4.4'te gösterildiği gibidir.

Tablo 4.1: Ön döküm eğilmede çekme dayanımı sonuçları

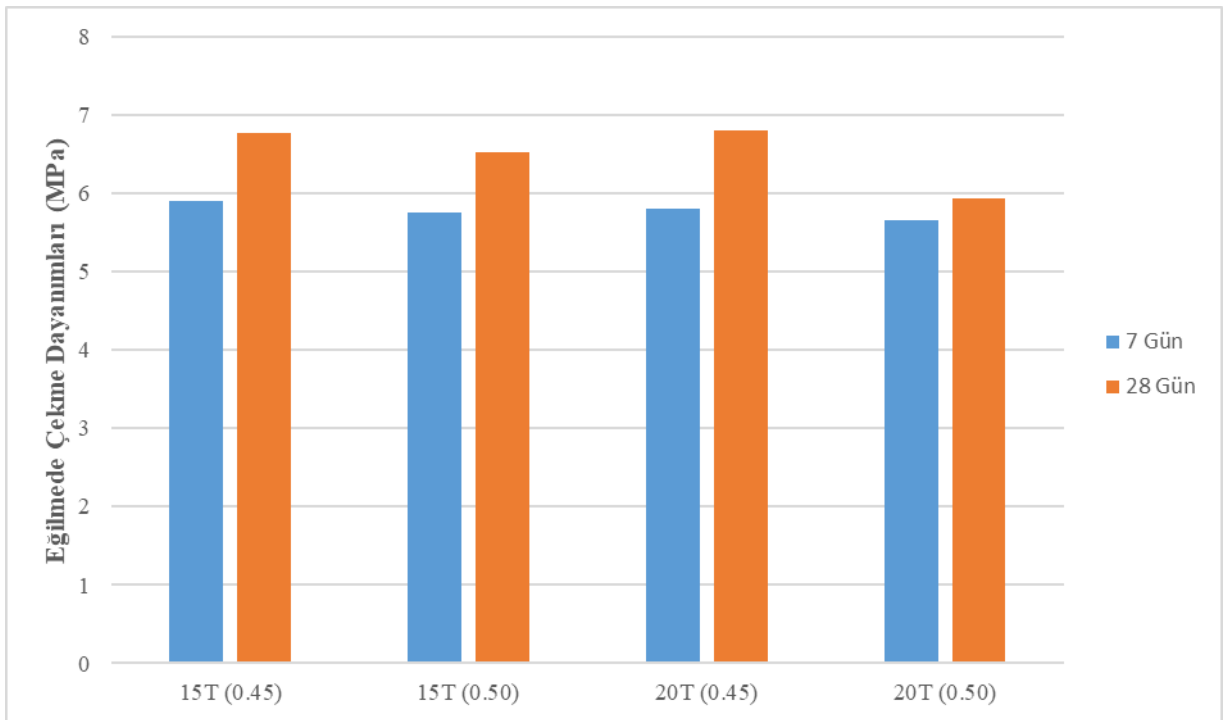
Karışım	7 gün		28 gün	
	Eğilmede Çekme Dayanımı (MPa)	Artış Oranı (%)	Eğilmede Çekme Dayanımı (MPa)	Artış Oranı (%)
K	8.90	-	7.94	-
5T	8.99	1.01	9.17	15.49
10T	6.98	-21.57	7.22	-9.07
15T	5.90	-33.71	6.77	-14.74
20T	5.81	-34.72	6.80	-14.36



Şekil 4.1: Ön döküm eğilmede çekme dayanımı sonuçları

Tablo 4.2: Farklı su/çimento oranına sahip ön döküm eğilmede çekme dayanımı sonuçları

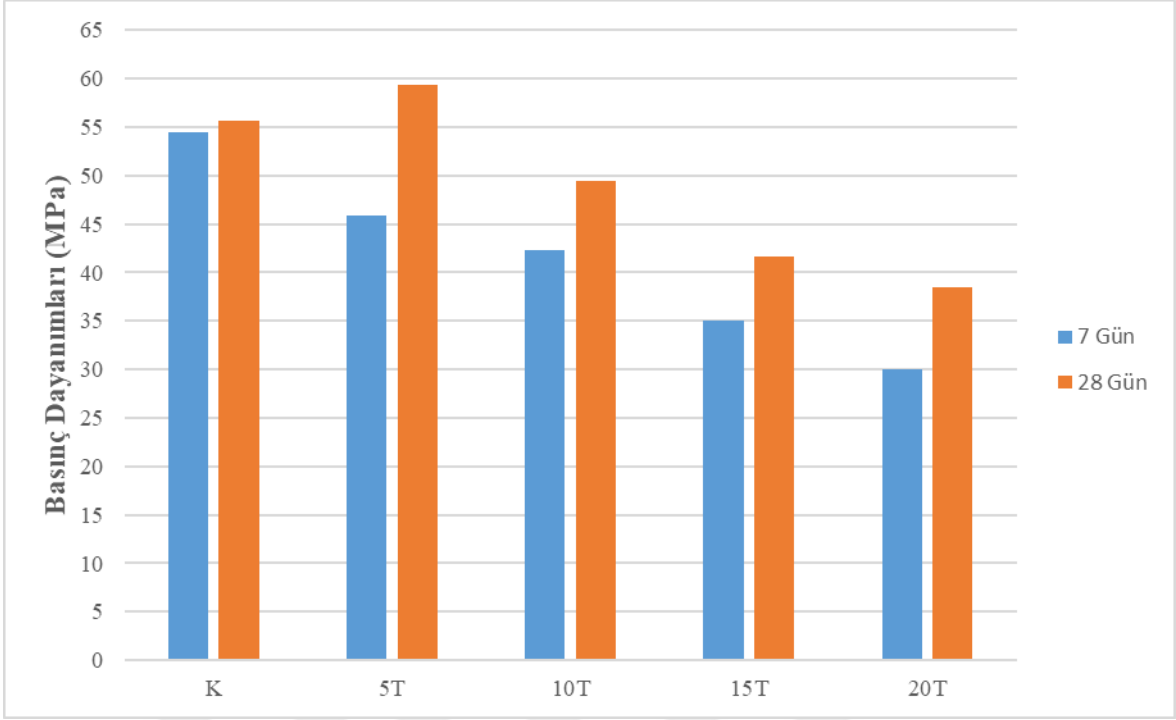
Karışım	Su/Çimento oranı	7 gün		28 gün	
		Eğilmede Çekme Dayanımı (MPa)	Artış Oranı (%)	Eğilmede Çekme Dayanımı (MPa)	Artış Oranı (%)
15T	0.45	5.90	-	6.77	-
15T	0.50	5.75	-2.51	6.53	-3.57
20T	0.45	5.81	-	6.80	-
20T	0.50	5.66	-2.58	5.94	-12.65



Şekil 4.2: Farklı su/çimento oranına sahip ön döküm eğilmede çekme dayanımı sonuçları

Tablo 4.3: Ön döküm basınç dayanımı sonuçları

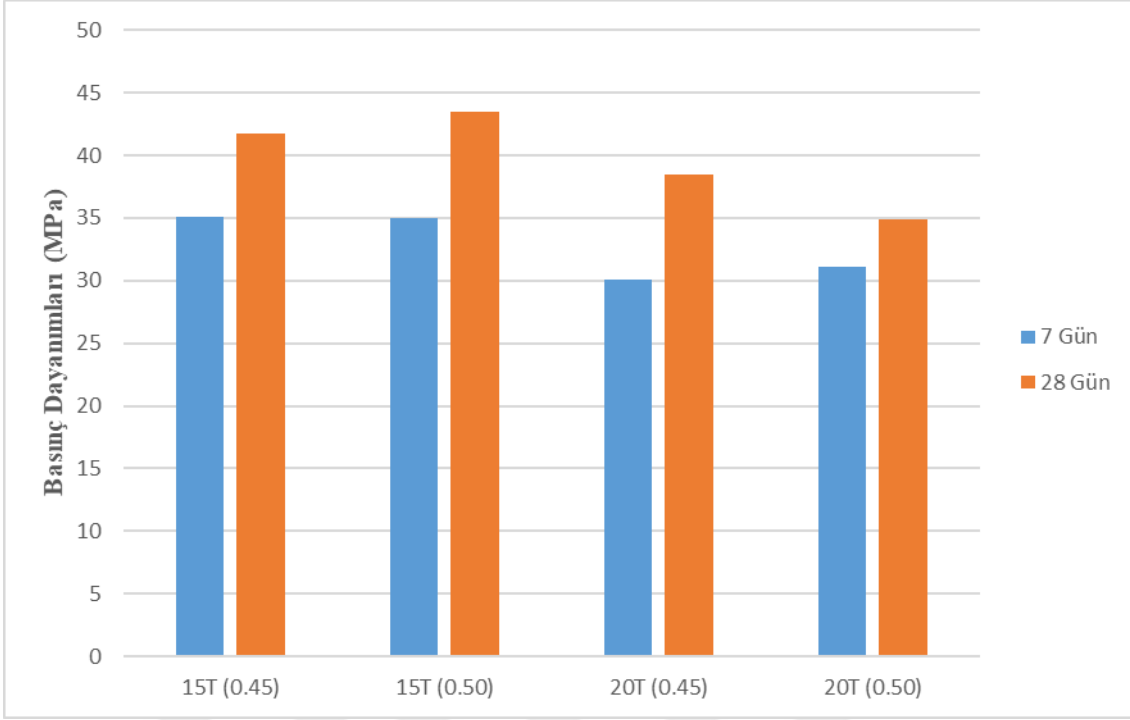
Karışım	7 gün		28 gün	
	Basınç Dayanımı (MPa)	Artış Oranı (%)	Basınç Dayanımı (MPa)	Artış Oranı (%)
K	54.42	-	55.67	-
5T	45.92	-15.62	59.32	6.56
10T	42.30	-22.27	49.41	-11.24
15T	35.08	-35.54	41.69	-25.11
20T	30.06	-44.76	38.48	-30.88



Şekil 4.3: Ön döküm basınç dayanımı sonuçları

Tablo 4.4: Farklı su/çimento oranına sahip ön döküm basınç dayanımı sonuçları

Karışım	Su/Çimento oranı	7 gün		28 gün	
		Basınç Dayanımı (MPa)	Artış Oranı (%)	Basınç Dayanımı (MPa)	Artış Oranı (%)
15T	0.45	35.08	-	41.69	-
15T	0.50	35.01	-0.20	43.47	4.27
20T	0.45	30.06	-	38.48	-
20T	0.50	31.11	3.49	34.87	-9.38



Şekil 4.4: Farklı su/çimento oranına sahip ön döküm basınç dayanımı sonuçları

Yapılan ön dökümler sonucunda su/çimento oranı 0.45 seçilmiş olup üretimi yapılacak seriler ise K, 5T ve 10T olarak seçilmiştir. Seçilen bu numunelere ise sırasıyla %0, %0.3, %0.6 ve %0.9 oranında mikrofiber lif ikame edilmiştir. Üretilen numunelerin mekanik performansının belirlenebilmesi için 7, 28 ve 90. gün sonunda basınç ve eğilmede çekme dayanımı deneyleri yapılmıştır. Oluşan eğilme dayanımları Tablo 4.5 ve Şekil 4.5'te, basınç dayanımları ise Tablo 4.6 ve Şekil 4.6'da gösterildiği gibidir.

7 günlük eğilmede çekme dayanımları incelendiğinde K serisine kıyasla %3.54 oranında artışla beraber en yüksek dayanım 5T9L serisinden elde edilmiştir. Talk cevheri oranı özellikle %5 olarak kullanıldığında kontrol serisine göre eğilmede çekme dayanımlarında artış gözlemlenmiştir. Artan lif oranı kontrol serisi dışında eğilmede çekme dayanımlarını arttırmıştır. En düşük dayanım %13.58 oranındaki azalışla 10T serisinde elde edilmiştir.

Uygulanan kür günü arttıkça 28. güne kadar dayanımlarda artış meydana gelmiştir. Lifin kullanılması dayanımları genel olarak arttırmıştır fakat talk kullanılmayan kontrol serilerinde K9L serisi dışında lif artışı dayanımları azaltmıştır. En düşük dayanım K serisine göre %18.23 azalışla yine 10T serisinde meydana gelmiştir.

90. gün dayanım deneyleri Yıldız Teknik Üniversitesi Laboratuvarında yapılmıştır. Deney sonucunda oluşan eğilmede çekme dayanımı grafikleri (Gerilme - şekil değiştirme grafiği) cihaz yardımıyla bilgisayara aktarılmıştır. Elde edilen gerilme - şekil değiştirme grafikleri Şekil 4.7'den Şekil 4.18'e kadar gösterildiği gibidir. 90 günlük eğilmede çekme dayanımları incelendiğinde K serisine kıyasla %0.43 oranında artışla beraber en yüksek dayanım K9L serisinden elde edilmiştir. Talk cevheri oranı arttıkça dayanımlarda düşüş gözlemlenmiştir. Artan lif oranı dayanımları arttırmıştır ve numunelerin daha sünek şekilde kırılmasını sağlamıştır. En düşük dayanım %17.67 oranındaki azalışla 10T serisinde elde edilmiştir.

7 günlük basınç dayanımlarına bakıldığında en yüksek dayanım K serisine göre %13.81 oranında artışla K6L serisinde meydana gelmiştir. Talk oranının artışı dayanımlarda azalış göstermiştir. En düşük dayanım %30.75'lik azalışla 10T serisinde meydana gelmiştir. Lif kullanımının artması sonucunda basınç dayanımlarında genel olarak artış olduğu gözlemlenmiştir.

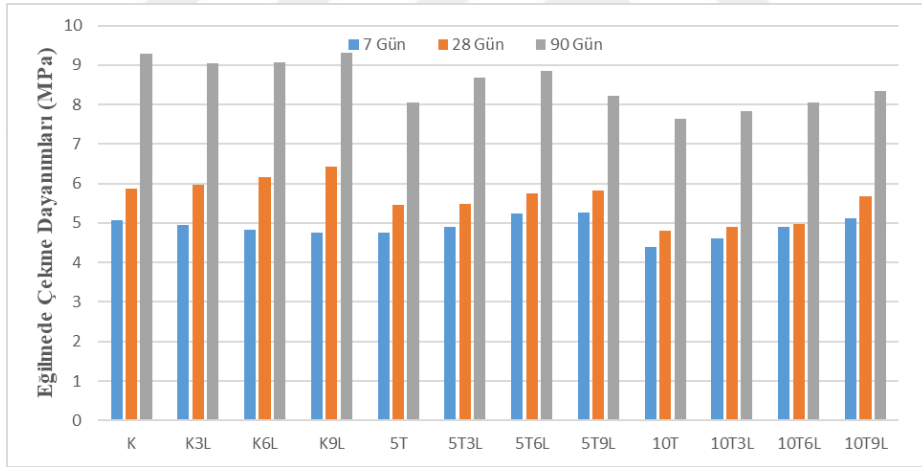
28 günlük basınç dayanımları incelendiğinde 7 günlük basınç dayanımlarına göre 5T3L ve 5T6L serisi dışında basınç dayanımlarında artış gözlemlenmiştir. 28 günlük dayanımlarda ise en yüksek dayanım K serisine göre %12.25'lik artışla K9L serisine ait olmuştur. En düşük dayanım 7 günlük basınç dayanımlarına benzer olarak K serisine göre %24.27 azalışla 10T serisine ait olduğu gözlemlenmiştir.

90 günlük basınç dayanımları incelendiğinde ise bütün numunelerde 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarına göre bir artış olduğu gözlemlenmiştir. En yüksek dayanım K serisine göre %8.56 artışla K6L serisine ait olurken en düşük dayanım %28.52 azalışla 10T serisine ait olmuştur.

Alüminatlı çimento ve ultra ince malzeme kullanılan sistemlerde su/çimento oranının artışı hidratlaşmaya bağlı dönüşüm reaksiyonları göstermesine sebep olmakta ve dayanımları etkilediği belirtilmiştir (Sakai et al., 2010). Aynı zamanda kalsiyum alüminatlı çimentosunun faz değişimleri sonucunda gözeneklerin oluşur ve bu durumda dayanımların düşmesine sebep olmaktadır.

Tablo 4.5: Eğilme dayanımı sonuçları

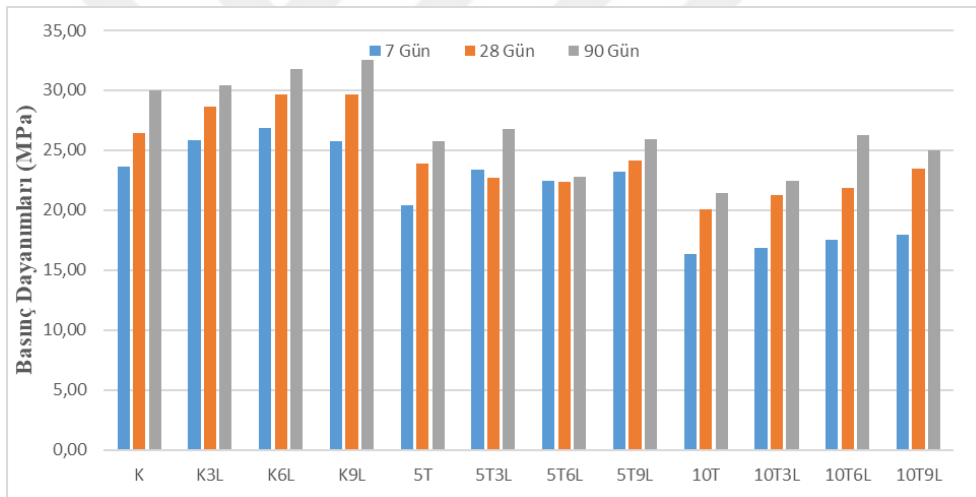
Karışım	7 gün		28 gün		90 gün	
	Eğilmede Çekme Dayanımı (MPa)	Artış Oranı (%)	Eğilmede Çekme Dayanımı (MPa)	Artış Oranı (%)	Eğilmede Çekme Dayanımı (MPa)	Artış Oranı (%)
K	5.08	-	5.87	-	9.28	-
K3L	4.95	-2.56	5.96	1.53	9.05	-2.48
K6L	4.82	-5.12	6.17	5.11	9.07	-2.26
K9L	4.75	-6.50	6.42	9.37	9.32	0.43
5T	4.76	-6.30	5.46	-6.98	8.04	-13.36
5T3L	4.90	-3.54	5.48	-6.64	8.68	-6.47
5T6L	5.23	2.95	5.76	-1.87	8.84	-4.74
5T9L	5.26	3.54	5.83	-0.68	8.23	-11.31
10T	4.39	-13.58	4.80	-18.23	7.64	-17.67
10T3L	4.61	-9.25	4.90	-16.52	7.83	-15.63
10T6L	4.89	-3.74	4.98	-15.16	8.05	-13.25
10T9L	5.11	0.59	5.67	-3.41	8.35	-10.02



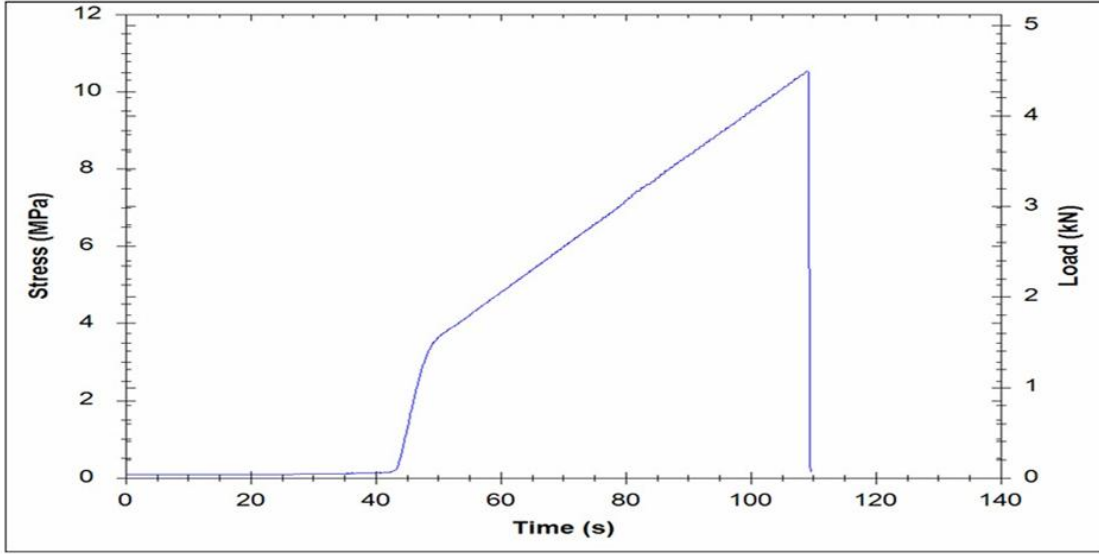
Şekil 4.5: Eğilmede çekme dayanımı sonuçları

Tablo 4.6: Basınç dayanımı sonuçları

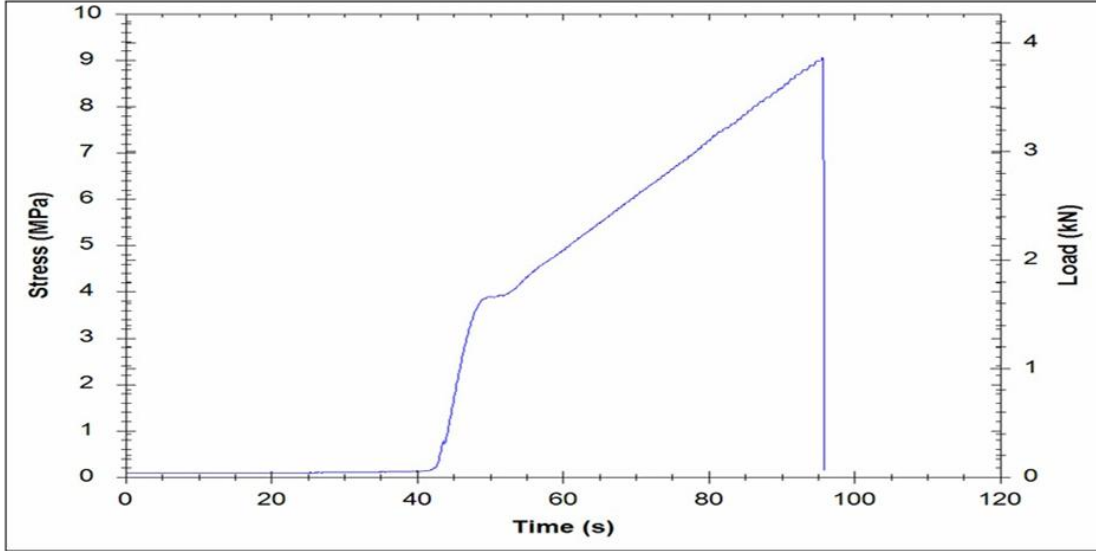
Karışım	7 gün		28 gün		90 gün	
	Basınç Dayanımı (MPa)	Artış Oranı (%)	Basınç Dayanımı (MPa)	Artış Oranı (%)	Basınç Dayanımı (MPa)	Artış Oranı (%)
K	23.61	-	26.45	-	30.01	-
K3L	25.84	9.45	28.65	8.32	30.39	1.27
K6L	26.87	13.81	29.62	11.98	31.74	5.76
K9L	25.72	8.94	29.69	12.25	32.58	8.56
5T	20.38	-13.68	23.91	-9.60	25.78	-14.10
5T3L	23.34	-1.14	22.67	-14.29	26.74	-10.90
5T6L	22.41	-5.08	22.33	-15.58	22.82	-23.96
5T9L	23.22	-1.65	24.13	-8.77	25.95	-13.53
10T	16.35	-30.75	20.03	-24.27	21.45	-28.52
10T3L	16.86	-28.59	21.22	-19.77	22.43	-25.26
10T6L	17.57	-25.58	21.89	-17.24	26.23	-12.60
10T9L	17.97	-23.89	23.50	-11.15	25.00	-16.69



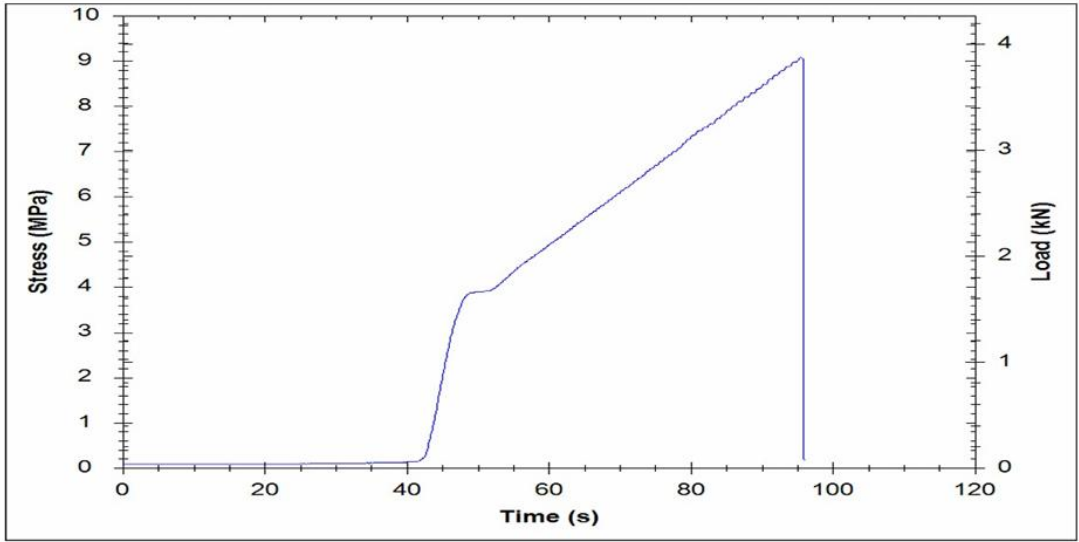
Şekil 4.6: Basınç dayanımı sonuçları



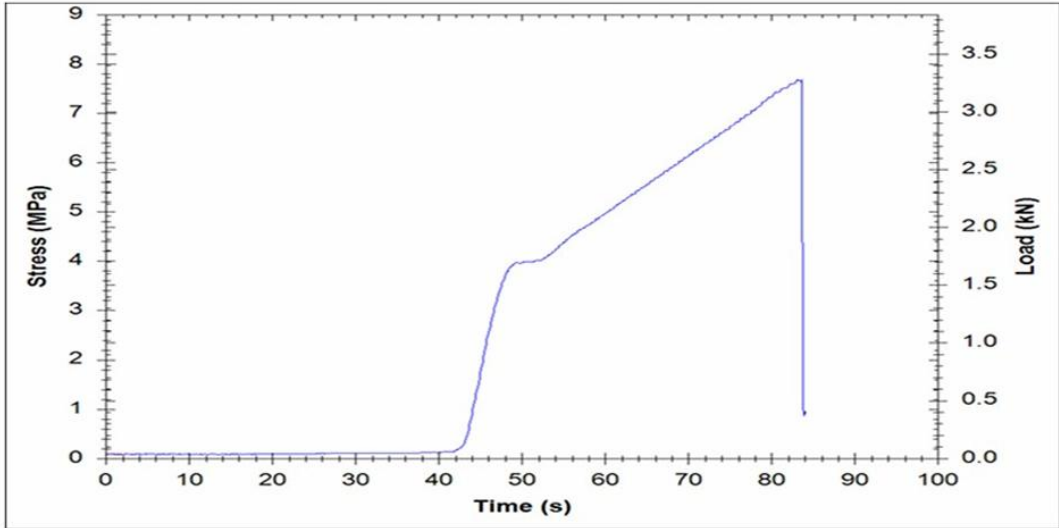
Şekil 4.7: K serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği



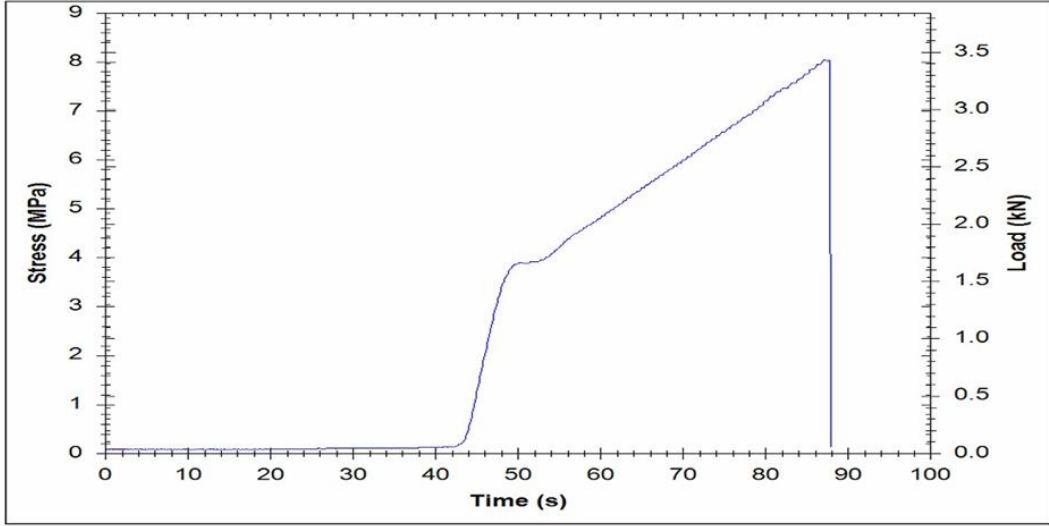
Şekil 4.8: K3L serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği



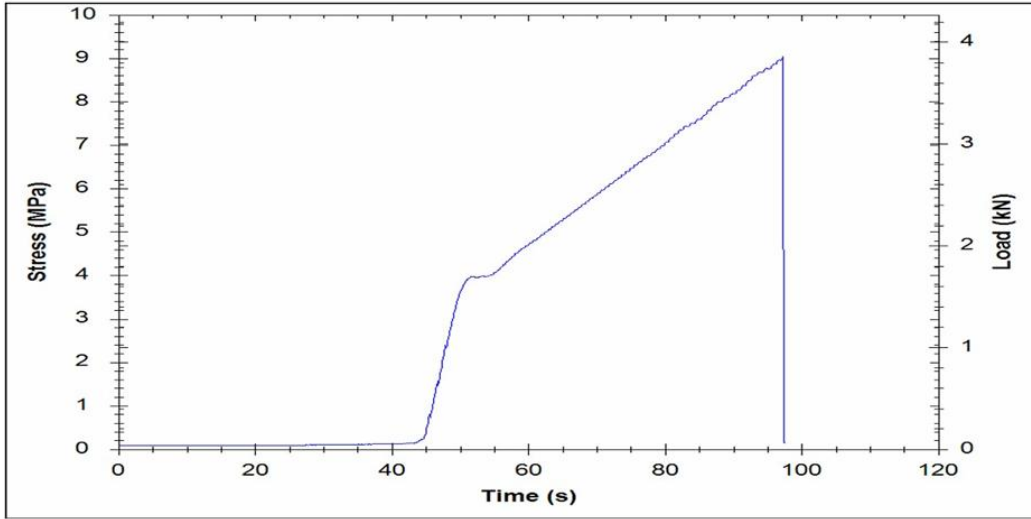
Şekil 4.9: K6L serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği



