İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DAYANIM VE DAYANIKLILIK AÇISINDAN YÜKSEK PERFORMANSLI ÇİMENTO ESASLI TABAKALI KOMPOZİTLERİN GELİŞTİRİLMESİ

DOKTORA TEZİ

Esma Gizem DAŞKIRAN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

ŞUBAT 2018

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DAYANIM VE DAYANIKLILIK AÇISINDAN YÜKSEK PERFORMANSLI ÇİMENTO ESASLI TABAKALI KOMPOZİTLERİN GELİŞTİRİLMESİ

DOKTORA TEZİ

Esma Gizem DAŞKIRAN
(501122005)

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Mustafa GENÇOĞLU

ŞUBAT 2018

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501122005 numaralı Doktora Öğrencisi Esma Gizem DAŞKIRAN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "DAYANIM VE DAYANIKLILIK AÇISINDAN YÜKSEK PERFORMANSLI ÇİMENTO ESASLI TABAKALI KOMPOZİTLERİN GELİŞTİRİLMESİ" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Mustafa GENÇOĞLU** .....
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Canan TAŞDEMİR** .....
İstanbul Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Özgür EKİNCİOĞLU .....
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Nilüfer ÖZYURT ZİHNİOĞLU .....
Boğaziçi Üniversitesi

Prof. Dr. Fahriye KILINÇKALE .....
İstanbul Üniversitesi

Teslim Tarihi : 13 Şubat 2018
Savunma Tarihi : 21 Şubat 2018

Eşime,

ÖNSÖZ

Doktora süreci boyunca bilgi birikimini ve ilgisini esirgemeyen danışman hocam Doç. Dr. Mustafa GENÇOĞLU'na teşekkür ederim.

Boğaziçi Üniversitesi Yapı Malzemesi Laboratuvarı'nda gerçekleştirilen eğilme deneyleri için laboratuvar sorumlusu Doç. Dr. Nilüfer ÖZYURT ZİHNİOĞLU'na ve deneyler sırasında yardımlarından ötürü Araş. Gör. Hasan YILDIRIM'a teşekkür ederim.

SEM görüntülerinin çekilmesinde yardımlarını esirgemeyen İTÜ Kimya Metalurji Fakültesi Araş. Gör. Erkan KAÇAR'a teşekkür ederim.

Deneysel çalışmada kullanılan malzemelerde XRF, XRD ve Petrografi incelemelerinin yapılmasında desteklerinden ötürü İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi Jeoloji bölümü öğretim üyesi Doç. Dr. Mustafa KUMRAL'a teşekkür ederim.

Doktora süresince İTÜ Yapı Malzemesi çalışma grubunda her konuda yardımlaşmayı başardığım Araş. Gör. Hasan Nuri TÜRKMENOĞLU'na teşekkür ederim.

Doktora tezimdeki deneyleri gerçekleştirirken verdiği yardımlar ve tezin ilerlemesindeki tüm katkılarının yanısıra bu süreçte karşılaştığımız her türlü olumsuzluğa birlikte göğüs gerdiğim sevgili ve biricik eşim Araş. Gör. Mehmet Mustafa DAŞKIRAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İTÜ BAP Birimi tarafından lisansüstü tez çalışması kapsamında maddi destek sağlayan İstanbul Teknik Üniversitesi'ne teşekkür ederim.

ŞUBAT 2018

Esma Gizem DAŞKIRAN
(İnşaat Y. Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **vii**
İÇİNDEKİLER ..... **ix**
KISALTMALAR ..... **xiii**
SEMBOLLER ..... **xv**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xvii**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xix**
ÖZET ..... **xxiii**
SUMMARY ..... **xxv**
1. GİRİŞ…….. ..... **1**
1.1 Tezin Amacı 2
1.1 Tezin Kapsamı 2
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI …….. ..... **5**
2.1 Giriş 5
2.1.1 Tekstil malzemeler 8
2.1.2 Matris malzemesi 10
2.1.3 Polimer modifiyeli matris 11
2.1.4 Üretim yöntemleri 13
2.1.4.1 Spreyleme yöntemi 14
2.1.4.2 El yatırması yöntemi 14
2.1.4.3 Pultruzyon metodu 15
2.1.4.4 Basınçlı kalıplama 16
2.1.4.5 Modül proses teknolojisi 17
2.1.4.6 Yarı sürekli üretim 18
2.1.4.7 Öngerme çerçevesi 18
2.2 TRCC Elemanların Mekanik Özellikleri 19
2.3 TRCC Elemanların Dürabilitesi 29
3. TRCC ÜRETİMİ İÇİN MATRİS TASARIMI **37**
3.1 Deneylerde Kullanılan Malzemeler 37
3.1.1 Çimento 37
3.1.2 Agrega 37
3.1.2.1 Agrega I 38
3.1.2.2 Agrega II 40
3.1.3 Silis dumanı 41
3.1.4 Uçucu kül 41
3.1.5 Köpük kesici katkı 42
3.1.6 Toz akışkanlaştırıcı 42
3.1.7 Polimerler 43
3.1.7.1 Yeniden dağılabilir toz polimerler 43
3.1.7.2 Lateks polimerler 43
3.1.8 Tekstiller 44

3.1.8.1 AR Glass tekstil 44
3.1.8.2 Bazalt tekstil 44
3.1.8.3 PVA tekstil 44
3.2 Deney Yöntemleri 46
3.2.1 Taze harç deneyleri 46
3.2.1.1 Birim ağırlık deneyi 46
3.2.1.2 Yayılma deneyi 46
3.2.1.3 Hava içeriği 46
3.2.2 Sertleşmiş harç deneyleri 46
3.2.2.1 Eğilme deneyi 46
3.2.2.2 Basınç deneyi 47
3.2.2.3 Alkali silika reaksiyonu deneyi 47
3.2.2.4 Kuruma rötresi deneyi 47
3.3 Hazır Onarım Harçları 47
3.4 Geliştirilecek Harçlarda Kullanılan Polimerlerin Seçimi 51
3.5 TRCC'lerin Üretiminde Kullanılacak Harçların Tasarımı 55
3.5.1 Deney sonuçları 56
3.5.1.1 Taze harç deney sonuçları 56
3.5.1.2 Sertleşmiş harç deney sonuçları 57
3.5.2 Geliştirilen harçlarda deney sonuçlarının değerlendirmesi 58
3.5.2.1 Taze harçların değerlendirmesi 58
3.5.2.2 Sertleşmiş harçların değerlendirmesi 59
4. TRCC ÜRETİMİ VE UYGULANAN DENEYLER 61
4.1 TRCC Üretiminde Kullanılan Makine ve Üretim Yöntemi 61
4.2 TRCC Numunelerin Üretimi 63
4.2.1 Mekanik deneyler 64
4.3 TRCC Malzemelere Uygulanan Deneyler 65
4.3.1 Eksenel çekme deneyi 65
4.3.2 Dört noktalı eğilme deneyi 67
4.3.3 Charpy çarpma deneyi 69
4.3.4 Yapışma (Aderans) deneyi 71
4.3.5 Dürabilite deneyleri 73
4.3.5.1 Alkaliye direnç testi 74
4.3.5.2 Islanma kuruma çevrimi 77
5. TRCC'LERDE YAPILAN DENEYLERİN SONUÇLARI 81
5.1 TRCC Eksenel Çekme Deneyi Sonuçları 81
5.1.1 Ar Glass TRCC numunelerin eksenel çekme deneyi sonuçları 83
5.1.2 Bazalt TRCC numunelerin eksenel çekme deneyi sonuçları 85
5.1.3 PVA TRCC numunelerin eksenel çekme deneyi sonuçları 87
5.2 TRCC Eğilme Deneyi Sonuçları 90
5.2.1 Ar Glass TRCC numunelerin eğilme deneyi sonuçları 91
5.2.2 Bazalt TRCC numunelerin eğilme deneyi sonuçları 95
5.2.3 PVA TRCC numunelerin eğilme deneyi sonuçları 98
5.3 TRCC Charpy Çarpma Deneyi Sonuçları 101
5.3.1 Ar Glass TRCC numunelerin Charpy çarpma deneyi sonuçları 102
5.3.2 Bazalt TRCC numunelerin Charpy çarpma deneyi sonuçları 103
5.3.3 PVA TRCC numunelerin Charpy çarpma deneyi sonuçları 105
5.4 TRCC Yapışma (Aderans) Deneyi Sonuçları 106
5.5 TRCC Alkaliye Direnç Geçirmiş Numunelerde Eksenel Çekme Deneyi Sonuçları 109

5.5.1 Ar Glass TRCC numunelerin eksenel çekme deneyi sonuçları 110
5.5.2 Bazalt TRCC numunelerin eksenel çekme deneyi sonuçları 113
5.5.3 PVA TRCC numunelerin eksenel çekme deneyi sonuçları 115
5.6 TRCC Islanma Kuruma Deneyi Sonuçları 118
5.6.1 TRCC numunelerin ıslanma kuruma deneyi ağırlık kaybı sonuçları 118
5.6.2 Islanma kuruma çevrimi geçirmiş plakalara uygulanan yapışma deneyi 120
5.7 Tekstil Çekme Deneyi Sonuçları 122
6. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ 127
6.1 TRCC Eksenel Çekme Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi 127
6.1.1 AR Glass serileri 127
6.1.2 Bazalt serileri 129
6.1.3 PVA serileri 131
6.1.4 Dürabilite etkisi geçirmiş ve geçirmemiş TRCC lerin karşılaştırması ... 132
6.1.4.1 AR Glass serileri 132
6.1.4.2 Bazalt serileri 133
6.1.4.3 PVA serileri 136
6.2 TRCC Eğilme Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi 137
6.2.1 AR Glass serileri 138
6.2.2 Bazalt serileri 139
6.2.3 PVA serileri 140
6.3 TRCC Charpy Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi 143
6.3.1 Absorplanan enerjilerinin karşılaştırması 144
6.3.2 Özgül Charpy çarpma enerjilerinin karşılaştırması 145
6.4 TRCC Islanma Kuruma Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi 147
6.5 TRCC Yapışma Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi 150
6.5.1 Normal koşullarda kürlenmiş plakalarda yapışma (aderans) deneyi 150
6.5.2 Islanma kuruma çevrimi geçirmiş plakalarda yapışma (aderans) deneyi 152
6.6 SEM Görüntülerinin Değerlendirilmesi 155
6.6.1 Tekstillerin görüntüleri 156
6.6.2 TRCC elemanların görüntüleri 157
6.6.3 Alkaliye direnç testi geçirmiş tekstillerin görüntüleri 158
6.6.4 Alkaliye direnç testi geçirmiş ve geçirmemiş matrisin görüntüleri 161
6.7 Maliyet Optimizasyonu ve Optimizasyon Sonuçlarının Yorumlanması 162
7. TRCC'LERİN YAPISAL ELEMAN OLARAK KULLANIMI 165
7.1 TRCC'lerin Kalıcı Kalıp Kolon Elemanlar Olarak Kullanımı 165
7.2 TRCC'lerin Duvar Güçlendirme Plakası Olarak Kullanımı 168
8. SONUÇ VE ÖNERİLER 173
KAYNAKLAR 177
EKLER 187
ÖZGEÇMİŞ 201

KISALTMALAR

AR Glass	**:** Alkali Resistant Glass (Alkaliye dirençli cam)
BZLT	**:** Bazalt
ESEM	**:** Scanning Electron Microscopy (Taramalı elektron mikroskopu)
FRP	**:** Fiber Reinforced Polimer (Fiber donatılı polimer)
GRC	**:** Glass Reinforced Concrete (Cam donatılı beton)
HDPE	**:** High Density Polietilen (Yüksek yoğunluklu polietilen)
LVDT	**:** Lineer variable displacement transducer (Lineer şekil değiştirme ölçer)
PBO	**:** Phenylene benzobis oxazole (polifenilenbenzobisoksazol)
PE	**:** Polietilen
PP	**:** Polipropilen
PVA	**:** Polivinilalkol
RDP	**:** Redispersible Powder (Yeniden dağılabilir toz)
TRCC	**:** Textile Reinforced Cementitious Composite (Tekstil Donatılı Çimento Esaslı Kompozit)
SAE	: Stren Akrilik Ester
SBR	**:** Stren Butadien Rubber (Stren butadiyen kauçuk)
EVA	**:** Etilen Vinil Asetat
MC	**:** Methyl Cellulose (Metil Selüloz)
SHCC	**:** Strain Hardening Cementitious Composite
XRD	**:** X-Işınları Kırınım Cihazı
MFFT	**:** Minumum Film Forming Temperature
VaVeoVa	**:** Vinil asetat ve vinil ester
VAM	**:** Vinil asetat monomer
Va	**:** Vinil asetat

SEMBOLLER

σ	**:** Gerilme
ε	**:** Şekil değiştirme oranı
°C	**:** Derece santigrat

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri **37**
Çizelge 3.2 : Agrega I'in 14 günlük genleşme deneyi sonuçları **38**
Çizelge 3.3 : Agrega I'in kimyasal ve petrografik özellikleri **39**
Çizelge 3.4 : Agrega II'nin kimyasal ve petrografik özellikleri **40**
Çizelge 3.5 : Agrega II'nin 14 günlük genleşme deneyi sonuçları **40**
Çizelge 3.6 : Silis dumanının kimyasal ve fiziksel özellikleri **41**
Çizelge 3.7 : Uçucu külün kimyasal ve fiziksel özellikleri **42**
Çizelge 3.8 : Köpük kesici katkının teknik özellikleri **42**
Çizelge 3.9 : Toz akışkanlaştırıcının teknik özellikleri **42**
Çizelge 3.10 : RDP polimerlerin kimyasal ve fiziksel özellikleri **43**
Çizelge 3.11 : Lateks polimerlerin kimyasal ve fiziksel özellikleri **43**
Çizelge 3.12 : AR Glass tekstile ait fiziksel özellikler **44**
Çizelge 3.13 : Bazalt tekstile ait fiziksel özellikler **44**
Çizelge 3.14 : PVA tekstile ait fiziksel özellikler **44**
Çizelge 3.15 : Hazır onarım harcı içerikleri **48**
Çizelge 3.16 : Karıştırma miktarları **48**
Çizelge 3.17 : Hazır onarım harçlarına ait taze harç özellikleri **48**
Çizelge 3.18 : Hazır onarım harçlarına ait sertleşmiş harç özellikleri **49**
Çizelge 3.19 : Harç karışımı **52**
Çizelge 3.20 : Lateks polimerle hazırlanmış harçların taze harç özellikleri **53**
Çizelge 3.21 : RDP polimerle hazırlanmış harçların taze harç özellikleri **53**
Çizelge 3.22 : Harç karışımı **56**
Çizelge 3.23 : Polimer karışım oranları. **56**
Çizelge 3.24 : Taze harç deney sonuçları **57**
Çizelge 3.25 : Sertleşmiş harç deney sonuçları **58**
Çizelge 4.1 : PVA matris harcı **64**
Çizelge 5.1 : TRCC numunelerin kalınlıkları **82**
Çizelge 5.2 : AR Glass TRCC numunelere ait deney sonuçları **83**
Çizelge 5.3 : Bazalt TRCC numunelere ait deney sonuçları **85**
Çizelge 5.4 : PVA TRCC numunelere ait deney sonuçları **88**
Çizelge 5.5 : TRCC numunelerin kalınlıkları **91**
Çizelge 5.6 : AR Glass TRCC numunelere ait eğilme deneyi sonuçları **92**
Çizelge 5.7 : Bazalt TRCC numunelere ait eğilme deneyi sonuçları **95**
Çizelge 5.8 : PVA TRCC numunelere ait eğilme deneyi sonuçları **98**
Çizelge 5.9 : TRCC numunelere ait eğilme deneyinde absoplanan enerjiler **101**
Çizelge 5.10 : TRCC numunelerin kalınlıkları. **102**
Çizelge 5.11 : AR Glass TRCC plaka numunelerine ait deney sonuçları **107**
Çizelge 5.12 : Bazalt TRCC plaka numunelerine ait deney sonuçları **108**
Çizelge 5.13 : PVA TRCC plaka numunelerine ait deney sonuçları **108**
Çizelge 5.14 : ALK TRCC numunelerin kalınlıkları **110**

Çizelge 5.15 : AR Glass ALK TRCC numunelere ait deney sonuçları **111**
Çizelge 5.16 : Bazalt ALK TRCC numunelere ait deney sonuçları **113**
Çizelge 5.17 : PVA ALK TRCC numunelere ait deney sonuçları **116**
Çizelge 5.18 : AR Glass numunelerde ağırlık kaybı sonuçları. **118**
Çizelge 5.19 : Bazalt numunelerde ağırlık kaybı sonuçları **119**
Çizelge 5.20 : PVA numunelerde ağırlık kaybı sonuçları **119**
Çizelge 5.21 : AR Glass plaka numunelere ait yapışma deneyi sonuçları **121**
Çizelge 5.22 : Bazalt plaka numunelere ait yapışma deneyi sonuçları **121**
Çizelge 5.23 : PVA plaka numunelere ait yapışma deneyi sonuçları **122**
Çizelge 5.24 : Tekstil numunelerin fiziksel özellikleri **122**
Çizelge 5.25 : Tekstil numunelerin mekanik özelikleri **124**
Çizelge 6.1 : Temel değişkenler ve amaç fonksiyonu **162**
Çizelge 6.2 : Maksimum dayanım elde etmek için gerekli değişkenler **163**
Çizelge C.1 : Lateks polimerlerin kimyasal özellikleri **190**
Çizelge C.2 : Lateks polimerlerin fiziksel özellikleri **190**
Çizelge C.3 : RDP polimerlerin kimyasal özellikleri **191**

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Düz (plain), kabartmalı (twill) ve saten (satin) örgü **7**
Şekil 2.2 : Çapraz örgü ve şematik diyagramı. **8**
Şekil 2.3 : Farklı tekstil örgü türlerine örnekler **8**
Şekil 2.4 : Liflerin sınıflandırılması. **9**
Şekil 2.5 : Spreyleme metodu. **14**
Şekil 2.6 : El yatırması yöntemiyle üretilen kompozit eleman **15**
Şekil 2.7 : Pultruzyon metodu ile lamina kompozit üretimi **15**
Şekil 2.8 : Basınçlı kalıplama ile kompozit üretimi **17**
Şekil 2.9 : Modül proses yöntemiyle levha üretimi. **17**
Şekil 2.10 : Yarı sürekli yöntemle U profil üretimi.. ..... **18**
Şekil 2.11 : Ön germe çerçevesi ile plaka üretimi **19**
Şekil 2.12 : Eksenel çekme altında gerilme şekil değiştirme grafiği **21**
Şekil 2.13 : Eksenel çekme test numunesi boyutları **24**
Şekil 2.14 : Dört noktalı eğilme test numunesinin boyutları. **25**
Şekil 2.15 : Eksenel çekme testinde yük-şekil değiştirme grafiği.... ..... **25**
Şekil 2.16 : 4 noktalı eğilme deneyinde yük-sehim grafiği **26**
Şekil 2.17 : El dökümü ve pultruzyon yöntemiyle üretilen TRCC elemanlar **28**
Şekil 2.18 : Hızlandırılmış yaşlandırma geçiren AR Glass tekstil numune. **30**
Şekil 2.19 : NaOH çözeltisindeki AR Glass lifte oluşan korozyon **31**
Şekil 2.20 : NaOH çözeltisindeki Bazalt lifte oluşan korozyon **31**
Şekil 2.21 : AR Glass tekstilin Portland çimentolu matristeki ESEM görüntüsü **33**
Şekil 2.22 : AR Glass tekstilin puzolanlı matris içerisindeki ESEM görüntüsü **33**
Şekil 2.23 : Kaplanmamış bazalt tekstilin matris içerisindeki ESEM görüntüleri. ... **34**
Şekil 2.24 : Kaplanmış bazalt tekstillerin matris içerisindeki ESEM görüntüleri **35**
Şekil 2.25 : 65°C de yaşlandırılan uygulanan GRC lerin gerilme-şekil değiştirme eğrisi **36**
Şekil 2.26 : TRCC lerin Gerilme Şekil değiştirme diyagramı **36**
Şekil 3.1 : Agrega I' e ait XRD grafiği **39**
Şekil 3.2 : Agrega I granülometrisi **39**
Şekil 3.3 : Agrega II' ye ait XRD grafiği **40**
Şekil 3.4 : Agrega II granülometrisi **41**
Şekil 3.5 : AR Glass Tekstil **45**
Şekil 3.6 : Bazalt Tekstil **45**
Şekil 3.7 : PVA Tekstil **45**
Şekil 3.8 : Hazır onarım harçlarında ASR deneyi sonuçları. **50**
Şekil 3.9 : Hazır onarım harçlarında kuruma rötresi sonuçları **50**
Şekil 3.10 : Kuruma rötresi deneyi sonucu büzülme oranları **51**
Şekil 3.11 : Lateks polimerli harçların eğilme dayanımları **54**
Şekil 3.12 : RDP polimerli harçların eğilme dayanımları. **54**
Şekil 3.13 : Lateks polimerli harçların basınç dayanımları **54**
Şekil 3.14 : RDP polimerli harçların basınç dayanımları **55**

Şekil 3.15 : Eğilme dayanımlarının karşılaştırması **60**
Şekil 3.16 : Basınç dayanımlarının karşılaştırması **60**
Şekil 4.1 : TRCC numune üretimleri **64**
Şekil 4.2 : TRCC lere uygulanan mekanik deneyler **65**
Şekil 4.3 : Eksenel çekme numunesi boyutları **66**
Şekil 4.4 : RILEM TC 232 ye uygun deney düzeneği **67**
Şekil 4.5 : Dört noktalı eğilme deneyi **68**
Şekil 4.6 : Charpy Charpy çarpma deney aleti ve düzeneği. **69**
Şekil 4.7 : Numune yerleştirme yönü. **70**
Şekil 4.8 : Charpy deneyi kırılma ve göçme modları **70**
Şekil 4.9 : Yapışma (aderans) numuneleri hazırlık aşamaları **71**
Şekil 4.10 : Yapışma (aderans) deney düzeneği **72**
Şekil 4.11 : Yapışma (aderans) deneyinde hasar modları **72**
Şekil 4.12 : Yapışma (aderans) deneyi örneği **73**
Şekil 4.13 : TRCC'lere uygulanan dürabilite deneyleri **74**
Şekil 4.14 : Dürabilite etkisi geçirmiş elemanlara uygulanan mekanik deneyler **74**
Şekil 5.1 : Eksenel çekme deneyi numuneleri **81**
Şekil 5.2 : a) Eksenel çekme deneyi, b) LVDT yerleşimi **82**
Şekil 5.3 : AR Glass 4L serisine ait eksenel çekme deneyi grafiği **84**
Şekil 5.4 : AR Glass 6L serisine ait eksenel çekme deneyi grafiği **84**
Şekil 5.5 : AR Glass 8L serisine ait eksenel çekme deneyi grafiği **84**
Şekil 5.6 : Bazalt 4L serisine ait eksenel çekme deneyi grafiği **86**
Şekil 5.7 : Bazalt 6L serisine ait eksenel çekme deneyi grafiği **86**
Şekil 5.8 : Bazalt 8L serisine ait eksenel çekme deneyi grafiği **87**
Şekil 5.9 : PVA 4L serisine ait eksenel çekme deneyi grafiği **88**
Şekil 5.10 : PVA 6L serisine ait eksenel çekme deneyi grafiği **89**
Şekil 5.11 : PVA 8L serisine ait eksenel çekme deneyi grafiği **89**
Şekil 5.12 : Eğilme deney düzeneği. **90**
Şekil 5.22 : LVDT lerin (şekil değiştirme ölçer) yerleşimi. **90**
Şekil 5.14 : AR Glass 4L serisine ait yük-sehim eğrisi. **92**
Şekil 5.15 : AR Glass 6L serisine ait yük-sehim eğrisi. **93**
Şekil 5.16 : AR Glass 8L serisine ait yük-sehim eğrisi. **93**
Şekil 5.17 : AR Glass 4L serisine ait eğilme numunesi **94**
Şekil 5.18 : AR Glass 6L serisine ait eğilme numunesi **94**
Şekil 5.19 : AR Glass 8L serisine ait eğilme numunesi **94**
Şekil 5.20 : Bazalt 4L serisine ait yük-sehim eğrisi. **96**
Şekil 5.21 : Bazalt 6L serisine ait yük-sehim eğrisi. **96**
Şekil 5.22 : Bazalt 8L serisine ait yük-sehim eğrisi. **96**
Şekil 5.23 : Bazalt 4L serisine ait eğilme numunesi **97**
Şekil 5.24 : Bazalt 6L serisine ait eğilme numunesi **97**
Şekil 5.25 : Bazalt 8L serisine ait eğilme numunesi **97**
Şekil 5.26 : PVA 4L serisine ait yük-sehim eğrisi. **99**
Şekil 5.27 : PVA 6L serisine ait yük-sehim eğrisi. **99**
Şekil 5.28 : PVA 8L serisine ait yük-sehim eğrisi. **99**
Şekil 5.29 : PVA 4L serisine ait eğilme numunesi **100**
Şekil 5.30 : PVA 6L serisine ait eğilme numunesi **100**
Şekil 5.31 : PVA 8L serisine ait eğilme numunesi **100**
Şekil 5.32 : AR Glass serilerine ait absorblanan enerji **102**
Şekil 5.33 : AR Glass serilerine ait özgül enerji. **103**

Şekil 5.34 : AR Glass serilerine ait Charpy çarpma deneyi uygulanmış numuneler **103**
Şekil 5.35 : Bazalt serilerine ait absorblanan enerji **104**
Şekil 5.36 : Bazalt serilerine ait özgül enerji **104**
Şekil 5.37 : Bazalt serilerine ait Charpy çarpma deneyi uygulanmış numuneler. ... **105**
Şekil 5.38 : PVA serilerine ait absorblanan enerji **105**
Şekil 5.39 : PVA serilerine ait özgül enerji **106**
Şekil 5.40 : PVA serilerine ait Charpy çarpma deneyi uygulanmış numuneler. **106**
Şekil 5.41 : Yapışma deneyinde AR Glass TRCC numune (Kırılma Şekli II) **107**
Şekil 5.42 : Yapışma deneyinde Bazalt TRCC numune (Kırılma Şekli I) **109**
Şekil 5.43 : Yapışma deneyinde PVA TRCC numune (Kırılma Şekli III) **109**
Şekil 5.44 : AR Glass ALK 4L serisine ait eksenel çekme grafiği **111**
Şekil 5.45 : AR Glass ALK 6L serisine ait eksenel çekme grafiği **112**
Şekil 5.46 : AR Glass ALK 8L serisine ait eksenel çekme grafiği **112**
Şekil 5.47 : Bazalt ALK 4L serisine ait eksenel çekme grafiği **114**
Şekil 5.48 : Bazalt ALK 6L serisine ait eksenel çekme grafiği **114**
Şekil 5.49 : Bazalt ALK 8L serisine ait eksenel çekme grafiği **115**
Şekil 5.50 : PVA ALK 4L serisine ait eksenel çekme grafiği **116**
Şekil 5.51 : PVA ALK 6L serisine ait eksenel çekme grafiği **117**
Şekil 5.52 : PVA ALK 8L serisine ait eksenel çekme grafiği **117**
Şekil 5.53 : a) 1. Çevrim sonu b) 28. Çevrim sonu AR Glass TRCC elemanlar **119**
Şekil 5.54 : a) 1. Çevrim sonu b) 28. Çevrim sonu Bazalt TRCC elemanlar **120**
Şekil 5.55 : a) 1. Çevrim sonu b) 28. Çevrim sonu PVA TRCC elemanlar **120**
Şekil 5.56 : AR Glass tekstile ait çekme grafiği. **123**
Şekil 5.57 : Bazalt tekstile ait çekme grafiği **123**
Şekil 5.58 : PVA tekstile ait çekme grafiği **123**
Şekil 5.59 : AR Glass eksenel çekme deneyi numunesi. **124**
Şekil 5.60 : Bazalt eksenel çekme deneyi numunesi. **124**
Şekil 5.61 : PVA eksenel çekme deneyi numunesi **125**
Şekil 6.1 : ARG TRCC numunelerin eksenel çekme deneyi sonuçları **127**
Şekil 6.2 : Bazalt TRCC numunelerin eksenel çekme deneyi sonuçları **129**
Şekil 6.3 : PVA TRCC numunelerin eksenel çekme deneyi sonuçları **131**
Şekil 6.4 : ARG ALK serilerine ait eksenel çekme deneyi sonuçları **132**
Şekil 6.5 : Bazalt ALK serilerine ait eksenel çekme deneyi sonuçları **134**
Şekil 6.6 : PVA ALK serilerine ait eksenel çekme deneyi sonuçları **136**
Şekil 6.7 : ARG tekstille üretilen numunelerin eğilme deneyi sonuçları **138**
Şekil 6.8 : Bazalt tekstille üretilen numunelerin eğilme deneyi sonuçları **139**
Şekil 6.9 : PVA tekstille üretilen numunelerin eğilme deneyi sonuçları **141**
Şekil 6.10 : Absorplanan enerjinin karşılaştırması **144**
Şekil 6.11 : Özgül Charpy çarpma enerjisinin karşılaştırması **146**
Şekil 6.12 : AR Glass serilerinde ıslanma kuruma deneyi sonuçları **148**
Şekil 6.13 : BZLT serilerinde ıslanma kuruma deneyi sonuçları **148**
Şekil 6.14 : PVA serilerinde ıslanma kuruma deneyi sonuçları **149**
Şekil 6.15 : Tüm serilerde 28 günlük ağırlık kaybı sonuçları. **150**
Şekil 6.16 : Yapışma deneyi sonuçlarının karşılaştırması. **151**
Şekil 6.17 : Islanma kuruma etkisi geçirmiş plakalarda yapışma deneyi sonuçları. **152**
Şekil 6.18 : ARG plakalarda yapışma deneyi sonuçları. **153**
Şekil 6.19 : BZLT plakalarda yapışma deneyi sonuçları. **154**
Şekil 6.20 : PVA plakalarda yapışma deneyi sonuçları. **154**
Şekil 6.21 : AR Glass tekstilin SEM görüntüsü.. ..... **156**

Şekil 6.22 : Bazalt tekstilin SEM görüntüsü.. **156**
Şekil 6.23 : PVA tekstilin SEM görüntüsü.. **156**
Şekil 6.24 : AR Glass tekstille üretilen TRCC elemanların görüntüsü **157**
Şekil 6.25 : Bazalt tekstille üretilen TRCC elemanların görüntüsü **158**
Şekil 6.26 : PVA tekstille üretilen TRCC elemanların görüntüsü **158**
Şekil 6.27 : Alkaliye direnç testi gerçirmiş TRCC numune içerisine gömülü haldeki AR Glass tekstilin görüntüsü. **159**
Şekil 6.28 : Alkaliye direnç testi gerçirmiş TRCC numune içerisine gömülü haldeki Bazalt tekstilin görüntüsü. **159**
Şekil 6.29 : Alkaliye direnç testi gerçirmiş TRCC numune içerisine gömülü haldeki PVA tekstilin görüntüsü. **160**
Şekil 6.30 : Alkaliye direnç testi geçirmemiş matris (sol) Alkaliye direnç testi geçirmiş matris (sağ). **161**
Şekil 6.31 : Eğilme deneyinde dayanım optimizasyonu **163**
Şekil 6.32 : Eksenel çekme deneyinde dayanım optimizasyonu **164**
Şekil 6.33 : Charpy çarpma deneyinde dayanım optimizasyonu **164**
Şekil 7.1 : Dairesel ve dikdörtgen kalıcı kalıplar **166**
Şekil 7.2 : Geleneksel ve kalıcı kalıplar **167**
Şekil 7.3 : Kalıcı kalıplı kolon elemanlar. **167**
Şekil 7.4 : TRCC plaka ile güçlendirilmiş tuğla duvar. **169**
Şekil 7.5 : Tuğla duvar kayma deneyi. **170**
Şekil 7.6 : Tuğla duvar kayma deneyinde göçme durumu **170**
Şekil A.1 : TRCC numune üretimi **188**
Şekil B.1 : SEM cihazı **189**
Şekil D.1 : PPR Makinesi **192**
Şekil E.1 : Sıcak suda bekletilen AR Glass kompozit numuneler **193**
Şekil E.2 : Sıcak suda bekletilen Bazalt kompozit numuneler **193**
Şekil E.3 : Sıcak suda bekletilen PVA kompozit numuneler **193**
Şekil F.1 : AR Glass 4L serisine ait eksenel çekme numunesi. **194**
Şekil F.2 : AR Glass 6L serisine ait eksenel çekme numunesi. **194**
Şekil F.3 : AR Glass 8L serisine ait eksenel çekme numunesi. **194**
Şekil F.4 : Bazalt 4L serisine ait eksenel çekme numunesi. **195**
Şekil F.5 : Bazalt 6L serisine ait eksenel çekme numunesi. **195**
Şekil F.6 : Bazalt 8L serisine ait eksenel çekme numunesi. **195**
Şekil F.7 : PVA 4L serisine ait eksenel çekme numunesi. **196**
Şekil F.8 : PVA 6L serisine ait eksenel çekme numunesi. **196**
Şekil F.9 : PVA 8L serisine ait eksenel çekme numunesi. **196**
Şekil F.10: AR Glass ALK 4L serisine ait eksenel çekme numunesi. **197**
Şekil F.11: AR Glass ALK 6L serisine ait eksenel çekme numunesi. **197**
Şekil F.12: AR Glass ALK 8L serisine ait eksenel çekme numunesi. **197**
Şekil F.13: Bazalt ALK 4L serisine ait eksenel çekme numunesi. **198**
Şekil F.14: Bazalt ALK 6L serisine ait eksenel çekme numunesi. **198**
Şekil F.15: Bazalt ALK 8L serisine ait eksenel çekme numunesi. **198**
Şekil F.16: PVA ALK 4L serisine ait eksenel çekme numunesi. **199**
Şekil F.17: PVA ALK 6L serisine ait eksenel çekme numunesi. **199**
Şekil F.18: PVA ALK 8L serisine ait eksenel çekme numunesi. **199**

DAYANIM VE DAYANIKLILIK AÇISINDAN YÜKSEK PERFORMANSLI ÇİMENTO ESASLI TABAKALI KOMPOZİTLERİN GELİŞTİRİLMESİ

ÖZET

Günümüzde mevcut yapı elemanları modern tekniklerle üretilen malzemelerle onarılıp aynı zamanda güçlendirilmektedir. Gelişmekte olan yeni malzemeler ile yığma yapılar, kolonlar, kirişler ve diğer yapı elemanları onarılıp güçlendirilir. Yapısal elemanların çekme ve eğilme performanslarını geliştirmesi bakımından geliştirilen bu malzemeler lif donatılı polimerler veya lif donatılı çimento esaslı kompozitlerdir. Çimento esaslı üretilen bu kompozitler, uzun süreli dürabilite, yangın ve ultraviyole etkilerine karşı direnç göstermeleri bakımından üstün özeliklidir. Ayrıca, tekstil donatılı çimento esaslı kompozitlerde üretim yöntemlerindeki esneklik, tekstil tipinin, geometrisinin ve oryantasyon açısının kontrol edilebilirliği bu kompozitleri diğer kompozitlere göre daha etkin kılmaktadır.

Kompozit malzemelerin geleneksel malzemeler karşısında üstün mekanik özellikler göstermesi son yıllarda kompozitlerin üretim yöntemleri üzerinde daha yoğun çalışmalar yapılmasına sebep olmuştur. Fakat bu malzemelerin üretim maliyetleri hala yüksektir ve problemler mevcuttur. Bir kompozit malzemenin üretiminde istenilen teknik özelikte takviye elemanı belirlemek ve matris malzemelerinin seçimi yanında üretim tekniği ve sertleştirme parametreleri de çok önemlidir.

Çeşitli üretim yöntemleri kompozit malzemelerin özelliklerini önemli derecede etkilemektedir. Bununla ilgili çoğu araştırmacı deneyler yapmış ve farklı üretim yöntemlarının hangisinin etkin olduğunu anlamaya çalışmıştır. Bu tez kapsamında tekstil donatılı çimento esaslı kompozitlerin üretimi için yeni bir yöntem önerilmiş ve kompozitlerin üretimi bu yöntem dahilinde tasarlanan yeni bir makine yardımıyla yapılmıştır. Yöntemin ismi PPR (Pull pour and roll) çek, dök ve sar yöntemidir. Mevcut yöntemlerin olumsuzluklarını ortadan kaldırarak daha pratik, hızlı daha uniform elemanlar üretmeyi sağlayan bu makine dünya çapında ilk defa üretilmiş ve bu tez kapsamında kullanılmıştır.

Literatürde kullanılmış farklı tipte tekstiller ile yeni tasarlanacak harç kullanılarak tekstil donatılı çimento esaslı kompozit üretimi amaçlanmıştır. Harç tasarımında öncelikle farklı polimerlerin dayanıma ve işlenebilirliğe katkısı incelenmiştir. Seçilen polimerle kompozitlerin üretimi yapılarak dayanım ve dayanıklılık açısından yüksek performanslı bir malzeme elde edilmek istenmiştir. Önerilen yeni makine ve teknik kullanılarak üretilecek kompozitlerin mekanik performansı araştırılmıştır.

Tez çalışması kapsamında AR Glass (Alkaliye dayanıklı cam), Bazalt ve PVA tekstiller ve polimer modifiyeli harç kullanılarak 4, 6 ve 8 kat tekstil içeren tabakalı kompozit elemanlar üretilmiştir. Üretilen bu elemanların mekanik özelliklerinin belirlenmesi için eksenel çekme, dört noktalı eğilme, Charpy çarpma ve yapışma (aderans) deneyleri yapılmıştır. Ayrıca dayanıklılık açısından yüksek performanslı olarak tasarlanan bu kompozitlerde alkaliye direnç testi ve ıslanma kuruma çevrimi

uygulanmıştır. Alkaliye direnç testi geçirmiş elemanlara eksenel çekme ve ıslanma kuruma çevrimleri geçirmiş elemanlara yapışma (aderans) deneyleri uygulanmıştır.