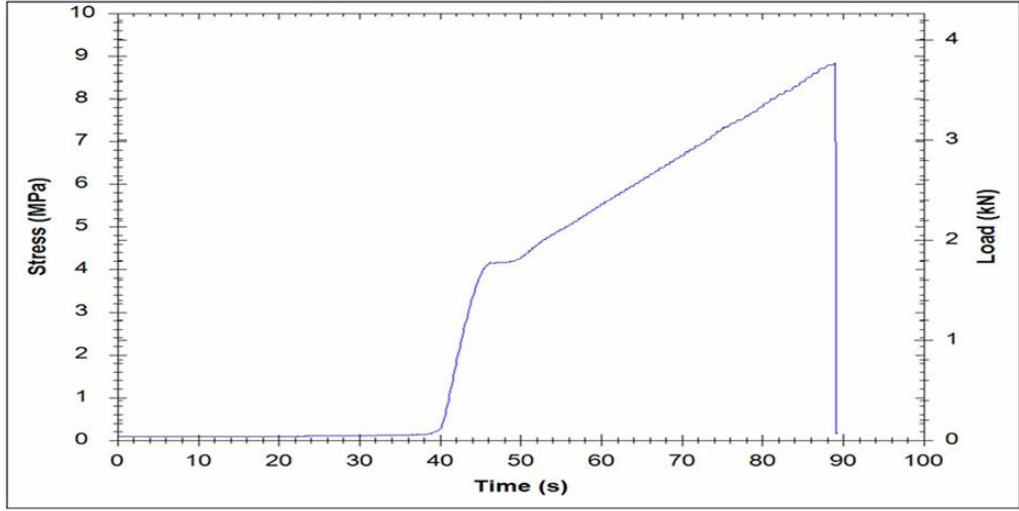
Şekil 4.10: K9L serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği



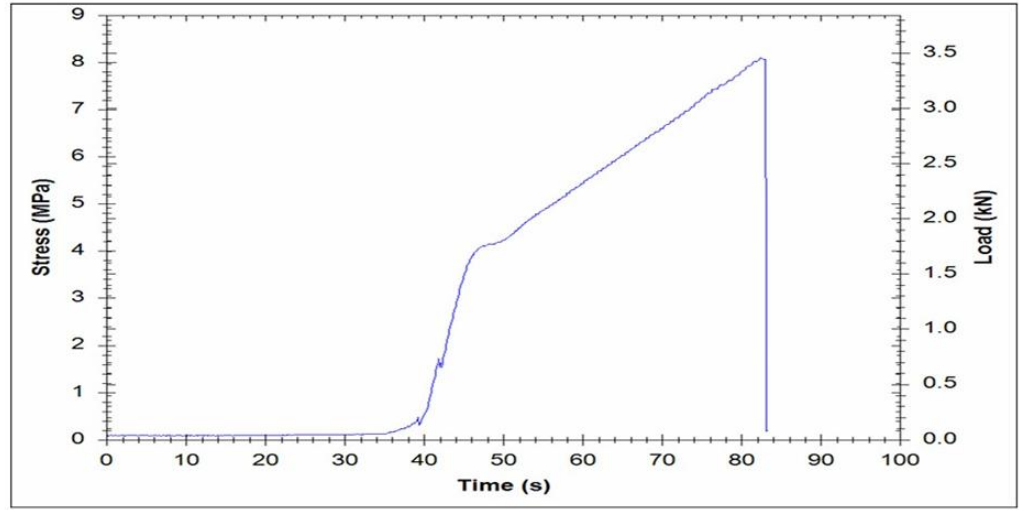
Şekil 4.11: 5T serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği



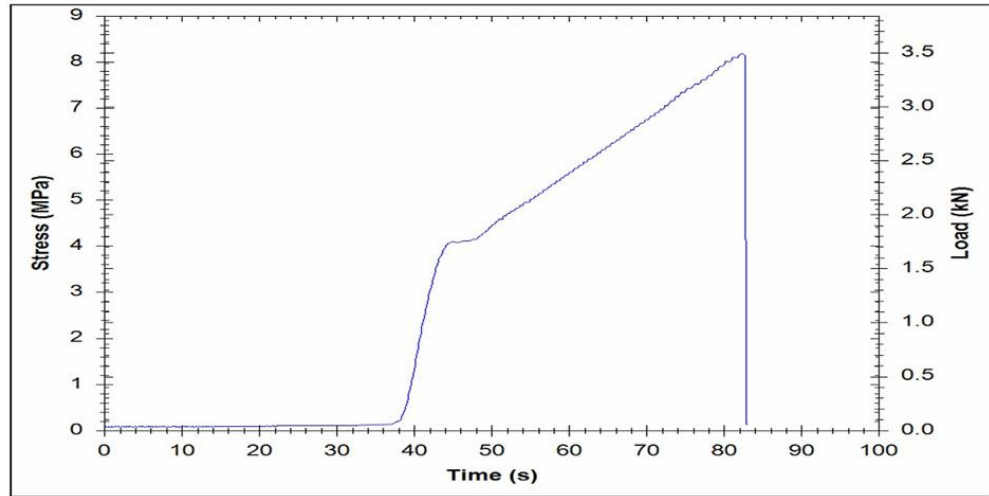
Şekil 4.12: 5T3L serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği



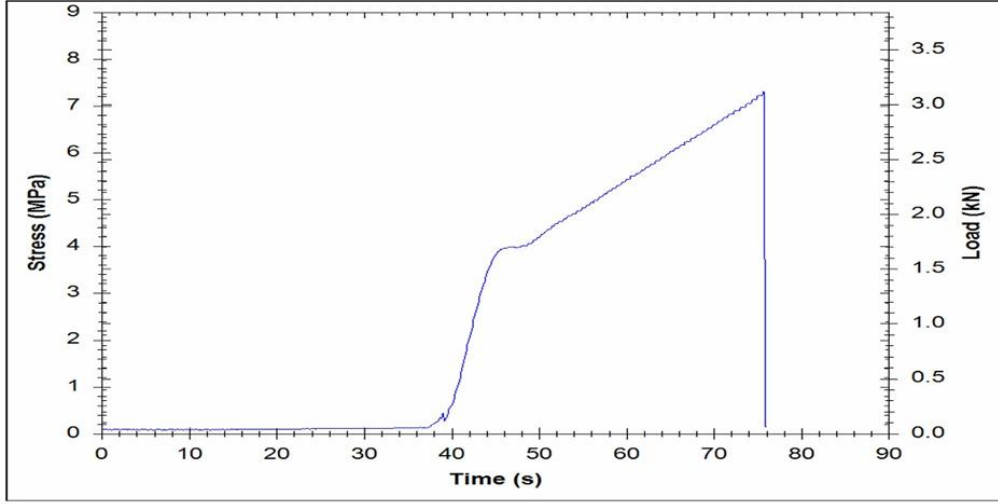
Şekil 4.13: 5T6L serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği



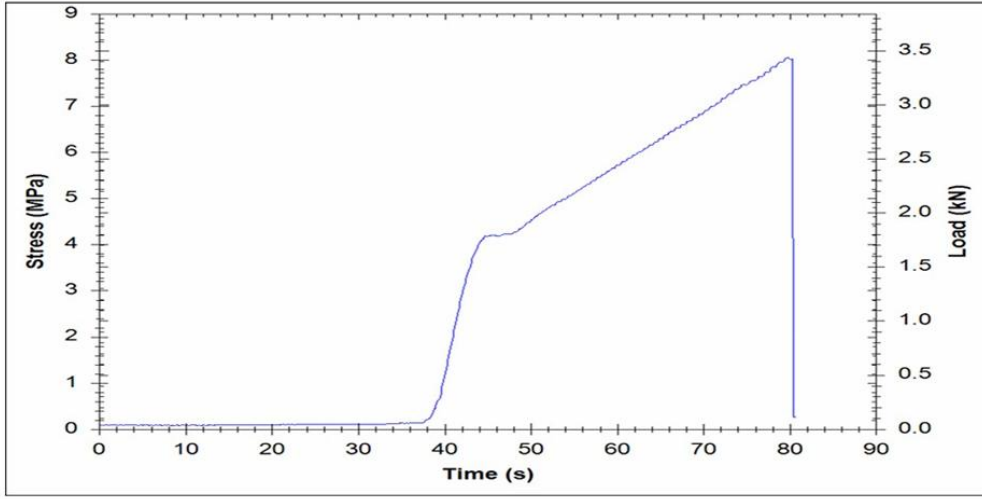
Şekil 4.14: 5T9L serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği



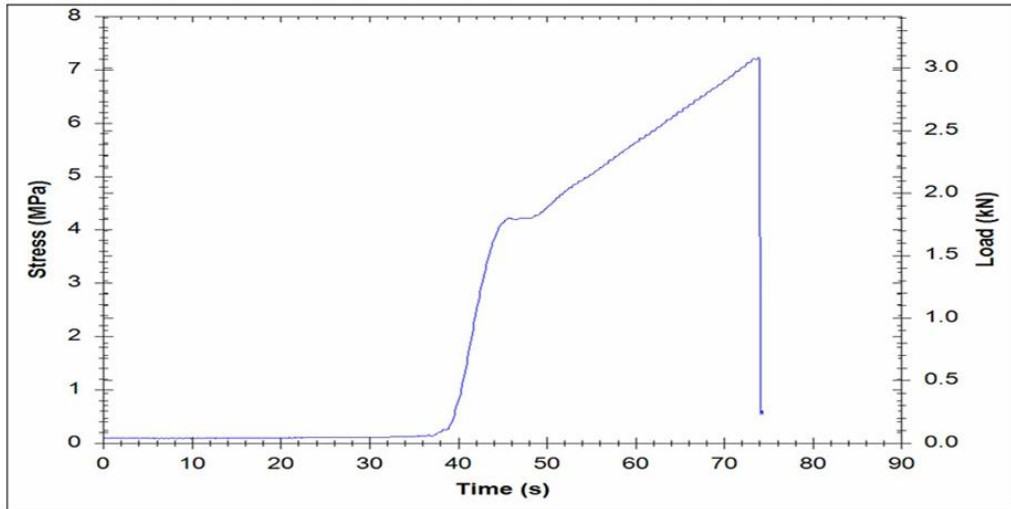
Şekil 4.15: 10T serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği



Şekil 4.16: 10T3L serisi eğilmeye çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği



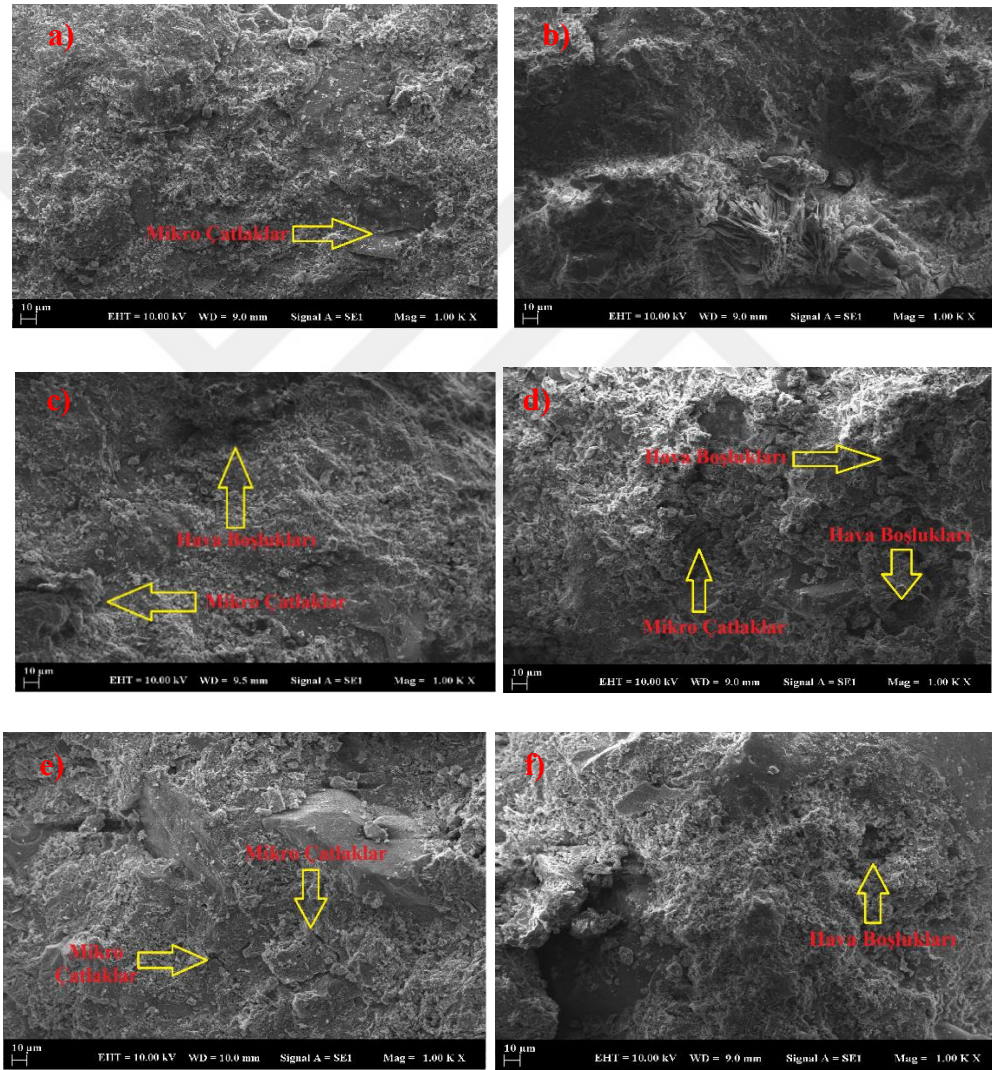
Şekil 4.17: 10T6L serisi eğilmeye çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği



Şekil 4.18: 10T9L serisi eğilmeye çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği

4.1.2 SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) ve XRD Analizi

28 gün su kürü uygulanan her serinin lifsiz ve %0.9 lifli numunelerine (K, K9L, 5T, 5T9L, 10T ve 10T9L) SEM ve XRD analizi uygulanmıştır. SEM analizi numunelerin mikro çatlaklara sahip olup olmadıklarını, iç yapılarında hava ve diğer kimyasal süreçler sonucunda gözenek durumunun ne olduğunu anlamak amacıyla yapılmıştır. Şekil 4.19'da 28 gün su kürü uygulanan numunelerin SEM görüntüleri verilmiştir. Talk cevherinin ikamesi mikro yapıdaki düzensizlikleri arttırmıştır. Numuneler içerisinde hava boşluklarının ve mikro çatlakların oluşumunu arttırmıştır.



Şekil 4.19: 28 gün su kürü uygulanmış a) K, b) K9L, c) 5T, d) 5T9L, e) 10T ve f) 10T9L serilerine ait SEM görüntüleri

4.2 Durabilite Performansı

Durabilite performanslarının incelenebilmesi için yüksek sıcaklık deneyi, donma-çözülme deneyi ve sülfat etkisi deneyi harç numuneleri üzerinde uygulanmıştır. Sülfat etkisi için sodyum sülfat (Na_2SO_4) ve magnezyum sülfat (MgSO_4) çözeltileri hazırlanmıştır. Deney öncesi ve sonrasında ultrases geçiş hızında, ağırlıklarda oluşan değişimlere ve dayanım kayıplarına bakılmıştır.

4.2.1 Yüksek sıcaklık deneyi

Yüksek sıcaklık deneyinde kullanılmak üzere her bir seri için ikişer adet harç numunesi üretilmiştir. 28 gün su kürü uygulanan numuneler sudan çıkarılmıştır. Deney öncesi numunelerin tamamen kurutulabilmesi amacıyla 24 saat boyunca $100 \pm 5^\circ\text{C}$ sıcaklıkta etüvde bekletilmiştir. Ardından etüvden çıkarılan numuneler sırasıyla 250°C , 500°C ve 750°C yüksek sıcaklıklara maruz bırakılarak numuneler üzerindeki yüksek sıcaklık etkisi incelenmiştir. Yüksek sıcaklık fırını belirtilen sıcaklıklara dakikada 5°C artarak ulaşmıştır. Maksimum sıcaklığa ulaşınca 1 saat hedef sıcaklıkta tutulmuştur. Deney sonrası fırının kapağı yarım şeklinde açılarak numunelerin şok geçirmesi önlenmiştir. Yüksek sıcaklık deneyi sonrasında numunelerin ağırlıklarındaki, ultrases geçiş hızlarındaki ve basınç ve eğilmede çekme dayanımlarında meydana gelen değişimler incelenmiştir. Basınç dayanımları $50 \times 50 \times 50$ mm boyutlarındaki küp numunelerden elde edilirken eğilmede çekme dayanımları için $40 \times 40 \times 160$ mm boyutlarında prizma numunelerden elde edilmiştir. 500°C sıcaklık uygulanan prizma numunelerin bir kısmı Yıldız Teknik Üniversitesi Laboratuvarında eğilmede çekme dayanımı deneyine tabi tutularak gerilme-şekil değiştirme grafiği verileri elde edilmiştir.

4.2.1.1 Yüksek sıcaklık deneyi sonrası oluşan eğilmede çekme ve basınç dayanımı değerleri

Tablo 4.7 ve Tablo 4.8'de yüksek sıcaklığın numuneler üzerindeki etkisiyle oluşan eğilmede çekme ve basınç dayanımı değerleri, 28 gün su kürü uygulanmış numunelerin eğilmede çekme ve basınç dayanımı değerleriyle beraber Şekil 4.20 ve Şekil 4.21'de karşılaştırılmalı grafik olarak gösterilmiştir. Tablo 4.7 ve Tablo 4.8'de yüksek sıcaklık etkisiyle oluşan azalma oranı değerleri sadece 28 gün su kürü uygulanan numuneler baz alınarak hesaplanmıştır.

250°C yüksek sıcaklık etkisinde eğilmede çekme dayanımlarında azalma oranları %-13.76 ile %-65.46 arasında gerçekleşmiştir. Bütün serilerde 250°C sıcaklık altında eğilmede çekme dayanımlarında artış gözlemlenmiştir. En yüksek eğilmede çekme dayanımı 8.34 MPa ile 10T9L serisinde gözlemlenirken en düşük eğilmede çekme dayanımı 6.78 MPa ile K3L serisinde gözlemlenmiştir. 250°C'de basınç dayanımlarında da artış gözlemlenmiştir. Azalma oranları %-25.59 ile %-75.40 arasında gerçekleşmiştir. En yüksek basınç dayanımı 39.11 MPa ile K serisinde gözlemlenirken en düşük basınç dayanımı 33.27 MPa ile 10T6L serisinde gözlemlenmiştir.

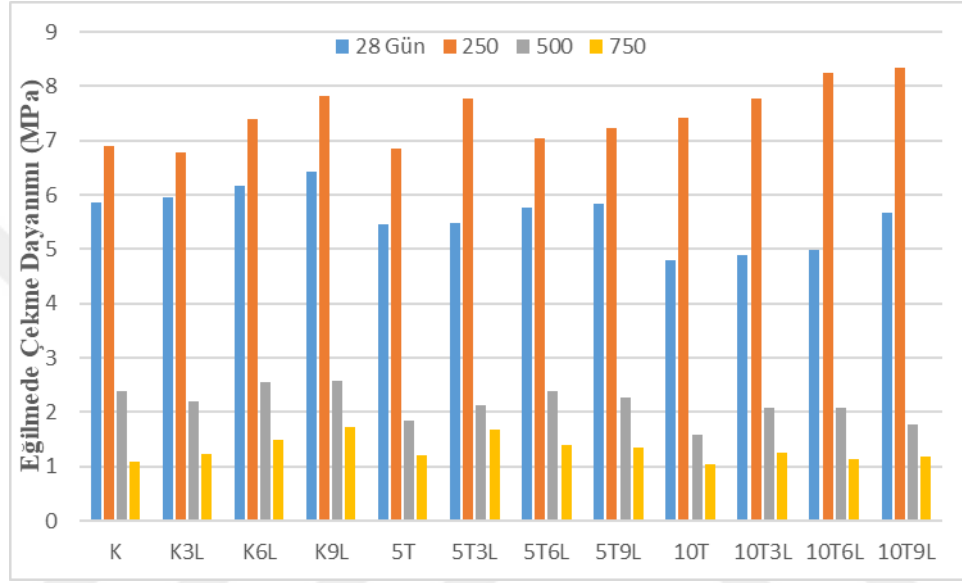
500°C'de eğilmede çekme dayanımlarında %57.55 ile %68.78 arasında bir azalma gerçekleşmiştir. Maksimum dayanım 2.58 MPa ile K9L serisinde gözlemlenirken en düşük dayanım 1.58 MPa ile 10T serisinde gözlemlenmiştir. 500°C'de basınç dayanımlarında azalma oranları %4.54 ile %28.51 arasında olmuştur. En yüksek basınç dayanımı 25.25 MPa ile K serisinde gözlemlenirken en düşük dayanım 16.80 MPa ile 10T9L serisindedir.

750°C'de eğilmede çekme dayanımlarındaki azalma diğer sıcaklık değerlerine göre bütün serilerde daha fazla olmuştur. Eğilmede çekme dayanımlarındaki azalma oranı %69.34 ile %81.26 arasında gerçekleşmiştir. Eğilmede çekme dayanımlarında 1.73 MPa ile K9L serisinde maksimum dayanıma ulaşılırken en düşük eğilmede çekme dayanımı 1.05 MPa ile 10T serisinde gözlemlenmiştir. 750°C'de basınç dayanımlarındaki azalma oranları %4.12 ile %42.88 arasında gözlemlenmiştir. En yüksek basınç dayanımı 25.36 MPa ile K serisinde, en düşük basınç dayanımı 14.15 MPa ile 10T9L serisinde gözlemlenmiştir.

Yüksek sıcaklıklarda lif ilavesi genel anlamda eğilmede çekme dayanımlarını artırırken dayanım kayıplarını azaltmaktadır. Basınç dayanımlarında ise harçlarda kullanılan lif oranının artması dayanım kayıplarını arttırmıştır. 100°C ve sonrasında dayanım kayıplarının sebeplerinden biri suda oluşan buharlaşmadır. Buhar basıncı 100°C sonrasında artış göstermektedir. Artan buhar basıncı, ısı etkenlerin numuneler üzerindeki etkisini arttırmasına sebebiyet vermektedir. Isıl etkenlerin daha çok hissedilmesi ile numunelerin üzerinde çatlaklar ve mukavemet değerlerinde düşüş meydana gelmiştir. Çatlaklar basınç dayanımlarından daha çok eğilmede çekme dayanımlarını etkilemektedir. 250°C olarak uygulanan deney sonucunda numunelerde oluşan hidrasyon reaksiyonları sonunda basınç dayanımlarında artış gözlemlenmiştir. (Al-Sharhane et al., 2022; Abolhasani et al., 2022;

Aydın vd., 2008). Polipropilen lifler 170-180°C sıcaklıklarda eridikleri için yeni boşlukların oluşmasına sebep olmuştur (Sertbaş, 2006).

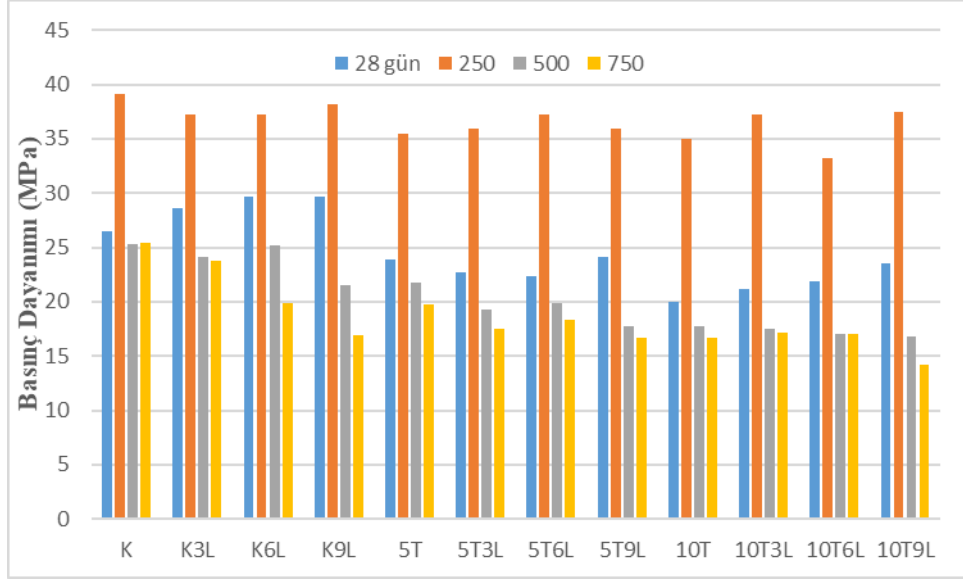
500°C yüksek sıcaklık deneyi uygulanan numunelerin eğilmede çekme dayanımı deneyi Yıldız Teknik Üniversitesi Laboratuvarında yapılmıştır. Deney sonucunda oluşan eğilme dayanımı grafikleri (Gerilme-şekil değiştirme grafiği) Şekil 4.22 ile Şekil 4.33 arasında gösterildiği gibidir. Bütün serilerde gevrek kırılma gözlemlenmiştir.



Şekil 4.20: Yüksek sıcaklık deneyi sonrası eğilmede çekme dayanımı sonuçları

Tablo 4.7: Yüksek sıcaklık deneyi sonrası eğilmede çekme dayanımı sonuçları

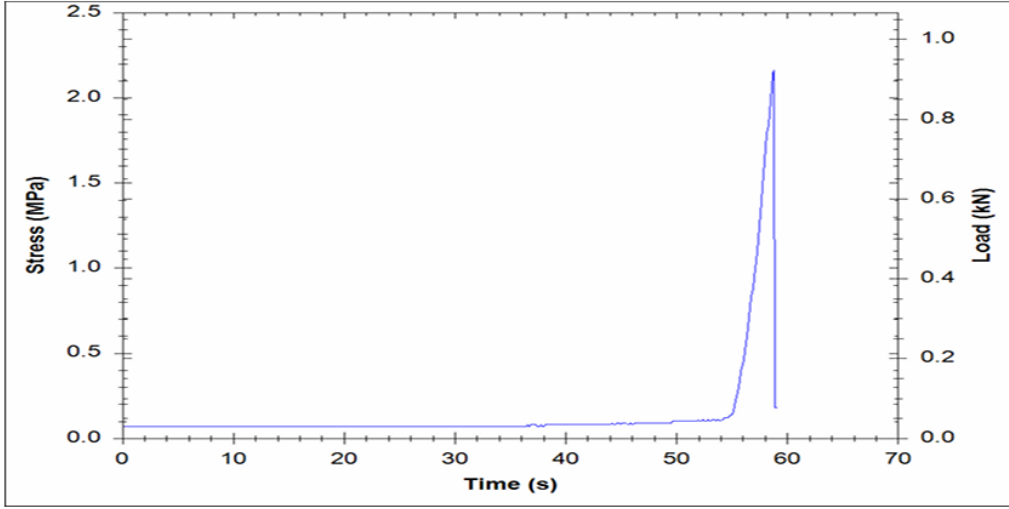
Karışım	28 gün	250°C		500°C		750°C	
	Eğilmede Çekme Dayanımı (MPa)	Eğilmede Çekme Dayanımı (MPa)	Azalma Oranı (%)	Eğilmede Çekme Dayanımı (MPa)	Azalma Oranı (%)	Eğilmede Çekme Dayanımı (MPa)	Azalma Oranı (%)
K	5.87	6.90	-17.55	2.40	59.11	1.10	81.26
K3L	5.96	6.78	-13.76	2.20	63.09	1.22	79.53
K6L	6.17	7.40	-19.94	2.56	58.51	1.49	75.85
K9L	6.42	7.83	-21.96	2.58	59.81	1.73	73.05
5T	5.46	6.86	-25.64	1.85	66.12	1.21	77.84
5T3L	5.48	7.77	-41.79	2.12	61.31	1.68	69.34
5T6L	5.76	7.04	-22.22	2.38	58.68	1.39	75.87
5T9L	5.83	7.22	-23.84	2.28	60.89	1.35	76.84
10T	4.80	7.42	-54.58	1.58	67.08	1.05	78.13
10T3L	4.90	7.78	-58.78	2.08	57.55	1.26	74.29
10T6L	4.98	8.24	-65.46	2.09	58.03	1.13	77.31
10T9L	5.67	8.34	-47.09	1.77	68.78	1.19	79.01



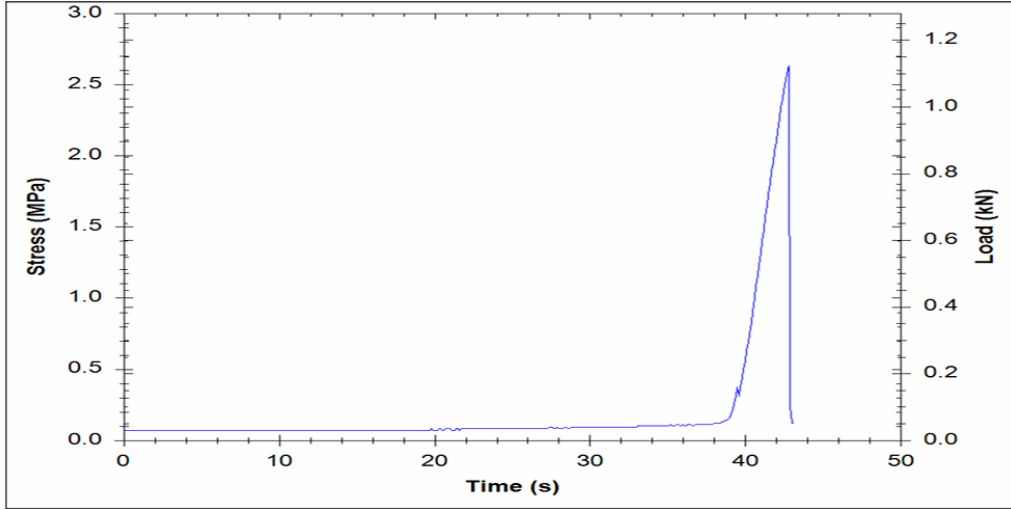
Şekil 4.21: Yüksek sıcaklık deneyi sonrası basınç dayanımı sonuçları