Bazalt tekstillerle üretilen numuneler en yüksek eğilme ve eksenel çekme performansına sahip olmuştur. Bazalt serilerinin alkaliye direnç etkisi geçirmiş numuneleri en yüksek dayanım kaybına uğramıştır. AR Glass serileri Bazalt serilerden daha düşük eğilme ve çekme dayanımına sahip olurken alkaliye direnç testi geçirmiş numuneleri daha az dayanım kaybına uğramıştır. PVA seriler eğilme ve eksenel çekme deneylerinde daha düşük dayanım gösterirken yaptıkları uzama ve sehimler çok daha büyüktür. Alkaliye direnç etkisi geçirmiş PVA serilerde önemli bir dayanım kaybı yaşanmamıştır. Charpy çarpma deneylerinde PVA seriler en yüksek performansı gösteren numuneler olmuştur. Islanma kuruma çevrimlerinde tekstil donatılı kompozit plakaların hiç biri önemli bir dayanım düşüşü yaşamamış, numunelerin kenarlarında kıvrılma (warping) gözlenmemiş şekil stabilitesi bozulmamıştır.

DEVELOPMENT OF HIGH PERFORMANCE CEMENTITIOUS LAMINATED COMPOSITES IN TERMS OF HIGH STRENGTH AND HIGH DURABILITY

SUMMARY

Nowadays existing structural elements are being repaired with the materials produced with modern techniques and strengthened at the same time. With these new developing materials, masonry structures, columns, beams and other building elements are repaired and reinforced. These materials developed for improving the tensile and bending performance of structural members are fiber reinforced polymers or fiber reinforced cement based composites. These cement-based composites are advantageous in terms of long-term durability, resistance to fire and ultraviolet effects. In addition, the flexibility in production methods in textile reinforced cement based composites, the controllability of textile type, geometry and orientation angle make these composites more effective than other composites.

The fact that composite materials exhibit superior mechanical properties over conventional materials has led to more intensive studies on the manufacturing methods of composites in recent years. However, the production costs of these materials are still high and there are problems. In addition to the selection of matrix materials and the reinforcing elements in the desired technical feature, selection of production technique and hardening parameters are very important to determine in the production of composite material.

Various production methods significantly influence the properties of composite materials. Most researchers have experimented this subject and tried to figure out which of these different methods of production is effective. In this thesis, a new method for the production of textile reinforced cement based composites has been proposed and the production of composites has been done with the help of a new machine designed within this method. PPR (Pull pour and roll) is the method of pulling, pouring and rolling. The process comprises pouring the matrix, pulling the textile and rolling the composite material. This machine has been produced for the first time in the world and used within the scope of this thesis which enables to produce more practical, faster and more uniform elements by removing the disadvantages of existing methods.

The processes for manufacturing the textile materials ensure that the reinforcing structures are in a predetermined location with reinforcing elements. They can be made from short fibers in the production of non-woven fabrics or from continuous filaments in woven and knitted fabrics. The form of the reinforcing structures may be either planar (two dimensional (2D)) or interspace (three dimensional (3D)). In the latter case, they are able to withstand not only one or two orientations in a plane but also in a volume, that is to say in the direction of the transition thickness of the reinforced structure. The three dimensional structures may take the shape of the final composite element. This causes the reduction of human power within the work force. Depending

on the direction of the load applied externally.Textile fabrics can be located in any direction at a certain load. Because the textile properties can be easily changed and adapted from isotropic to anisotropic, with the necessary amount of reinforcement elements present in the form of yarns in warp or weft direction or both.

Various matrix compositions for the production of TRCC materials are developed paying attention to requirements of workability, bond to textile reinforcement. In previous studies, ready mixed concrete mortars were used as matrix material in the production of textile reinforced cement composites. In addition, new matrices were designed and tested in the laboratory. Some of these matrices are polymer modified fine grained concretes. However, data concerning the mixing design and physical or mechanical properties of polymer matrices are limited. Comparative tests on fine-grained concrete used as matrix in textile reinforced cement composites are insufficient. Polymer modified mortar and concrete show a noticeable increase in tensile and flexural strength and show no improvement in compressive strength compared to ordinary cement mortar and concrete. Polymer modification increases the flexural strength of fine grained concrete relative to film forming properties. Due to the small diameter of the dispersed particles, the polymeric dispersions can penetrate the spaces between the filaments prior to the adjustment of the concrete. Bonding of fine grained concrete and textile reinforcement is positively affected by polymers. These matrices also offer high chemical resistance. Also polymer modified fine grained concretes provide good workability compared to conventional mortar and concrete. These properties are reflected to reduce water absorption and water permeability. As a result, polymer modified fine grained concretes have lower water permeability compared to ordinary mortar and concrete. Polymer modification provides excellent impact resistance to polymeric fine grained concretes when compared to other mortars and concretes. Because of its superior properties it is very important to use polymeric fine-grained concretes as matrix material in TRCC.

In the scope of the thesis, textile reinforced cementitious composite (TRCC) elements containing 4, 6 and 8 layers of textile were produced by using AR Glass (Alkali Resistant Glass), Bazalt and PVA textiles and polymer modified mortar. AR Glass and basalt samples degradate in alkaline environments. PVA is known as inert material in alkaline environments. In the use of Ar Glass and basalt textiles in cementitious environment some precautions should be taken in mortar design. For example, supplementary cementitious materials like fly ash, blast furnace slag or silica fume should be added to the mixture. Mortars were prepared with such supplementary materials and polymer modifiers within this aim. In mortar design, firstly the contribution of different polymers to strength and workability has been investigated. The direct tension, four point bending, impact and pull off tests were performed to determine mechanical properties of the produced elements. In addition, within these composites which are designed as high performance in terms of durability, alkaline test was applied and direct tension tests was repeated; wetting and drying cycles are done and pull of tests are performed afterwards.

The samples produced with basalt textiles had the highest bending and direct tension performance. Basalt series which were subjected to alkaline resistance test were affected and showed highest strength lost among other series. The AR Glass series have lower bending and tensile strength than basalt series and the samples that have undergone the alkaline resistance test have suffered less strength loss. While the PVA series show lower strength in bending and axial tensile tests, their elongation and deformation are much larger. There was no significant loss of strength in PVA series

affected by alkaline resistance. In the Charpy impact tests PVA series showed highest performance. In wet curing cycles, none of the textured reinforced composite plates have experienced a significant reduction in strength and warpage of the edges of the specimens was not undetected.

1. GİRİŞ

Birbirlerinin zayıf yönlerini düzelterek üstün özellikler elde etmek amacıyla bir araya getirilmiş farklı tür malzemelerden veya fazlardan oluşan malzeme sistemine kompozit malzeme denir. Cam elyaflı polyester levhalar, çelik donatılı beton elemanlar, seramik metal karışımı sermetler bunlara örnektir. Kompozitler çok fazlı malzemeler olarak tanımlanırlar. Yapılarında sürekli bir ana faz (matris fazı) ile onun içinde dağılmış sürekli ya da süreksiz pekiştirici bir donatı fazı bulunur. Kompozit malzemeler donatılı veya pekiştirilmiş türüne göre üç gruba ayrılır:

1. Taneli kompozitler
2. Lifli kompozitler
3. Tabakalı kompozitler

Lifli ve tabakalı kompozitlerin sağladığı mekanik özelliklerdeki artış, taneli kompozitlere göre daha yüksektir. Bu tezin konusunu da oluşturan tabakalı kompozitler en eski ve en yaygın kullanım alanına sahip olan kompozit tipidir. Farklı donatı yönlenmelerine sahip tabakaların birleşimi ile çok yüksek mukavemet değerleri elde edilebilir. Sürekli donatıya sahip tabakalı kompozitler uygulamada yaygın kullanıma sahiptirler. Bu kompozitler uçak yapılarında, kanat ve kuyruk grubunda yüzey kaplama malzemesi olarak çok yaygın kullanıma sahiptirler.

Tabakalı kompozitlerin matris fazı çimento harcı veya epoksi olabilirken donatı fazı çift yönlü tekstil malzemelerdir. Matris fazı çimento harcından oluşan kompozitlerde harç malzemesinin çekme dayanımının düşük olması tekstil malzemelerin kullanımıyla mekanik özelliklerde iyileşme sağlayacaktır. Bunlar eksenel çekme ve eğilme dayanımı ile enerji yutma kapasitesi olabilir. Üretilecek tekstil donatılı çimento esaslı kompozitler yapılarda onarım ve güçlendirme malzemesi olarak kullanılabilir. Aynı zamanda bu kompozitler kalıcı kalıp sistemi ve altyapı borusu üretiminde de kullanılabileceği için dayanım ve dayanıklılık açısından yüksek performanslı olmaları çok büyük önem taşımaktadır.

Bu tez kapsamında kalıcı kalıp sistemi, duvar güçlendirme malzemesi ve alt yapı boruları olarak kullanılacak kompozitlerin üretimi için yeni bir üretim metodu geliştirilmiştir. PPR (Pull pour roll) adı verilen bu yöntemle daha dayanıklı ve pratik bir şekilde kompozit üretebilmek mümkündür. Bu sebeple etkili ve etkin bir imalat tekniğidir. Çünkü kompozitlerden beklenen özelliklerden biri kompozitin kolay üretilmesi ve dayanıklı olmasıdır. Farklı form ve ebatlarda numune üretimine imkan verdiği için bu üretim tekniği geliştirilmiş ve üretim tekniğine uygun makine tasarlanmıştır.

1.1 Tezin Amacı

Bu araştırmanın başlıca amaçlarından biri, çimento esaslı kompozit üretiminde kullanılacak, mevcut yöntemlerin olumsuzluklarını en aza indirecek yeni bir üretim yöntemi önermektir. Aynı zamanda bu üretim yöntemine uygun makinenin geliştirilmesidir.

Çalışmanın bir diğer amacı önerilen PPR (Pull pour roll – çek dök ve sar) yöntemiyle ve literatürde sıklıkla kullanılan tekstil malzmelerle uyumlu çalışacak harç malzemesinin tasarımıdır. Yüksek performanslı tabakalı kompozit elde edebilmek için harcın ve tekstilin de bu özelliklere sahip olması gerekmektedir. Elde edilen harç ve tekstil numunelerle birlikte üretilecek tabakalı kompozitlerin optimum özelliklere sahip olmasının yanında dayanım ve dayanıklılık açısından yüksek performanslı olması hedeflenmiştir. Tasarım aşamasında kompozitten beklenen özelliklere yönelik malzeme seçimi yapılarak gelecekte karşılaşılabilecek sorunların en aza indirilmesi amaçlanmıştır. Böylece PPR yönteminden en yüksek fayda sağlanmış olacaktır.

1.2 Tezin Kapsamı

Tez kapsamında üretilecek çimento esaslı tabakalı kompozitlerin üretiminde kullanılacak harç, kompozitin dayanım ve dayanıklılığını belirlemede çok önemli bir rol oynar. Kompozit üretimlerinde kullanılacak harcın tasarımı bu tezin kapsamındadır. Harçtan beklenen özellikler dayanım ve dayanıklılık açısından yüksek performanslı bir harç olmasıdır. Bu sebeple dayanım açısından yüksek eğilme, çekme ve yapışma dayanımına sahip, çevresel etkilere dayanıklı bir harç tasarlanması hedeflenmiştir. Bu açıdan çalışmada polimer katkı ve mineral katkı kullanımı önem

kazanmıştır. Polimer katkılar harçların eğilme ve yapışma dayanımlarına, mineral katkılar da çevresel etkilere dayanıklı bir harç üretmede çok önemli katkı sağlar. Yüksek performanslı olarak üretilecek harcın aynı zamanda tasarlanan makinede üretim için istenen işlenebilirlik özelliklerini sağlaması beklenmektedir. Bu sebeple farklı oranlarda ve farklı kökenli polimer katkılar bu çalışma kapsamında kullanılacaktır. Bu kompozitleri üretirken kullanılacak çift yönlü tekstil malzemelerin de beklenen özellikleri sağlaması gereklidir. Üretilen harç ve temin edilen tekstil malzemeler kullanılarak tekstil donatılı tabakalı kompozitler elde edilecektir.

Üretilen tekstil donatılı çimento esaslı kompozitlerde bir çok mekanik deney ve dürabilite deneyleri yapılmıştır. Mekanik deneyler kapsamında eksenel çekme deneyi, dört noktalı eğilme deneyi, charpy çarpma deneyi, yapışma (aderans) deneyi ile dürabilite deneyleri kapsamında alkaliye direnç testi ve ıslanma kuruma çevrimi yapılmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1 Giriş

İnşaat mühendisliğinde yapısal uygulamalarda kullanılan en önemli kompozit malzeme betonarmedir. Betonun yüksek basınç dayanımı ile çelik donatının yüksek çekme dayanımı bir araya gelerek yapı endüstrisindeki uygulamaların yük taşıma kapasitesini arttırır. Yeni bir kompozit malzeme olan tekstil donatılı çimento esaslı kompozitler araştırmacılar tarafından önerilmiştir [1]. Bu kompozitlerin bünyesinde çok eksenli yük taşımaya elverişli tekstiller ve çok ince taneli beton bulunur. Bu çok ince taneli betonun ve tekstillerin bir araya gelmesiyle oluşan kompozitler ince yapısal elemanlar üretmeye elverişlidir. Çünkü yapısında bulunan malzemeler basınç ve eğilme mukavemeti açısından güçlü malzemelerdir. Tekstil donatılı çimento esaslı kompozitlerin yapısında kullanılan teknik tekstiller genellikle AR Glass olup bunun yanında karbon, aramid, bazalt, PBO gibi malzemeler de kullanılmaktadır. Bu tekstiller sürekli lif yapısında olduğu için kompozit bünyesine rastgele dağılan kırpık liflere göre etkinliği daha yüksektir. Kırpık liflerlerle üretilen çimento esaslı kompozitler olan GRC (Glass Reinforced Concrete) ya da FRC (Fiber reinforced concrete) elemanlara oranla sürekli tekstil içeren elemanlar daha yüksek performans gösterir.

Başlangıç olarak tekstil donatılı çimento esaslı kompozitlere daha önceki çalışmalarda verilen isimlerden ve terminolojiden genişçe bahsedilmelidir. Bunlar;

- Brameshuber yaptığı çalışmalarda bu kompozitleri Textile Reinforced Concrete (Tekstil donatılı beton) (TRC) olarak
- Barzin Mobasher Textile Reinforced Cement Composites (Tekstil donatılı çimentolu kompozit) ile
- Cohen Fabric-Cement Composites (Fabrik-çimentolu kompozit) ile
- Dai Textile Reinforced Engineered Cementitious Composites (TR-ECC) ile
- Triantafillou Textile Reinforced Mortar (TRM) (Tekstil donatılı harç) ile

- D’Ambrisi Fiber reinforced cementitious mortar (FRCM) ile isimlendirmiştir.

2000’li yılların başında tekstil donatılı kompozitler uygulamada FRP (Fiber reinforced polymer) fiber donatılı polimer olarak yığma ve betonarme yapıların onarımında ve sismik güçlendirmesinde kullanılmıştır. Bu kompozitlerin yapısındaki matris fazı polimer kökenli epoksi malzemelerdir. Başlangıçta Avrupa’da tekstil lifli kompozitler Textile Reinforced Concrete (TRC) veya Textile Reinforced Mortar (TRM) olarak isimlendirilmiştir. Matris içeriğini oluşturan malzeme ince taneli agregalar içerdiğinden beton olarak sınıflandırılamayacağı aşikardır. Amerika’da günümüzde bu malzemeler Fabric Reinforced Cementitious Matrix (FRCM) olarak isimlendirilmektedir.

Bu tez kapsamında yeni bir üretim yöntemi kullanıldığından ve oluşturulan yeni malzemeler daha önce literatürde bulunmayan şekilde yapısal eleman olarak kullanılacağından kompozitlere farklı bir isimlendirme yapılması uygun görülmüştür. Tez kapsamında üretilen tekstil donatılı çimento esaslı kompozitler (Textile Reinforced Cementitious Composites) TRCC olarak isimlendirilmiştir. TRCC yapısal elemanlar genellikle kalıcı kalıplar, cephe kaplamaları, tanklar, yer altı boruları ve konteynerler gibi yükleme koşullarına ve dış ortamlara maruz kalan yapılarda kullanılmaktadır. Ayrıca yapıların onarımı ve güçlendirmesinde de çok etkili ve verimli bir malzemedir.

Tekstil donatılı çimento esaslı kompozitlerin bir çok alanda kullanımı mümkündür ve kullanım alanları genişleyerek artmaktadır [2]. Tekstil donatılı çimento esaslı malzemelerin bileşenleri olan tekstil ve ince taneli beton fazlarını tanımadan önce bu alanda sıklıkla kullanılan teknik terimler hakkında bilgi verilmelidir.

1. Tekstil malzemeler: Doğal veya doğal olmayan liften yapılmış ipliklerden örme veya dokuma yoluyla elde edilen son ürün veya malzemedir
2. İplik: Tekstil liflerinden oluşan sürekli bir iplik için genel terimdir
3. Strand (iplik teli): Tek bir lif, filament veya monofilament
4. Lif (fiber): Bir ipliğe bükülebilen ya da bir tekstil haline getirilebilen birimler,boyu çapının ya da genişliğinin 50 ile 100 katıdır
5. Filament: Belirsiz veya aşırı uzunlukta olan doğal veya yapay lif
6. Tex: 1 kilometre textilin gramajı

7. Kaplama: Lifleri bir arada tutabilmek için tekstil yüzeyine uygulanan eritilebilir ve yapışan plastik bileşen

8. Sizing: Lif veya filamentleri birbirine yapıştıran dokuma sırasında aşınmalarını engellemek için sertleştiren nişastalı tutkala benzer sıvı

9. Warp : Dokuma kumaşlarda örgü yönüne paralel iplikler, çözgü

10. Weft : Dokuma kumaşlarda örgü yönündeki iplikler, atkı

11. Örme&Dokuma: Benzer veya iki ve daha fazla ipliği birbirine geçirme yöntemi ve bu yöntem sayesinde tekstil veya kumaş elde etme

12. Plain örgü : Düz örgüdür. Şekil 2.1'de gösterilmiştir

13. Twill örgü: Kabartmalı örgüdür. Şekil 2.1'de gösterilmiştir

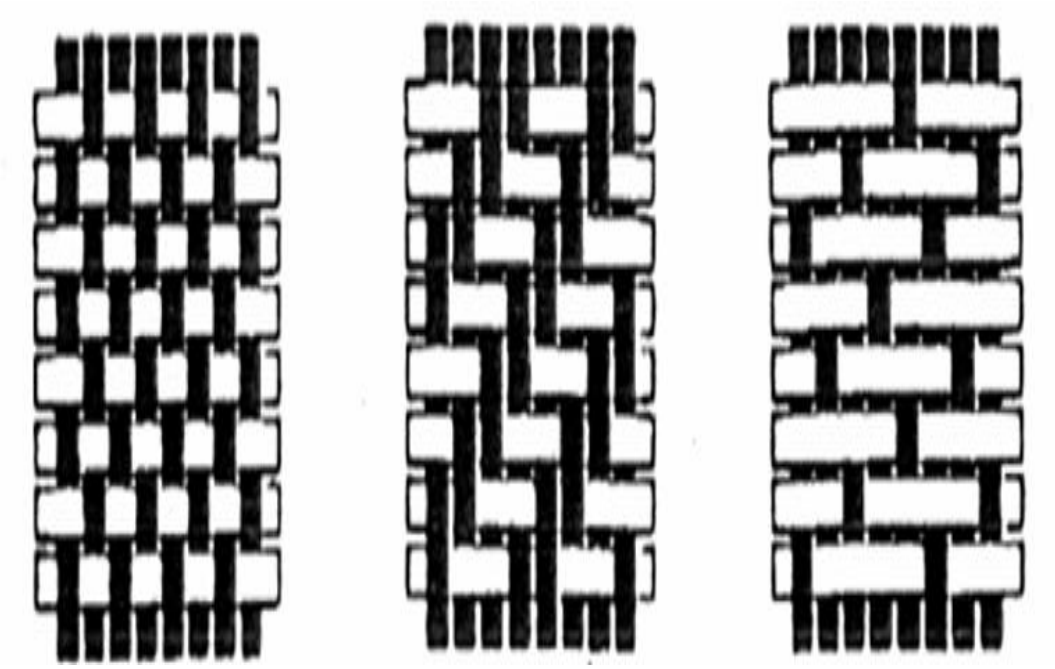
14. Leno örgü: Çapraz örgü, leno örgüyle dokumaya sağlamlık ve mukavemet kazandırılarak kayma önlenir. Şekil 2.2'de gösterilmiştir

15. Satin Örgü: Saten örgüdür. Şekil 2.1'de gösterilmiştir

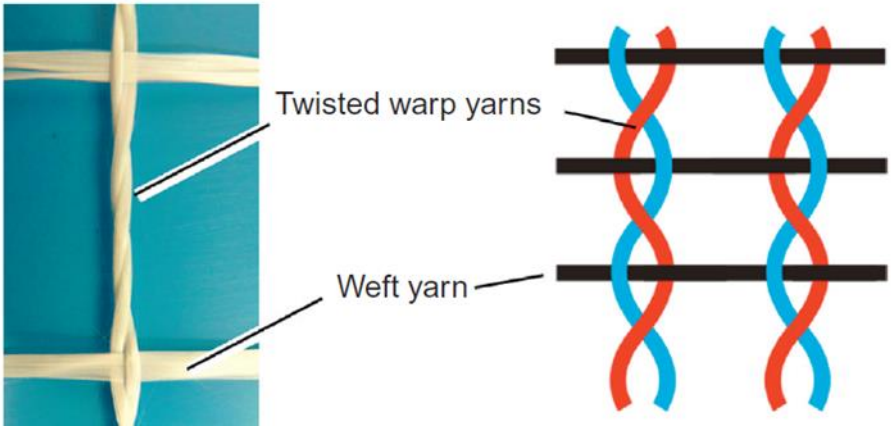
16. 3 boyutlu tekstil: 3 yönlü iplikler içeren tekstildir.

17. Matris: Maksimum dane boyutu genellikle 2mm ve daha küçük olan mineral esaslı taşıyıcı özelliği olan harç veya ince taneli beton malzemelerdir [3].

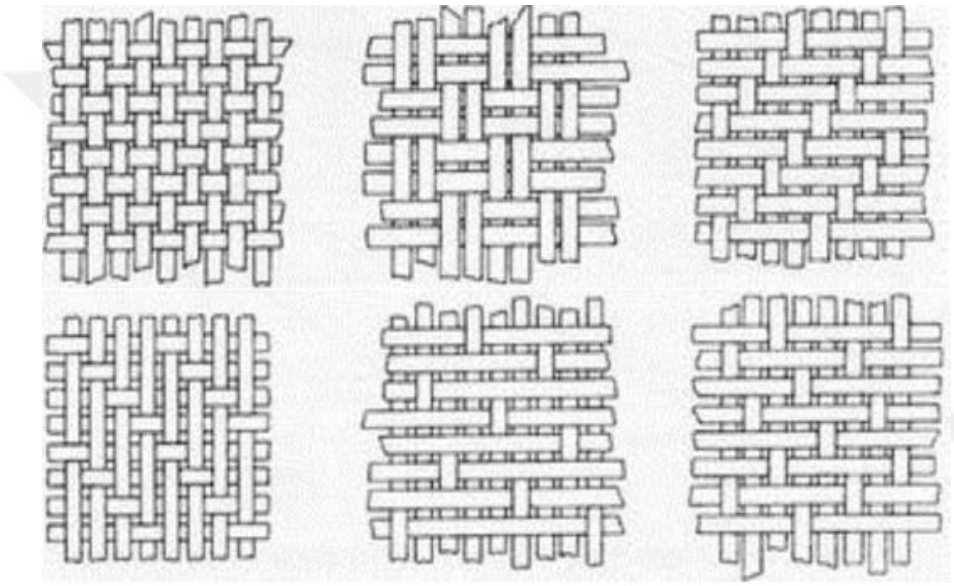
Farklı tekstil örgü türlerine örnekler Şekil 2.3'te gösterilmiştir.



Şekil 2.1 : Düz (plain), kabartmalı (twill) ve saten (satin) örgü [1].



Şekil 2.2 : Çapraz örgü ve şematik diyagramı [4].



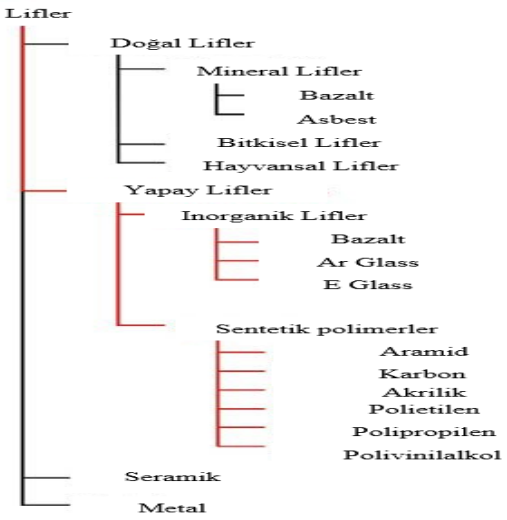
Şekil 2.3 : Farklı tekstil örgü türlerine örnekler [3].

2.1.1 Tekstil malzemeler

Tekstil yapımında kullanılan liflerin özellikleri, miktarı ve yönlenmesi tekstil donatılı çimento esaslı kompozitlerin özellikleri üzerinde çok önemli etkiye sahiptir. Bu nedenle tekstili oluşturan lif malzemesi çeşitli özellikleri karşılamalıdır. Anlamlı bir kompozit elde edilebilmesi için kompoziti oluşturan tekstilin mukavemeti, kopma uzaması ve elastisite modülü matris malzemesinden yüksek olmalıdır. Aksi takdirde yük altında oluşan çatlaklar kompozit elemanın rijitliğini önemli ölçüde azaltacaktır [5].

Kompozit elemanda takviye malzemesi olarak kullanılan tekstilden beklenen kendine özgü çekme dayanımı, elastisite modülü , kopma uzaması vb özelliklerini dış etkiler altında da servis ömrü boyunca korumasıdır. Ayrıca kompozittten beklenen tekstil ve

matris arasında devamlı ve yüksek miktarda aderans ile birlikte düşük maliyet ve kolay üretilebilirliktir. Tekstili oluşturan liflerin sınıflandırılmasına ait çizelge Şekil 2.4 te gösterilmiştir.



Şekil 2.4 : Liflerin sınıflandırılması [1].

AR Glass filament iplikler özellikle çimento esaslı malzemelerde donatı olarak kullanılması için tasarlanmıştır. Betonun alkali ortamı lif üzerinde bozunma etkisine sebep olmaktadır bu sebeple AR Glass ağırlıkça %15 ve daha fazla ZrO_2 içerir. Başlanıgıçta sanayide E Glass üretilmiştir ancak alkali ortama dayanıksız olduğu ve kimyasal olarak bozunmaya uğradığı anlaşılmıştır. Daha sonra cam üreticisi olan bir firma %16 ZrO_2 içeren AR Glass üretmiştir [6]. Yapılan çalışmalar sonucunda tekstile sizing uygulaması yapılmaya başlanmıştır. Bu uygulama AR Glass tekstil ve matris malzemesi arasında aderansın iyileşmesini sağlamıştır [7]. AR Glass tekstilin maksimum çekme dayanımı yaklaşık 1400 MPa olup elastik uzama oranı %2 dir. Elastisite modülü ise 70 ile 80 kN/mm^2 dir. AR Glass tekstilin özgül ağırlığı 2.8 kg/dm^3 tür [6]. Matris harcıyla aderansı iyi olan AR Glass tekstiller iyi fiyat/performans oranı sağlar. Tekstilin üretildiği iplikleri oluşturan lifler AR Glass, Karbon, Aramid olabileceği gibi bazı polimer yapıda malzemelerden de oluşabilir. Bu polimerik malzemeler polipropilen, polivinil alkol, polietilen olabilmektedir. Bunun yanında bazalt ve metal malzemeler de tekstil yapımında kullanılabilmektedir.

Kompozit malzemede oluşan yükler matris malzemesinden, arayüzdeki aderans ve sürtünme sayesinde tekstillere, tekstil malzemelerden de filamentlere aktarılır. Tekstil liflerinin mekanik özellikleri belirlenerek daha iyi performansta tekstil malzemelerin

üretimi sağlanabilir. Ayrıca kompozitlerden elde edilecek performans hakkında da fikir sahibi olunur. İpliğin çekme mukavemeti ile tekstil mukavemeti birbirinden farklı olabileceği gibi kompozit içinde bulunan tekstilin davranışı da matrisle tekstil arasındaki aderans da göz önüne alındığında birbirinden farklı olabilecektir. İplik testlerinin sonuçları ve kompozit malzeme üzerinde yapılan testler filamentlerin arasındaki bağ özelliklerine bağlıdır [8].

2.1.2 Matris malzemesi

Tekstil donatılı çimento esaslı kompozitlerin yapımında kullanılan matrisler; üretim süreçlerinin isteklerini karşılayarak kompozite mekanik dayanım kazandırır ve bunun yanında tekstil donatının dürabilite etkilerine karşı dayanıklılığını sağlar. Genellikle içerisinde en büyük tane boyutu (≤ 2 mm) olan agrega kullanılır ve böylece bu matris malzemesi harç olarak da adlandırılabilir [5]. Hem beton hem de harç çimento bazlı ürünlerdir. Harçta kullanılan agrega sadece kum (≤4mm) olurken, betonda kullanılan agregalar ise hem kum hem de iri agregalar içerir. Öte yandan bu matrislerin bir çok açıdan yüksek performans sunan özellikleri vardır. TRCC ürünlerde kullanılan matris materyalleri aynı zamanda ince taneli beton olarak da adlandırılır (fine grained concrete). Çimento esaslı malzemeler (beton,harç v.b) mukavemeti iyi olan taşıyıcı malzemeler olarak bilinir. Aynı zamanda maruz kaldığı çevre koşullarına karşı inert bir madde değildir. Kimyasal ve fiziksel etkilerle zamanla dayanım ve dayanıklılığını kaybettiği fark edilmiştir.

Çimento harçları endüstride bir çok alanda kullanılmaktadır örneğin beton ve derz dolgusu olarak veya onarım ve tamir işlerinde kullanılır. Bu nedenle yapışma, basınç ve çekme mukavemeti performansı oldukça önem kazanır. Modifiye edilmemiş çimento harcının düşük çekme dayanımı, yetersiz yapışma özelliği, düşük kimyasal direnci ve yüksek miktarda rötre yapması gibi dezavantajları vardır.

Genel olarak matris malzemesinin kompozisyonu belirlenen özel gereksinimleri karşılamak için tasarlanmış olması gerekir. Tekstil donatı ile kimyasal bir reaksiyon vermeme, tekstil ipliklerine tam penetrasyon için uygun işlenebilirlik, üretim sürecine uygunluk ve nihayetinde tekstil donatılı çimento esaslı kompozitlerin yük taşıma kapasitesini belirlemek için yeterli mekanik dayanım matris malzemesinden beklenen özelliklerdir [9]. Matris malzemesi mineral katkı içeren matrisler, polimer modifiyeli

matrisler ve alternatif (kalsiyum alıminatlı çimentolu veya kırpık lifli) matrisler olarak sınıflandırılabilir.

Çimento esaslı malzemelerin dayanım ve dayanıklılık özelliklerini geliştirmek için polimer katkıların kullanımı tüm dünyada ilgi uyandırmıştır. Yüksek dayanım ve dayanıklılık özelliklerine sahip polimerler, 1900'lerin başlarından beri Portland çimentosuna katkı olarak ya da eksenel beton ve harca karıştırılarak kullanılmaktadır. Antik çağlarda doğal formda kullanılan çimento böylece sentetik bir hal almıştır. Polimerlerin harç veya betonda kullanılması başta pahalı gibi gelmektedir ancak yapı malzemesinin ömrünü uzatan bir etkisi olduğundan ve onarım maliyetlerini de ortadan kaldırdığından uzun vadede daha uygun ve ucuz olacaktır.

Bu tez kapsamında polimer modifiyeli aynı zamanda mineral katkılı bir matris modifikasyonu yapılmıştır.

2.1.3 Polimer modifiyeli matris

Polimer modifiyeli harçlar geleneksel çimento harcının bünyesine polimer katkı eklenerek değiştirilmesi ile hazırlanmış kompozit bir malzemedir. Bu polimer katkıların sınıflandırması şöyledir;

1. Polimer lateksler veya dispersiyonlar
2. Yeniden dağılabilir polimer tozları
3. Suda çözünür polimerler
4. Sıvı reçineler

Polimer katkılar harç veya betonun bazı özelliklerini olumlu yönde etkiler. Bunlar; su ihtiyacının azalması, birim ağırlığın azalması, işlenebilirlikte artış, eğilme dayanımında artış, kuruma rötresinde azalma, yapışma dayanımında artma, dayanıklılıkta artış [10].

Çimento esaslı tamir ve derz harçlarında daha çok yeniden dağılabilir polimer tozları ile lateks polimerler tercih edilmektedir. Sıklıkla kullanılan polimer katkıları; polivinilalkol (PVA), stren butadien kauçuk (SBR), stiren-akrilik esteri (SAE), etilen vinil asetat (EVA) ve metil-selüloz (MC) olarak sıralanabilir [11-14].

Her kimyasal katkı kullanımında olduğu gibi polimer katkıların da aşırı oranda kullanımı taze ve sertleşmiş harç özelliklerini olumsuz etkilemektedir. Bu yüzden polimerlerin kullanım oranları için sınırlamalar getirilmiştir [13].

Bazı polimer katkılar yüksek oranda kullanılmaları durumunda hava sürükleme potansiyeline sahiptir [14]. Bir dereceye kadar işlenebilirlik ve dürabilite (donma-çözülme) etkilerine karşı olumlu olan bu durum %5 in üzerindeki hava sürükleme oranlarında dayanıma olumsuz etki yapmaktadır. Hava sürükleme etkisi köpük kesici (anti-foamer) katkılarla azaltılabilir ve gerekli sınırların altına düşürülebilir. Ayrıca, polimer katkının ilavesi hidrate olmamış çimentolar etrafında oluşan film tabakası nedeniyle hidratasyon hızını yavaşlatır. Bu da priz sürelerini önemli ölçüde geciktirir [15].

Polimer katkıların literatürde genel olarak işlenebilirliği kolaylaştırdığı bildirilmiştir [16]. İşlenebilirlik artışı polimer katkıların yarattığı hava sürükleme etkisi ve polimer taneciklerinin yuvarlak taneli yapısından ötürü kaydırıcı etkisine bağlanmaktadır. Bu özelliklerin taze harcın reoljik özelliklerine etkisi polimer katkının türüne ve polimer/çimento oranına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir [17]

Polimer katkılı harçların basınç dayanımı genellikle etkilenmemekte veya bir miktar düşmektedir [15,18]. Bunun yanında eğilme ve çekme dayanımlarına polimer/çimento oranına bağlı olarak yükseldiği tespit edilmiştir [13,16,18,19]. Bu harçların performansının belirlenmesinde mekanik özelliklerinin yanında boyutsal stabilite açısından performansının da bilinmesi ve uygulanacağı yüzeyle uyumu da önemlidir. Boyutsal stabilite açısından uyum incelenirken 4 farklı parametre dikkate alınmalıdır. Bunlar kuruma büzülmesi, termal boy değişimi, sünme ve elastisite modülüdür. Kuruma büzülmesi miktarı polimer katkılı harcın uygulanacağı yüzeyle arasında uyum sağlanması için sıfıra yakın olmalıdır. Polimer katkılardan yararlanılarak kuruma büzülmesi sorun yaşanmadan azaltılabilir. Bu katkıların çimento harcında sağladıkları yüksek su tutma kapasitesi kuruma rötresine azaltıcı etki sağlarken, bunun yanında segregasyon, terleme ve plastik rötre gibi sorunları da azaltmakta etkilidir .

Polimer katkılı harçların dürabilite performansları da literatürde sıklıkla araştırma konusu olmuştur. Pek çok polimer tipleri, çimento harcı iç yapısında film oluşturarak geçirimsiz bir yapı oluşturmakta ve bu film yapısı dayanıklılık özelliklerini olumlu etkilemektedir. Özellikle sülfat, klor iyonu etkilerine polimer katkılı harçların direnci

pek çok araştırmada ortaya konmuştur [20]. Polimer katkılar harç bünyesinde meydana gelebilecek rötre çatlaklarını tıkayarak bu çatlaklardan zararlı maddelerin harç bünyesine girişini engellemektedir. Bazı polimer katkıların da dayanıklılığı olumsuz etkilediğini ortaya koyan çalışmalar mevcuttur [14,21].

Polimer katkılı harçlar için, kür haricinde mekanik özellikleri etkileyen parametreler klasik çimento harcına benzerdir. Polimer katkılı harçların su içindeki kürü uzun tutulmamalıdır. Polimer harçlarda dayanımın oluşması için polimer film oluşması gerekmektedir. Bunun için de polimerlerin çimento harcı içinde yavaş yavaş kuruması gerekir. Sürekli su içinde bekletilen harçlarda polimer film tabakası oluşamadığı için hedef mekanik dayanıma ulaşılması güçleşir. Ancak bunun yanında ilk günler ıslak kür sonrası havada bekletilen harçların dayanımları ıslak kür yapılanlar göre daha yüksek olmaktadır [22].

Yapılan bir çalışmada polimer katkı türü ve kür uygulamalarının değişmesinin nihai dayanım sonuçlarını değiştirdiği görülmüştür. Polimer/bağlayıcı oranı %5 ve %15 olan EVA (Etilen vinil asetat) içeren harçların 3 gün suda 25 gün oda sıcaklığında kür uygulanmasıyla en yüksek eğilme ve basınç dayanımları elde edilmiştir. Aynı oranlarda SBR (Stren butadien kauçuk) kullanılarak üretilen polimerler ise daha düşük eğilme ve basınç dayanımları göstermiştir [23].

2.1.4 Üretim yöntemleri

Kompozit malzemelerin geleneksel malzemeler karşısında üstün mekanik özellikler sergilemesi son yıllarda kompozitlerin üretim yöntemleri üzerinde daha yoğun çalışmalar yapılmasını sağlamıştır. Fakat bu malzemelerin üretim maliyetleri hala yüksektir ve problemleri mevcuttur. Bir kompozit malzemenin üretiminde istenilen teknik özelliklere göre takviye elemanı ve matris malzemelerinin seçilmesinin yanısıra üretim tekniği ve sertleştirme parametreleri de çok önemlidir .