Tablo 4.8: Yüksek sıcaklık deneyi sonrası basınç dayanımı sonuçları

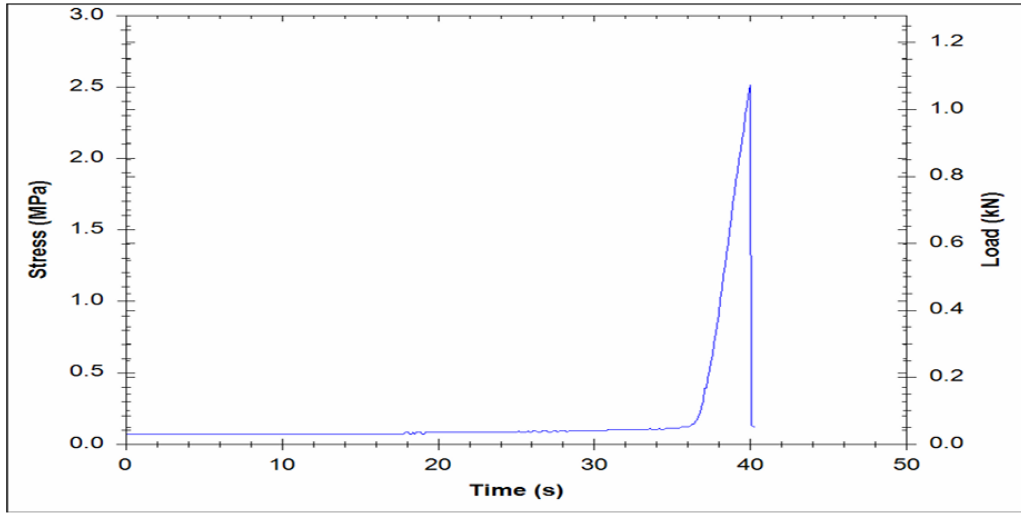
Karışım	28 gün		250°C		500°C		750°C	
	Basınç Dayanımı (MPa)	Basınç Dayanımı (MPa)	Azalma Oranı (%)	Basınç Dayanımı (MPa)	Azalma Oranı (%)	Basınç Dayanımı (MPa)	Azalma Oranı (%)	
K	26.45	39.11	-47.86	25.25	4.54	25.36	4.12	
K3L	28.65	37.18	-29.77	24.10	15.88	23.76	17.07	
K6L	29.62	37.20	-25.59	25.13	15.16	19.89	32.85	
K9L	29.69	38.12	-28.39	21.53	27.48	16.96	42.88	
5T	23.91	35.51	-48.52	21.78	8.91	19.70	17.61	
5T3L	22.67	35.94	-58.54	19.32	14.78	17.56	22.54	
5T6L	22.33	37.2	-66.59	19.87	11.02	18.38	17.69	
5T9L	24.13	35.97	-49.07	17.71	26.61	16.67	30.92	
10T	20.03	34.97	-74.59	17.75	11.38	16.70	16.63	
10T3L	21.22	37.22	-75.40	17.56	17.25	17.20	18.94	
10T6L	21.89	33.27	-51.99	17.09	21.93	17.03	22.20	
10T9L	23.50	37.42	-59.23	16.80	28.51	14.15	39.79	



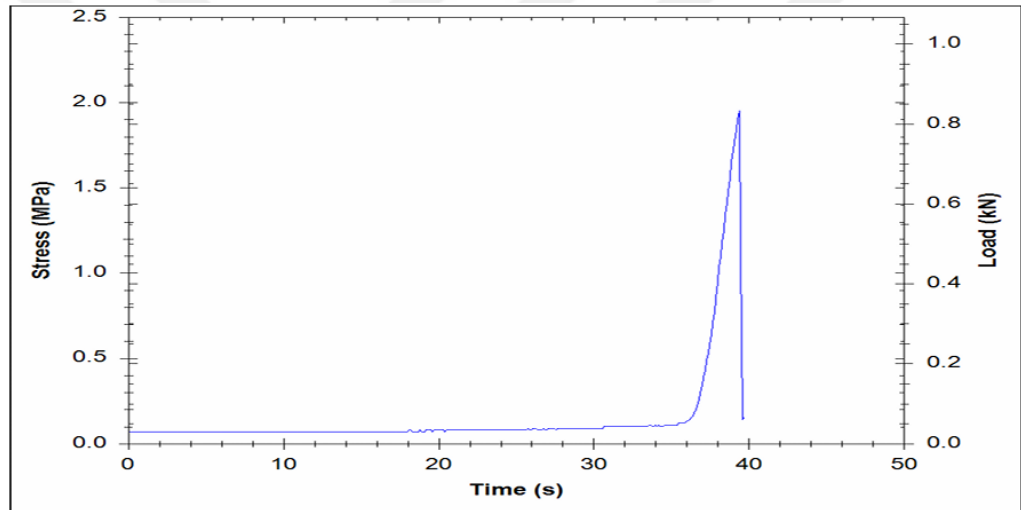
Şekil 4.22: 500°C yüksek sıcaklık deneyi sonrası K serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği



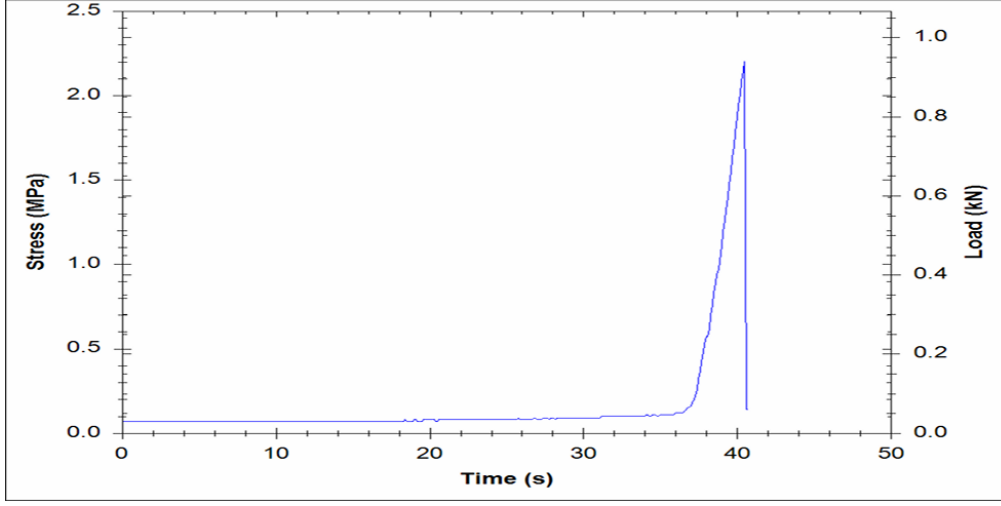
Şekil 4.23: 500°C yüksek sıcaklık deneyi sonrası K3L serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği



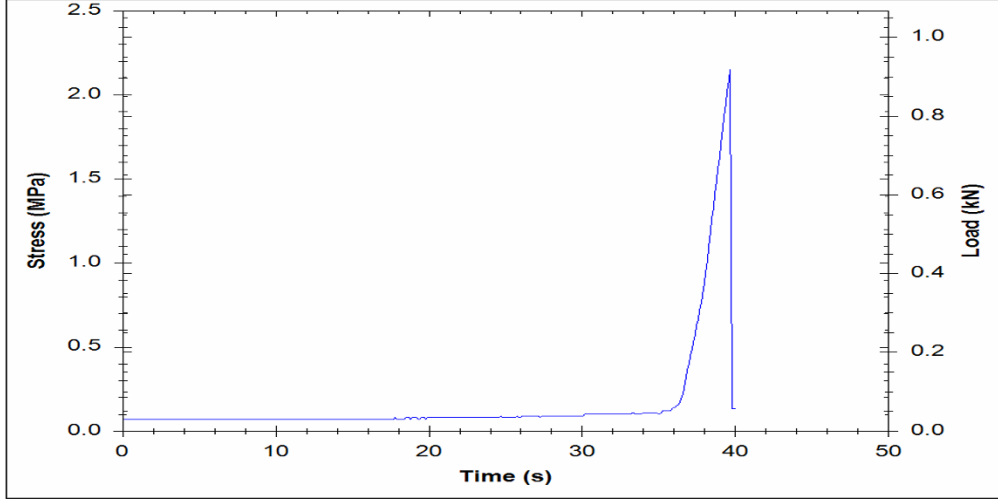
Şekil 4.24: 500°C yüksek sıcaklık deneyi sonrası K6L serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği



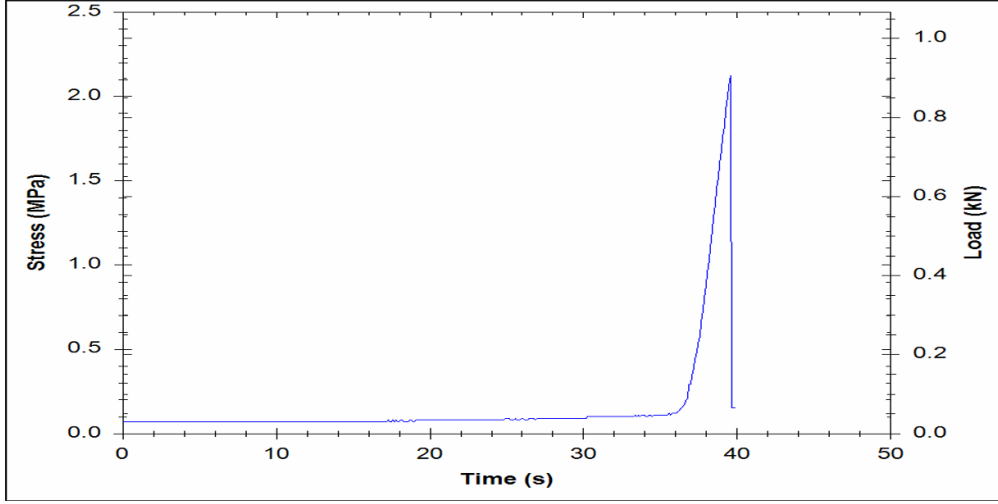
Şekil 4.25: 500°C yüksek sıcaklık deneyi sonrası K9L serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği



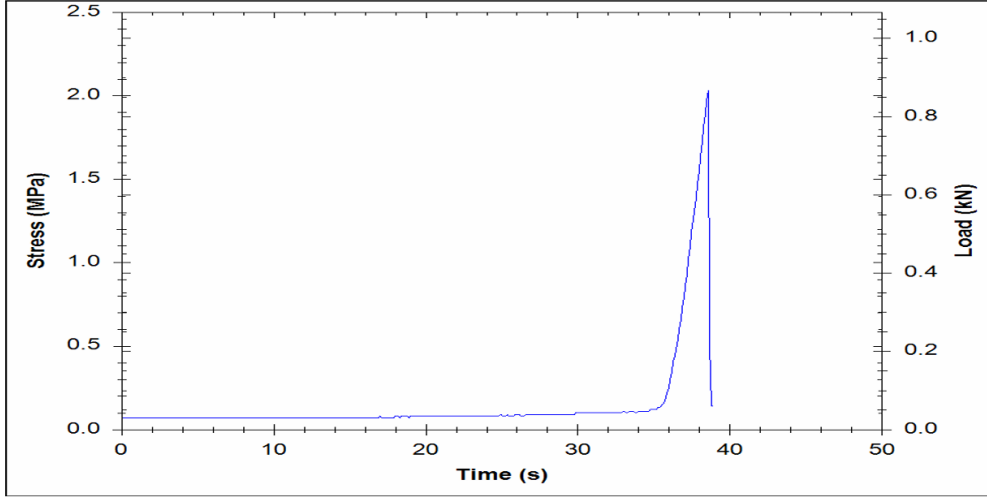
Şekil 4.26: 500°C yüksek sıcaklık deneyi sonrası 5T serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği



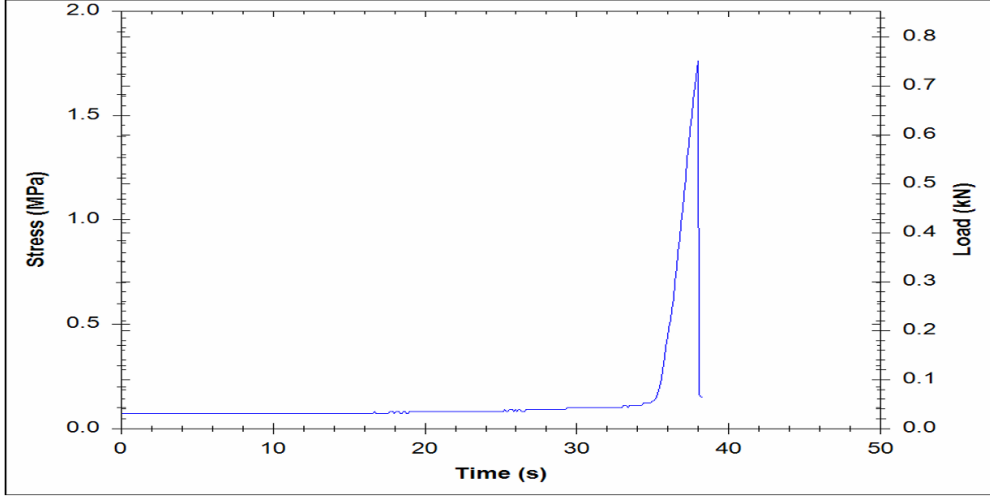
Şekil 4.27: 500°C yüksek sıcaklık deneyi sonrası 5T3L serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği



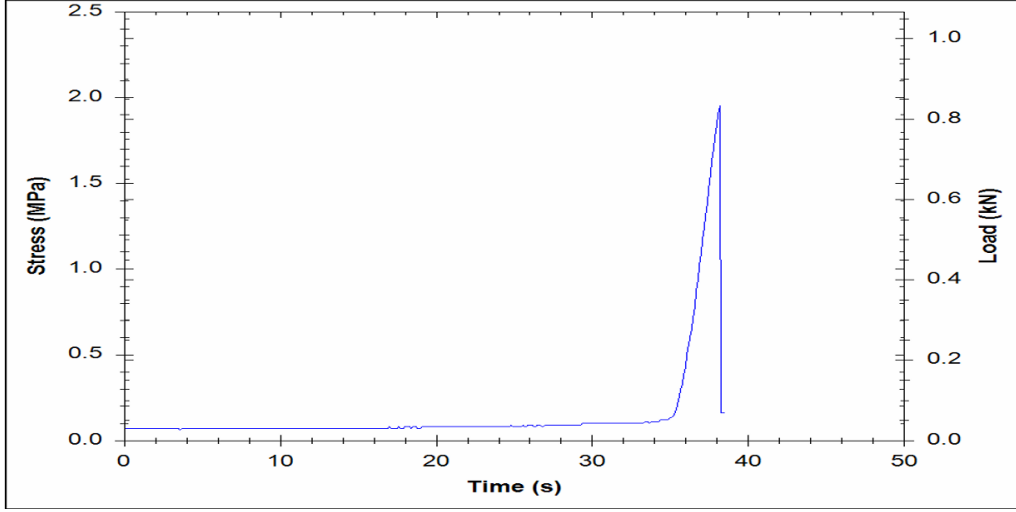
Şekil 4.28: 500°C yüksek sıcaklık deneyi sonrası 5T6L serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği



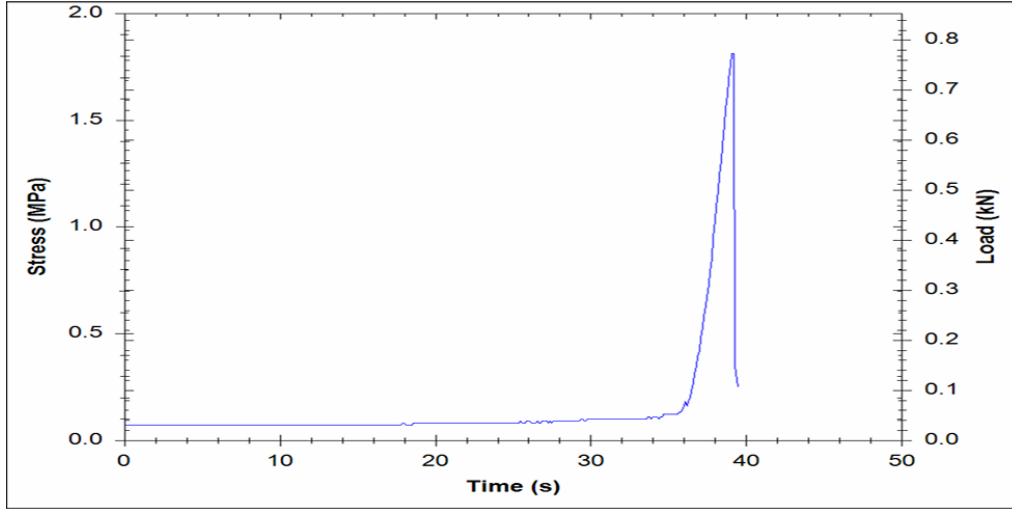
Şekil 4.29: 500°C yüksek sıcaklık deneyi sonrası 5T9L serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği



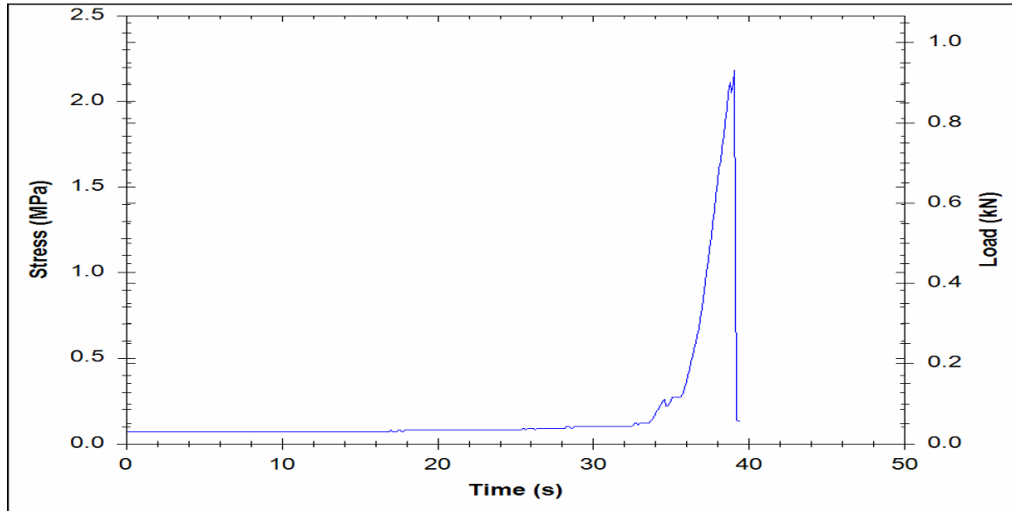
Şekil 4.30: 500°C yüksek sıcaklık deneyi sonrası 10T serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği



Şekil 4.31: 500°C yüksek sıcaklık deneyi sonrası 10T3L serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği



Şekil 4.32: 500°C yüksek sıcaklık deneyi sonrası 10T6L serisi eğilmeye çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği



Şekil 4.33: 500°C yüksek sıcaklık deneyi sonrası 10T9L serisi eğilmeye çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği

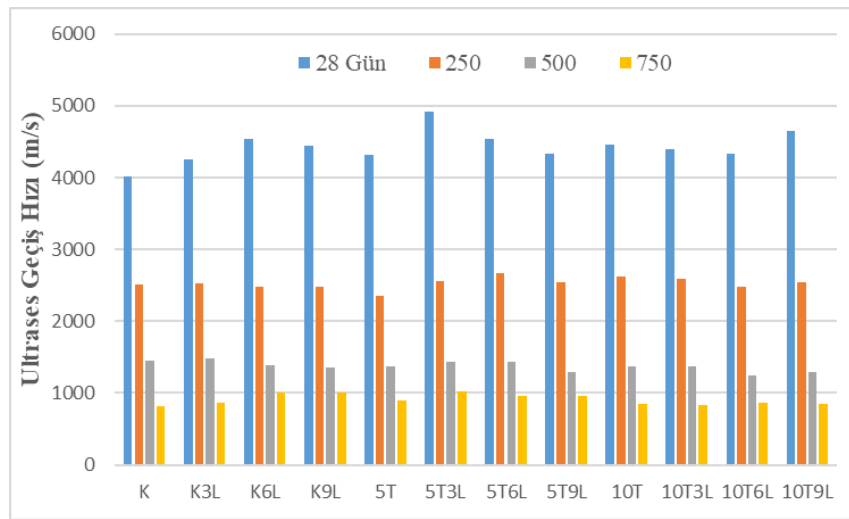
4.2.1.2 Yüksek sıcaklık deneyi sonrası oluşan ultrases geçiş hızı değerleri

Numunelere uygulanan 250°C, 500°C ve 750°C yüksek sıcaklık deneyleri sonrası ile 28 gün su kürü uygulaması sonrası ölçülen ultrases geçiş hızı sonuçları Tablo 4.9’da gösterilmiştir. Uygulanan sıcaklıklardaki artışla beraber ultrases dayanımlarında azalış gözlemlenmiştir. Topçu ve Demir (2007), yüksek sıcaklık deneylerinde yükselen sıcaklıkların ultrases geçiş hızı değerlerini düşürmesinin sebebi olarak numunelerin iç yapısındaki boşlukların genişlemesi ve suların buharlaşarak yeni boşluk oluşturmasını ifade etmişlerdir. Aynı zamanda lif ikamesi boşlukları doldurduğundan dolayı ses hızları genelde artış göstermiştir.

250°C olarak uygulanan yüksek sıcaklık deneyi sonucunda ultrases geçiş hızlarındaki azalma %37.57 ile %47.66 arasında gerçekleşmiştir. 500°C yüksek sıcaklık deneyi sonucundaki ultrases geçiş hızlarındaki azalma %63.70 ile %72.18 arasında gelmiş olup 750°C yüksek sıcaklık deneyi sonucunda bu azalma miktarı %77.48 ile %81.87 arasında gerçekleşmiştir. Yüksek sıcaklık deneyleri sonucu ultrases geçiş hızlarında meydana gelen değişimler Tablo 4.9 ve Şekil 4.34'te gösterildiği gibidir.

Tablo 4.9: Yüksek sıcaklık deneyi sonrası ultrases geçiş hızlarında meydana gelen değişimler

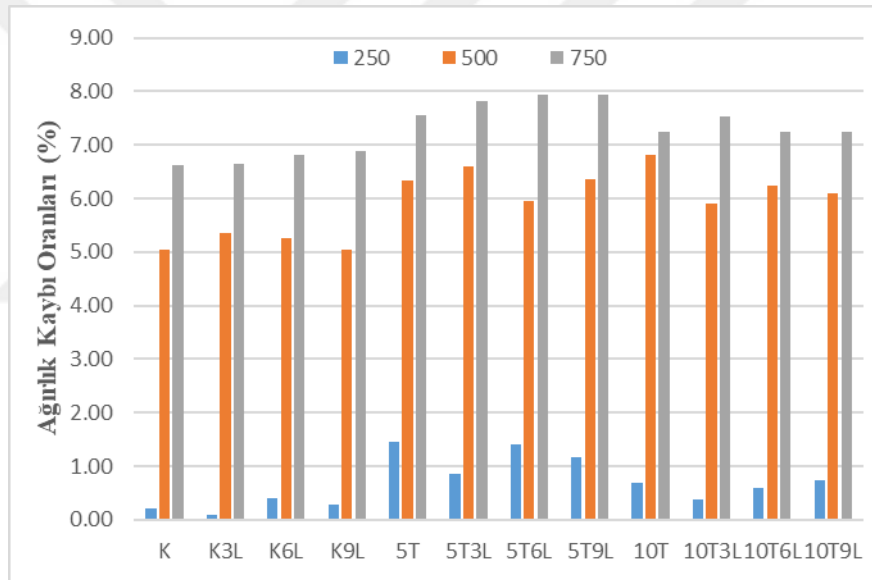
Karışım	28 gün	250°C		500°C		750°C	
	Ultrases Geçiş Hızı (m/s)	Ultrases Geçiş Hızı (m/s)	Azalma Oranı (%)	Ultrases Geçiş Hızı (m/s)	Azalma Oranı (%)	Ultrases Geçiş Hızı (m/s)	Azalma Oranı (%)
K	4014	2506	37.57	1457	63.70	813	79.75
K3L	4250	2524	40.61	1482	65.13	871	79.51
K6L	4547	2474	45.59	1379	69.67	1010	77.79
K9L	4449	2483	44.19	1359	69.45	1002	77.48
5T	4311	2352	45.44	1372	68.17	901	79.10
5T3L	4901	2565	47.66	1437	70.68	1030	78.98
5T6L	4545	2675	41.14	1438	68.36	960	78.88
5T9L	4333	2536	41.47	1294	70.14	966	77.71
10T	4467	2625	41.24	1374	69.24	848	81.02
10T3L	4389	2597	40.83	1374	68.69	839	80.88
10T6L	4329	2481	42.69	1244	71.26	857	80.20
10T9L	4651	2539	45.41	1294	72.18	843	81.87



Şekil 4.34: Yüksek sıcaklık deneyi sonrası ultrases geçiş hız değerleri

4.2.1.3 Yüksek sıcaklık deneyi sonrası oluşan ağırlık değişimleri

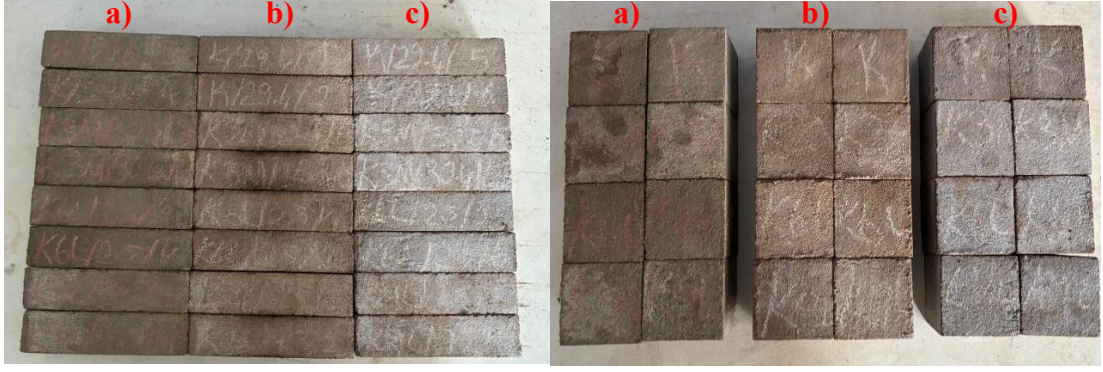
Yüksek sıcaklık sonrası oluşan ağırlık kaybı sonuçları Şekil 4.35'te gösterilmiştir. 250°C sonrasında oluşan ağırlık kayıpları %0.10 ile %1.47 arasında, 500°C sonrasında %5.04 ile 6.81 arasında ve 750°C sonrasında ise %6.62 ile %7.94 arasında kayıplar yaşanmıştır. Talk ilavesi numunelerde gerçekleşen ağırlık kayıplarını arttırmıştır fakat %10 oranında talk kullanılan numunelerde %5 oranında talk kullanılan numunelere göre daha az ağırlık kaybı gözlemlenmiştir. Diğer çalışmalar incelendiğinde oluşan ağırlık kayıplarının nedenleri şu şekilde olabilmektedir: 30°C ve 210°C arası sıcaklıklarda numune tarafından emilen suyun fiziksel olarak buharlaşması, 210°C ve 400°C aralığında uygulanan sıcaklıklar polimer yan zincirlerinin bozulması ve 400°C ve 500°C sıcaklık arasında ise ana polimer zincirlerinin bozulmasıyla oluşan ağırlık kayıplarının miktarını arttırmıştır. (Al-Sharhanee et al., 2025; Jiang et al., 2020; Saha et al., 2019; Kuri et al., 2021).



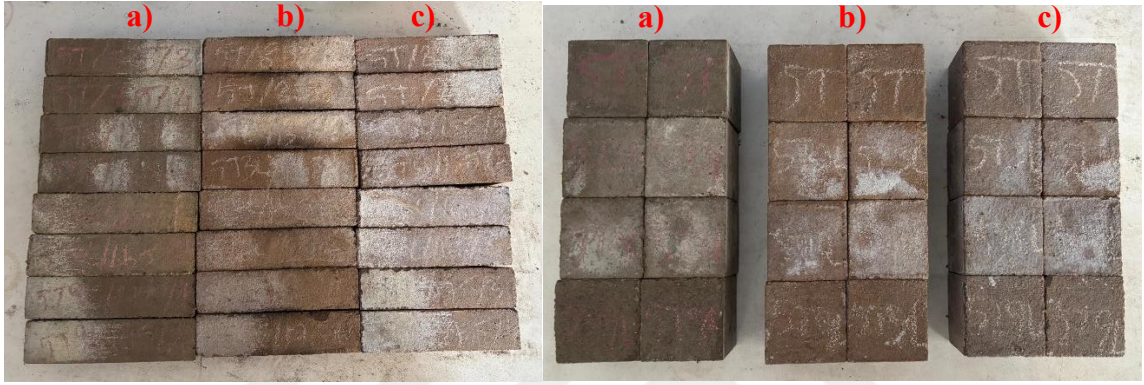
Şekil 4.35: Yüksek sıcaklık deneyi sonrası oluşan ağırlık kaybı oranları

4.2.1.4 Yüksek sıcaklık deneyi sonrası görsel inceleme

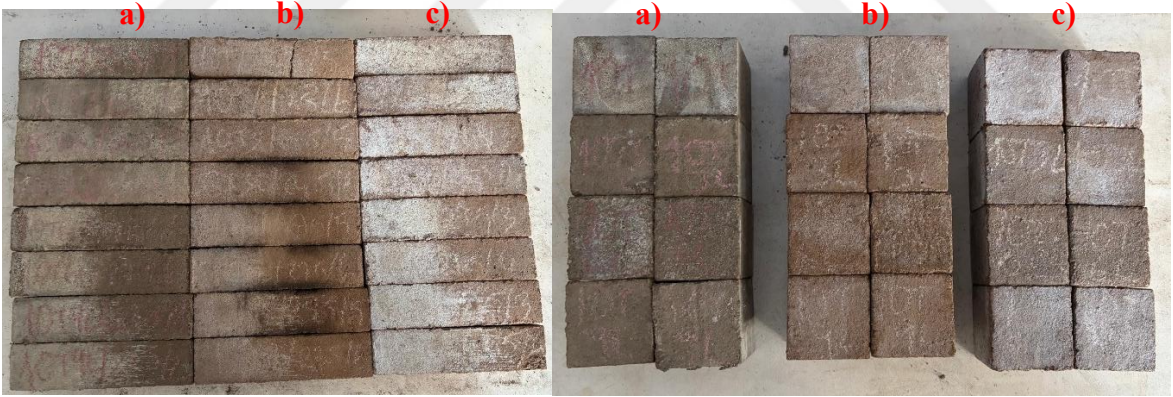
Numuneler üzerindeki yüksek sıcaklık etkisi görsel olarak da incelenmiştir (Şekil 4.36-4.38). Yüksek sıcaklık deneyi sonrasında çekilen görüntüler incelendiğinde, 250°C'ye maruz kalan numunelerde önemli sayılabilecek renk değişimi gözlemlenmemiştir. Renk değişimleri 500°C ve sonrasında oldukça fazladır. 500°C uygulanan numunelerde kahverengi gözlemlenirken 750°C uygulanan numunelerde ise açık gri bir görünüm elde edilmiştir. Artan sıcaklıklarla beraber renk değişimi ve çatlaklar gözlemlenirken basınç ve eğilme dayanımlarında da azalma gözlemlenmiştir.