Lif takviyeli tabakalı kompozit malzemelerin üretiminde değişik üretim teknikleri uygulanabilir. Üretilecek kompozit parçanın geometrik şekli (basit veya karmaşık şekilli), boyutu, reçine türü ve özellikleri, takviye elemanının şekli, malzemeden beklenen özellikler süreç seçiminde en önemli faktörlerdir [24].

Çimento esaslı veya polimer esaslı malzemeler farklı form, ebat ve özellikte kompozitler elde edilmesine olanak kılmaktadır. Üretim metodlarının seçiminde

kompozitin maliyetinin ucuz olması, kolay üretilebilmesi ve mekanik özelliklerinin en iyi olması hedeflenmektedir. Bu üretim metodlarından bazıları; spreyleme, basınçlı kalıp, el yatırması (casting), sentrifüjlü kalıplama, iplik sargılama, enjeksiyon, ekstrüzyon ve pultruzyon (pultrusion) metodlarıdır [25].

2.1.4.1 Spreyleme yöntemi

Elle yapılan bir üretim yöntemi olan spreyleme metodunda kırpık AR Glass lif içeren matris spreyleme makinesi kullanılarak bir kalıp içerisine püskürtülür. Lif dağılımı 2 boyutlu olarak gerçekleşirken yapımda tekstil de kullanıldığında kat be kat uygulama ile 3 boyutlu elemanlar elde edilir [26]. Spreyleme yöntemine ait görsel Şekil 2.5'te gösterilmiştir.



Şekil 2.5 : Spreyleme metodu [26].

2.1.4.2 El yatırması yöntemi

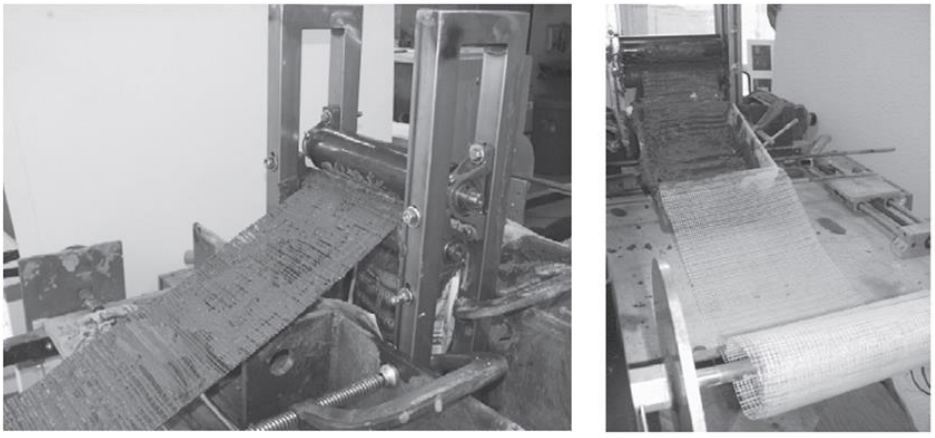
El yatırması yöntemi lif donatılı kompozit malzemelerin üretiminde en eski, en basit ve en yaygın üretim yöntemidir. Polyester ve epoksi gibi organik reçineler ve cam lifler ile kullanımı yaygın olup tekne gövdeleri, rüzgar türbini kanatları, uçak kanatları, tren burunları, yüzme havuzları üretilebilmektedir. Ancak buna rağmen çimento esaslı matrislerle kullanımı yaygın değildir. Bunun sebeplerinden biri takviye edici malzeme olan liflerin geleneseksel dökümle uyumlu olan tekstil şeklinde ve sürekli olmamasıdır. El yatırması yönteminde elde edilen sonuçlar spreyleme yöntemine benzerdir ancak lifler bir tekstil formunda uygulanmaz [9]. El yatırmasının bir uygulaması Şekil 2.6'da verilmiştir.



Şekil 2.6 : El yatırması yöntemiyle üretilen kompozit eleman [9].

2.1.4.3 Pultruzyon metodu

Çimento esaslı kompozit üretiminde çok etkili ve verimli bir yöntemdur. Yapılan deneysel çalışmalarda, içeriğinde %5 AR Glass olan çimento esaslı kompozitin çekme dayanımı 50 MPa kadar çıkmıştır [27,28]. Üretim sürecinde sürekli lif, iplikler veya kumaşın çimento hamuru ile dolu olan kaptan merdaneler yardımıyla çekilerek geçirilmesi ve yine merdaneler yardımıyla basınç uygulanarak çimento hamurunun kumaş boşluklarına iyice yedirilmesi sağlanarak kalıba çimento esaslı kumaş veya iplikler ile sarılmasından oluşmaktadır. Daha sonra üretilen numunelere dışarıdan hidrostatik basınç uygulanarak matrisin kumaş veya sürekli ipliklere iyice nüfuz etmesi sağlanır. Bu üretim metodları literatürde pultruzyon ve filament winding teknik olarak geçmektedir. Aşağıda pultruzyon yöntemiyle üretim Şekil 2.7'de gösterilmektedir.



Şekil 2.7 : Pultruzyon metodu ile lamina kompozit üretimi [30].

Kullanılan bu yöntemlerle tabakalı kompozitler üretilebilmekte ve ayrıca kompozitlerde istenilen doğrultuda lifler yerleştirilerek yükleme doğrultuları tayin edilebilmektedir [25].

Çok fazla parametre üretim sonucunda kompozitlerin dayanımını etkilemektedir. Bunlardan bazıları, üretim sırasında veya üretim bittikten sonra uygulanan basınç etkileri, matris formulasyonu, kumaş cinsi, kumaşların sarılma yönü ve kür şartları dır [25,29].

Araştırmacıların yaptıkları çalışmada kumaş donatılı çimento esaslı kompozitlerin şekillendirme işlemi bittikten sonra, kompozite uygulanan hidrostatik basıncın matris ve kumaş arasındaki penetrasyonu artırdığı gözlenmiştir [30]. Basınç etkisinin daha iyi anlaşılması için AR Glass kumaş ile üretilen çimento esaslı kompozite üretim sonrası 100, 450 ve 900 N luk kuvvetler uygulanarak davranışları incelenmiştir. Basınç seviyesi kompozitler üzerinde önemli etkiler bırakmaktadır. Eğer basınç seviyesi artarsa kompozitin çekme dayanımlarının %40 kadar artığı gözlenmiştir. Fakat süneklik en düşük basınç seviyesinde daha yüksek ortaya çıkmıştır [30].

Yapılan bu deneysel çalışmada pultruzyon ile kompozit üretim sürecinde başlangıçta ilk bir saat için 450 N bir basınç uygulanmış, daha sonra toplamda yirmidört saat boyunca 100 N luk bir basınç uygulanmıştır. 900 N luk basınçlarda, taze matrisin tekstil üzerine tutunamadığı görülmüştür.

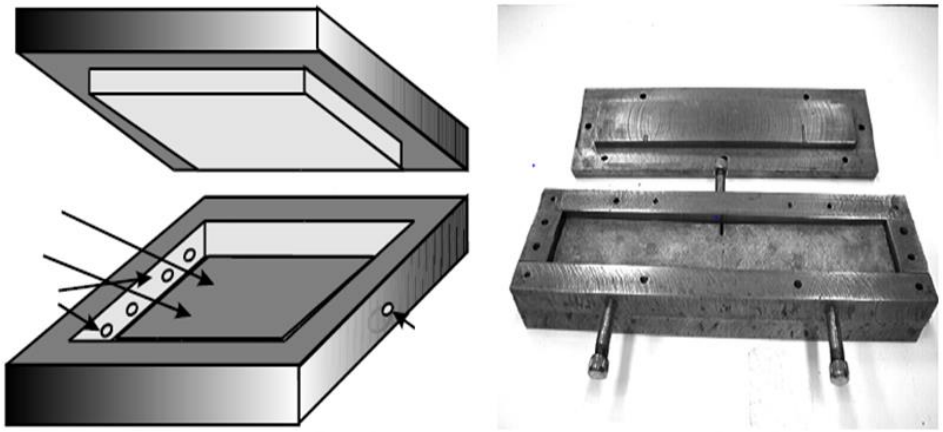
Bunların dışında uygulanacak basıncın süresi ile ilgili yapılan başka bir çalışmada E Glass camı ile üretilen kompozite yirmi saat ve bir saat düzeyinde basınç uygulanmıştır ve deney sonucunda şekildeğiştirmelerin uzun süreli basınç halinde düştüğü gözlenmiştir [30].

Kumaş donatılı çimento esaslı kompozitlerde çatlak açıklıklarınında basınca göre değişim olmaktadır. Çünkü aderans ne kadar çok artarsa, dayanım da aynı oranda artacağı için çatlak açıklıkları daha az olmaktadır [30]. Yapılan deneysel çalışmada bu etki açıkça görülmektedir.

2.1.4.4 Basınçlı kalıplama

Basınçlı kalıplama yönteminde prizmatik bir paslanmaz çelik kalıp kullanılır. Kalıbın en altına küçük göz açıklıklı mesh (ızgara) bir konulur. Bu mesh tekstil üzerine filtre kağıdı yerleştirilir. Burada amaç basınç altında matris harcından dışarı çıkacak suyun direnajıdır. Ağırlığı bilinen miktarda matris harcı kalıba konur ve hidrolik basınç uygulanır. Bu basınç miktarı örnekle 50x300 mm numuneye 1 MPa miktarındadır. Numunenin üzerinde bu basınç 2 saat kalır. Numune kalıptan 12 saat sonra çıkarılır ve

tartılır. Basınçlı kalıbın şematik gösterimi ve örnek bir kalıp Şekil 2.8'de gösterilmiştir.



Şekil 2.8 : Basınçlı kalıplama ile kompozit üretimi [30].

2.1.4.5 Modül proses teknolojisi

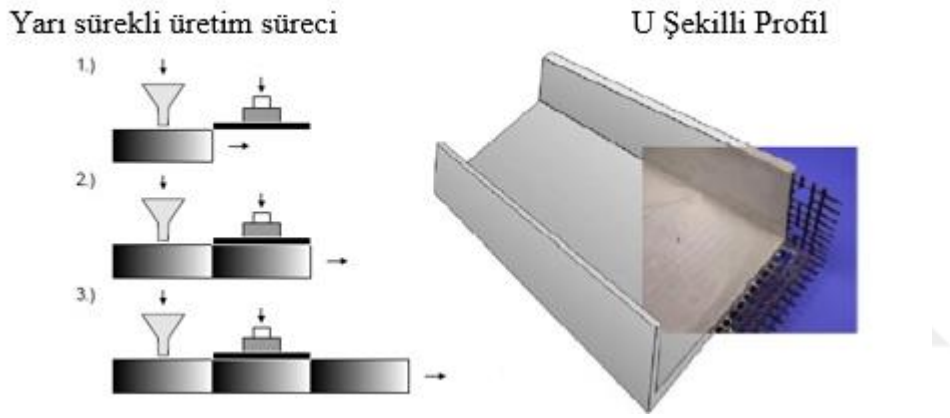
Bu teknik yassı ve düz tekstil donatılı elemanlar üretilmek için tasarlanmıştır. En önemli özelliği yatırım maliyetlerinin düşük olması ve düşük üretim alanına gereksinim duymasıdır. Bu üretim sahaları genellikle üretim bandından ve üretim bandını destekleyen bir çerçeveden oluşur. İstasyon, kalıp yerleştirilmesi, matris ekstrüzyonu, düzeltme ve kesme adımlarından oluşur. Sürekli bir üretim mevcuttur. Katman katman inşa edilerek düz ve yassı bir levha elde edilmektedir. Modül proses teknolojisine ait görsel Şekil 2.9'da verilmiştir.



Şekil 2.9 : Modül proses yöntemiyle levha üretimi [32].

2.1.4.6 Yarı sürekli üretim

Bu yöntemle U şeklinde tekstil donatılı çimento esaslı kompozitler üretilmiştir. İnce duvar levhaları olarak ya da keskin köşelerde kullanılabilecek elemanlar üretilmiştir. Üretilen elemanlar istenilen boyutta kesilerek amaca uygun bir şekilde kullanılmaktadır. Yüksek akıcılığa sahip matris kapalı kalıba enjekte edilir ve daha sonra fazla suyu yüksek basınçla dışarıya çıkarılır. Bu işlem fazla suyu dışarı çıkararak ilk dayanımların yükselmesi ve kalıptan alma sürelerinin kısalması için yapılır. Basınç uygulandıktan sonra kalıba ait profil kaydırılır ve işleme devam edilir. Böylece sonsuz uzunlukta U şeklinde profil elde edilebilir. Üretim yöntemine ve üretilen U şekilli profile ait görsel Şekil 2.10'da gösterilmiştir.



Şekil 2.10 : Yarı sürekli yöntemle U profil üretimi [33].

2.1.4.7 Ön germe çerçevesi

Bu yöntemle kompozit üretiminde kullanılacak tekstillere ön germe verilmiştir. Tekstillere iki yönlü ön germe vermek için dikdirtgen bir çerçeve üretilmiştir. Bu çerçeve rijit bir çelik malzemeden yapılmıştır ve üzerinde toplam 40 adet piston bulunmaktadır. Pistonlar maksimum 3.5 kN bir kuvvet uygulayarak 12 MPa basınca ulaşmaktadır. Çerçevenin ortasına tekstil donatılı plakaların betonlanabilmesi için bir kalıp yerleştirilmiştir. Üretilmek istenen kalınlığa bağlı olarak farklı tabakalarda betonlamaya elverişlidir. Matris harcı akıcı olursa sadece elle düzeltmek yeterli olabilir.

Eğer matris harcı daha az akıcı kıvamdaysa titreşim verilmesi gerekecektir. Betonlama işlemi tamamlandıktan 24 saat sonra ön germe kaldırılır ve levhalar kalıptan çıkarılır.

Üretim yöntemini açıklayan görsel Şekil 2.11'de gösterilmiştir.



Şekil 2.11 : Öngerme çerçevesi ile plaka üretimi [34,35].

2.2 TRCC Elemanların Mekanik Özellikleri

Donatısız çimento esaslı malzemelerin çekme gerilmelerine karşı zayıflığı ve ayrıca çekme şekil değişikliği düşük olduğundan, çekme gerilmesi taşıyan malzemelerle donatılması gerekir [36]. Bu ihtiyaç geleneksel olarak çelik çubuklarla yapılır. Çelik çubuklara alternatif olarak lifler çimento esaslı malzemelerde çekme gerilmelerini karşılaması için kullanılır. Böylece lif donatılı çimento esaslı kompozit malzemeler elde edilir. Lifler, gevrek olan çimento matrisinin sünekliğini artırırlar [25]. Genellikle çimento esaslı kompozitlerde lif oranı düşük tutularak ılımlı bir şekilde çekme veya eğilme dayanımları artırılır [25]. Ayrıca liflerin en önemli özellikleri, kompozitlerin tokluğunu artırmalarıdır [37]. Yani, donatısız betonun kırılma mekanizması ilk çatlağın oluşmasıyla tamamlanmaktadır. Beton içinde, gerek priz anında oluşan mikro çatlaklar gerekse içsel gerilmelerden oluşan çatlaklar, eleman çalışmaya ve yük almaya başladıktan sonra büyümeye başlayacaktır. Çatlak beton içinde ilerlerken liflerle karşılaştığında çatlağın ilerlemesini sağlayan enerji liflere aktarılacak ve lifler tarafından karşılanmaya başlayacak, lif bu enerjiyi karşılayamadığı anda ya kopacak ya da betondan sıyrılacaktır. Lif koptuktan ya da sıyrıldıktan sonra enerjisi tekrar betona aktarılacak, çatlak bir sonraki lifle karşılaşıncaya kadar ilerlemeye devam edecektir. Bu işlem yük arttıkça tekrarlanacak ve elemanda paralel çatlaklar oluşacaktır. Nihai kırılma gerçekleşinceye kadar oluşan paralel çatlaklar elemanın sünekleştiğinin göstergesidir. Normal beton ile lifli betonların yük deplasman eğrisine bakıldığında, ilk çatlak oluştuktan sonra normal betonun derhal kırıldığı, ancak lifli betonun yük almaya devam ettiği görülecektir. Bu bize liflerin çatlak kontrolünde önemli rol oynadığını göstermektedir. Lif takviyeli betonların numuneleri gösteriyor

ki; kırılma lif sıyrılması veya kopmasından dolayı olur. Böylece düz betonun aksine kırılma ilk çatlak başlangıcından hemen sonra olmaz [38]. Süreksiz lifler, genellikle yeterli basınç dayanımına oranla çekme, eğilme, çarpma dayanımları çok düşük düzeyde kalan veya zayıf yapılı, kırılgan malzemenin zayıf olan yönlerinin iyileştirilmesi, kırılganlığın giderilmesi, malzemenin sünekleştirilmesi gibi amaçlarla bu özellikleri iyileştirecek nitelikte liflerdir [39].

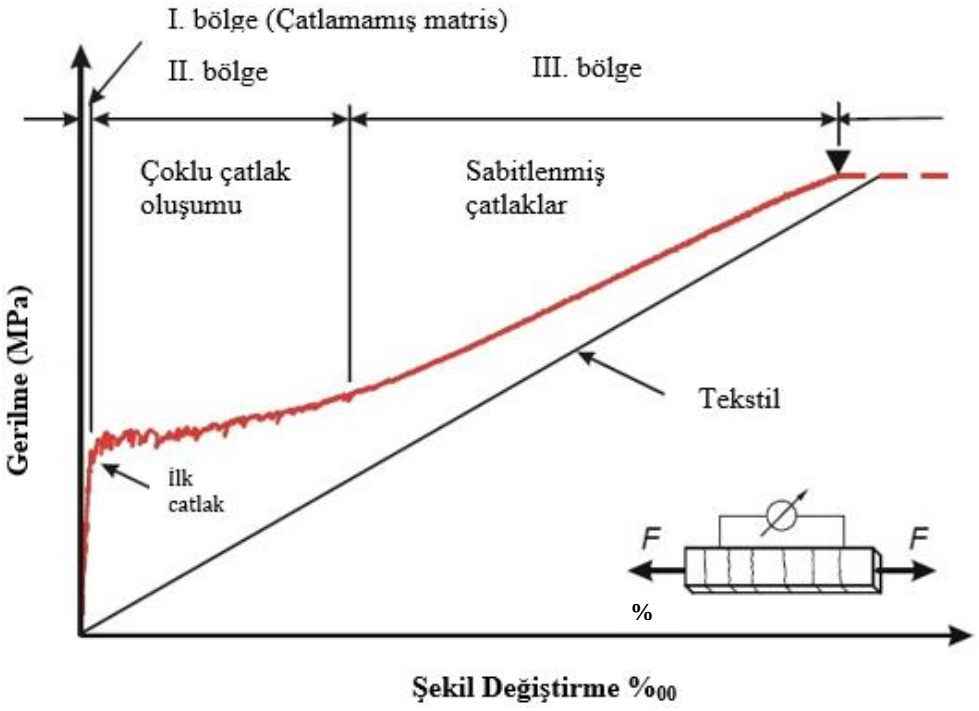
Sürekli lifler ise, sonsuz uzunlukta olup ipek gibi bir görünüşe sahiptir. Farklı incelik derecelerinde üretilir. Bu lifler iplikten daha incedir. Belli miktarda birçok filament bükülerek veya bükülmeden çok filamentli tek iplik yapılır. Bu iplikler düzgün görünüşlüdür. Kimyasal işleme tabi tutulmadıkça parlaktır [39].