Şekil 4.36: Kontrol numuneleri yüksek sıcaklık etkisi a) 250°C b) 500°C c) 750°C



Şekil 4.37: %5 talk içeren numunelere yüksek sıcaklık etkisi a) 250°C b) 500°C c) 750°C



Şekil 4.38: %10 talk içeren numunelere yüksek sıcaklık etkisi a) 250°C b) 500°C c) 750°C

4.2.2 Donma-çözülme deneyi

Donma-çözülme etkisi için 28 gün su kürü uygulandıktan sonra 100 çevrim olacak şekilde donma-çözülme kabini içinde tutulmuştur. 4 saat +20°C ve ardından 4 saat -20°C olan bu 8 saatlik bu döngüye 1 çevrim denilmiştir. Deney sonrasında numunelerde meydana gelen ağırlık değişimleri, ultrases geçiş hızı değerleri, basınç ve eğilmede çekme dayanımları ile beraber görsel incelemeler gibi değişimler incelenmiştir. Donma-çözülme deneyi uygulanan

prizma numunelerin bir kısmı Yıldız Teknik Üniversitesi Laboratuvarında eğilme dayanımı deneyine tabi tutularak Gerilme-Şekil değiştirme grafiği elde edilmiştir.

4.2.2.1 Donma-çözülme deneyi sonrası oluşan eğilmede çekme ve basınç dayanımı değerleri

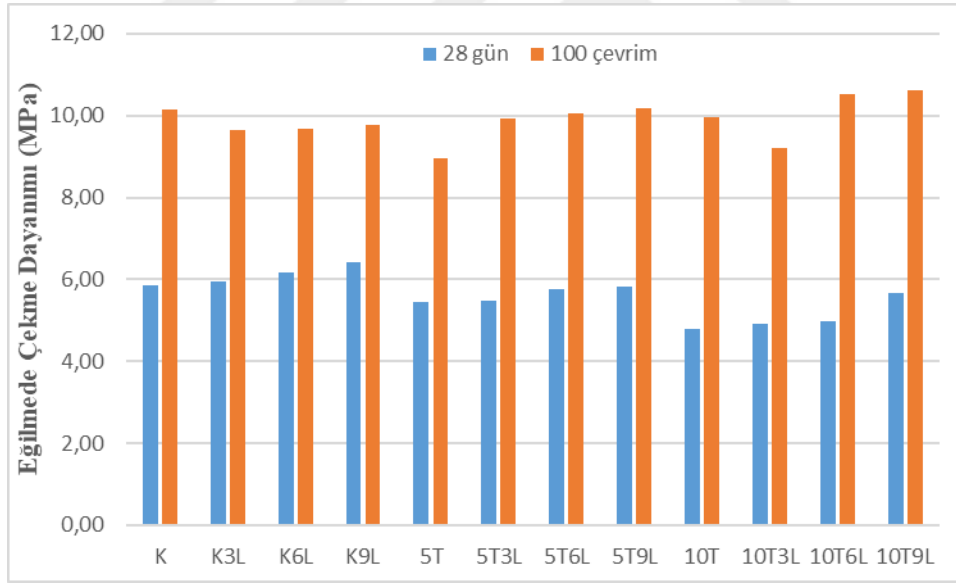
Buzun hacmi suya oranla %9 oranında daha fazladır. Donma-çözülme deneyinde numune içerisinde nüfuz etmiş sular buza dönüşüp tekrar suya dönüşerek numunelerin içinde boşluklar yaratabilmektedir. Bu boşluklar da boyutu küçük çatlaklar oluşturabilmekte olup bu çatlaklar dayanımlarda düşüğe sebebiyet verebilmektedir (Basheer et al., 2001).

100 çevrim olarak uygulanan donma-çözülme deneyi sonrasındaki eğilmede çekme dayanımları 28 günlük eğilmede çekme dayanımlarına göre artış göstermiştir. En düşük eğilmede çekme dayanımı 8.95 MPa olarak 5T serisinde gözlemlenirken en yüksek eğilmede çekme dayanımı 10.63 MPa olarak 10T9L serisinde gözlemlenmiştir. Deney sonrası eğilmede çekme dayanımlarındaki azalma oranları %-52.18 ile %-111.65 arasında gerçekleşmiştir. Basınç dayanımları da eğilme dayanımlarıyla benzer olarak artış halindedir. En düşük basınç dayanımı 31.62 MPa ile 10T serisine ait olup en yüksek basınç dayanımı ise 44.58 MPa ile K3L serisine aittir. Azalma oranları ise %-22.17 ile %-68.77 arasında gözlemlenmiştir. Tablo 4.10'da donma-çözülme deneyi sonrası eğilmede çekme ve basınç dayanımlarıyla birlikte 28 günlük eğilmede çekme ve basınç dayanımlarıyla oluşan azalma oranları gösterilmiştir. Şekil 4.39'da 28 günlük ve donma-çözülme deneyi sonrası oluşan eğilmede çekme dayanımları gösterilmiş olup Şekil 4.40'ta ise 28 günlük ve donma-çözülme deneyi sonrası oluşan basınç dayanımları gösterilmiştir.

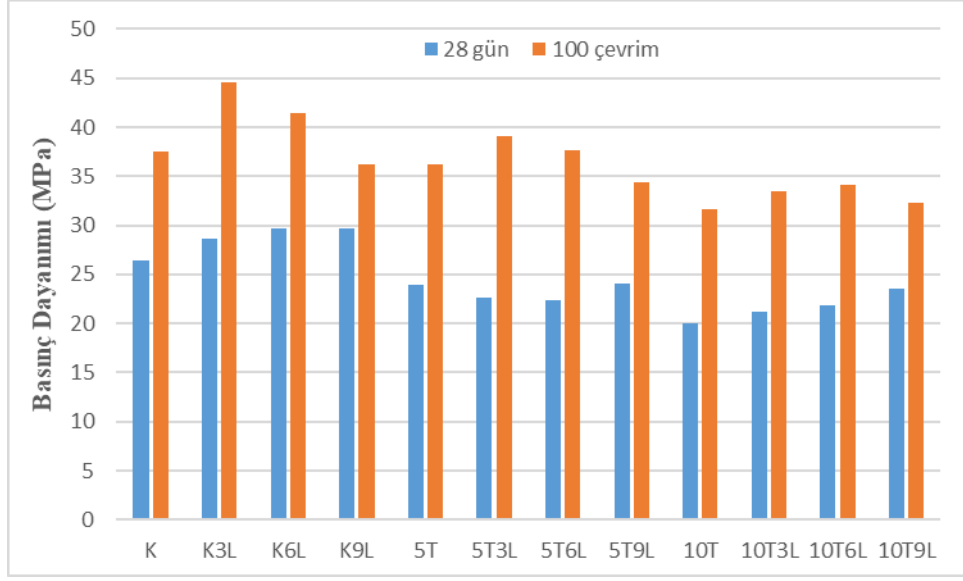
100 çevrim donma-çözülme deneyi uygulanan prizma numunelere eğilmede çekme dayanımı deneyi Yıldız Teknik Üniversitesi Laboratuvarında yapılmıştır. Deney sonucunda oluşan eğilme dayanımı grafikleri (Gerilme - şekil değiştirme grafiği) Şekil 4.41 ile Şekil 4.52 arasında gösterildiği gibidir. Grafiklerden gözlemlendiği üzere lif kullanımı numunelerin daha sünek olmasını sağlamıştır. Aynı zamanda lif kullanımının artışı eğilme dayanımlarını da arttırmıştır.

Tablo 4.10: Donma-çözülme deneyi sonrası eğilmede çekme ve basınç dayanımı sonuçları

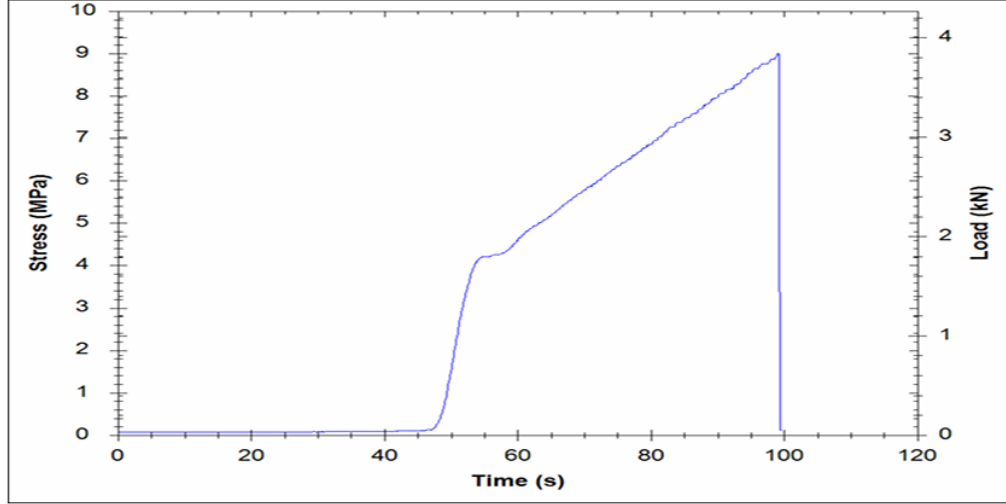
Karışım	28 gün			100 Çevrim		
	Eğilmede Çekme Dayanımı (MPa)	Eğilmede Çekme Dayanımı (MPa)	Azalma Oranı (%)	Basınç Dayanımı (MPa)	Basınç Dayanımı (MPa)	Azalma Oranı (%)
K	5.87	10.16	-73.08	26.45	37.55	-41.96
K3L	5.96	9.64	-61.74	28.65	44.58	-55.61
K6L	6.17	9.68	-56.89	29.62	41.40	-39.77
K9L	6.42	9.77	-52.18	29.69	36.27	-22.17
5T	5.46	8.95	-63.92	23.91	36.17	-51.27
5T3L	5.48	9.93	-81.20	22.67	39.11	-72.54
5T6L	5.76	10.05	-74.48	22.33	37.69	-68.77
5T9L	5.83	10.19	-74.79	24.13	34.38	-42.47
10T	4.80	9.95	-107.29	20.03	31.62	-57.87
10T3L	4.90	9.22	-88.16	21.22	33.46	-57.68
10T6L	4.98	10.54	-111.65	21.89	34.13	-55.93
10T9L	5.67	10.63	-87.48	23.50	32.27	-37.30



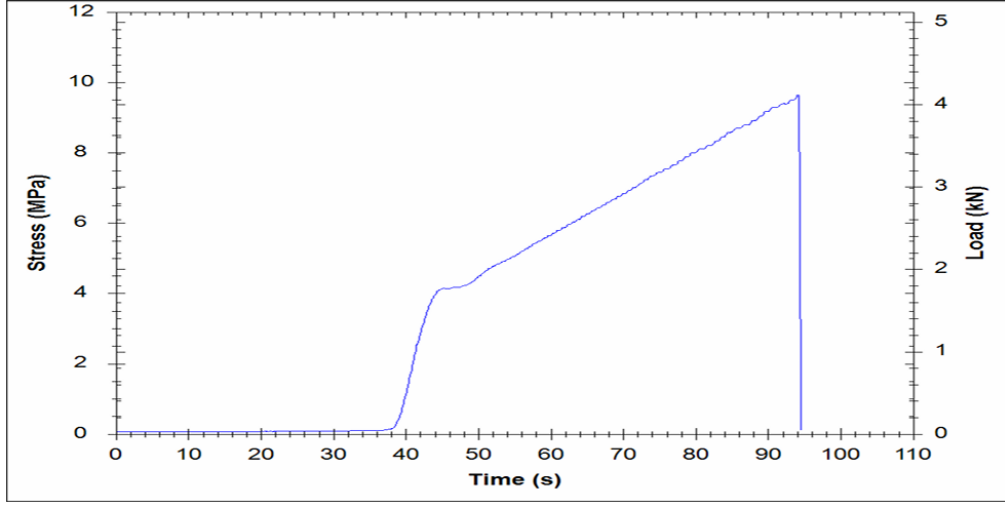
Şekil 4.39: Donma-çözülme deneyi sonrası eğilmede çekme dayanımı sonuçları



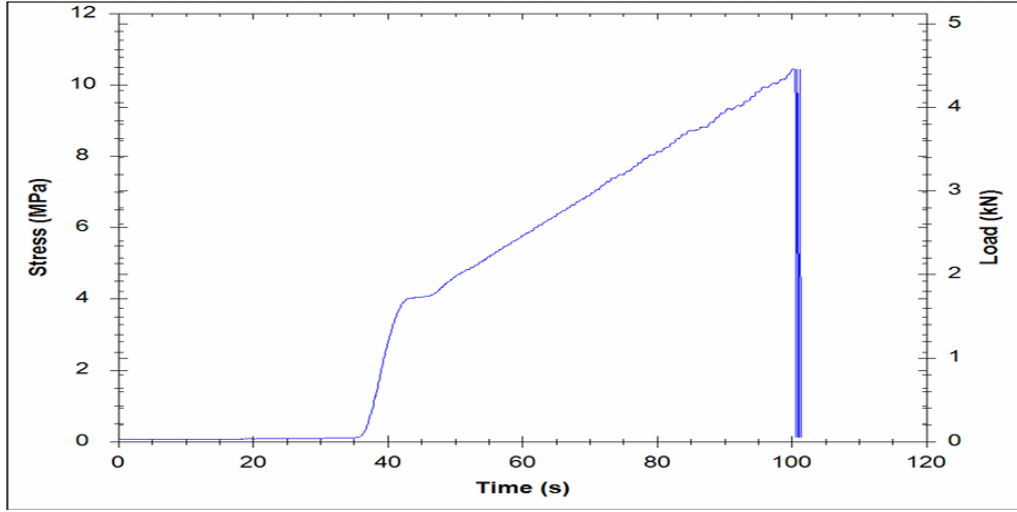
Şekil 4.40: Donma-çözülme deneyi sonrası basınç dayanımı sonuçları



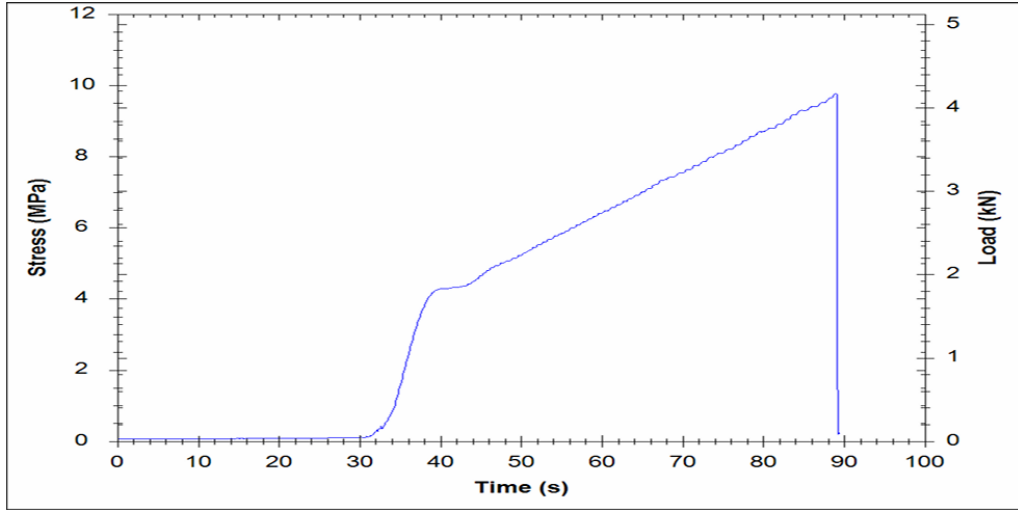
Şekil 4.41: Donma-çözülme deneyi sonrası K serisi eğilme çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği



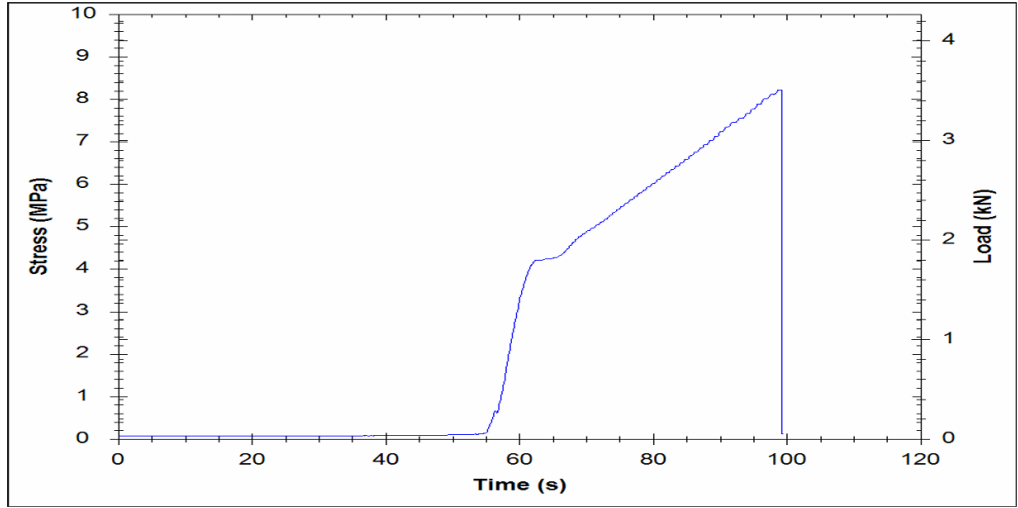
Şekil 4.42: Donma-çözülme deneyi sonrası K3L serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği



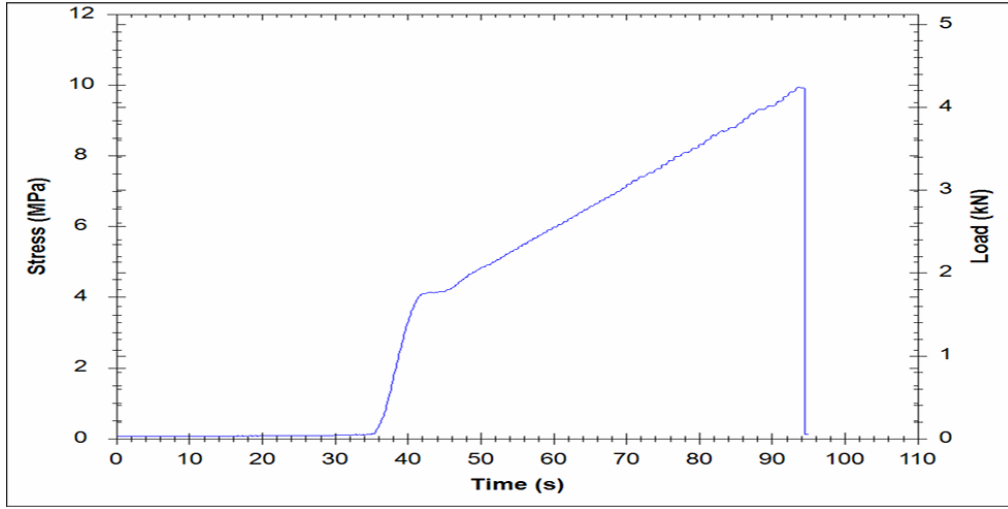
Şekil 4.43: Donma-çözülme deneyi sonrası K6L serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği



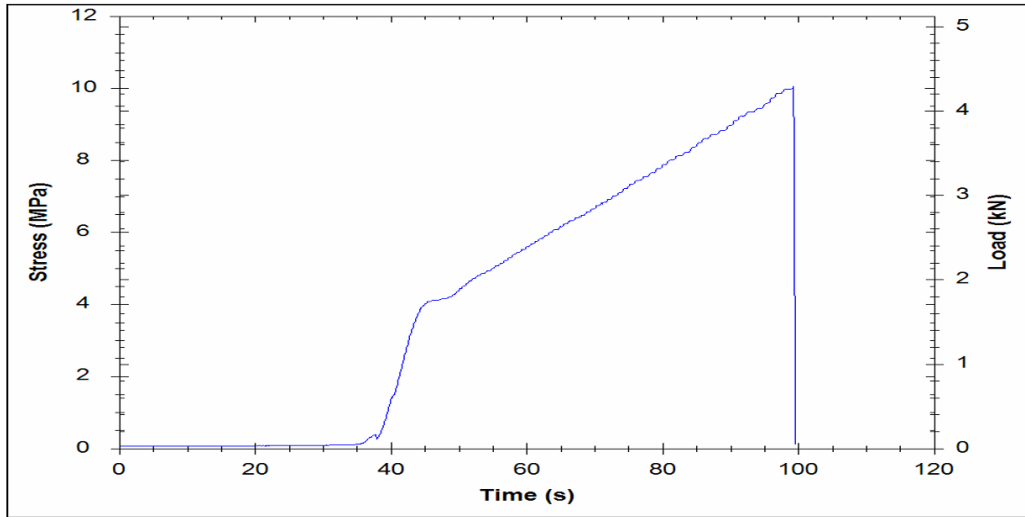
Şekil 4.44: Donma-çözülme deneyi sonrası K9L serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği



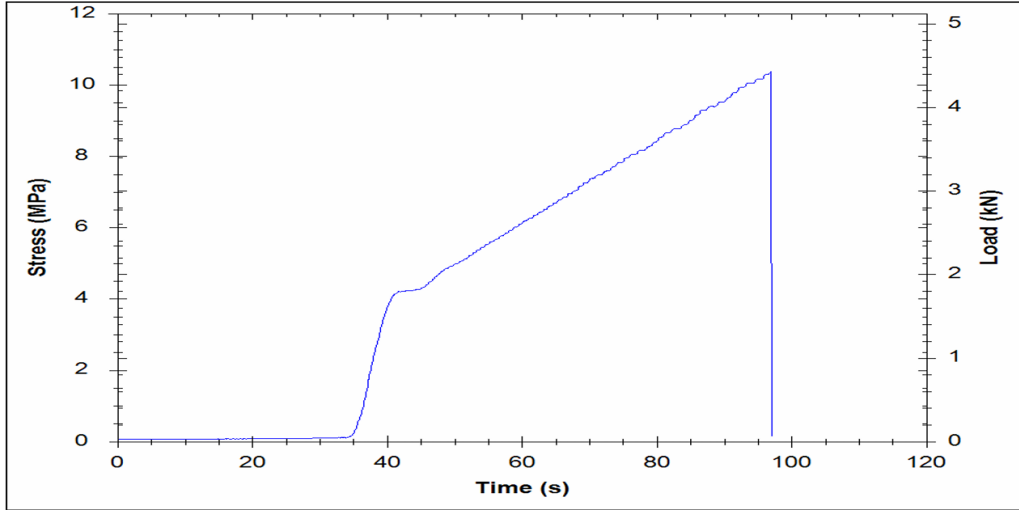
Şekil 4.45: Donma-çözülme deneyi sonrası 5T serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği



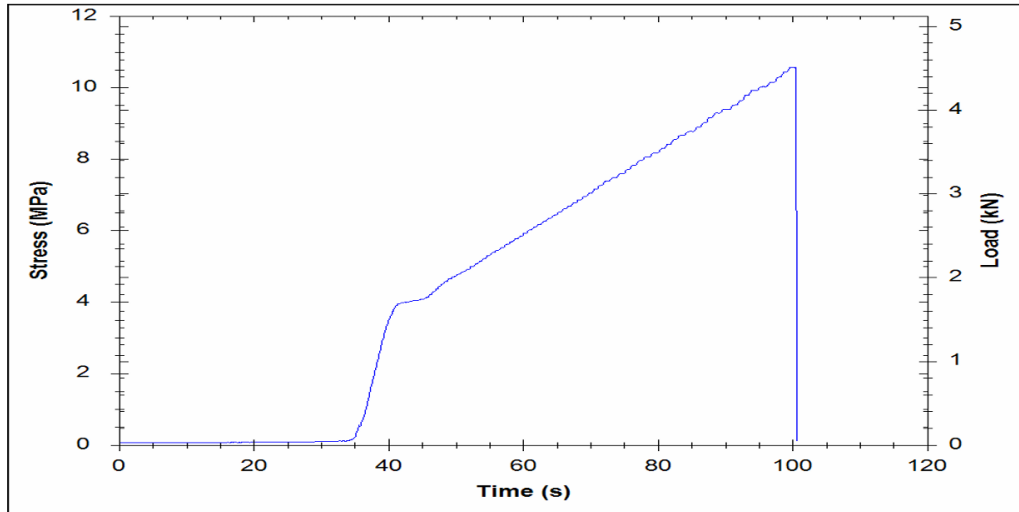
Şekil 4.46: Donma-çözülme deneyi sonrası 5T3L serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği



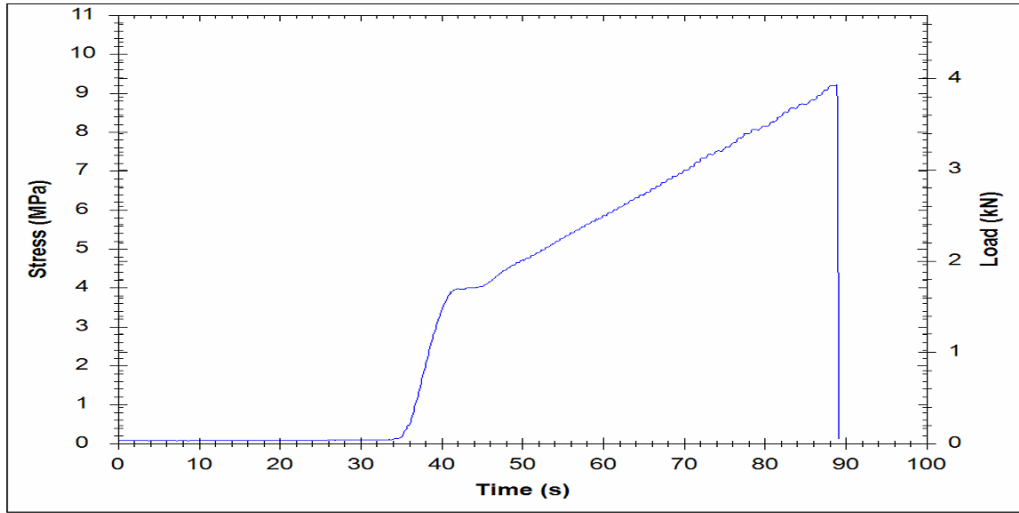
Şekil 4.47: Donma-çözülme deneyi sonrası 5T6L serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği



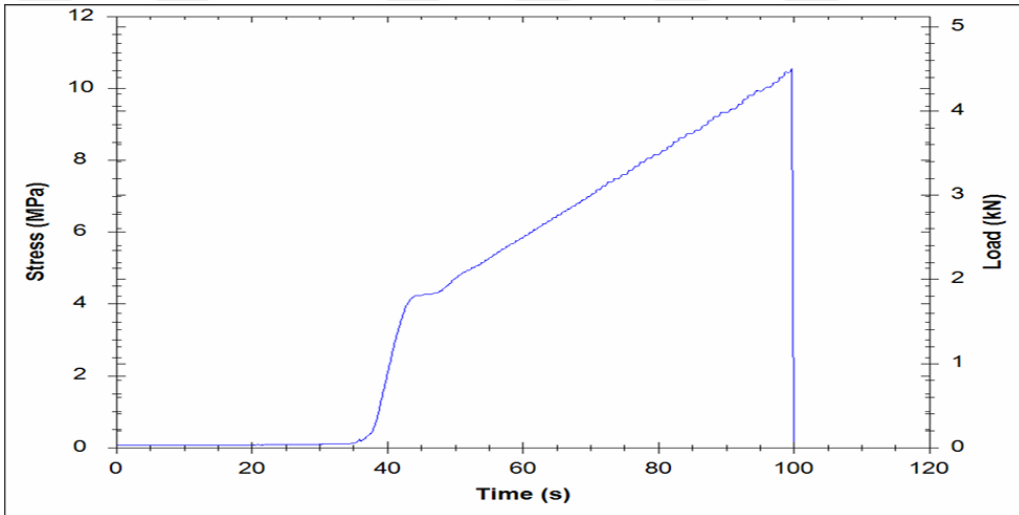
Şekil 4.48: Donma-çözülme deneyi sonrası 5T9L serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği



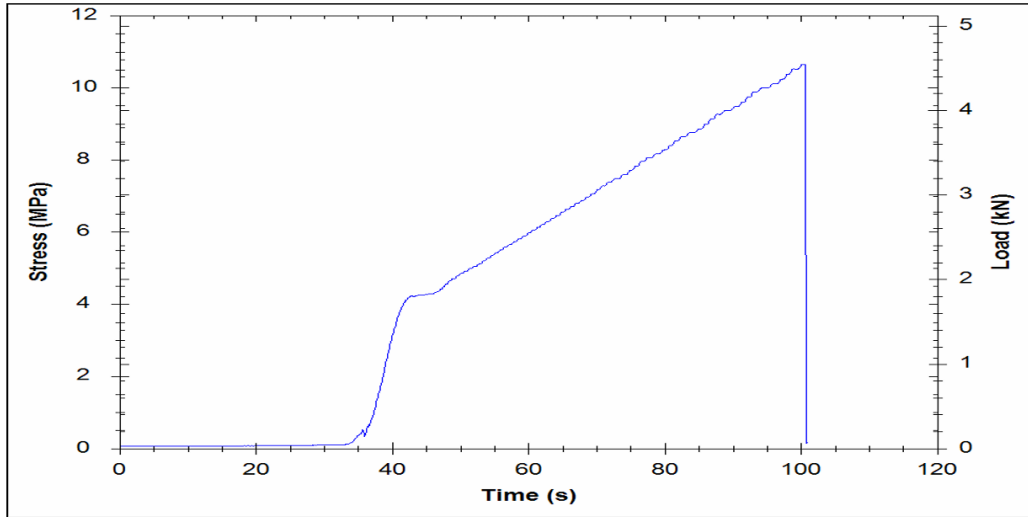
Şekil 4.49: Donma-çözülme deneyi sonrası 10T serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği



Şekil 4.50: Donma-çözülme deneyi sonrası 10T3L serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği



Şekil 4.51: Donma-çözülme deneyi sonrası 10T6L serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği



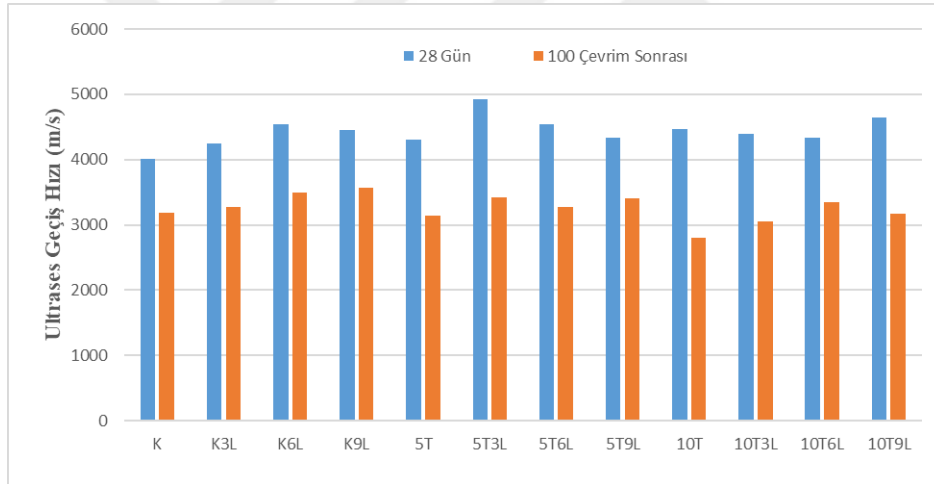
Şekil 4.52: Donma-çözülme deneyi sonrası 10T9L serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği

4.2.2.2 Donma-çözülme deneyi sonrası oluşan ultrases geçiş hızı değerleri

Çalışma kapsamında 100 çevrim olarak uygulanan donma-çözülme deneyi sonrası ile 28 gün su kürü uygulaması sonrası ölçülen ultrases geçiş hızları Tablo 4.11 ve Şekil 4.53'te karşılaştırılmıştır. Deney öncesi ve sonrası değişimler incelendiğinde küp numunelerde ultrases geçiş hızı değişim miktarı daha fazla gerçekleşmiştir. Donma-çözülme sonrası suyun buza dönüşüp oluşan hacim genişlemesinin ardından oluşan boşluklardan dolayı bütün serilerde ultrases geçiş hızlarında azalma gözlemlenmiştir. 100 çevrim sonrası 28 günlük ultrases geçiş hızlarındaki azalma oranı %19.73 ile %31.97 oranında gerçekleşmiştir. 100 çevrim sonrası en yüksek ultrases geçiş hızı değeri 3571 m/s ile K9L serisinde gözlemlenirken en düşük ultrases geçiş hızı değeri 2808 m/s ile 10T serisinde gözlemlenmiştir. Lif katkısı kullanılmadan talk oranının artması geçiş hızlarını azaltmıştır. Numunelerdeki lif takviyesi ultrases geçiş hızlarını arttırmıştır.

Tablo 4.11: Donma-çözülme deneyi sonrası ultrases geçiş hızlarında meydana gelen değişimler

Karışım	28 gün	100 çevrim	Azalma Oranı (%)
	Ultrases Geçiş Hızı (m/s)	Ultrases Geçiş Hızı (m/s)	
K	4014	3184	20.68
K3L	4250	3280	22.82
K6L	4547	3496	23.11
K9L	4449	3571	19.73
5T	4311	3144	27.07
5T3L	4926	3424	30.49
5T6L	4545	3267	28.12
5T9L	4333	3401	21.51
10T	4467	2808	37.14
10T3L	4389	3048	30.55
10T6L	4329	3351	22.59
10T9L	4661	3164	31.97

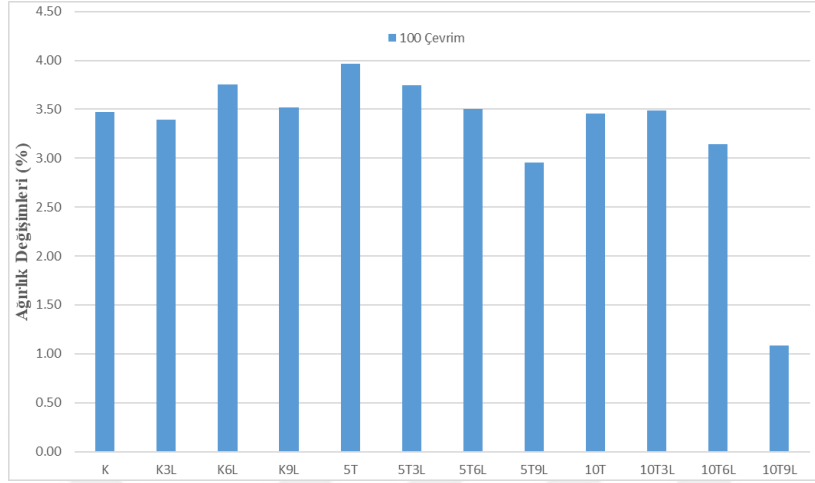


Şekil 4.53: Donma-çözülme deneyi sonrası ultrases geçiş hızlarında meydana gelen değişimler

4.2.2.3 Donma-çözülme deneyi sonrası oluşan ağırlık değişimleri

Donma-çözülme deneyi sonrasında, deney öncesinde ölçülen numunelerin ağırlıklarına göre artış gözlemlenmiştir. Ağırlıklarda yaşanan bu artış oranları kabin içinde deney süresinde oluşan nemin boşlukları doldurması olarak açıklanabilir. En yüksek ağırlık değişimi %3.96 ile %5 talk içeren 5T serisinde gözlemlenmiştir. En düşük ağırlık değişimi ise %0.85 ile 10T9L serisinde gözlemlenmiştir. 5T serisi dışında bağlayıcı olarak talk kullanılması ağırlık değişimlerini azaltmıştır. Artan lif oranları genel olarak ağırlık değişimlerini azaltmıştır

çünkü deney sonrasında harçların boşluklarında buz oluşumu gerçekleşmektedir ve lif de bu boşlukları minimum hale getirmektedir. Donma-çözülme deneyi sonrası oluşan ağırlık değişimleri Şekil 4.54'te gösterilmiştir.



Şekil 4.54: Donma-çözülme deneyi sonrası oluşan ağırlık değişimleri oranları

4.2.2.4 Donma-çözülme deneyi sonrası görsel inceleme

Donma-çözülme deneyi öncesinde ve sonrasında görsel inceleme yapabilmek amacıyla kullanılan karışım türüne göre üçe (Kontrol serileri, %5 talk içeren seriler ve %10 talk içeren seriler) ayrılmıştır. Deney sonrasında numunelerin nemle beraber eski hallerine göre ıslak oldukları gözlemlenmiştir. Talk oranı arttıkça yüzeyde büyük hasarlar gözlemlenmemiştir. Şekil 4.55'te numunelerin deney öncesi hali (solda) ve sonrasında oluşan görüntüleri (sağda) gösterilmiştir.



Şekil 4.55: Donma-çözülme öncesi ve sonrası numunelerin durumu a)K b)K3L c)K6L d)K9L e)5T f)5T3L g)5T6L h)5T9L i)10T j)10T3L k)10T6 l)10T9L serisi



Şekil 4.55 (devam): Donma-çözülme öncesi ve sonrası numunelerin durumu a)K b)K3L c)K6L d)K9L e)5T f)5T3L g)5T6L h)5T9L i)10T j)10T3L k)10T6 l)10T9L serisi

4.2.3 Çözelti etkisinin incelenmesi

Üretimi yapılan numuneler 28 gün su kürü uygulandıktan sonra %10 derişime sahip Na_2SO_4 (Sodyum Sülfat) ve MgSO_4 (Magnezyum Sülfat) çözeltileri içerisinde 2 ay ve 3 ay süre ile bekletilmek üzere yerleştirilmiştir.

4.2.3.1 Çözelti etkisi sonrası oluşan eğilmede çekme ve basınç dayanımı değerleri

Tablo 4.12 ve Şekil 4.56’da numunelerin 2 ve 3 ay MgSO_4 çözeltilisinde bırakılması sonucu ölçülen eğilmede çekme dayanımları ve Tablo 4.13 ve Şekil 4.57’de numunelerin MgSO_4 çözeltilisi etkisindeki basınç dayanımları gösterilmiştir. Bu değerler 28 günlük dayanımlarla karşılaştırılmıştır.

Sonuçlar incelendiğinde 2 ay sonunda MgSO_4 çözeltilisi etkisi sonucunda 6.88 MPa ile K6L serisinde eğilmede çekme dayanımı maksimum olurken en düşük eğilmede çekme dayanımı

1.94 MPa ile 10T9L serisinde gözlemlenmiştir. Azalma oranları ise %-16.97 ile %65.78 arasında gerçekleşmiştir. 2 ay sonunda $MgSO_4$ çözeltisi etkisindeki numunelerin basınç dayanımları incelendiğinde en yüksek basınç dayanımı 29.71 MPa ile K6L serisine aitken en düşük dayanım 11.05 MPa ile 10T9L serisine aittir.

3 ay sonunda $MgSO_4$ çözeltisi etkisi sonucunda 7.19 MPa ile K6L serisinde eğilmede çekme dayanımı maksimum olurken en düşük eğilme dayanımı 1.41 MPa değeri ile 10T9L serisinde ölçülmüştür. %10 talk kullanılan serilerde bazı numuneler çok fazla genleşmiştir ve şekilsel bozukluklar meydana gelmiştir. Azalma oranları %-27.01 ile %75.13 arasında değişkenlik göstermektedir. 3 ay $MgSO_4$ çözeltisi etkisi sonunda en yüksek basınç dayanımı 27.88 MPa ile 5T3L serisinde gözlemlenirken en düşük basınç dayanımı 16.37 MPa ile 10T serisinde gözlemlenmiştir.

Tablo 4.14 ve Şekil 4.58’de numunelerin 2 ve 3 ay $NaSO_4$ çözeltisinde bırakılması sonucunda ölçülen eğilmede çekme dayanımları ve Tablo 4.15 ve Şekil 4.59’da ise numunelerin yine aynı şartlarda oluşan basınç dayanımları gösterilmiştir. Bu değerler 28 günlük dayanımlarla karşılaştırılmıştır.

2 ay $NaSO_4$ çözeltisinde tutulan serilerde 6.49 MPa ile K9L serisinde eğilmede çekme dayanımı maksimum olurken en düşük eğilmede çekme dayanımı 4.32 MPa ile 10T3L serisinde ölçülmüştür. 28 güne kıyasla azalma oranları ise %-3.69 ile %14.11 arasında gerçekleşmiştir. 2 ay $NaSO_4$ çözeltisi etkisindeki seriler incelendiğinde en yüksek basınç dayanımı 26.89 MPa ile K9L serisine ait olup en düşük basınç dayanımı 21.20 MPa ile 10T serisine ait olduğu gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar 28 günlük basınç dayanımlarıyla karşılaştırıldığında azalma oranları %-5.84 ile %12.56 arasında gözlemlenmiştir. Talk oranının artması dayanım azalmalarını azaltıcı etki gösterdiği saptanmıştır.

3 ay $NaSO_4$ çözeltisi etkisindeki seriler incelendiğinde 8.43 MPa ile 5T9L serisinde eğilmede çekme dayanımı maksimum olurken en düşük eğilme dayanımı 5.14 MPa ile 5T3L serisinde gözlemlenmiştir. 28 güne kıyasla azalma oranları %-59.44 ile %6.20 arasında gözlemlenmiştir. 3 ay $NaSO_4$ çözeltisi etkisindeki serilerde en yüksek basınç dayanımı 34.61 MPa ile 10T9L serisinde gözlemlenirken en düşük basınç dayanımı 24.36 MPa ile 5T serisine ait olduğu gözlemlenmiştir. Azalma oranları ise %-54.29 ile %16.41 arasında gerçekleşmiştir. Talk oranının artışıyla beraber lif artışında meydana gelen artışın

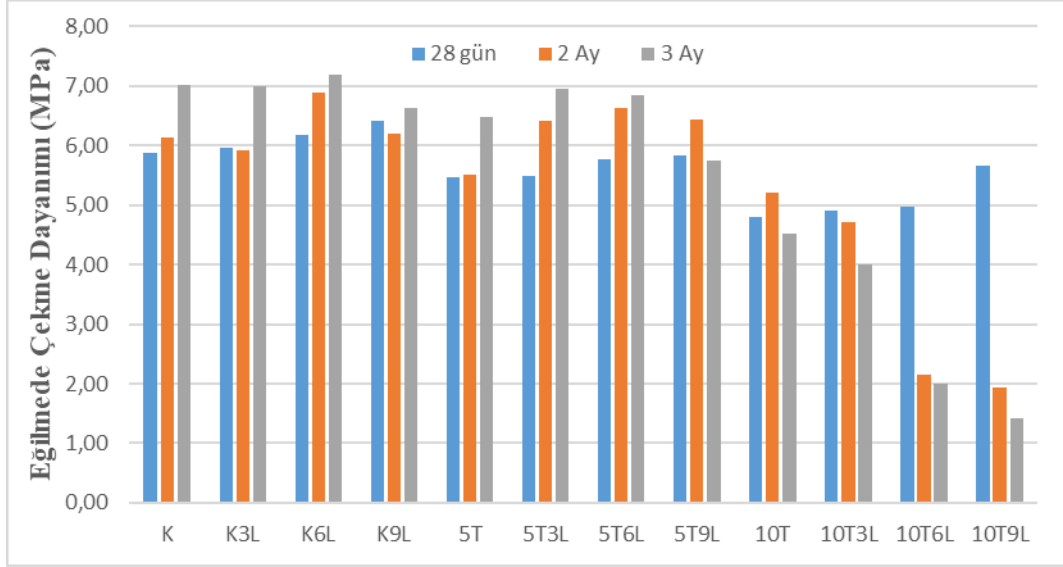
dayanımları arttırdığı ve 28 günlük dayanımlara göre azalma oranlarını azalttığı gözlemlenmiştir.

3 ay sülfat çözeltilerinin içinde bekleyen prizma numunelere eğilmede çekme dayanımı deneyi Yıldız Teknik Üniversitesi Laboratuvarında yapılmıştır. Deney sonucunda oluşan eğilmede çekme dayanımı grafikleri (Gerilme - şekil değiştirme grafiği), MgSO₄ çözeltisi etkisi sonucundakiler Şekil 4.60 ile Şekil 4.71 arasında ve Na₂SO₄ çözeltisi etkisi sonucundakiler ise Şekil 4.72 ile Şekil 4.83 arasında gösterildiği gibidir. MgSO₄ ve Na₂SO₄ çözeltileri bağlayıcı olarak talk kullanılan numunelerde daha gevrek kırılmalara yol açmıştır. Kontrol serilerinde lif oranı arttıkça sünek kırılmalar gözlemlenirken, talk kullanılan serilerde lif oranı arttıkça daha gevrek kırılmalar gözlemlenmiştir.

Dayanımların artışı talkın içinde yer alan Al₂O₃ ve yüksek miktardaki SiO₂, C-A-H ve C-A-S-H jellerini oluşturmasına ve bu jellerin dayanımları artırmasıyla açıklanmıştır (Al-Sharhanee et al., 2025; Kanaan and EL-Dieb, 2016; Mohit and Sharifi, 2019; Attaelmanan et al., 2021).

Tablo 4.12: 2 ve 3 ay süreli MgSO₄ çözeltisine maruz kalan numunelerin eğilmede çekme dayanımları ve azalma oranları

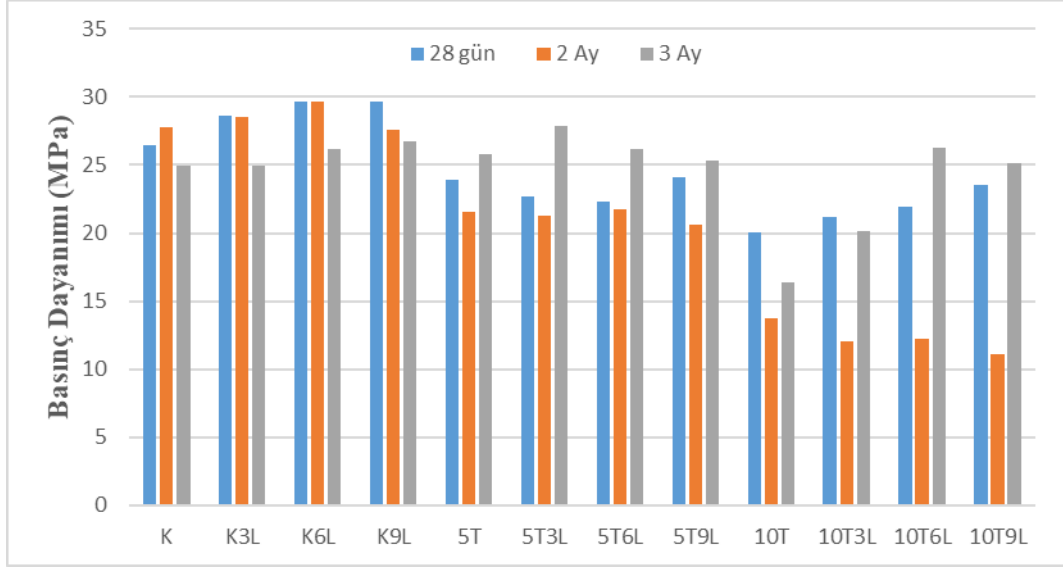
Karışım	28 gün		2 ay MgSO ₄		3 ay MgSO ₄	
	Eğilmede Çekme Dayanımı (MPa)	Eğilmede Çekme Dayanımı (MPa)	Azalma Oranı (%)	Eğilmede Çekme Dayanımı (MPa)	Azalma Oranı (%)	
K	5.87	6.14	-4.60	7.01	-19.42	
K3L	5.96	5.92	0.67	7.00	-17.45	
K6L	6.17	6.88	-11.51	7.19	-16.53	
K9L	6.42	6.20	3.43	6.63	-3.27	
5T	5.46	5.51	-0.92	6.47	-18.50	
5T3L	5.48	6.41	-16.97	6.96	-27.01	
5T6L	5.76	6.64	-15.28	6.84	-18.75	
5T9L	5.83	6.43	-10.29	5.75	1.37	
10T	4.80	5.21	-8.54	4.51	6.04	
10T3L	4.90	4.71	3.88	4.00	18.37	
10T6L	4.98	2.16	56.63	2.00	59.84	
10T9L	5.67	1.94	65.78	1.41	75.13	



Şekil 4.56: 2 ve 3 ay süreli MgSO₄ çözeltisine maruz kalan numunelerin eğilmede çekme dayanımları

Tablo 4.13: 2 ve 3 ay süreli MgSO₄ çözeltisine maruz kalan numunelerin basınç dayanımları ve azalma oranları

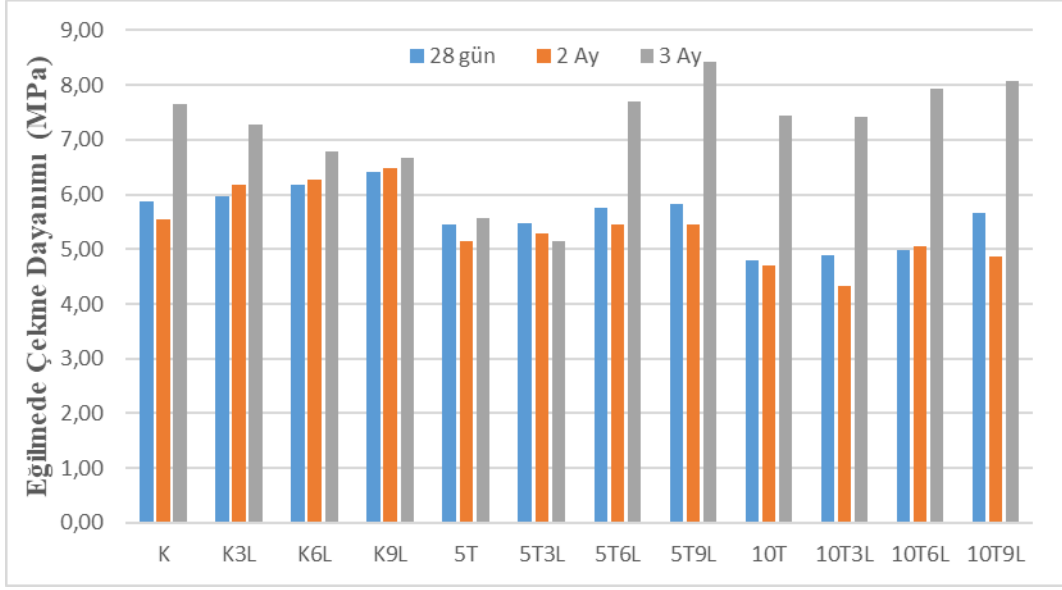
Karışım	28 gün		2 ay MgSO ₄		3 ay MgSO ₄	
	Basınç Dayanımı (MPa)	Basınç Dayanımı (MPa)	Azalma Oranı (%)	Basınç Dayanımı (MPa)	Azalma Oranı (%)	
K	26.45	27.75	-4.91	24.97	5.60	
K3L	28.65	28.5	0.52	24.98	12.81	
K6L	29.62	29.71	-0.30	26.20	11.55	
K9L	29.69	27.56	7.17	26.75	9.90	
5T	23.91	21.56	9.83	25.80	-7.90	
5T3L	22.67	21.29	6.09	27.88	-22.98	
5T6L	22.33	21.78	2.46	26.14	-17.06	
5T9L	24.13	20.63	14.50	25.29	-4.81	
10T	20.03	13.75	31.35	16.37	18.27	
10T3L	21.22	12.07	43.12	20.11	5.23	
10T6L	21.89	12.24	44.08	26.25	-19.92	
10T9L	23.50	11.05	52.98	25.13	-6.94	



Şekil 4.57: 2 ve 3 ay süreli MgSO₄ çözeltisine maruz kalan numunelerin basınç dayanımları

Tablo 4.14: 2 ve 3 ay süreli Na₂SO₄ çözeltisine maruz kalan numunelerin eğilmede çekme dayanımları ve azalma oranları

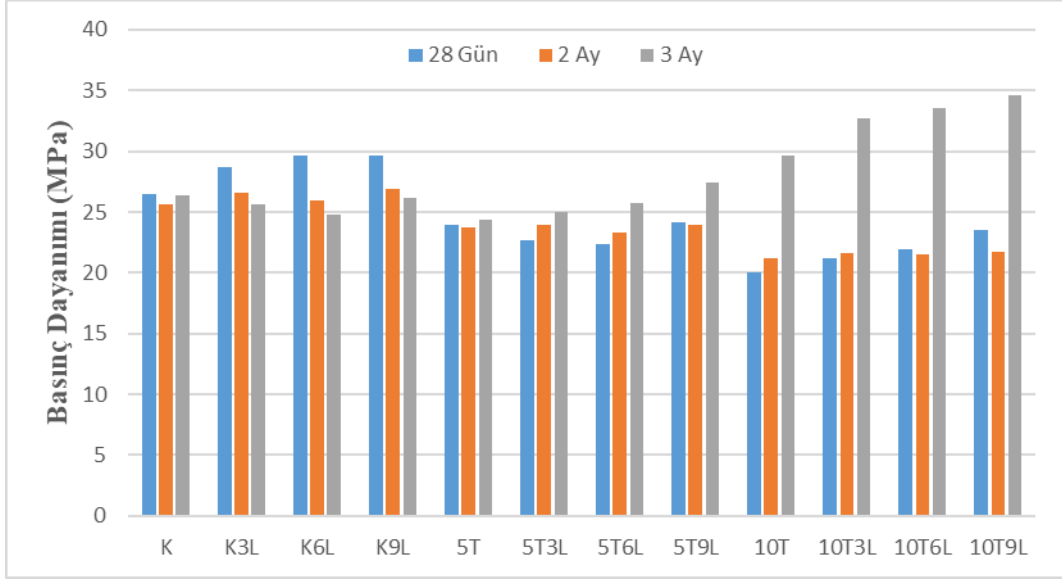
Karışım	28 gün		2 ay Na ₂ SO ₄		3 ay Na ₂ SO ₄	
	Eğilmede Çekme Dayanımı (MPa)	Eğilmede Çekme Dayanımı (MPa)	Azalma Oranı (%)	Eğilmede Çekme Dayanımı (MPa)	Azalma Oranı (%)	
K	5.87	5.55	5.45	7.65	-30.32	
K3L	5.96	6.18	-3.69	7.29	-22.32	
K6L	6.17	6.27	-1.62	6.79	-10.05	
K9L	6.42	6.49	-1.09	6.67	-3.89	
5T	5.46	5.15	5.68	5.57	-2.01	
5T3L	5.48	5.28	3.65	5.14	6.20	
5T6L	5.76	5.45	5.38	7.69	-33.51	
5T9L	5.83	5.45	6.52	8.43	-44.60	
10T	4.80	4.71	1.88	7.44	-55.00	
10T3L	4.90	4.32	11.84	7.43	-51.63	
10T6L	4.98	5.06	-1.61	7.94	-59.44	
10T9L	5.67	4.87	14.11	8.07	-42.33	



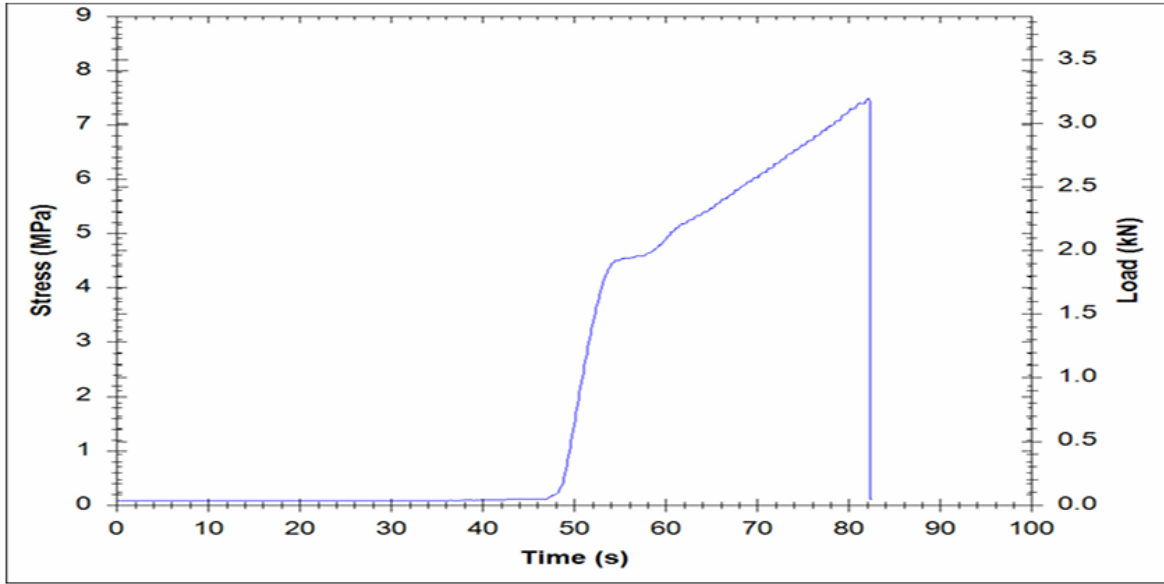
Şekil 4.58: 2 ve 3 ay süreli Na₂SO₄ çözeltilisine maruz kalan numunelerin eğilmede çekme dayanımları

Tablo 4.15: 2 ve 3 ay süreli Na₂SO₄ çözeltilisine maruz kalan numunelerin basınç dayanımları ve azalma oranları

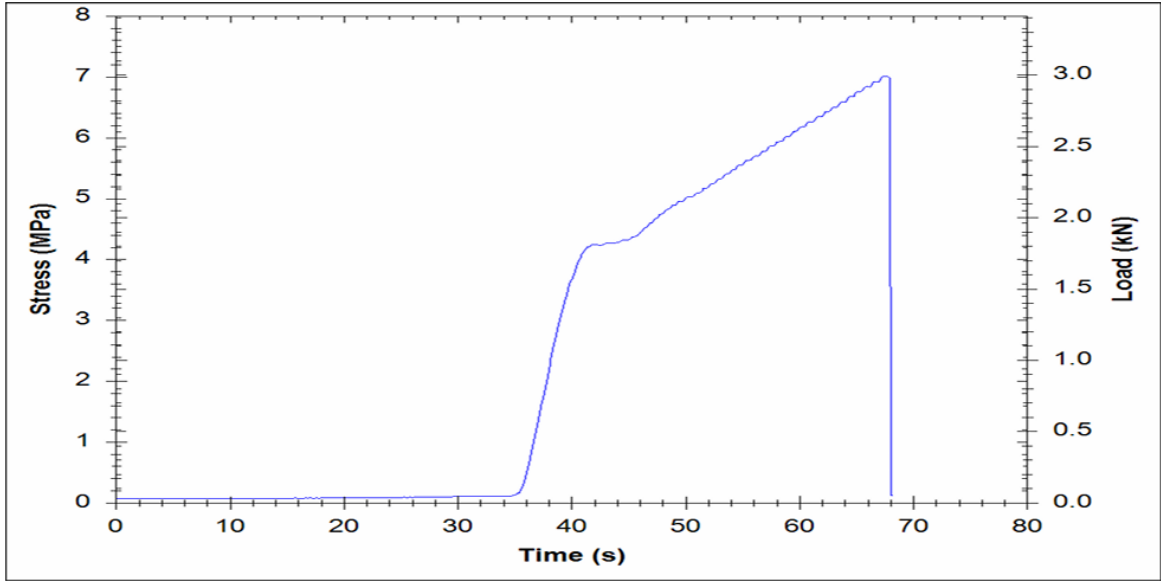
Karışım	28 gün	2 ay Na ₂ SO ₄		3 ay Na ₂ SO ₄	
	Basınç Dayanımı (MPa)	Basınç Dayanımı (MPa)	Azalma Oranı (%)	Basınç Dayanımı (MPa)	Azalma Oranı (%)
K	26.45	25.63	3.10	26.36	0.34
K3L	28.65	26.53	7.40	25.67	10.40
K6L	29.62	25.90	12.56	24.76	16.41
K9L	29.69	26.89	9.43	26.16	11.89
5T	23.91	23.69	0.92	24.36	-1.88
5T3L	22.67	23.97	-5.73	25.02	-10.37
5T6L	22.33	23.35	-4.57	25.71	-15.14
5T9L	24.13	23.91	0.91	27.40	-13.55
10T	20.03	21.20	-5.84	29.64	-47.98
10T3L	21.22	21.59	-1.74	32.74	-54.29
10T6L	21.89	21.51	1.74	33.50	-53.04
10T9L	23.50	21.67	7.79	34.61	-47.28