Tekstil takviyeli kompozitlerin mühendislik performansını etkileyen en önemli faktörler, liflerin şekli, uzunluğu, yönlenmesi, matrisin mekanik özellikleri ve tekstil matris arayüzey özellikleridir [24,40]. Liflerin şekil olarak sürekli veya süreksiz olması onlara bazen avantaj sağlarken bazen de dezavantaja neden olur. Kısa lifler mikro çatlaklar üzerinde köprü görevi görerek kompozitin eğilme dayanımının artmasına neden olurken kırılma sonrası davranışta etkileri çok küçüktür. Ancak uzun lifler kırılma sonrasındaki süreçte etkin hale gelerek yüksek kırılma enerjisi elde ederler. Takviye olarak kullanılan polimerik lifler yaygınlık, kimyasal dayanım, kolay şekil alabilme gibi üstünlüklerinin yanında çimento esaslı kompozitlerin eğilme/çekme özelliklerini de iyileştirebilir, mikro çatlaklar üzerinde köprü kurarak çatlak oluşumunu ve yayılmasını önler, enerji sönümlenmesini ve sünekliği geliştirirler [41,42]. Ayrıca, kısa liflerin uzunluk/çap oranları (L/D) bu kompozitlerin özelliklerini önemli derecede etkilemektedir [43]. Kompozit içindeki oryantasyonu kolay bir şekilde kontrol altına alınmadığından, çatlak kontrolü sağlanması da zorlaşmaktadır. Dağınık şekildeki bu oryantasyon durumu kısa lifli kompozitlerin yaklaşık olarak izotropik özellik göstermesine neden olurlar [43]. Yapısal elemanlardaki önemli bir dezavantajları da, polimer matrislerle beraber kullanıldığında sünme etkilerini düşürmede sürekli liflerle oluşturulan kompozitler kadar etkili olmamalarıdır. Ayrıca dayanımları da genellikle sürekli liflerle kıyaslandığında daha düşük kalmaktadır [43].

TRCC malzemelerin ortaya çıkışı cam kırpık lif donatılı betonlara dayanmaktadır. Başlangıçta lif donatılı olarak üretilen çimento esaslı malzemeler tekstilin takviye

malzemesi olarak kullanılmasıyla tekstil donatılı hale gelmiştir. Bu şekilde oluşturulan kompozitler, bir yönde sürekli liflerle oluşturalan kompozitlerden daha avantajlıdır. Çünkü, bir yönde sürekli lifli kompozit yapılar, diğer yönde dayanımı düşük olduğu için pek kullanışlı değildir [29]. Yani kompozit yapı iki yönde de donatılarak diğer yöndeki dayanım zaafiyeti iyileştirilmiş olmaktadır. Tekstil ile takviye edilmiş kompozitlerin üretim maliyetlerinin düşük ve kompozitin mekanik özelliklerini diğer liflerle üretilen kompozitlere göre geliştirmesi bu kompozitler için büyük bir avantaj sağlamaktadır. Ayrıca tekstillerın üretim şekli (woven,bonded v.b) farklı mekanik özellikte kompozit üretilebilmesine olanak kılmaktadır [44].

TRCC elemanların yük taşıma özellikleri eğilme veya eksenel çekme testleriyle elde edilir. Eğilme deneylerinin uygulaması eksenel çekme deneylerine göre daha kolaydır ancak eksenel çekme deneylerinde elde edilen gerilme şekil değiştirme ilişkileri kompozit malzemenin özellikleri hakkında daha detaylı bilgi vermektedir. İki test yönteminde de tekstil donatılı kompozitlerin geleneksel betonarme elemanlara benzer davranış gösterdiği görülmektedir. Şekil 2.12'de tekstil donatılı çimento esaslı kompozitin eksenel çekme altında tipik gerilme-şekil değiştirme davranışına ait grafik gösterilmiştir.



Şekil 2.12 : Eksenel çekme altında gerilme şekil değiştirme grafiği [45,46].

Bu lineer olmayan eğri üç bölgeye ayrılabilir. Sürekli lifler yani tekstil içeren kompozitin eksenel çekme altında oluşan gerilme şekil değiştirme davranışının genel izahı şöyledir:

- Yüklemenin başında çatlamamış kompozit malzemenin rijitliği yaklaşık olarak ince taneli beton olan matris harcının çekmede elastisite modülüne karşılık gelmektedir.

- İlk çatlak matris çatlama dayanımına karşılık gelir. Bu noktadan itibaren takviye elamanı olan tekstiller çekme yükünü karşılamaktadır. Çekme yükünün artışıyla birlikte ilave çatlaklar oluşur (çoklu çatlak oluşumu II. Bölge).

- İnce taneli beton ve tekstiller arasında oluşan aderans sayesinde tekstillerde oluşan çekme kuvvetleri matrise aktarılır. Çekme dayanımına ulaşan matriste ilave çatlaklar oluşturur. Betonda oluşabilecek tüm çatlaklar tamamlanana kadar bu evre devam eder. Çatlaklar arasındaki mesafe ve çatlak genişliği tekstilin ve tekstil-beton arasındaki aderans özellikleri ile belirlenir. Eğri çoklu çatlama sırasında çok düşük bir artış göstermektedir.

- Sabitlenmiş çatlaklar evresinde (III. bölge) başka yeni çatlak oluşmaz. Yük artışı devam ettikçe tekstilin iplikleri çekme dayanımına kadar gerilir. III. bölgenin rijitliği daha önce deneylerle belirlenen tekstilin young modülüne eşittir. Ancak çoğu deneyde kompozitin bu bölgedeki rijtliği tekstilin rijitliğinden %10 - %30 arasında düşüktür.

- III. bölgede gözlenmesi beklenen sünek davranış eksenel çekme altındaki kompozitte görülemez çünkü AR Glass, Karbon ve Bazalt gibi tekstillerin plastik şekil değiştirme kapasitesi yoktur. Böylece kompozit takviye elemanı olan tekstilin kırılma uzamasına erişince gevrek bir şekilde kırılır.

Kompozitin I. Bölgedeki rijtiliği yaklaşık olarak ince taneli betonun elastisite modülüne karşılık gelir. Tekstilin bünyesindeki ipliklerin rijitliği veya kompozitin içerdiği lif oranı sebebiyle bir miktar yükselebilir.

İlk çatlama dayanımı kompozitin yük taşıma kapasitesinin hesaplanmasında çok önemli bir veridir. Deformasyon kapasitesini ve servis yüklerine karşı performansını önemli ölçüde belirler. Çatlakların arasındaki mesafe ve çatlak genişlikleri tekstilin özellikleri tarafından belirlenir ve tekstil ile beton arasındaki bağ tarafından etkilenir. Çatlama sadece gerilmeden etkilenmez bunun yanında tekstil takviye elemanı ve beton arasındaki aderanstan doğrudan etkilenir. Aderans artışı dayanım artışına direkt olarak etkir. Yük taşıma kapasitesi modellemeleri tekstil ve beton arasındaki mikroskobik boyutta fiziksel etkileşimleri tanımlamalı ve makroskopik boyutta iki faz arasındaki aderansın tüm kompozitin yük taşıma kapasitesini nasıl etkilediğini ortaya koymalıdır.

III. bölgede daha fazla yeni çatlak oluşumu görülmez. Tekstilde oluşan yük artışı filamentlerin yük taşıma kapasitesine kadar ulaşır. III. Bölgede grafiğin rijitliğinin normal koşullarda tekstilin rijtliğiyle aynı olması gerekir. Tekstilin eksenel çekme altındaki grafiği ile kompozitin grafiği birbirine paralel olmalıdır. Ancak yapılan çalışmalar göstermiştir ki mekanik açıdan bakıldığında kompozitin III. Bölgede elde edilen rijitliği $E_f x V_f$ den daha düşüktür.

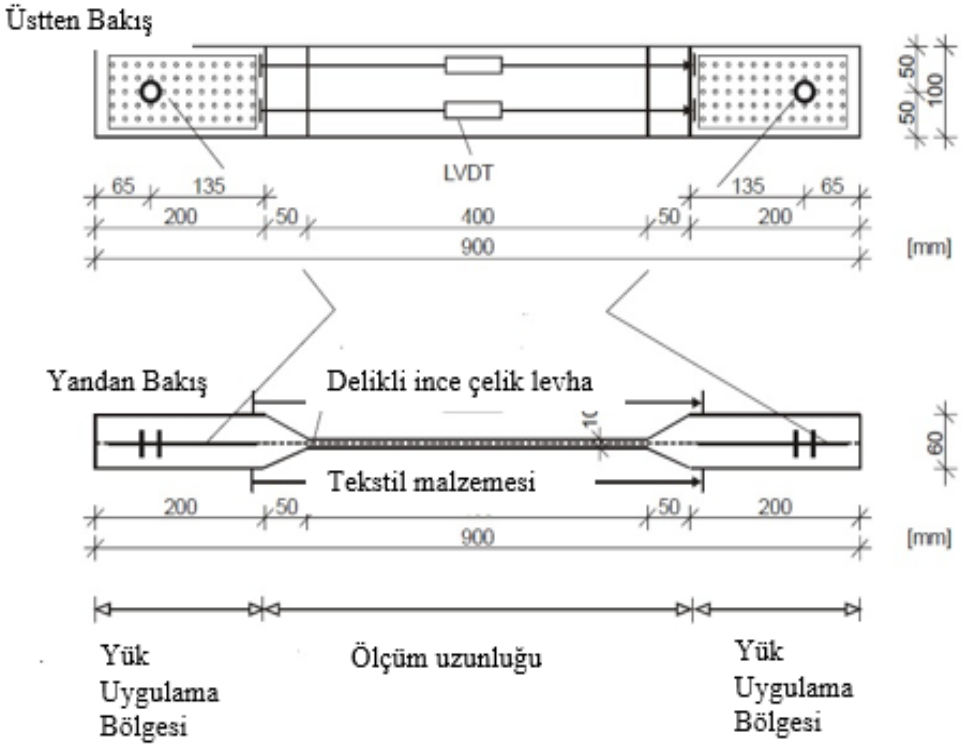
Lif donatılı kompozit (FRC) ile Tekstil donatılı çimento esaslı kompozit (TRCC) arasındaki en temel fark maksimum yükte tasarım yöntemidir. FRC'ler sünekliğini liflerin matristen sıyrılmasıyla (pull out) elde ederler. FRC'lerde liflerin sıyrılma dayanımı lif dayanımından düşük olmalıdır. Lif kopmamalı ancak sıyrılarak çıkmalıdır. TRCC'ler ise FRC'lerin aksine düktilitesini lif kırılmasından sağlar.

TRCC'lerin kırılma mekanizmaları hala günümüzde kısmi olarak bilinmektedir. Kırılma mekanizmasını etkileyen bazı faktörler şöyledir:

- Tekstili oluşturan filamentlerin özellikleri (Filament dayanımı, filament çapı)
- Filamentlerin tekstil üretimi ve kompozit yapımı sırasında hasara uğraması
- Filamentler arasındaki bağlar (Sizing, iplik geometrisi, ikincil emprenye işlemi)
- İplik ve matris arasındaki aderans özellikleri (İplik geometrisi, matris kompozisyonu, kompozitin yaşı ve yük geçmişi)
- Filamentlerin yerleşimi (İplik kalitesi, tekstil üretimi, beton üretimi)
- Liflerin yönlenmesi (lifler arasındaki açı ve yükleme yönüne göre konumları)

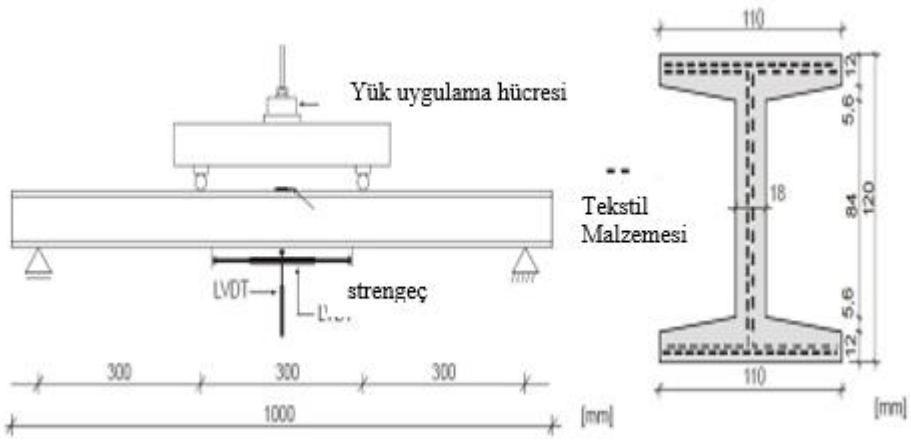
Genellikle multifilament ipliklerin kırılma mekanizmaları oldukça komplekstir. Tek bir filamentin maksimum yük taşıma kapasitesi genellikle yukarıda belirtilen maddelere bağlıdır. Buradaki problem tek bir filamentin kırılmasının kompoziti toptan bir kırılmaya götürüp götürmeyeceğinin açıklanmasıdır. Filament demetinin kendi içindeki bir arada durma yeteneği ve bağı kompozitin yük taşıma kapasitesini doğrudan etkilemektedir [5].

Eksenel çekme yükü altında taşıma kapasitesinin belirlenmesi için çalışmalar yapılmış test numunesinin boyutları Şekil 2.13'te gösterilmiştir. Şekil değiştirme miktarları LVDT ler kullanılarak ölçülmüştür. Yük sabit bir deformasyon hızında 1mm/min ile uygulanmıştır [47].



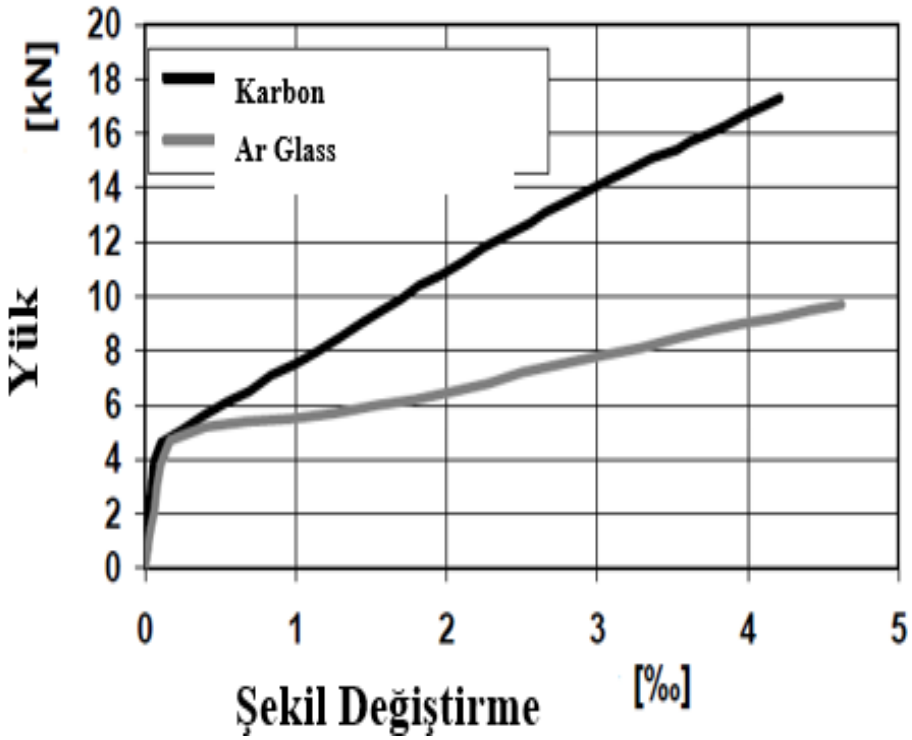
Şekil 2.13 : Eksenel çekme test numunesi boyutları [47].

Ek olarak dört noktalı eğilme deneyi tekstil donatılı beton yapı elemanlarına uygulanmıştır. Takviye elemanının kompozit içerisindeki oranının kompozitin yük taşıma kapasitesine etkisi araştırılmıştır. Bu sebeple farklı lif oranlarında tekstil malzemesi kullanılarak kompozitler üretilmiştir. Numunenin boyutları Şekil 2.14'te gösterilmiştir. Her bir seride 2 adet numunede uygulanmış ve lif oranı değişimleri için de 3 farklı lif oranında numuneler üretilmiştir [48].



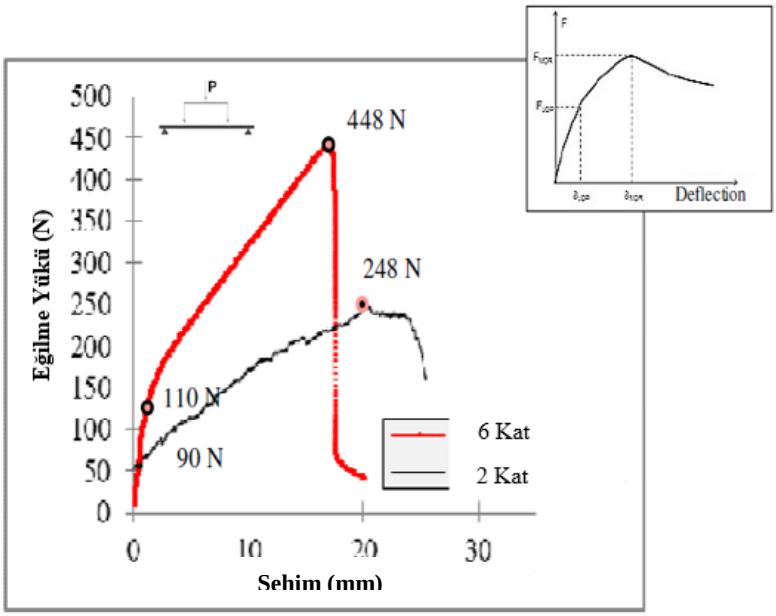
Şekil 2.14 : Dört noktalı eğilme test numunesinin boyutları [48].

Yapılan bir araştırmada 2 katlı AR Glass ve karbon testillerle üretilen numunelere eksenel çekme testi uygulanmış, yük – şekil değiştirme grafiği çizilmiştir. Çatlamamış matris (I. Bölge) de tekstil malzemesinin önemli bir fark yaratmadığı görülmüştür. İlk çatlaktan hemen sonra ise karbon tekstil takviyeli numunelerin II. Bölgedeki rijitlikleri AR Glass ile üretilen numunelerin rijitliğinin yaklaşık 3 katıdır. Çatlak mesafesi arasında büyük bir fark olmazken çatlak genişlikleri birbirinden farklıdır. AR Glass numuneler 0.07 mm çatlak genişliğine sahipken karbon malzemeler 0.04 mm çatlak genişliğine ulaşmıştır. Şekil 2.15'te yapılan teste ait karşılaştırmalı grafikler verilmiştir [49].



Şekil 2.15 : Eksenel çekme testinde yük-şekil değiştirme grafiği [49].

Yapılan bir çalışmada cam lifli mat tekstil kullanılarak üretilen 2 katlı ve 6 katlı numunelerin eğilme dayanımı davranışı karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 2.16'da verilmiştir. Eğilme grafiğinde eksenel çekme grafiğinde görülen çoklu çatlak oluşumu bölgesi (II. Bölge) kaybolmuştur ve bu bölgeyi atlayıp numune eksenel III. bölgeye şekil değiştirme sertleşmesinin baskın olduğu bölgeye geçiş yapmıştır. 2 kat ve 6 kat tekstil içeren TRCC kompozitlerden 6 kat tekstil içeren daha yüksek eğilme dayanımı değerine ulaşmıştır. 2 katlı kompozitler 6 katlı kompozitlere göre daha yüksek sehim yapmıştır. İlk çatlak dayanımları karşılaştırıldığında 6 kat tekstil içeren numunelerin ilk çatlama dayanımları daha yüksektir bu da lif oranı arttıkça ilk çatlama dayanımının ve maksimum dayanımın yükseldiği, sehimin ise azalıp elemanının rijitleştiğini doğrulamaktadır [50].



Şekil 2.16 : 4 noktalı eğilme deneyinde yük-sehim grafiği [50].

Matris malzemesinin çatlamamış TRCC malzemenin deformasyon davranışına etkisi özellikle ince taneli betonun elastisite modülü ile doğrudan ilgilidir. Çatlamadan sonra II. Bölgeye geçildiğinde çoklu çatlak oluşumu bölgesinde gerilme – şekil değiştirme davranışı ince taneli betonun çekme dayanımından etkilenir. III. bölgedeki çekmede rijitleşme davranışı matris ve lifler arasındaki aderanstan ve matrisin çekme dayanımından doğrudan etkilenir.

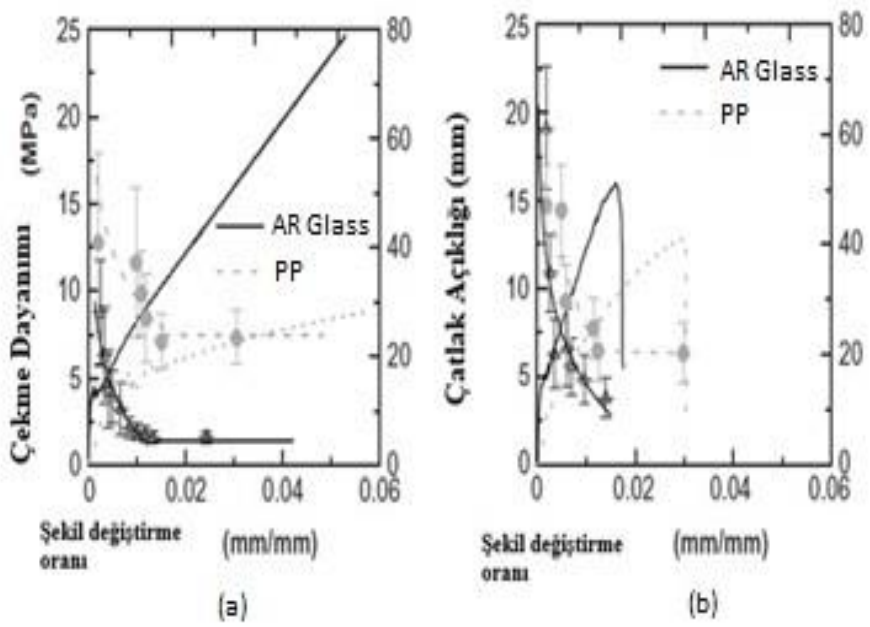
III. bölgedeki çekmede rijitleşme davranışı matris ve lifler arasındaki aderanstan ve matrisin çekme dayanımından doğrudan etkilenir.

Tekstil ve matris arasındaki ilişki ve bağ kompozitin dayanım, süneklik ve enerji yutma kapasitesi özelliklerinin tamamını doğrudan etkiler [5]. Genellikle güçlü aderans tekstilin kopmasına yol açarak yüksek mukavemetli bir kompozit elde edilmesini sağlar. Zayıf aderans daha düşük mukavemetli daha sünek bir kompozit sağlar. Malzeme açısından bakıldığında lifin kimyasal veya fiziksel özelliklerinin ötesinde aradaki aderansı etkileyen en etkin parametre tekstilin elastisite modülüdür [51-53]. Elastisite modülünün arttırılması aderans mukavemetini arttırır. Bunun sebebi otojen rötre yapan matrisin kısalmasıyla lif etrafında oluşan kenetlenme kuvvetinin daha yüksek olmasıdır. Aderanstaki bu farklılıklar çimento esaslı kompozitlerin mekanik özelilklerini etkiler. Yüksek dayanımlı ve yüksek elastisite modülüne sahip liflerin kullanımı kompozitin dayanım, enerji yutma kapasitesi özelliklerini şekil değiştirme sertleşmesi davranışını iyileştirerek yükseltir. Bunun yanında düşük dayanımlı lifler kompozitin sünekliğini artırır ancak dayanıma önemli bir katkıları olmaz. Şekil değiştirme yumuşaması göstererek elasto plastik bir davranış sergiler.

İyi bir kompozit performansı elde etmek için matrise gelen yüklerin tüm ipliğe iletilmesi gereklidir. İpliklerin merkezinde bulunan filamentlere matris tarafından yük aktarımı gereklidir. Geliştirilmiş bir aderans için filamentler arasındaki boşlukların polimer kaplama ile doldurulması önerilmiştir. Tekstillere kaplama malzemesi uygulaması iplikçiklerin kimyasal bir yapıştırıcı ile yapıştırılması işlemidir. Böylece iplikçikler arasındaki aderans artar ve içteki filamentler ile dış filamentler arasındaki bağ güçlenir [54-60]. Yük aktarımı tekstil kaplanmış olsa da olmasa da gerçekleşmektedir. Araştırmacılar yaptıkları çalışmada epoksi emprenye edilmiş AR Glass, Aramid ve Karbon ipliklerin daha sert hale geldiklerini ve çimento esaslı kompozitlerde aderans mukavemetinin kaplanmamış ipliklere göre arttığını belirtmiştir [61,62]. Kaplamanın ana amacı ipliklerin merkezinde bulunan filamentlere de yük aktarımının sağlanarak ipliklerden tam performans alınması ve efektif çalıştırılmasıdır. Bu da filamentler arasında boşluk kalmamasını ve yükün merkezdeki life kadar ulaşmasını sağlayan kaplama yöntemiyle gerçekleştirilebilir. Araştırmacılar polimerle kaplanmış karbon tekstillerle üretilen kompozit elemanların yük taşıma kapasitesinin arttığını rapor etmişlerdir [63].

Matris ve tekstiller arasındaki aderansı etkileyen başka bir parametre de kompozitin üretim yöntemi ve işlenmesidir [30,62,64-68]. Üretim yöntemi ve matris tekstil aderansı arasındaki ilişki iki farklı üretim yöntemi kullanılarak karşılaştırılmıştır. Biri

pultruzyon diğeri ise klasik el dökümüdür. Pultruzyon sürecinde kumaş ilk olarak bir çimentolu bulamaç içinden geçer ve daha sonra çimentolu tekstil belirli bir kalınlığa sıkıştırılmak için bir dizi silindir arasından geçer. Son olarak bir kat tekstil bir kat harç içeren lamina kompozitler oluşturulur. El dökümü yöntemindeyse bir kat tekstil kalıba serildikten sonra bir kat harç elle yerleştirilir. İstenilen kat sayısına ulaşana kadar bu işlem tekrarlanır. Pultruzyon yönteminin avantajı geleneksel el dökümü yöntemine kıyasla daha yüksek çekme dayanımı elde edilmesidir. Polipropilen tekstil içeren kompozitlerin aderansını geliştirerek yüksek çekme mukavemeti ile yoğun ve ince çatlakların oluşumunu sağlar. Bu gelişme sıkıştırma işlemleri sırasında çimento matrisinin filament demetleri arasına iyi nüfuz ettiğinin göstergesidir. Pultruzyon süreci tekstil filamentleri arasındaki boşluklara matrisin girmesini sağlar böylece filamentlerin tamamının efektif kullanılarak daha güçlü bir aderans elde edilmesini destekler. Pultruzyon sürecinden sonra üretilen lamina kompozitlere üstten sabit bir değerde basınç uygulanır bu da kompozitin dayanımını %40 arttırır [67]. Tekstil ve matris arasındaki bağın kuvvetlendiği daha yoğun çatlak oluşumundan da anlaşılmaktadır. Şekil 2.17'de pultruzyon ve el dökümü yöntemiyle üretilen çimento esaslı AR Glass ve Polipropilen (PP) takviyeli kompozitlere uygulanan eksenel çekme deneylerine ait grafikler verilmiştir. Soldaki grafik Polipropilen tekstil içeren numunelere, sağdaki ise AR Glass içeren kompozitlere aitttir.



Şekil 2.17 : (a) El dökümü ve (b) pultruzyon ile üretilen TRCC elemanlar [67].

2.3 TRCC Elemanların Dürabilitesi

Geçmişte tekstil veya lif donatılı malzemelerin dürabilitesinin belirlenmesinde betonarme yapılarda uygulanan dürabilite şartları referans alınmıştır. Yakın zamanda araştırmacılar bunu bir adım ileriye götürerek şekil değiştirme sertleşmesi yapan çimento esaslı kompozit malzemeler (SHCC) için yeni bir konsept oluşturmuştur [69-70]. Aynı konsept TRCC malzemeler için ve TRCC malzemelerle onarılan betonarme binalar için de kullanılabilir olmuştur.

Malzeme bazında dürabil bir sistem oluşturmak için bu kompozit malzemeyi oluşturan elemanların dürabilitesini araştırmak gerekir. Aşağıda belirtilen her bir bileşenin dürabilitesi hakkında önlemler alındığında tüm sistemin dürabilitesi geliştirilmiş olacaktır:

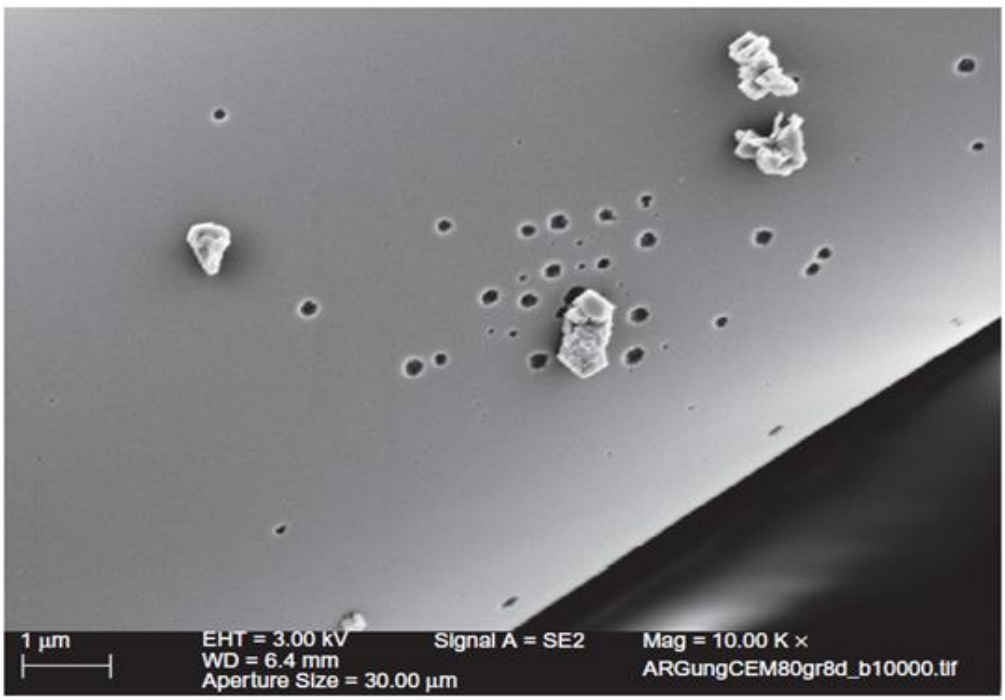
- TRCC matrisinin dürabilitesi
- Tekstil ve polimer kaplamanın dürabilitesi
- Tekstil ve matris ara yüzeyinin dürabilitesi

TRCC matrisinin dürabilitesi incelenmek istendiğinde çimento esaslı bir malzemenin karşı karşıya kalacağı dış etkiler düşünülmelidir. Kullanım amacına ve ortamına göre donma çözülme etkisi, kimyasal etkiler (asit, sülfat, klorür), ıslanma kuruma etkileri, aşınma, alkali reaksiyonlar göz önüne alınmalıdır. Beton ile oluşturulmuş yapılarda çimentolu ortamının bu etkilerden nasıl zarar göreceği bilinmektedir. Ancak bu bilgiyi TRCC malzemelere uygulamak doğru değildir. Çünkü TRCC malzemeler betonlara göre çok daha ince taneli matrisler içerir ve kaba agrega bulundurmaz, yüksek bağlayıcı içeriğine sahiptir ve ortamda lifler bulunur. Nispeten ince ve kısa liflerin kullanıldığı çimento esaslı kompozitlerde matris çok ağır bozunmaya uğrasa da kompozitin tamamen bozunmadığı araştırmacılar tarafından gösterilmiştir [71]. TRCC ile ilgili ilk yapılan donma çözülme etkisi araştırmalarında geleneksel betondan bilinen benzer sonuçlar elde edilmiştir. Portland çimentosu yerine ikame uçucu kül kullanımı ya da cüruflu çimento kullanımı TRCC malzemelerin donma çözülme dayanımını düşürmüştür. Matrisin mekanik özelliklerini değiştirecek kimyasal etkiler TRCC nin dayanımına ve özellikle sünekliğine önemli ölçüde etki edebilecektir [4].

Tekstillerin yapısını oluşturan ipliklerin, ipliklerin yapısındaki lifler ve bu liflerin üzerine uygulanan kaplama malzemesinin dürabilitesi TRCC elemanların dürabilite

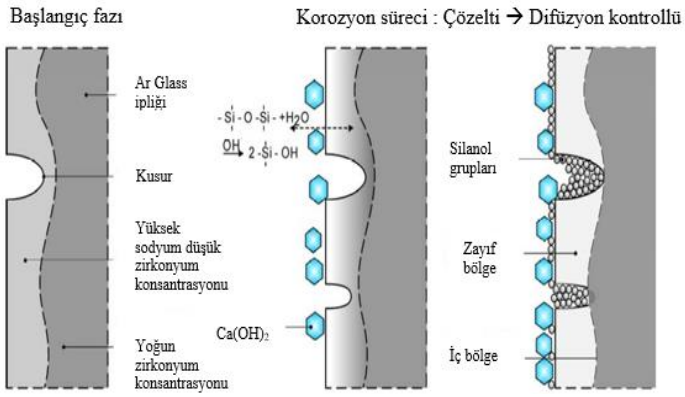
özelliklerini doğrudan etkiler. AR Glass lifler ve karbon lifler TRCC yapımında sıklıkla kullanılan tekstil malzemelerdir. Bunun yanında polimer, bazalt ve doğal liflerle üretilen tekstiller kullanılarak TRCC üretimi de yapılmaktadır. Karbon lifler yüksek kimyasal dayanıklılığı ile bilinirler. Genellikle ortaya çıkabilen hiçbir kimyasal etki altında bozulmaya uğramazlar. AR Glass ve bazalt malzemelerin durumu karbon malzemelerden farklı olarak daha komplekstir ve daha detaylı incelenmiştir.

Standart AR Glass tekstiller ağırlıkça %16 -20 zirkonyum dioksit (ZrO_2) içerirler ve geleneksel camlarla karşılaştırıldığında alkalin ortamlara önemli ölçüde arttırılmış direnç gösterirler. AR Glass lifin alkali ortamda aşınmasıyla oluşan hasar tekstilin her bölgesinde uniform değildir. Bu etki tekstil filamentlerinin yanı başında oluşan elementlerin konsantrasyonuna bağlıdır. Alkali ortamda tekstilin bozunması pH ya da diğer bir deyişle alkalinite arttıkça artar. Sıcaklık artışı da tekstilin bozunmasını hızlandıran bir etkendir [72]. Filamentler iplik haline getirilirken organik polimerlerle yapılan sizing uygulaması liflerin aşınmasını önemli ölçüde geciktirir. Yapılan bir çalışmada alkali ortamda hızlandırılmış test uygulanan AR Glass liflerin üzerlerinde farklı büyüklükte ve derinlikte boşluklar tespit etmiştir [73]. Bu bozunmaya ait fotoğraf Şekil 2.18'de gösterilmiştir. AR Glass tekstiller 8 gün 80°C deki çimento solüsyonunda tutulduktan sonra mikroskop altında incelenerek SEM görüntüleri alınmıştır.



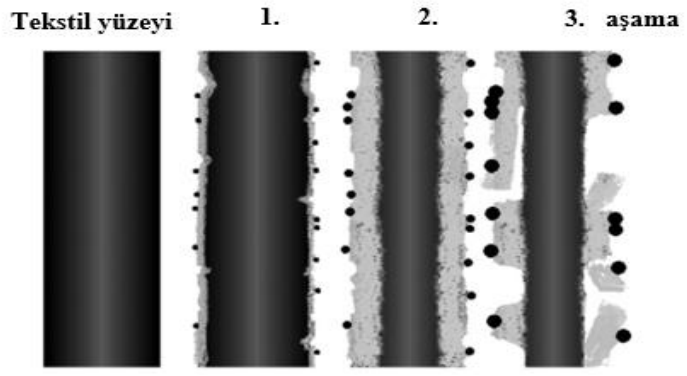
Şekil 2.18 : Hızlandırılmış yaşlandırma geçiren AR Glass tekstil numune [73].

Araştımacılara göre yüzeydeki kaplamaya ait kusurlar, camın kompozisyonundaki süreksizlikler ve yüksek pH a sahip ortam AR Glass tekstilde oluşan yerel hasarlar için ön koşuldur [74]. Önerilen bir modelde mekanizma şöyle gelişir; lif yüzeyinde üretim sürecinde kusurlar vardır. Ortamda bulunan OH^- iyonları camın yapısında bulunan Si-O-Si yapısındaki bağları kırmaya başlar. Cam lif yüzeyinde bulunan boşluklardan ve mikroçatlaklardan çözülmeye başlar. Zirkonyum açısından düşük yoğunluklu bölgelerde bu reaksiyon daha kolay ilerler. Kararlı ZrO_2 bölgesine ulaşan korozyon burada yavaşlar çünkü Zr reaksiyon vermez. Ayrıca yıkılmış silanol grupları dış katmanda zayıf lif yüzeyinde tekrar birleşir ve bir jel yapısı oluşur. Korozyonun aşamaları Şekil 2.19 de şematik olarak verilmiştir.



Şekil 2.19 : NaOH çözeltisindeki AR Glass lifte oluşan korozyon [74].