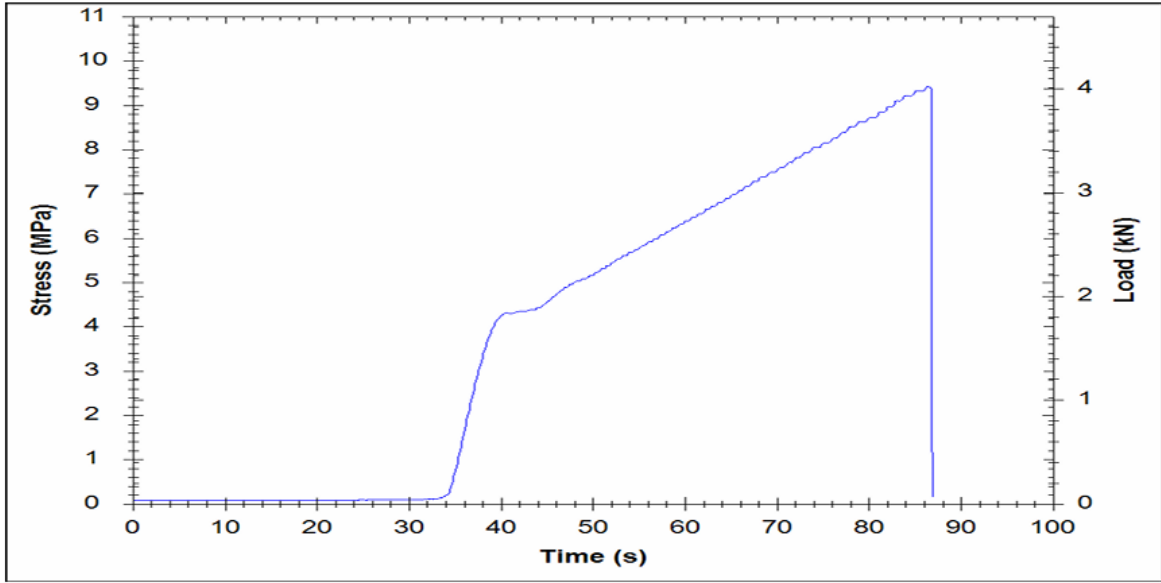
Şekil 4.59: 2 ve 3 ay süreli Na_2SO_4 çözeltisine maruz kalan numunelerin basınç dayanımları



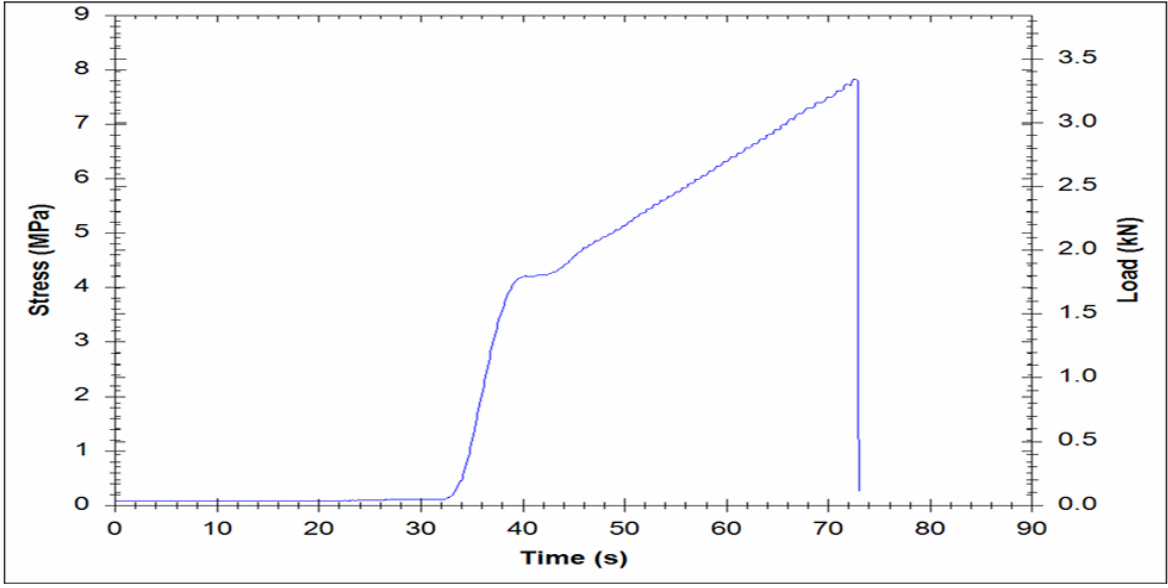
Şekil 4.60: 3 ay MgSO_4 çözeltisi etkisi sonrası K serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği



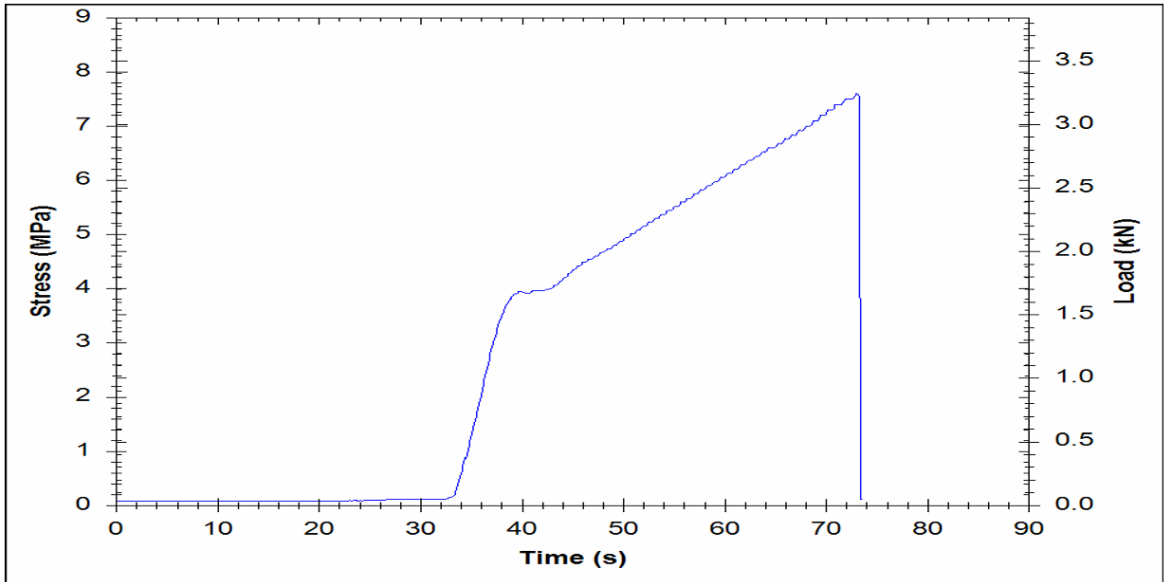
Şekil 4.61: 3 ay $MgSO_4$ çözeltisi etkisi sonrası K3L serisi eğilmeye çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği



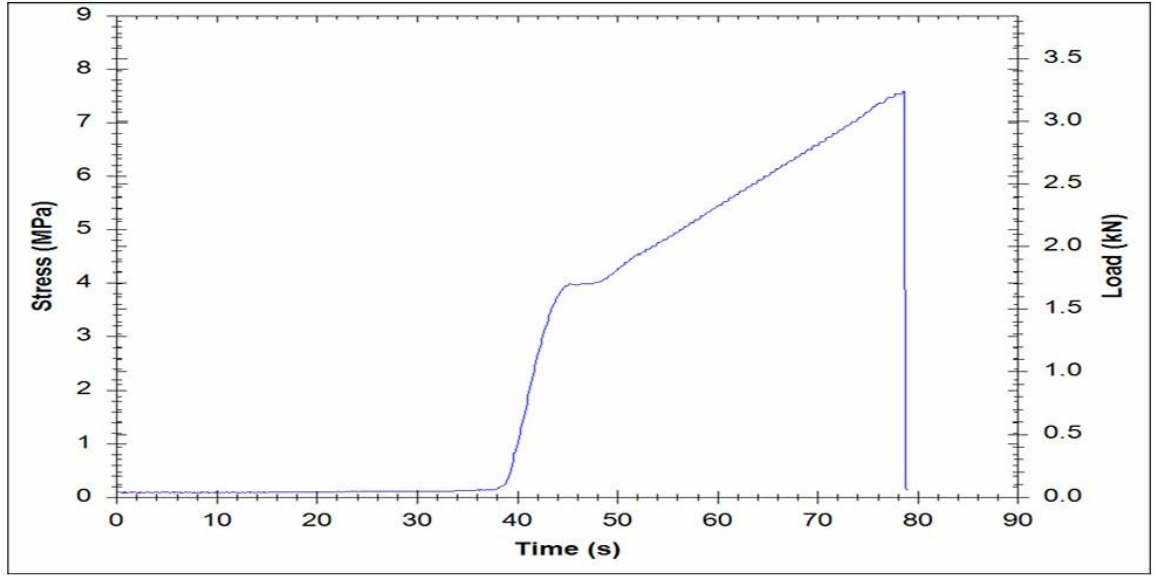
Şekil 4.62: 3 ay $MgSO_4$ çözeltisi etkisi sonrası K6L serisi eğilmeye çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği



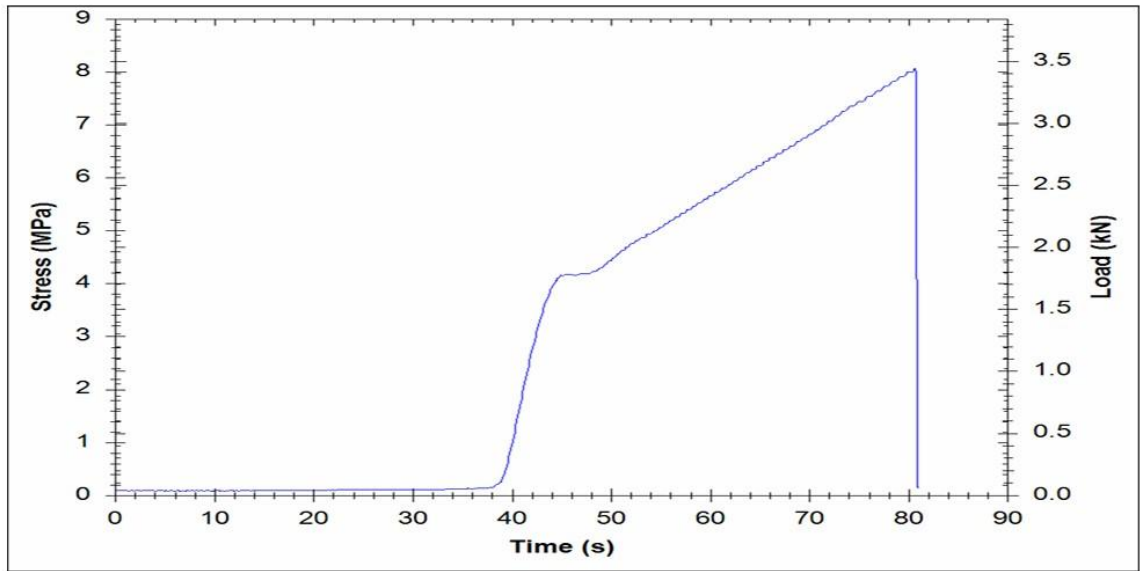
Şekil 4.63: 3 ay $MgSO_4$ çözeltisi etkisi sonrası K9L serisi eğilmeye çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği



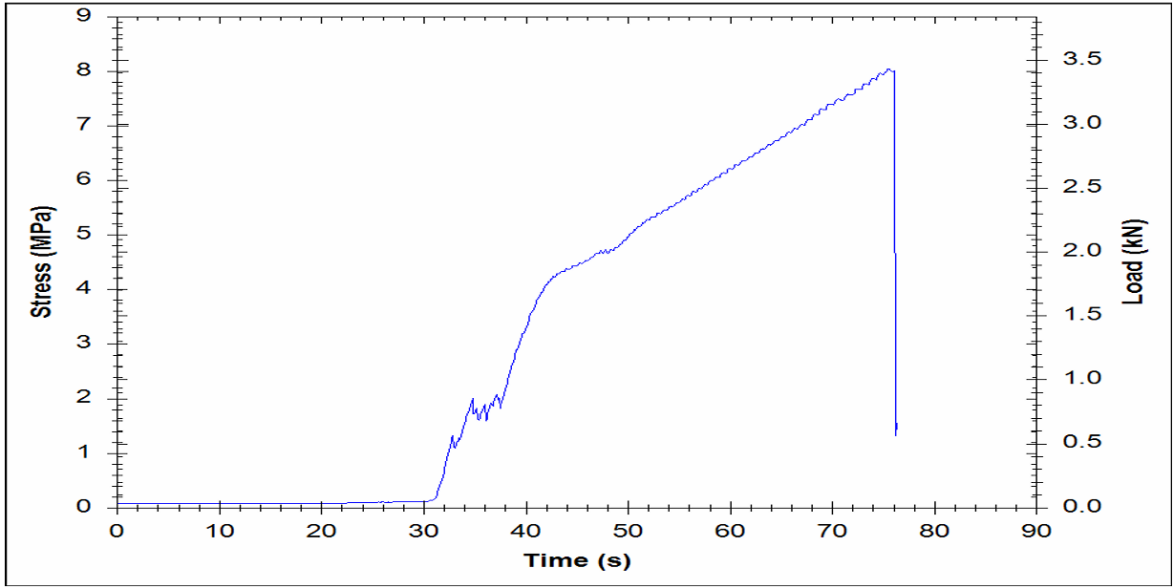
Şekil 4.64: 3 ay $MgSO_4$ çözeltisi etkisi sonrası 5T serisi eğilmeye çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği



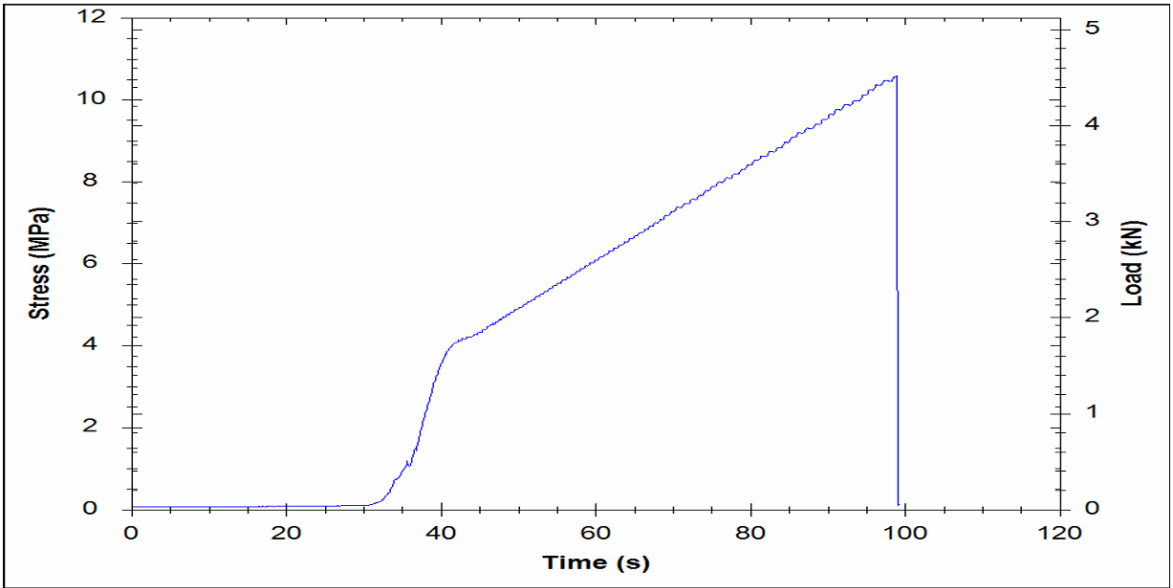
Şekil 4.65: 3 ay MgSO₄ çözeltisi etkisi sonrası 5T3L serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği



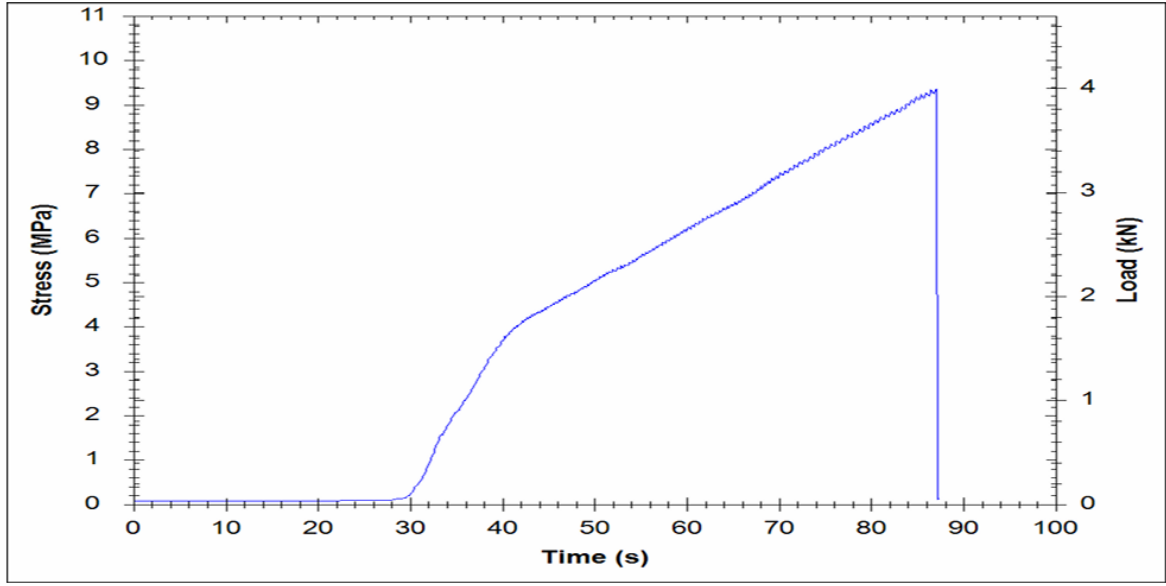
Şekil 4.66: 3 ay MgSO₄ çözeltisi etkisi sonrası 5T6L serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği



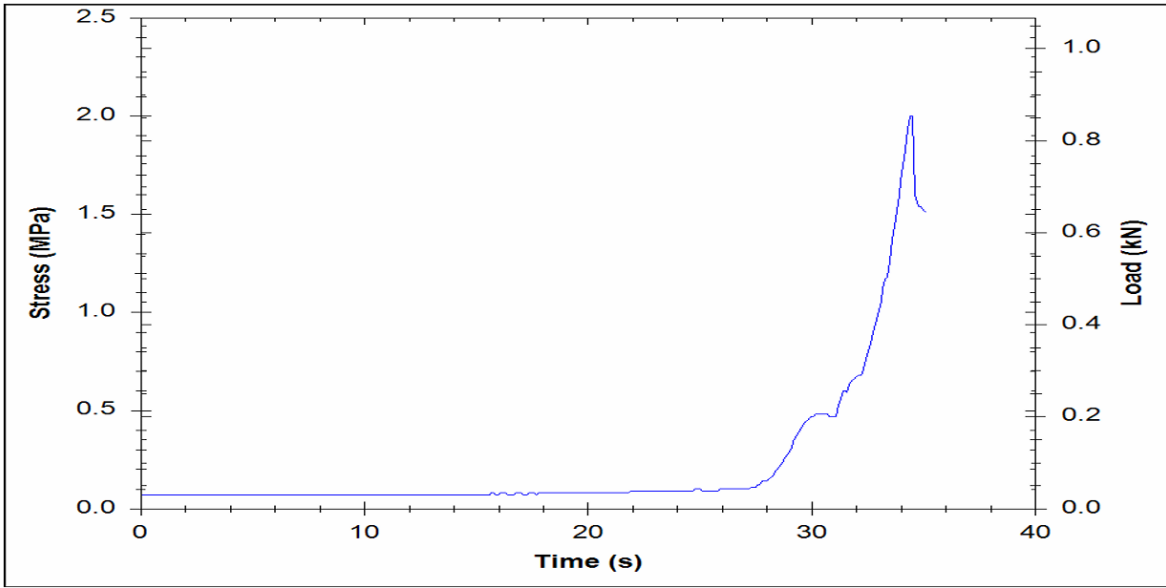
Şekil 4.67: 3 ay $MgSO_4$ çözeltisi etkisi sonrası 5T9L serisi eğilmeye çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği



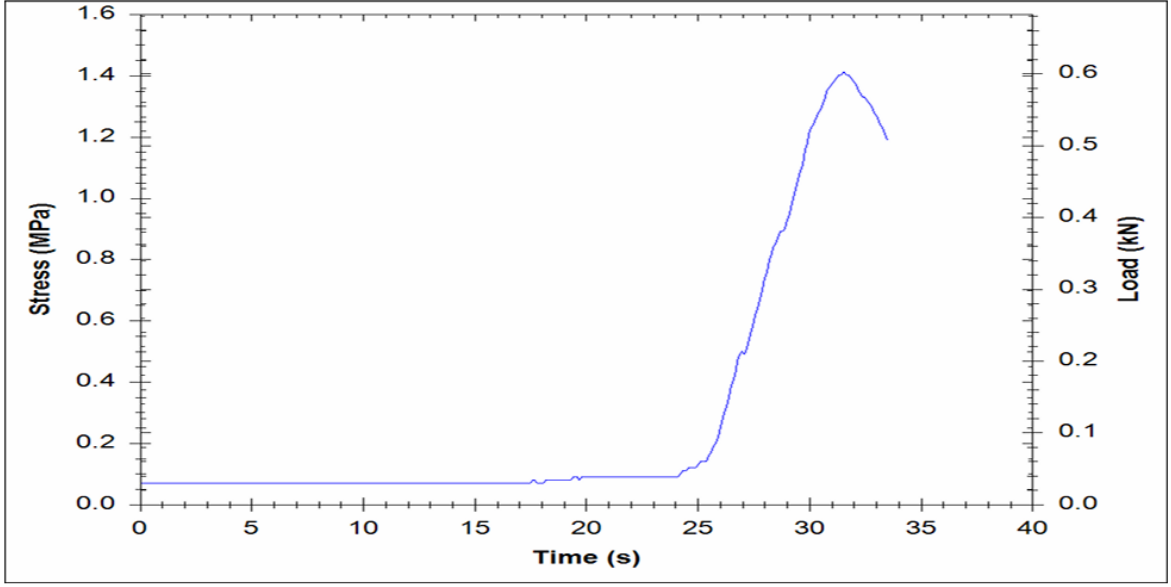
Şekil 4.68: 3 ay $MgSO_4$ çözeltisi etkisi sonrası 10T serisi eğilmeye çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği



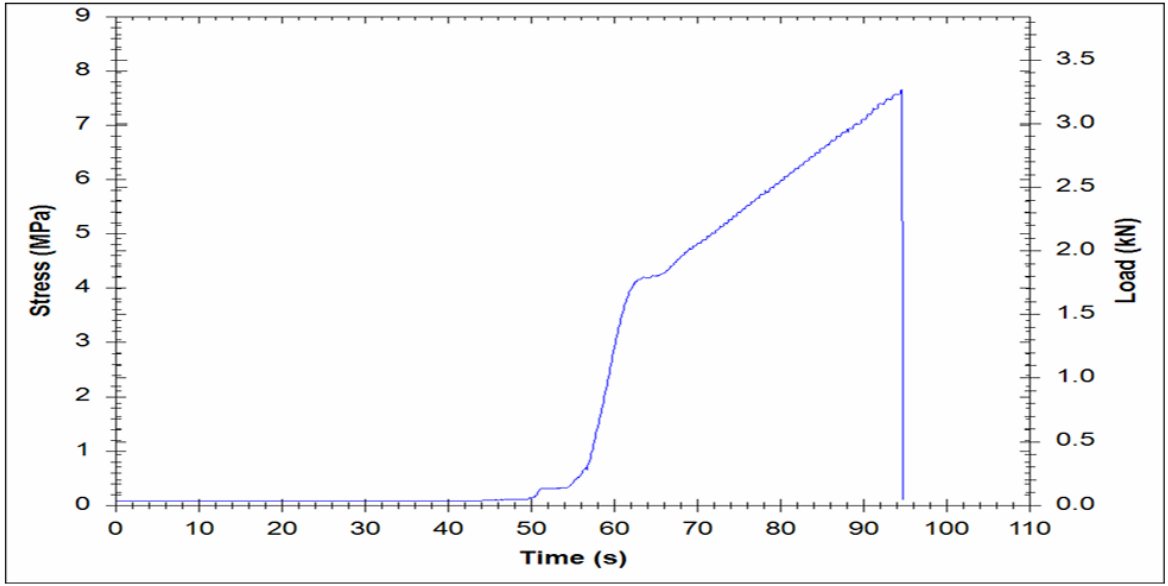
Şekil 4.69: 3 ay $MgSO_4$ çözeltisi etkisi sonrası 10T3L serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği



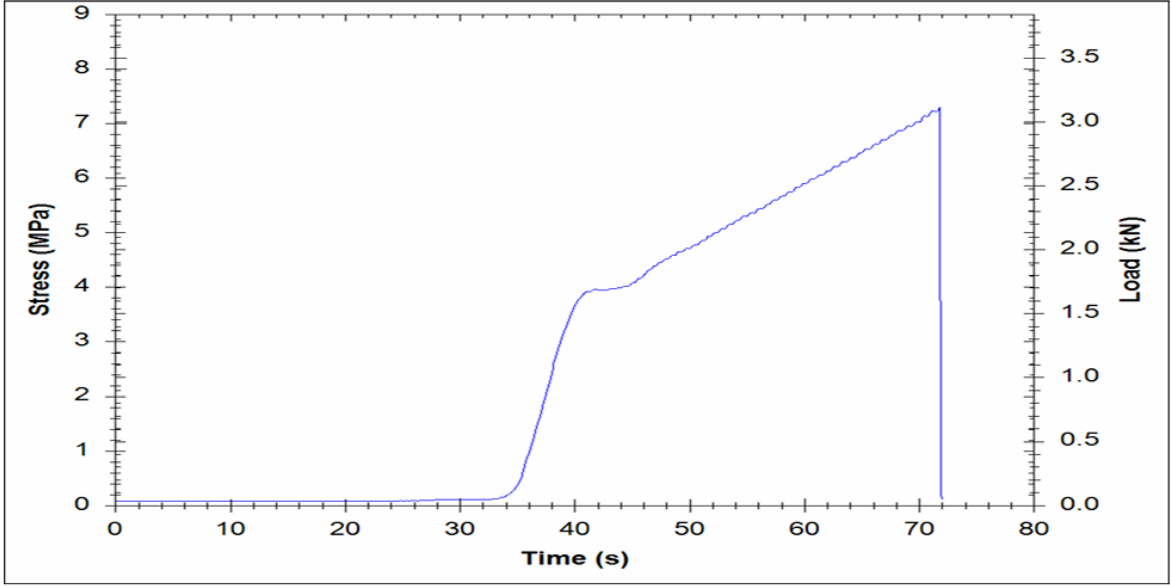
Şekil 4.70: 3 ay $MgSO_4$ çözeltisi etkisi sonrası 10T6L serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği



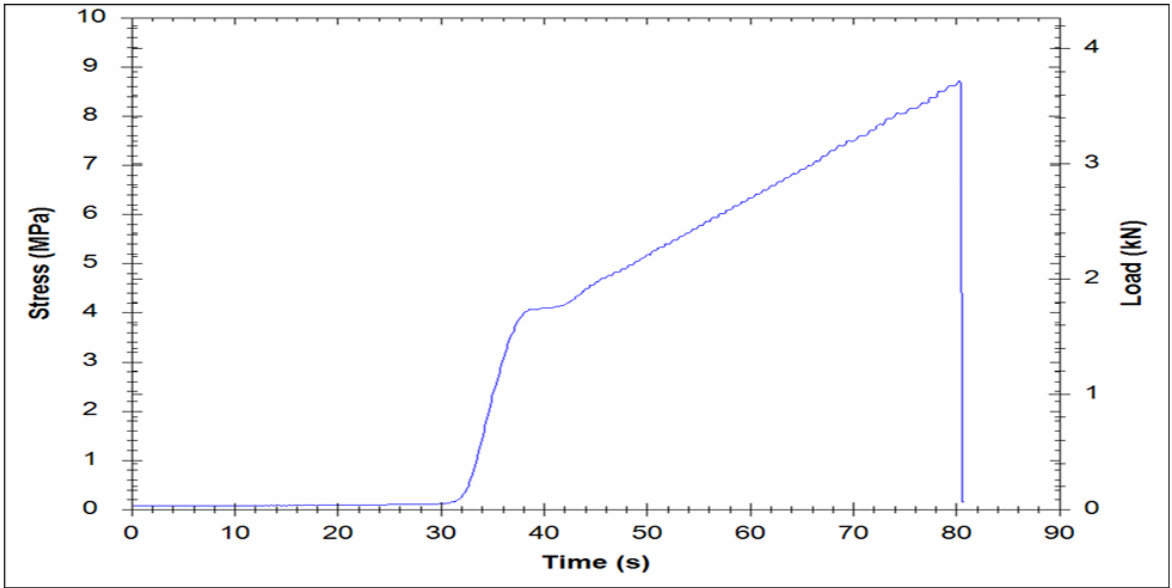
Şekil 4.71: 3 ay $MgSO_4$ çözeltisi etkisi sonrası 10T9L serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği



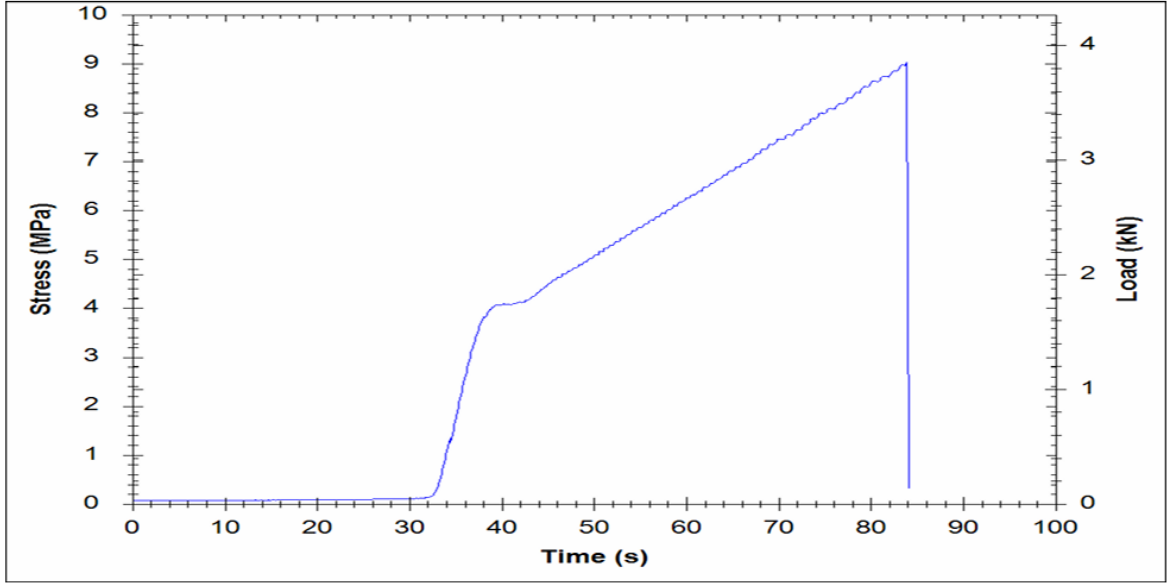
Şekil 4.72: 3 ay Na_2SO_4 çözeltisi etkisi sonrası K serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği



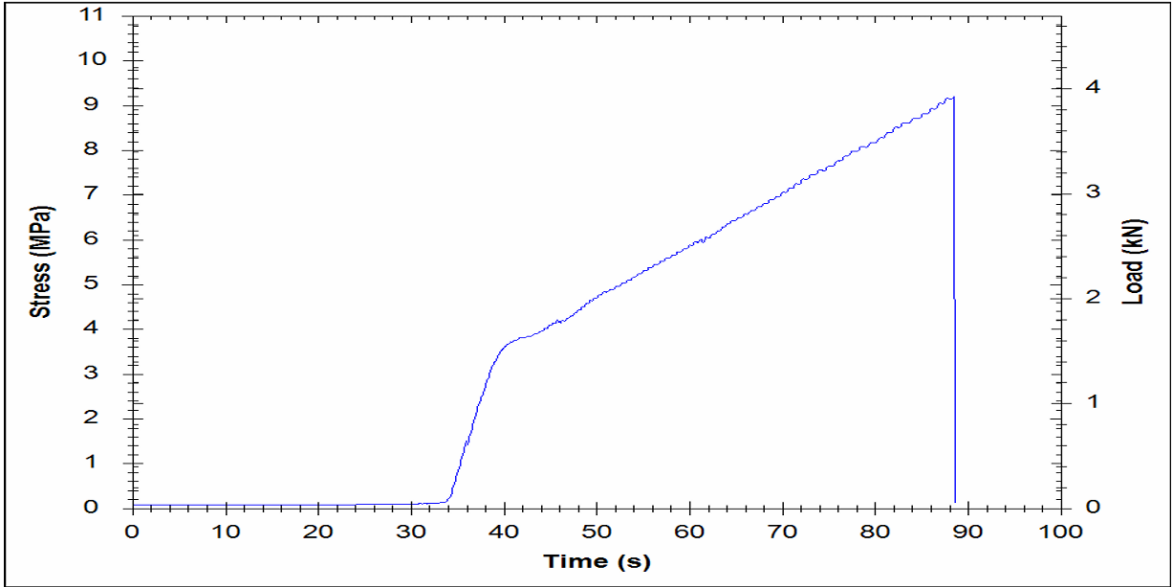
Şekil 4.73: 3 ay Na_2SO_4 çözeltisi etkisi sonrası K3L serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği



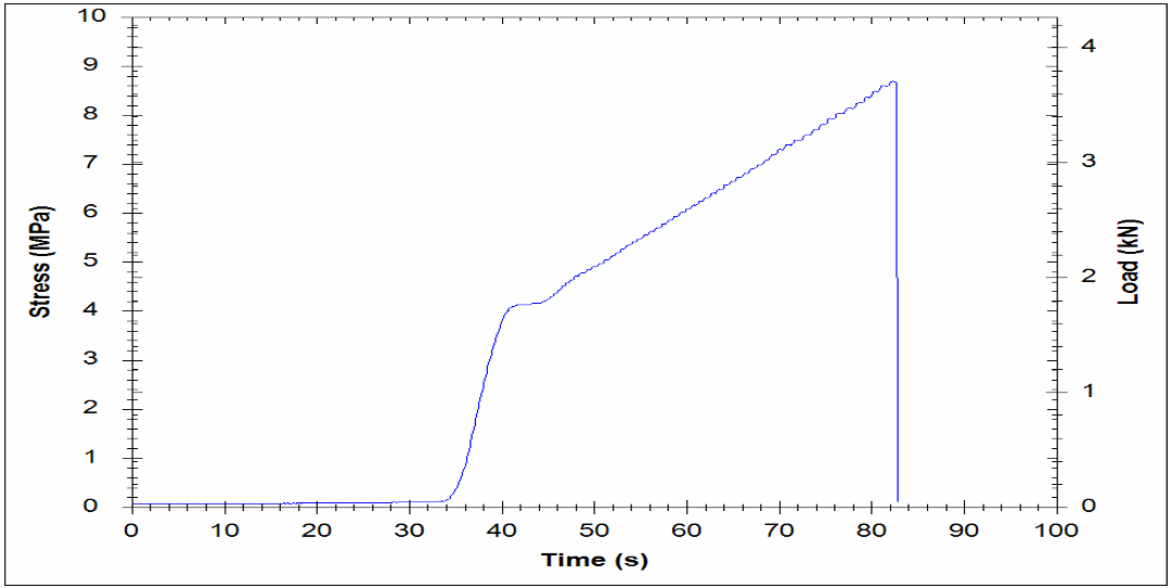
Şekil 4.74: 3 ay Na_2SO_4 çözeltisi etkisi sonrası K6L serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği



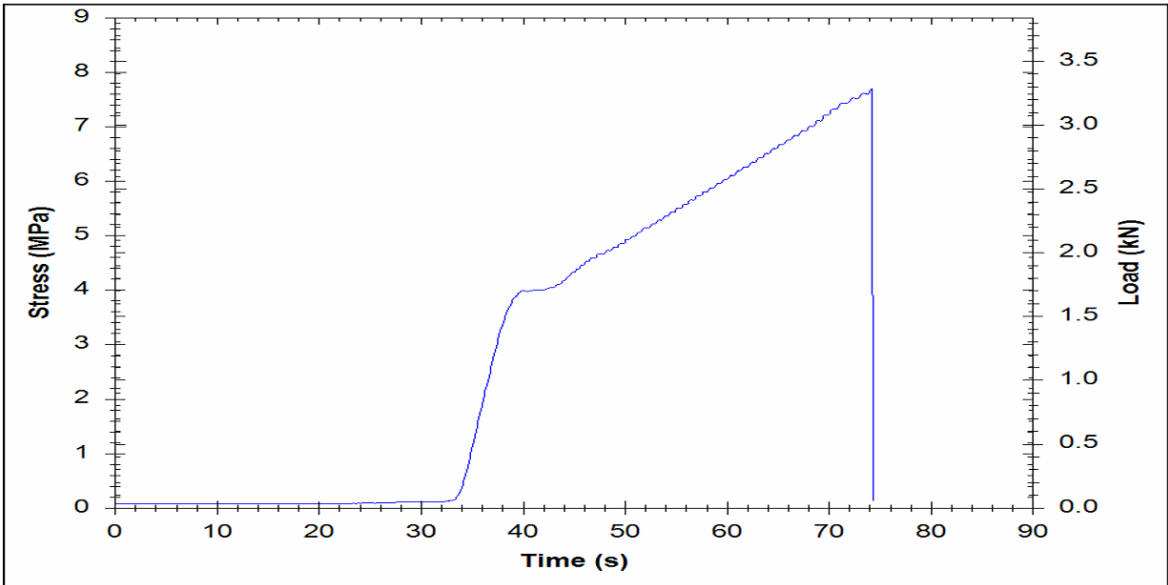
Şekil 4.75: 3 ay Na_2SO_4 çözeltisi etkisi sonrası K9L serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği



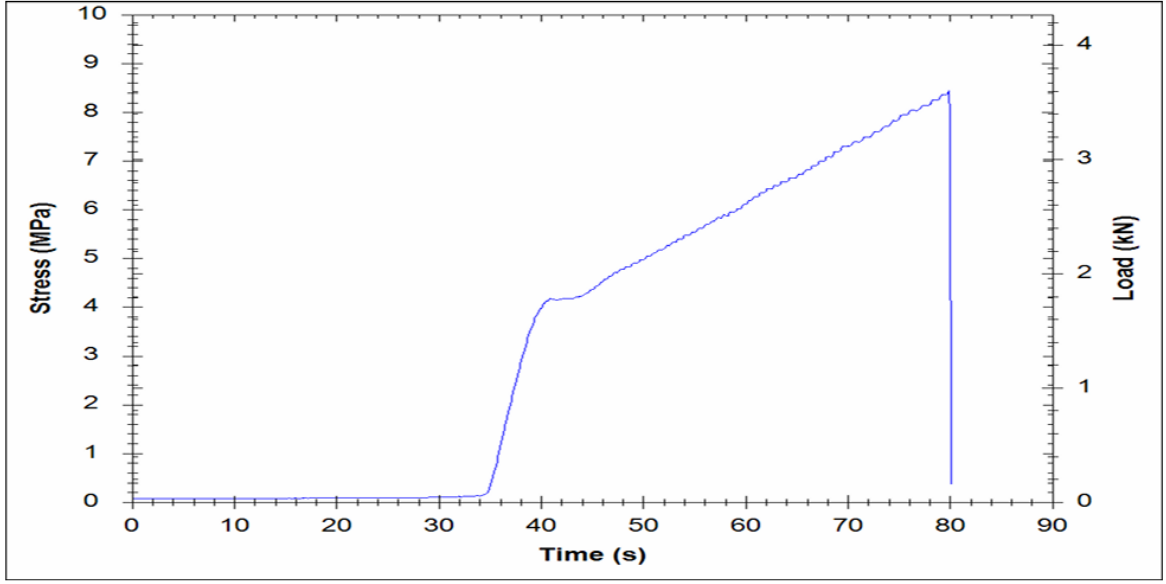
Şekil 4.76: 3 ay Na_2SO_4 çözeltisi etkisi sonrası 5T serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği



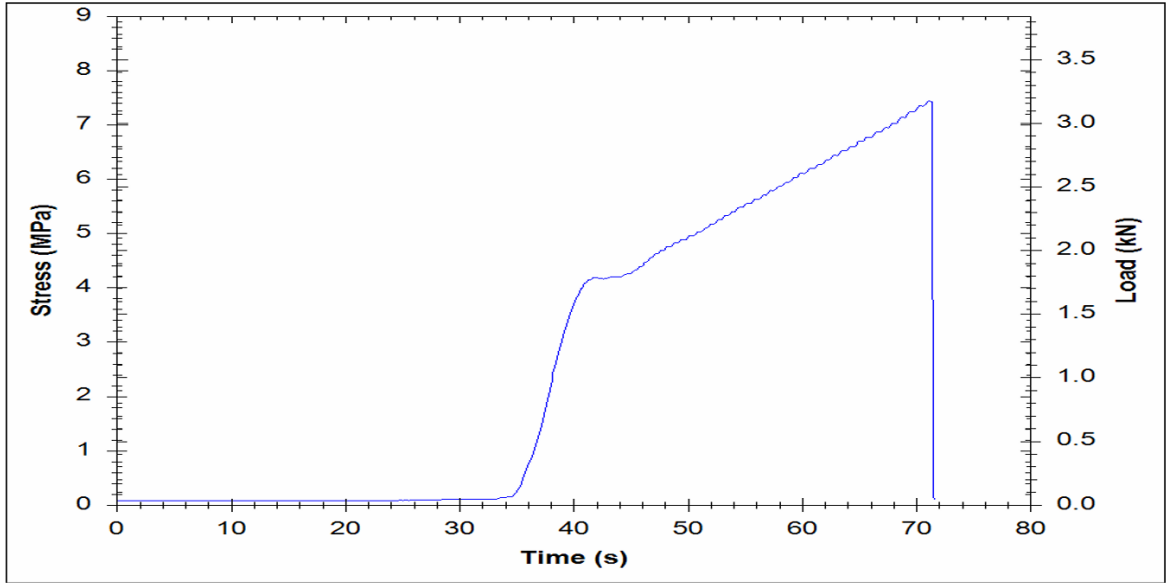
Şekil 4.77: 3 ay Na_2SO_4 çözeltisi etkisi sonrası 5T3L serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği



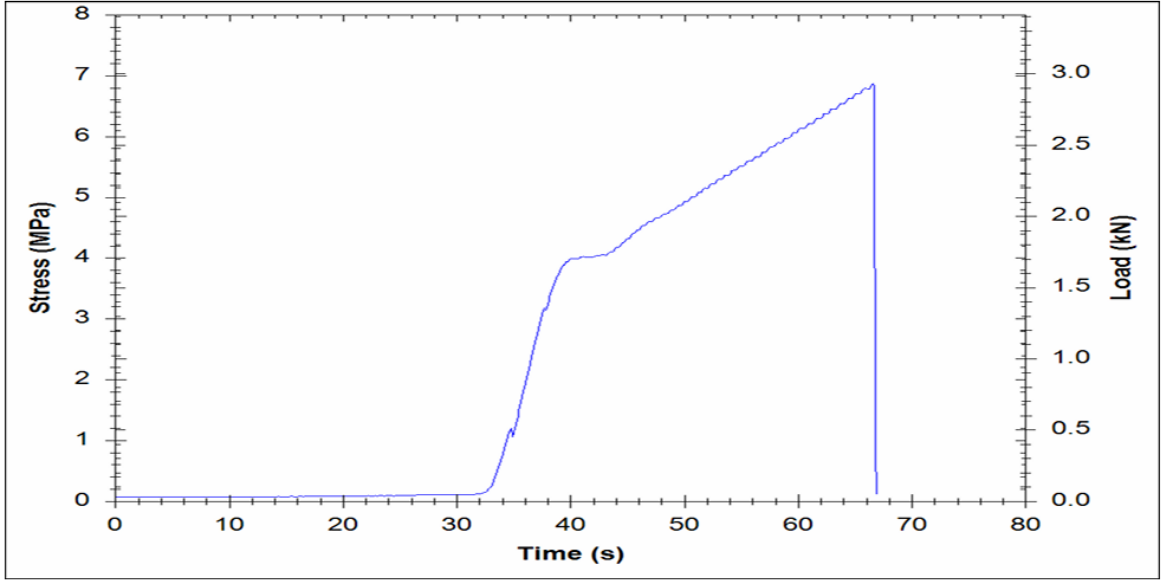
Şekil 4.78: 3 ay Na_2SO_4 çözeltisi etkisi sonrası 5T6L serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği



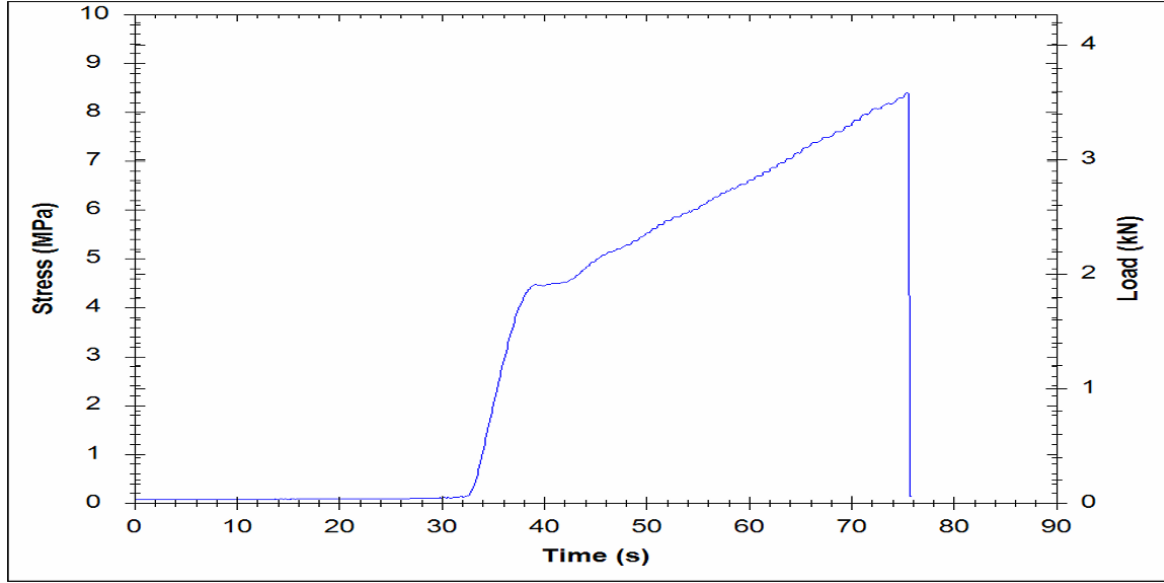
Şekil 4.79: 3 ay Na_2SO_4 çözeltisi etkisi sonrası 5T9L serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği



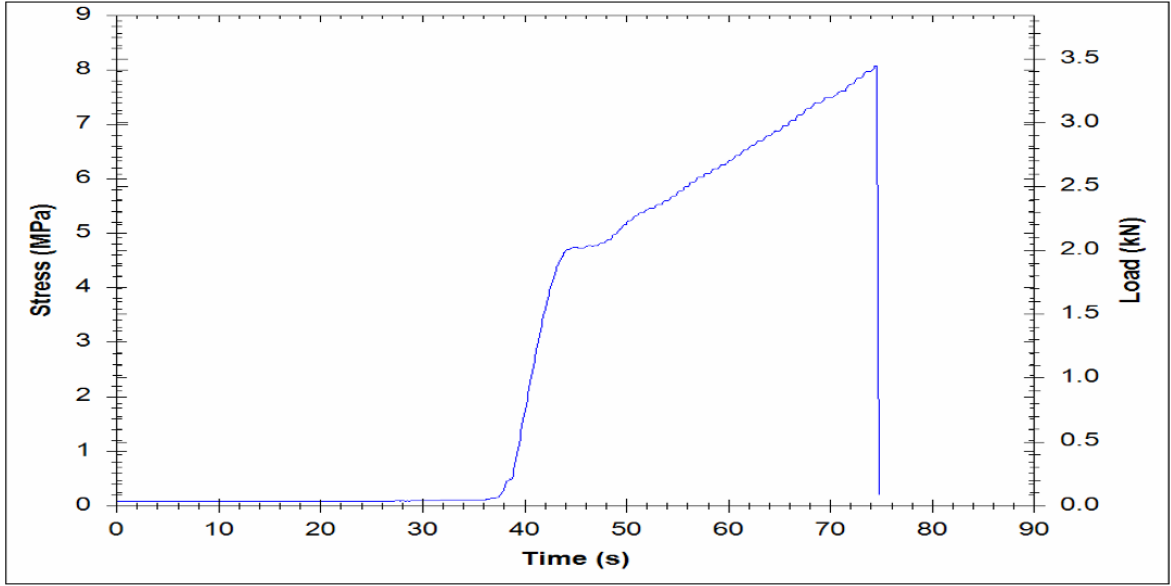
Şekil 4.80: 3 ay Na_2SO_4 çözeltisi etkisi sonrası 10T serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği



Şekil 4.81: 3 ay Na_2SO_4 çözeltisi etkisi sonrası 10T3L serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği



Şekil 4.82: 3 ay Na_2SO_4 çözeltisi etkisi sonrası 10T6L serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği



Şekil 4.83: 3 ay Na_2SO_4 çözeltisi etkisi sonrası 10T9L serisi eğilmede çekme dayanımı gerilme – şekil değiştirme grafiği

4.2.3.2 Çözelti etkisi sonrası oluşan ultrases geçiş hızı değerleri

Sülfat çözeltisi içinde kalan her bir seriden ikişer adet küp ve prizma numuneler 3 ay çözelti etkisine bırakılmıştır. 3 ay çözeltiye maruz kalan numunelerin ultrases geçiş hızları kaydedilmiştir. MgSO_4 içerisindeki %10 talk içeren bütün serilerde numuneler bütünlüğünü koruyamadığı ve şekilsel bozukluklardan dolayı bazı numunelerde ölçüm yapılamamıştır. Tablo 4.16'da 3 ay MgSO_4 çözeltisine maruz kalan numunelerdeki ultrases geçiş hızları gösterilmiştir. Azalma oranları incelendiğinde %11.64 ile %64.07 arasında gerçekleşmiştir. Lif oranlarının artması genel olarak 28 günlük ultrases geçiş hızlarına göre azalma oranlarını azaltırken ultrases geçiş hızlarını arttırmıştır.

Tablo 4.17'de 3 ay Na_2SO_4 çözeltisinde bekleyen numunelerin ultrases geçiş hızları gösterilmiştir. 28 günlük sonuçlara göre azalma oranları incelendiğinde %27.18 ile %57.82 arasında azaldığı gözlemlenmiştir. Lif kullanımını genel olarak ultrases geçiş hızlarını arttırmıştır.

Tablo 4.16: 3 ay MgSO₄ çözeltisine maruz kalan numunelerdeki ultrases geçiş hızı değişimleri

Karışım	28 gün	3 Ay MgSO ₄	
	Ultrases Geçiş Hızı (m/s)	Ultrases Geçiş Hızı (m/s)	Azalma Oranı (%)
K	4014	2778	30.79
K3L	4250	3472	18.31
K6L	4547	3051	32.90
K9L	4449	3290	26.05
5T	4311	2910	32.50
5T3L	4926	3296	33.09
5T6L	4545	4016	11.64
5T9L	4333	3325	23.26
10T	4467	1605	64.07
10T3L	4389	2110	51.93
10T6L	4329	2558	40.91
10T9L	4651	2495	46.36

Tablo 4.17: 3 ay Na₂SO₄ çözeltisine maruz kalan numunelerdeki ultrases geçiş hızı değişimleri

Karışım	28 gün	3 Ay Na ₂ SO ₄	
	Ultrases Geçiş Hızı (m/s)	Ultrases Geçiş Hızı (m/s)	Azalma Oranı (%)
K	4014	2639	34.26
K3L	4250	2944	30.73
K6L	4547	3311	27.18
K9L	4449	3180	28.52
5T	4311	2994	30.55
5T3L	4926	3261	33.80
5T6L	4545	2604	42.71
5T9L	4333	2807	35.22
10T	4467	1884	57.82
10T3L	4389	2342	46.64
10T6L	4329	2952	31.81
10T9L	4651	2947	36.64

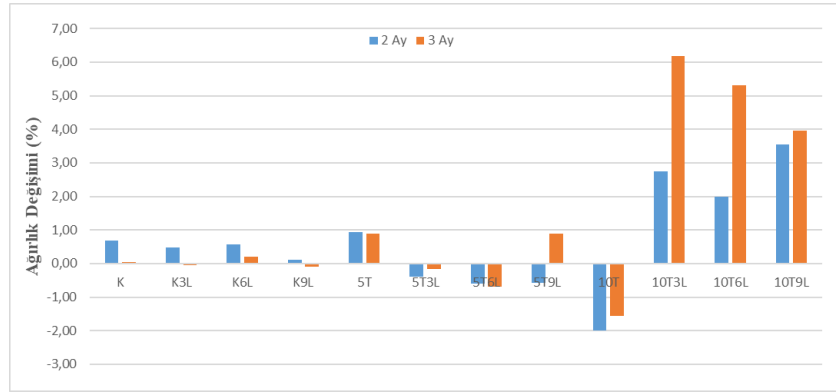
4.2.3.3 Çözelti etkisi sonrası oluşan ağırlık değişimleri

Na₂SO₄ ve MgSO₄ etkisi altında 2 ve 3 ay bekletilen numunelerin deney öncesi ve sonrasında ağırlıkları ölçülmüştür. Şekil 4.84'te gösterilen ve 2 ay boyunca MgSO₄ çözeltisinde bekletilen numunelerde ağırlık kayıpları %10 talk kullanılan seriler dışında çok büyük bir değişim gözlemlenmemiştir. Azalma oranları %-1.99 ile %3.55 arasındadır. Lif

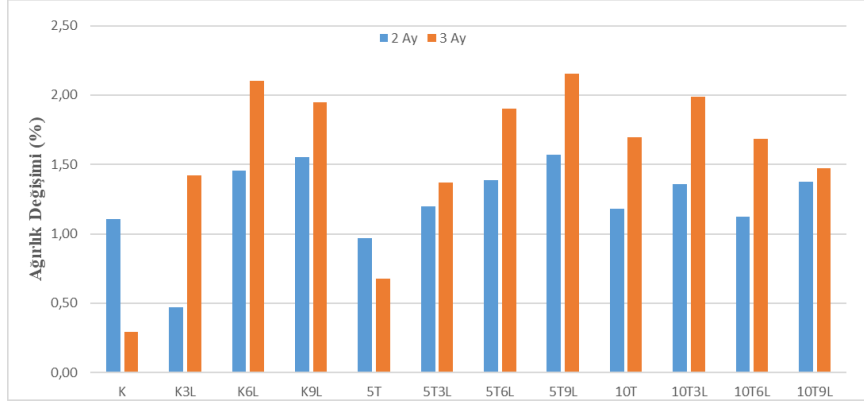
kullanımı %10 talk kullanılan seriler dışında ağırlık kayıplarını azaltmıştır. 3 ay boyunca $MgSO_4$ çözeltisinde bekleyen numunelerde ise ağırlık değişimleri %-1.55 ile %6.17 arasında gerçekleşmiştir. Çözeltide bekleme süresi arttığında ağırlık kayıplarında %10 talk kullanılan ve lif ikamesi yapılan seriler dışında azalma gözlemlenmiştir.

Şekil 4.85'te gösterilen ve 2 ay boyunca Na_2SO_4 çözeltisinde bekletilen numunelerde azalma oranları %0.47 ile %1.57 arasındadır. Numunelerin dış tarafında oluşan dökülmeler ağırlık kaybına sebebiyet vermiştir. Lif ilavesi ağırlık kayıplarını artırıcı bir etkiye sahiptir. 3 ay boyunca Na_2SO_4 çözeltisinde bekletilen numunelerde ise azalma oranları %0.29 ile %2.15 arasında gözlemlenmiştir. Lif ilavesi 2 ay Na_2SO_4 çözeltisinde bekletilen numunelerden elde edilen sonuçlarla benzerlik göstermektedir.

Özellikle sodyum sülfat olmak üzere sülfat çözeltisine maruz kalan numunelerin içine sülfatın nüfus etmesiyle birlikte ağırlıklarda artış gözlemlenmiştir (Al-Sharhanee et al., 2025; Alcharchafce et al., 2022). Magnezyum sülfat çözeltisine maruz kalan özellikle talk cevheri içeren numunelerde şekilsel bozukluklardan dolayı ağırlık kaybı gerçekleşmiş olup %10 talk içeren numunelerde oluşan boşlukların büyüklüğünden dolayı ağırlıklarındaki artış çok fazla gerçekleşmiştir.



Şekil 4.84: $MgSO_4$ çözeltisinin oluşturduğu ağırlık değişimleri



Şekil 4.85: Na₂SO₄ çözeltisinin oluşturduğu ağırlık değişimleri

4.2.3.4 Çözelti etkisi sonrası görsel inceleme

Numuneler çözelti içerisinde 2 ve 3 ay bekletildikten sonra görsel olarak incelemesi de yapılmıştır. Talk cevheri bağlayıcı olarak %10 oranında kullanıldığında numunelerin şekilsel değişimleri artış göstermiştir. Numunelerin boyutlarında da artış gözlemlenmiştir. Na₂SO₄ çözeltisi numunelerin dış yüzeyindeki pürüzsüzlüğü bozarak daha fazla zarar oluştururken %10 oranında talk kullanılan serilerde MgSO₄ çözeltisi numunelerde parçalanmaya sebep olmuştur. 2 ay sonunda %10 oranında talk içeren numunelerde genişmeden dolayı şekilsel bozukluklar meydana gelmiş olup Şekil 4.86'da gösterilmiştir.



Şekil 4.86: 10T ve 10T3L serisine 2 ay MgSO₄ çözeltisi etkisi

Magnezyum sülfat, pH değerinin düşük olduğu durumlarda kalsiyum alüminat sülfat (CAS) yapılarında da bozulmalara sebebiyet vermektedir. Betonun dış katmanında brusiti ve altında ise alçıtaşı oluşturur (Skalny, 2003).

Na_2SO_4 çözeltisi bütün serilerde özellikle yan yüzeylerde ufak kopmalara ve bütünlüğün bozulmasına sebebiyet vermiştir fakat MgSO_4 çözeltisi özellikle talk kullanılan numunelerde şekilsel bozukluklar yaratmıştır. Şekil 4.87’de ise Na_2SO_4 çözeltisinin numunelerin yüzeylerinde oluşturduğu hasar gösterilmiştir.



Şekil 4.87: K ve K9L serisine 2 ay Na_2SO_4 çözeltisi etkisi

Numuneler çözelti etkisine daha uzun kaldıklarında daha fazla gözlemlenen hasarlar ortaya çıkmıştır. Özellikle 10T ve 10T9L serisinde genleşmelerden dolayı bütünlük korunamamıştır. Şekil 4.88 ve Şekil 4.89’da bu değişim gösterilmiştir.



Şekil 4.88: 10T serisine 3 ay MgSO_4 çözeltisi etkisi



Şekil 4.89: 10T9L serisine 3 ay $MgSO_4$ çözeltisi etkisi

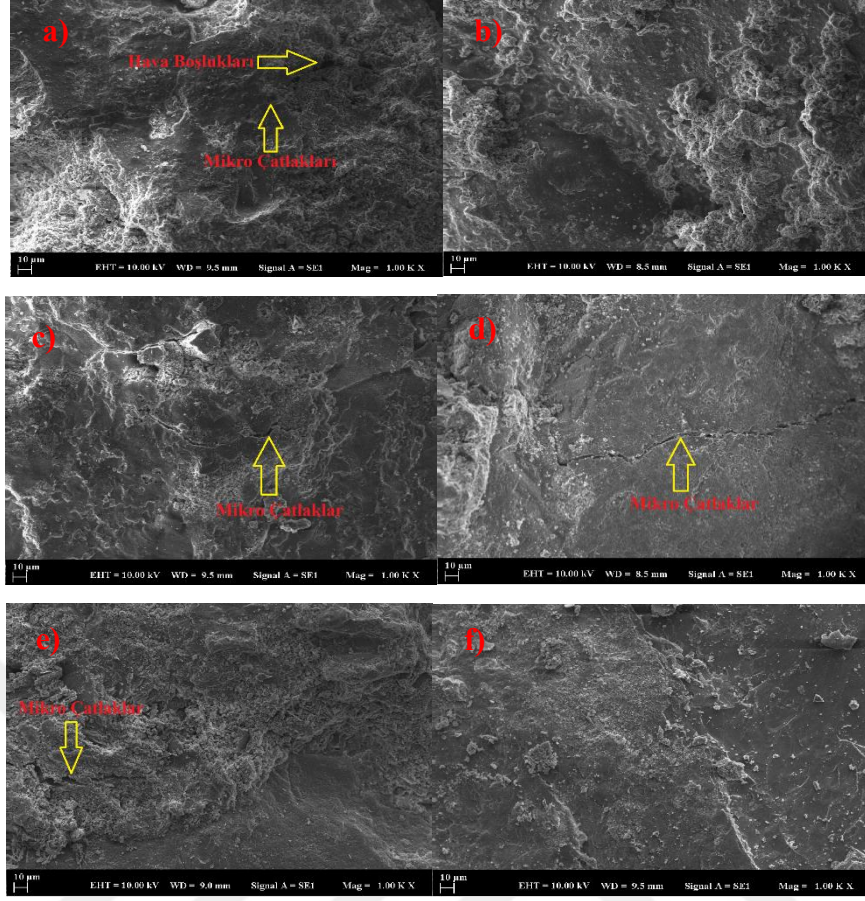
10T serisine 3 ay sonunda Na_2SO_4 çözeltisi etkisi Şekil 4.90'da gösterilmiştir.



Şekil 4.90: 10T serisine 3 ay Na_2SO_4 çözeltisi etkisi

4.2.3.5 Çözelti etkisi sonrası SEM analizi

3 ay $MgSO_4$ çözeltisinde beklemiş K, K9L, 5T, 5T9L, 10T ve 10T9L serilerine SEM iç yapı analizi uygulanmıştır. Şekil 4.91'de numunelere ait SEM görüntüleri verilmiştir. Lifsiz numunelerde hava boşlukları ve mikro çatlaklar fazla gözlemlenmiştir.



Şekil 4.91: 3 ay $MgSO_4$ çözelti etkisine bırakılmış a) K, b) K9L, c) 5T, d) 5T9L, e) 10T ve f) 10T9L serilerine ait SEM görüntüleri

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında kalsiyum alüminat çimentosu tabanlı harçlarda öğütülmüş talk cevheri belirli oranlarda (%0, %5, %10, %15 ve %20 oranlarında) kullanılmıştır. En iyi sonucu veren %0, %5 ve %10 oranlarında talk kullanılan serilerde belirli oranlarda (%0, %0.3, %0.6 ve %0.9 oranlarında) mikrofiber lif ikame edilmiştir. Numunelerin mekanik ve durabilite performansı incelenmiştir. Çalışma sonunda elde edilen sonuçlar aşağıda gösterilmiştir:

- Su kürü uygulanan numunelerde eğilmede çekme dayanımları incelendiğinde bütün serilerde 90 gün dayanımları en yüksek dayanımlar olarak gözlemlenmiştir. Lif ikamesi arttıkça eğilmede çekme dayanımlarında artış gözlemlenmiştir. En yüksek eğilmede çekme dayanımına 9.32 MPa ile 90. günde K9L serisinde ulaşılmıştır. Alüminatlı çimento ve ultra ince malzeme kullanılan sistemlerde su kullanılmasının artışı hidratlaşmaya bağlı dönüşüm reaksiyonları göstermesine sebep olmakta ve dayanımları etkilediği belirtilmiştir (Sakai et al., 2010).
- Basınç dayanımlarında ise Eren vd. (2023) yapmış oldukları çalışmaya zıt şekilde su kürü uygulanan süre uzadıkça dayanımlarda artış gözlemlenmiştir. Lif ikamesi arttıkça basınç dayanımlarında artış gözlemlenmiştir. Talk oranı arttıkça dayanımlarda düşüş gözlemlenmiştir. En yüksek basınç dayanımına 32.58 MPa ile 90. gündeki K9L serisinde ulaşılmıştır. Gu vd. (1997), yapmış oldukları çalışmada Portland çimentosu yerine kalsiyum alüminat çimentosu ikamesinde artan kalsiyum alüminat çimentosu oranının erken dayanımları arttırdığı sonucuna ulaşmışlardır.
- Talk mineraline çok benzer yapıda olan profillitin CEM I 42.5R Portland çimentosunun yerine ikame edilmesinin fiziksel ve mekanik performansı artırıcı olabileceği bazı çalışmalar sonucunda belirtilmiştir (Dündar vd., 2019; Kaplan, 2020) fakat bu çalışmada elde edilen sonuçlar incelendiğinde mekanik performansın düşmesine sebep olmuştur.
- Yüksek sıcaklık etkisi incelendiğinde 250°C ve 500°C etkisi altında 10T9L serisinde en yüksek eğilme dayanımı sonucuna ulaşılırken en yüksek basınç dayanımına K serisinde ulaşılmıştır. 750°C etkisi altında ise en eğilmede çekme dayanımı K9L serisinde, en yüksek basınç dayanımı ise K serisinde gözlemlenmiştir. 250°C olarak uygulanan yüksek sıcaklık deneyi sonunda basınç dayanımları 28 gün basınç dayanımlarına göre artmıştır. Köksal vd. (2023), yapmış oldukları çalışmada da artan sıcaklıkların kalsiyum alüminatlı çimentolu harçların daha performanslı ve stabil bir dayanıma ulaştığı gözlemlenmiştir. Khaliq ve Khan (2015), kalsiyum alüminat

çimentolu betonların yüksek sıcaklıklara çıkıldıkça dayanımlarının düştüğü ama Portland çimentolu betonlara kıyasla daha yüksek dayanım elde edildiğini bildirmişlerdir.

- Donma-çözülme deneyinden sonra en yüksek eğilmede çekme dayanımı 10T9L serisinde ulaşılırken en yüksek basınç dayanımı K9L serisinde ulaşılmıştır. Talk kullanılan serilerde kullanılan lif oranının artması eğilmede çekme dayanımlarını arttırıcı olduğu gözlemlenmiştir. Lif kullanılması boşlukları doldurması sebebiyle ultrases geçiş hızlarını arttırmıştır. Deney sonucunda sıcaklık değişimleriyle beraber numunelerin boşluklarında artan su miktarıyla ağırlıklarda artış yaşanmıştır. En yüksek ağırlık artışı 5T serisinde en düşük ağırlık artışı ise 10T9L serisinde ulaşılmıştır.
- 2 ve 3 ay magnezyum sülfat çözeltisi etkisi altında kalan numunelerin eğilmede çekme dayanımlarında, 28 gün eğilme dayanımlarına göre azalma gözlemlenmiştir. Basınç dayanımlarında ise 3 ay magnezyum sülfat etkisi altında bağlayıcı olarak talk kullanılması dayanımlarda artışa sebep olmuştur. Lif ilavesi 28 gün ultrases geçiş hızlarına kıyasla azalma oranlarını azaltmıştır. Ağırlık kayıpları incelendiğinde %10 talk oranında bağlayıcı olarak kullanıldığında daha fazla gerçekleşmiştir çünkü numuneler çözeltiliye bağlı olarak genişlemiş olup kopmalar yaşanmıştır.
- 2 ve 3 ay sodyum sülfat çözeltisi etkisi altında kalan numunelerde 2 ayda 28 güne göre eğilmede çekme dayanımlarında azalma gözlemlenirken çözelti etkisi altında süre uzadığında 2 aya kıyasla 5T3L serisi dışında dayanımlarda artış gözlemlenmiştir. Lif ilavesi yapılan ve 2 ay çözelti altındaki serilerde eğilmede çekme dayanımı genelde azalış halindeyken, çözelti etkisi altındaki süre 3 aya gelindiğinde serilerde dayanım artışı gözlemlenmiştir. Talk ilavesi sodyum sülfata karşı basınç dayanımlarını arttırmıştır. Lif ilavesinin kontrol ve %10 talk cevheri ikameli serilerde ultrases geçiş hızı değerlerindeki azalma oranlarını azaltıcı, %5 talk cevheri ikameli serilerin azalma oranlarını ise arttırıcı etkiye sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bütün serilerde ağırlık kaybı yaşanmış olup lif ilavesi 3 ay sodyum sülfat çözeltisi içinde kalan %10 talk kullanılan seriler dışında kaybı arttırmıştır.
- Magnezyum sülfat, %10 talk kullanılan serilerde özellikle daha fazla hasar verirken sodyum sülfat bütün serilerin özellikle dış yüzeylerinde hasar göstermiştir. Sodyum sülfat çözeltisi, beton içerisine emilip buharlaştıktan sonra gözeneklerde kalan sodyum tuzları kristal yapıya dönüşmekte ve belirli oranlarda hacimsel artış

oluşturmaktadır. Bu hacimsel artış sonucunda da beton iç gerilmelerinde bir miktar artış meydana gelmektedir (Ustabaş, 2008). Magnezyum sülfat ise pH değerinin düşük olduğu durumlarda kalsiyum alüminat sülfat (CAS) yapılarında da bozulmalara sebebiyet vermektedir. Betonun dış katmanında brusiti ve altında ise alçıtaşı oluşturur (Skalny, 2003).

5.1 Değerlendirme ve Öneriler

Çalışma kapsamında birçok farklı alanda kullanımı olan talk cevherinin öğütülerek kalsiyum alüminatlı çimento yerine bağlayıcı olarak kullanılması araştırılmıştır. Çimento gibi maliyeti yüksek ve doğaya karşı oldukça zararlı üretim aşaması içeren bir ürünün yerine doğadan elde edilen doğal mineralin öğütülüp kullanılmasıyla hem ülkemizin ekonomisine fayda sağlayacak hem de özellikle son zamanlarda etkilerini iyice hissetmeye başladığımız küresel ısınmaya karşı bir adım olacaktır. Öğütülmüş talk cevherinin özel bir çimento türü olan kalsiyum alüminat çimentosu yerine kullanıldığı çalışmalar oldukça azdır. Lifle güçlendirilmesiyle de daha sünek kırılma elde edilmiştir. Yapılacak diğer çalışmalarda farklı lif çeşidi ve oranının etkisi ile farklı sıcaklıklarda kür uygulamanın etkisi incelenebilir.

6. KAYNAKLAR

- Abolhasani, A., Shakouri, M., Dehestani, M., Samali, B., and Banihashemi, S.** (2022). A comprehensive evaluation of fracture toughness, fracture energy, flexural strength and microstructure of calcium aluminate cement concrete exposed to high temperatures. *Engineering Fracture Mechanics*, 261, 108221.
- ACI Commitee 544.** (2010). "State of The Art-Report On The Physical Properties and Durability of Fiber-Reinforced Concrete" Concrete International March.
- ACI Commitee 544.** (1997). "State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Concrete".
- Afrouhsabet V. and Ozbakkaloglu T.** (2015). "Mechanical and durability properties of high-strength concrete containing steel and polypropylene fibers", *Construction and Building Materials*, 94: 73-82.
- Al-Sharhane, B. A. B., Mehmetoğlu, M., Aygörmez, Y., and Niş, A.** (2025). A short-term durability comprehensive study of ceramic waste-doped White Cement composites with hooked-end, basalt and copper-coated fibers. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 45, 102026.
- Alcharchafche, M. A. S., Al-mashhadani, M. M., and Aygörmez, Y.** (2022). Investigation of mechanical and durability properties of brick powder-added White Cement composites with three different fibers. *Construction and Building Materials*, 347, 128548.
- Ali, A.M., Arslan, M.H. ve Altın, M.** (2019). Cam lif takviyeli betonun yangın dayanımlarının çeşitli parametreler açısından irdelenmesi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 5(2), 198-213.
- Alişer, B., Yıldız, S. ve Keleştemur, O.** (2016). Cam lif takviyeli çimento harçlarının sülfat direncine mermer tozu ilavesinin etkisi. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 28(2), 175-183.
- Arslan, E. ve Sarıkaya, H.** (2021). Farklı Boyutlardaki Poliamid, Poliester ve Jüt Liflerinin Betonun Mekanik Davranışına Etkisi. *Uşak Üniversitesi Fen ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 5(1), 30-49.
- Asokan P., Osmani M., and Price A.D.F.** (2010). "Improvement of the mechanical properties of glass fibre reinforced plastic waste powder filled concrete", *Construction and Building Materials*, 24(4): 448-460.

KAYNAKLAR (devam)

- Attaelmanan, M., Kambal, M. E. M., and Mansour, M. I.** (2021). A study the effect of using ceramic waste powder as partial replacement for cement on concrete properties. *Journal of Karary University for Engineering and Science*.
- Aydin, S., Yazıcı, H., and Baradan, B.** (2008). High temperature resistance of normal strength and autoclaved high strength mortars incorporated polypropylene and steel fibers. *Construction and Building Materials*, 22(4), 504-512.
- Basheer, L., Kropp, J., and Cleland, D. J.** (2001). "Assessment of the durability of concrete from its permeation properties: a review." *Construction and building materials* 15.2-3 (2001): 93-103.
- Banthia, N., and Gupta, R.** (2006). Influence of polypropylene fiber geometry on plastic shrinkage cracking in concrete, *Cement and Concrete Research*, 36, pp.1263–1267.
- Betterman, L. R., Ouyang, C., and Shah, S. P.** (1995). Fiber-matrix interaction in microfiber-reinforced mortar. *Advanced Cement Based Materials*, 2(2), 53-61.
- Bhutta, A., Farooq, M., and Banthia, N.** (2019). Performance characteristics of micro fiber-reinforced geopolymer mortars for repair. *Construction and Building Materials*, 215, 605-612.
- Bied J.** (1909). Aluminous Cement, British Patent, 8193. United Kingdom.
- Boris, R., Antonovič, V., Kerienė, J., and Stonys, R.** (2016). The effect of carbon fiber additive on early hydration of calcium aluminate cement. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 125, 1061-1070.
- Bošnjak J., Ožbolt J., and Hahn R.** (2013). "Permeability measurement on High strength concrete out with polypropylene fibers at elevated temperatures using a new test setup", *Cement and Concrete Research*, 53-55.
- Bozkurt, M. R.** (1969). "Mineral tayini el kitabı", Çağlayan Kitapevi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Genel Yayın, No.58.
- Chinchillas-Chinchillas, M. J., Orozco-Carmona, V. M., Gaxiola, A., Alvarado-Beltrán, C. G., Pellegrini-Cervantes, M. J., Baldenebro-López, F. J., and Castro-Beltrán, A.** (2019). Evaluation of the mechanical properties, durability and drying shrinkage of the mortar reinforced with polyacrylonitrile microfibers. *Construction and Building Materials*, 210, 32-39.

KAYNAKLAR (devam)

- Çakır, C.** (2013). “Makrosentetik ve Çelik Lif Donatılı Betonların Mekanik Davranışı”, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Çelikkanat, A.B.** (2002). Teknik Tekstiller, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- Durmaz, B.** (2007). Bölgesel basınca maruz lifli betonlarda yatak mukavemeti. Elazığ: Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Dündar, B., Çınar, E. ve Özkaya, H.** (2019). “Profillit Katkılı Lifli Harçların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi”, İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi, Cilt 8, Sayı 2.
- Ekinciöglu, O.** (2003). “Karma Lif İçeren Çimento Esaslı Kompozitlerin Mekanik Davranışı-Bir Optimum Tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Anabilim Dalı, İstanbul.
- Eren, F.** (2022). Kalsiyum alüminat çimentolu harçların reolojik davranışlarının ve uzun dönemli dayanım-dayanıklılık özelliklerinin incelenmesi (Doctoral dissertation, Dokuz Eylül Üniversitesi (Turkey)).
- Eren, F., Keskinateş, M., Felekoğlu, B. ve Felekoğlu, K. T.** (2023). Mineral Katkı İkamesinin Kalsiyum Alümina Çimentolu Harçların Taze Hal ve Zamana Bağlı Sertleşmiş Hal Özelliklerine Etkileri. Turkish Journal of Civil Engineering, 34(3), 139-162.
- Fırat, M.T.** (1996). “Silis Dumanı İçeren Yüksek Mukavemeti Betonların Enerji Tutma Kapasitelerinin Artırılmasında Çelik Lif Kullanımının Etkisi”, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Fu, X., Wang, Z., Tao, W., Yang, C., Hou, W., Dong, Y., and Wu, X.** (2002). “Studies on Blended Cement with Large Amount of Fly Ash”, Cement and Concrete Research, Vol. 32, pp. 1153-1159.
- Gu, P., Beaudoin, J. J., Quinn, E. G., and Myers, R. E.** (1997). Early strength development and hydration of ordinary Portland cement/calcium aluminate cement pastes. Advanced cement based materials, 6(2), 53-58.

KAYNAKLAR (devam)

- Güleç, A.** (2024). Farklı Su/Çimento Oranlarına Sahip Kalsiyum Alüminat Çimentolu Betonların Yüksek Sıcaklıkta Basınç Dayanımlarının ve Elastisite Modüllerinin İncelenmesi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7(1), 1-12.
- Güngör, E.** (2013). “Karma Lifli Betonların Özelliklerinin Deneysel İrdelenmesi”, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Gönen, T., Onat, O., Cemalgil, S., Yilmazer, B. ve Altuncu, Y.T.** (2012). “Beton Teknolojisi İçin Yeni Atık Malzemeler Üzerine Bir İnceleme”, *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 8(1) 36-43.
- Türkiye Hazır Beton Birliği.** (2022). Hazır Beton Sektör Raporu, <https://www.thbb.org/media/661866/2022-haz%C4%B1r-beton-sekt%C3%B6r-raporu-04052023.pdf> (Erişim Tarihi: 15 Haziran 2023).
- İpek, G.** (2007). “Beton Büz Üretiminde Farklı Liflerin Kullanılabilirliğinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, Ankara.
- İskender, M., & Karasu, B.** (2018). Glass fibre reinforced concrete (GFRC). *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, 5(1), 136-162.
- Jiang, X., Zhang, Y., Xiao, R., Polaczyk, P., Zhang, M., Hu, W., Bai, Y., and Huang, B.** (2020). A comparative study on geopolymers synthesized by different classes of fly ash after exposure to elevated temperatures. *Journal of Cleaner Production*, 270, 122500.
- Kanaan, D.M., and EL-Dieb, A.S.** (2016). Ceramic waste powder as an ingredient to sustainable concrete. *Sustainable Construction Materials and Technologies*, 2016-Augus. <https://doi.org/10.18552/2016/scmt4s115>
- Kaplan, C.** (2020). “Sülfirik Asitin Öğütülmüş Profillit Tozu ve Yüksek Fırın Cürufu Katkılı Harçlar Üzerine Etkisinin İncelenmesi”, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi.
- Kesikidou, F., and Stefanidou, M.** (2019). Natural fiber-reinforced mortars. *Journal of Building Engineering*, 25, 100786.

KAYNAKLAR (devam)

- Khaliq, W., and Khan, H. A.** (2015). High temperature material properties of calcium aluminate cement concrete. *Construction and Building Materials*, 94, 475-487.
- Kırca, Ö., Yaman, I. Ö., and Tokyay, M.** (2013). Compressive strength development of calcium aluminate cement–GGBFS blends. *Cement and concrete composites*, 35(1), 163-170.
- Koksal, F., Coşar, K., Dener, M., Benli, A., and Gencel, O.** (2023). Insulating and fire-resistance performance of calcium aluminate cement based lightweight mortars. *Construction and Building Materials*, 362, 129759.
- Kozak, M.** (2013). Çelik lifli betonlar ve kullanım alanlarının araştırılması. *Teknik Bilimler Dergisi*, 3(1), 26-35.
- Kuri, J. C., Majhi, S., Sarker, P. K., and Mukherjee, A.** (2021). Microstructural and non-destructive investigation of the effect of high temperature exposure on ground ferronickel slag blended fly ash geopolymer mortars. *Journal of Building Engineering*, 43, 103099.
- Kutlu, S. Z.** (2013). Sivas Talk Atıklarının Değerlendirilmesi Ve Endüstriye Hazır Hale Getirilmesi (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Lafarge Co.** (1923). British Patent 222426 and 222427. United Kingdom.
- Li, B., Liang, W., and He, Z.** (2002). “Study on High-Strength Composite Portland Cement with a Larger Amount of Industrial Wastes”, *Cement and Concrete Research*, Vol. 32, pp. 1341-1344.
- MacKenzie, W. S., and Guilford, C.** (1980). “Atlas of rock-forming minerals in thin section”, Longman Group Limited.
- Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü**, Balıkesir İli Maden ve Enerji Kaynakları, https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/bilgi-merkezi/maden_potansiyel_2010/Balıkesir_Madenler.pdf (Erişim Tarihi: 10 Ocak 2024)
- Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü**, 2023 Yılı Maden Dış Ticareti Raporu, <https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/bilgi-merkezi/turkiyede-madencilik/2023-yili-maden-dis-ticaret.pdf> (Erişim Tarihi: 12 Mayıs 2025)

KAYNAKLAR (devam)

- Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü**, “Talk”, <https://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/talk> (Erişim Tarihi: 12 Mayıs 2025)
- Micelli, F., Renzi, A., Kandalafi, A.G., and Moro, S.** (2020). “Fiber-Reinforced Concrete and Ultrahigh-Performance Fiber-Reinforced Concrete Materials”, *New Materials in Civil Engineering*, Butterworth-Heinemann, pp. 273-314.
- Mohit, M., & Sharifi, Y.** (2019). Ceramic waste powder as alternative mortar-based cementitious material. *ACI Materials Journal*, 116(6), 107-116.
- Naik, T.R., Singh, S.S., and Ramme B.W.** (2002) “Effect of Source of Fly Ash on Abrasion Resistance of Concrete”, *Journal of Materials in Civil Engineering*, pp. 417-426, September-October.
- Pei, C., and Zhang, L.** (2024). Resource utilization of sulfidic copper tailings in calcium aluminate cement: Mechanical property, hydration process and environmental impact. *Journal of Building Engineering*, 96, 110440.
- Plizzari, G., and Mindess, S.** (2019). Fiber-reinforced concrete. In *Developments in the Formulation and Reinforcement of Concrete* (pp. 257-287). Woodhead Publishing.
- Rossi, P.** (2000). “Ultra-high Performance Fibre Reinforced Concretes(UHPFRC) An Overwiev”, Fifth RILEM Symposium on Fibre-Reinforced Concretes(FRC), Lyon, France, 13-15 September. 87-100.
- Saha, A. K., Sarker, P. K., and Golovanevskiy, V.** (2019). Thermal properties and residual strength after high temperature exposure of cement mortar using ferronickel slag aggregate. *Construction and Building Materials*, 199, 601-612.
- Sakai, E., Sugiyama, T., Saito, T., and Daimon, M.** (2010). Mechanical properties and micro-structures of calcium aluminate based ultra high strength cement. *Cement and Concrete Research*, 40(6), 966-970.
- Salemi N., and Behfarnia K.** "Effect of nano-particles on durability of fiber-reinforced concrete pavement", *Construction and Building Materials*, 48: 934-941, (2013).
- Sarı, M.** (2013). “Farklı Tipteki Liflerin Betonun Mekanik Davranışına Etkisi”, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Sarız, K. ve Nuhoglu, İ.** (1992). “Endüstriyel hammadde yatakları ve madenciliği”, Anadolu Üniversitesi Yayın, No. 636.

KAYNAKLAR (devam)

- Saydan, M.** (2021). Kalsiyum alüminat çimentosu tabanlı hızlı dayanım kazanan üçlü sistemlerin mekanik ve mikroyapısal özelliklerinin incelenmesi.
- Sertbaş, B.** (2006). Kendiliğinden yerleşen betonlarda polipropilen lif kullanımının işlenebilirliğe etkisi.
- Scrivener, K.** (2003). Calcium aluminate cements. *Advanced Concrete Technology* içinde (ss. 1–31). Elsevier Ltd. doi:10.1016/B978-075065686-3/50278-0.
- Scrivener, K.L.** (1998). Calcium aluminate cements, in: P.C. Hewlett (Ed.), *LEA'S Chemistry of Cement and Concrete*, 4th ed., Arnold, London, pp. 709–778.
- Scrivener, K. L., and Capmas, A.** (2003). Calcium Aluminate Cements. *Lea's Chemistry of Cement and Concrete* içinde (ss. 713–782). Elsevier Ltd. doi:10.1016/B978-075066256-7/50025-4.
- Skalny, J., Marchand, J., and Odler, I.** (2003). *Sulfate Attack on Concrete*, Taylor & Francis Group, U.S.A.
- Snelus, G. J., Gibb, T., Swann, J. C., Smith, H., and Whamond, W.** (1888). British Patent 10312. United Kingdom.
- Sucu, M. ve Delibaş, T.** (2015). “Kalsiyum Alüminat Çimentosu Bazlı Tamir Betonları”, *Hazır Beton Dergisi*, 131, 88-94.
- Şenol, A.F.** (2022). “Beton Teknolojisinde Lif Türleri ve Lif Takviyeli Betonların Özellikleri”, *Mühendislik Bilimlerinde Güncel Tartışmalar, Duvar Yayınları*, pp. 7-22.
- T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı**, MLZ-878, Çelik Liflerle Güçlendirilmiş Beton, 1994, Ankara.
- T.C. Milli Eğitim Bakanlığı**, (2011). *Tekstil Lifleri*. Ankara: Megep.
- Topçu, İ. B. ve Canbaz, M.** (2001). Uçucu kül kullanımının betondaki etkileri. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 14(2), 11-23.
- Topçu, İ.B. ve Boğa, A.R.** (2004). “Prefabrik Beton Borularda Çelik Liflerin Kullanımı”, *Beton Prefabrikasyon Dergisi*, Sayı: 73, ss. 13-20.
- Topçu, İ.B., ve Boğa, A.R.** (2005). Uçucu Kül Ve Çelik Liflerin Beton Ve Beton Borularda Kullanımı. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 18(2), 1-14.

KAYNAKLAR (devam)

- Topçu, İ. B.** (2006). “Beton Teknolojisi”, Uğur Ofset A.Ş., Eskişehir.
- Topçu, I.B. ve Demir, A.,** (2007). “Yüksek Sıcaklık Uygulama Süresinin Harç Özelliklerine Etkisi”, Ulusal Beton Kongresi, İstanbul, 7: 455–463.
- Touche M.** (1926). Le Ciment (31. bs.). Paris.
- Tuyan, M., Soykan, K. S., Namal, İ. ve Çakır, Ö. A.** (2020). Mineral katkı içeren kalsiyum alüminat çimento esaslı harçların mekanik, dayanıklılık, termal ve içyapı özelliklerinin araştırılması. Politeknik Dergisi, 23(2), 311-320.
- Uğur, A. E., and Ünal, A.** (2022, April). Assessing the structural behavior of reinforced concrete beams produced with macro synthetic fiber reinforced selfcompacting concrete. In Structures (Vol. 38, pp. 1226-1243). Elsevier.
- Türk Çimento,** “Çimento Üretimini Tarihçesi”, https://www.turkcimento.org.tr/tr/cimento_uretiminin_tarihcesi (Erişim Tarihi: 10 Ocak 2024)
- THBB,** “Çimento”, <https://www.thbb.org/teknik-bilgiler/cimento/>, (Erişim Tarihi: 10 Ocak 2024)
- Ustabaş, İ.** (2008). Sülfat etkisine maruz mineral katkılı beton ve harçların performansının incelenmesi (Doctoral dissertation, Doktora tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye).
- Ünal, O., Uygunoğlu, T. ve Gençel, O.** (2007). “Çelik Liflerin Beton Basınç ve Eğilme Özelliklerine Etkisi”, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 13, Sayı 1, Sayfa 23-30.
- Varolgüneş, S. ve İşsever, F.** (2017). “Na₂O, silika modülü, su/bağlayıcı oranı ve yaşlanmanın cüruf tabanlı geopolimerlerin basınç mukavemetinde olan etkileri”, Türk Doğa ve Fen Dergisi, vol. 6, no. 2.
- Vejmelková, E., Koňáková, D., Scheinherrová, L., Doleželová, M., Keppert, M., and Černý, R.** (2018). High temperature durability of fiber reinforced high alumina cement composites. Construction and Building Materials, 162, 881-891.
- Yapıcı, N., Güneşli, H. ve Mehmetoğlu, E.** (2022). “Profillit ve Zeolit Katkılı Yapı Malzemelerinin Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırılması”, Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(2), 419-427.

KAYNAKLAR (devam)

- Yerlikaya, M.** (2003). “Çelik Tel Donatılı Betonların Deprem Etkisi Altında Davranışları”, Deprem Sempozyumu, Kocaeli.
- Zhang, X., Li, G., Niu, M., and Song, Z.** (2018). Effect of calcium aluminate cement on water resistance and high-temperature resistance of magnesium-potassium phosphate cement. *Construction and Building Materials*, 175, 768-776.
- Zhang, H., Cheng, X., Guo, J., Cai, J., and Ni, X.** (2023). Mechanical Properties of Calcium Aluminate Cement Reinforced with Plasma-Treated Basalt Fibers for In Situ Combustion. *ACS omega*, 8(2), 1864-1875.
- Win, T.T., Prasittisopin, L., Jongvivatsakul, P., and Likitlersuang, S.** (2024). Investigating the role of steel and polypropylene fibers for enhancing mechanical properties and microstructural performance in mitigating conversion effects in calcium aluminate cement. *Construction and Building Materials*, 430, 136515.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı :

Doğum tarihi ve yeri :

e-posta :

Öğrenim Bilgileri

Derece	Okul/Program	Yıl
Y. Lisans	Balıkesir Üniversitesi / İnşaat Mühendisliği	2025
Lisans	Balıkesir Üniversitesi / İnşaat Mühendisliği	2018
Lise	Sivas Selçuk Anadolu Lisesi	2014