Reaksiyon lifin en dışından en içine ilerler ve geride çözülemez kristal oksitler ve amorf hidroksitler bırakır. Daha sonraki aşamalarda kabuk halindeki korozyon ürünleri lif yüzeyinden pul pul dökülür. Bunun sebebi kabuk şeklinde lifin yüzeyinden ayrılan korozyon ürünleri ile merkezde bulunan filamentlerin arasındaki zayıf bağ sebebiyle olur. Pul pul dökülen korozyon ürünlerinin altından temiz ve pürüzsüz lif yüzeyi görülür [75-76]. Reaksiyonun aşamaları Şekil 2.20'de gösterilmiştir.



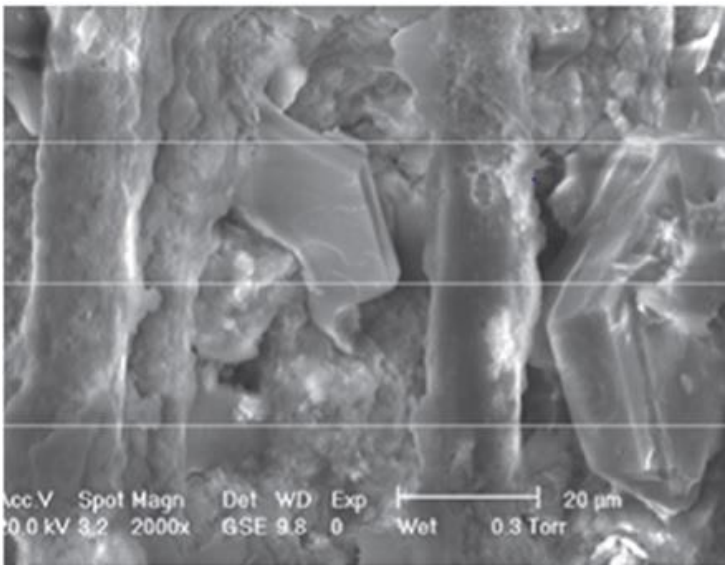
Şekil 2.20 : NaOH çözeltisindeki Bazalt lifte oluşan korozyon [75,76].

Bazalt tekstiller AR Glass yerine bir alternatif olarak önerilmiştir [77]. Yüksek sıcaklığa dayanıklılık, dünya çapında kolay erişilebilirlik ve görece düşük maliyet bazalt lifleri geniş çaplı uygulamalara uygun hale getirmektedir [78-79]. Bazalt lifler üretilirken eritilirler ve daha sonra hızla soğurlar bu da hammaddenin kristal yapısının kaybolmasına yol açar. Böylece bazalt liflerin mikro yapısı amorf hale gelir ve cam yapısına benzer. Bu süreç bazalt malzemenin alkalin ortama dayanıksız hale gelmesine, liflerin bozunmaya uğramasına ve kompozitin yük taşıma kapasitesinin düşmesine neden olur. Bazalt liflerin alkaliye dayanıklılığı kimyasal özelliklerine göre değişmektedir. Bazalt liflerin cam liflerden ana farkı eski yıllara oranla %7-15 daha yüksek Fe_xO_y içeriğidir [78]. CaO/ Fe_xO_y oranında görülen artış bazalt liflerin alkaliye daha az dayanıklı olmasına neden olur [78].

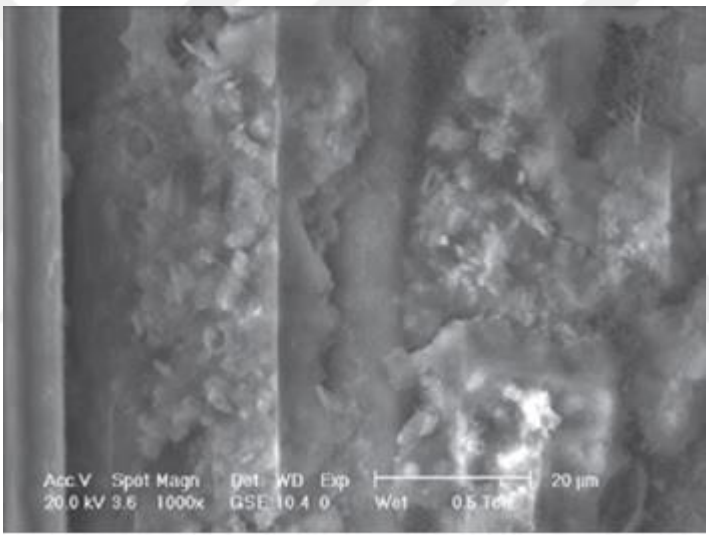
Bazalt lifler genellikle AR Glass liflerden daha düşük alkali dayanıklılığa sahiptir. E Glass liflere göreyse daha iyi performans gösterir. Bazalt liflerin alkaliye dayanıklılığı zirkonyum eklenerek iyileştirilebilir [76]. Ancak çok sert bir malzeme olan zirkonyum taş kökenli bazalt içine karıştırıldığında üretim süreçleri zorlaşacak ve daha yüksek enerjiye ihtiyaç duyulacaktır.

Tekstil matris arayüzünün dürabilite özellikleri TRCC malzemelerin çevresel koşullar altında yük taşıma kapasitelerini önemli ölçüde etkileyecektir. AR Glass kullanılarak üretilen TRCC kompozitler için zaman geçtikçe gözlemlenen performans kayıplarının derecesi şunlara bağlıdır: Lif matris arayüzünde ve lif yüzeyinde oluşan katı fazlar ve matrisin alkalinitesi. Lif üzerinde oluşan tortuların kalınlığı ve kırılganlığı arayüzeyde altıgen şeklinde portlandit oluşumu ile doğru orantılıdır [80]. Filamentler arasına $Ca(OH)_2$ nin yüksek miktarda çökelmesi de matris alkalinitesinin artışıyla artmaktadır. Özetle matris alkalinitesi yükseldikçe $Ca(OH)_2$ çökelmesi artar böylece lif üzerinde tortu oluşumu da hızlanır. Normal portland çimentosu ve AR Glass kullanılarak üretilen 28 gün hızlandırılmış yaşlandırma uygulanmış kompozitlere ait iç yapı görüntüsü Şekil 2.21'de verilmiştir.

Portland çimentosu yerine puzolanik çimento kullanıldığında (düşük alkalinite) iyi aderans özelliklerine sebep olan C-S-H fazları lif matris arayüzeyinde oluşan hakim fazdır. Bağlayıcı olarak uçucu küllü çimento+puzolan ve AR Glass tekstil kullanılarak üretilen 360 gün hızlandırılmış yaşlandırma uygulanmış kompozitlere ait iç yapı görüntüsü Şekil 2.22'de verilmiştir.



Şekil 2.21 : AR Glass tekstilin Portland çimentolu matristeki ESEM görüntüsü [80].



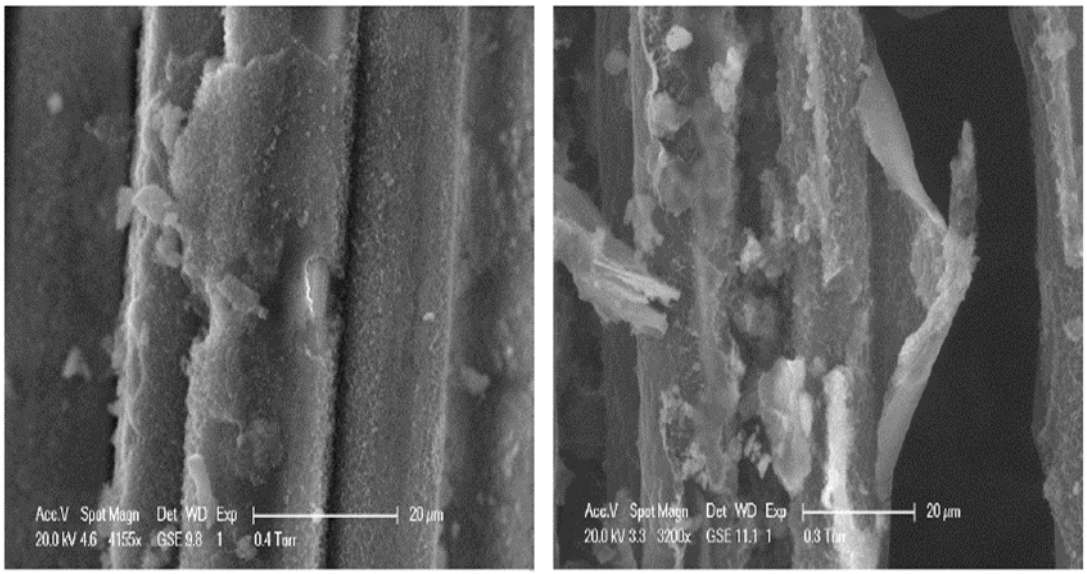
Şekil 2.22 : AR Glass tekstilin puzolanlı matris içerisindeki ESEM görüntüsü [80].

Burada görüldüğü gibi lif üzerindeki ince kabuk yapıdaki katmanlar dış filamentlerin matrisle iyi aderans yapmasını sağlar. Bu da lif matris arayüzündeki aderansın ve böylece kompozitin ve dürabilite özelliklerinin zaman geçtikçe değişebildiğinin göstergesidir.

Araştırmacılar farklı bazalt tekstillerin kaplamalı ve kaplamasız olarak TRCC elemanlarda kullanımını incelemiştir. Kaplamalı olan ve olmayan bazalt tekstiller ile aynı matris kullanılarak üretilen TRCC elemanlar buhar odasında hızlı yaşlandırmaya tabi tutulmuştur. Kaplamasız olan bazalt liflerin mekanik dayanımları dramatik olarak azalmıştır. Bunun sebebi bazalt liflerin alkali ortama dayanıksız olmasındandır. Bu durum progresif bir lif hasarına yol açmış ve lifin nispeten düşük kuvvet seviyesinde

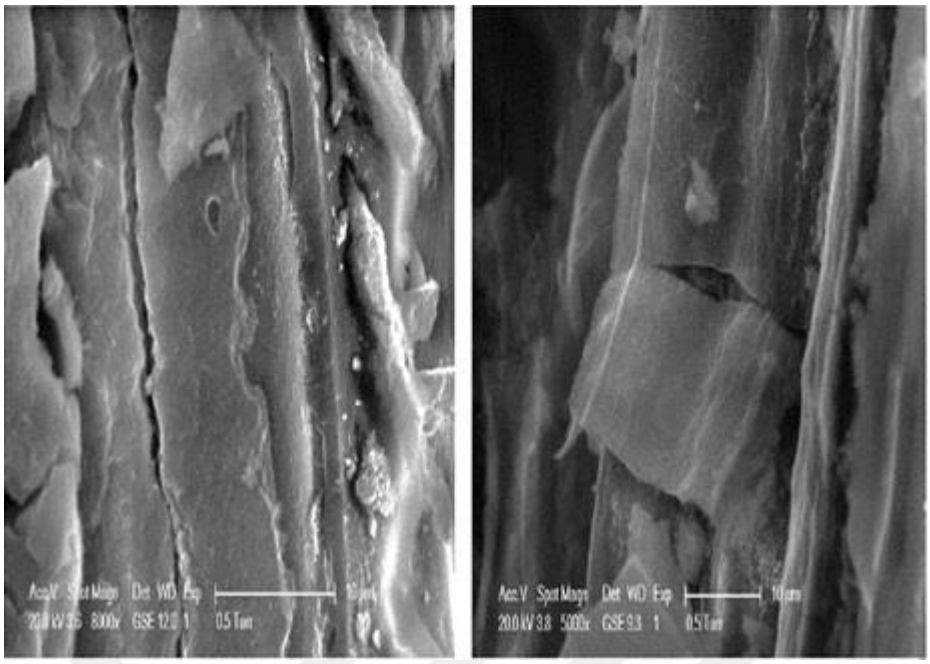
kopmasına neden olmuştur [81]. Kaplama olarak strolbutadiyen uygulanan bazalt ipliklerin mukavemeti artmış ve matrisle aderansı iyileşmiştir. Buhar odasında yaşlandırma sonrasında kaplamalı olan numunelerde de mekanik performansta düşüş yaşanmıştır. Kısa vadede bazalt liflerin bozunması kaplama yapılarak önlenebilir ancak uzun vadede yeterli olmayacaktır. Bazalt liflerin çimentolu, yüksek alkaliniteye sahip ortamlarda kullanılabilmesini sağlamak için özel tasarlanmış kaplamalar üretilmesi gereklidir. Kimyasal yapıları birbirinden iki farklı kaplama yapılmış ve yapılmamış bazalt tekstil 40°C de buhar ortamında hızlandırılmış yaşlandırmaya tabi tutulmuştur. TRCC üretiminde CEM I 32.5 çimento, uçucu kül ve silis dumanı kullanılmıştır. 180 gün sonunda bazalt tekstiller mikroskop altında incelenmiş ve fotoğraflar Şekil 2.23 ve 2.24 de verilmiştir [81]. Kaplanmamış bazalt lif yüzeyleri tamamen hasara uğramış ve lif enkesitleri küçülmüştür. Kalın tabakalar halinde korozyon ürünleri oluşmuştur.

Kaplama yapılmış bazalt tekstillere de aynı yaşlandırma prosedürü uygulanmış ve daha sonra ESEM altında görüntülenmiştir. Hem kaplama yapılmış hem yapılmamış tekstiller ciddi korozyon hasarına uğramıştır. Kaplama da yeterli olmamış sadece hasarı geciktirmeye yardımcı olmuştur. Bazalt tekstillerin TRCC içindeki dürabilitesi ve mekanik özellikleri hakkındaki belirsizlik ve öngörülemezlik kaplama malzemesi kullanımının önemini bir kez daha vurgulamaktadır.



(a) Bazalt 1 **(b) Bazalt 2**

Şekil 2.23 : Kaplanmamış bazalt tekstilin matris içerisindeki ESEM görüntüleri [81].



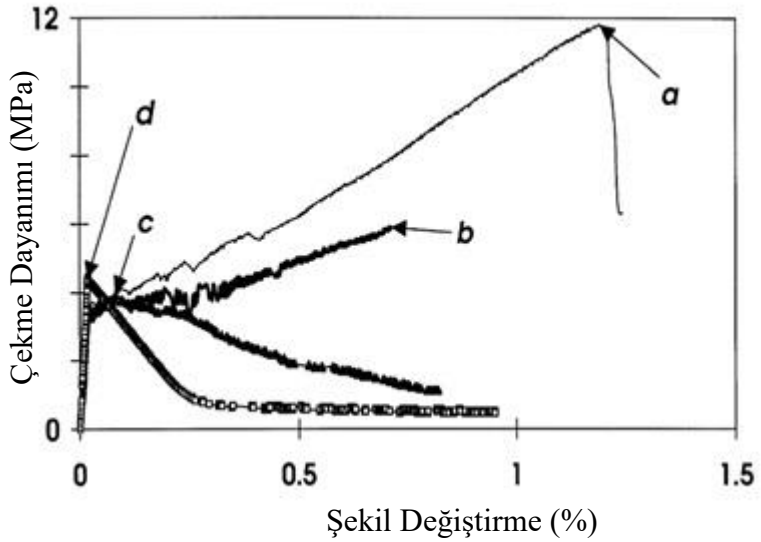
Şekil 2.24 : Kaplanmış bazalt tekstillerin matris içerisindeki ESEM görüntüleri [81].

İçeriğinde katkısız Portland çimentosu içeren matris malzemesi kullanılarak üretilmiş kırpık cam lif katkılı kompozit numunelerde 65 °C de hızlandırılmış yaşlandırma deneyi uygulanmıştır. Bozunma miktarı Şekil 2.25 te verilen gerilme şekil değiştirme grafiğinde gösterilmiştir.

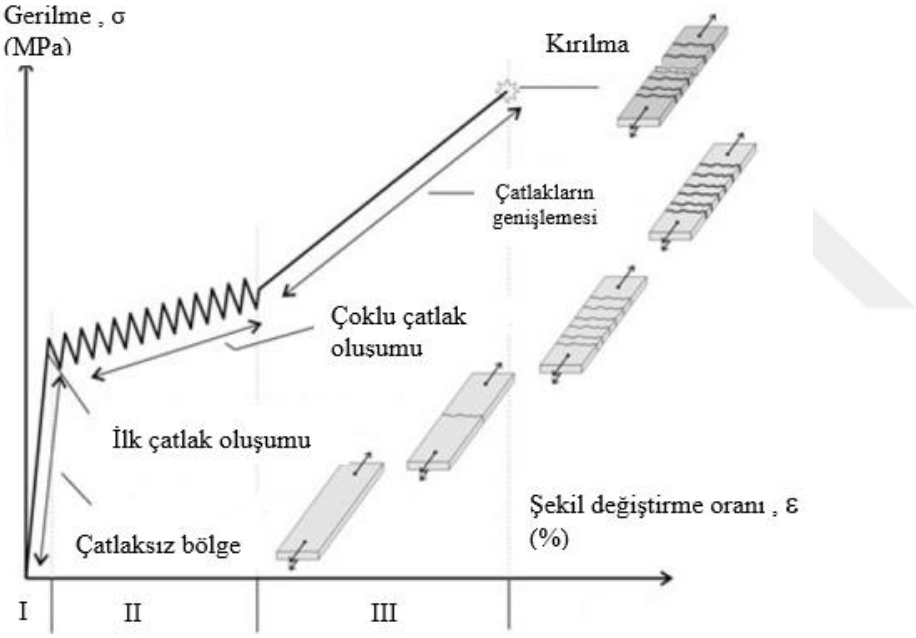
4 farklı grafik 4 farklı kür rejimi geçirmiş numunelere aittir. Bunlar (a) numunesi yaşlandırma geçirmemiş, (b) 28 gün yaşlandırma uygulanmış, (c) 56 gün yaşlandırma uygulanmış, (d) 6 ay yaşlandırma uygulanan numunelere aittir.

Burada elde edilen (a) grafiği Şekil 2.26 da verilen TRCC numunelere ait eksenel çekme altında gerilme şekil değiştirme grafiğine benzerdir. (b) numunesi çatlakların genişlediği bölgede kürlenmemiş numunenin dayanımından daha düşük bir mertebede kopmaya uğramıştır. (c) numunesi normal şartlarda kürlenen numunelerde görülen strain hardening (şekil değiştirme sertleşmesi) davranışını gösterememiş strain softening (Şekil değiştirme yumuşaması) davranışı göstermiştir ve bozunma miktarı çok büyüktür. (d) malzemesinde maksimum dayanımdan sonra düşen kol (c) numunesine göre daha hızlı bir düşüş yaşamıştır. (c) numunesine göre bozunma daha büyüktür.

Şekil 2.26 da normal şartlarda kürlenen bir TRCC elemana ait Gerilme-Şekil değiştirme diyagramı görülmektedir.



Şekil 2.25 : 65 °C de yaşlandırılan GRC lerin gerilme-şekil değiştirme eğrisi [82].



Şekil 2.26 : TRCC lerin Gerilme Şekil Değiştirme Diyagramı [45].

3. TRCC ÜRETİMİ İÇİN MATRİS TASARIMI

3.1 Deneylerde kullanılan malzemeler

3.1.1 Çimento

Deney numunelerinin üretiminde yüksek dayanım hedeflendiğinden CEM I 42,5 çimentosu kullanılmıştır. Çimento üreticisi firmanın fabrikasından temin edilmiştir. Kullanılan çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 3.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1 : Çimentonun kimyasal ve fiziksel özellikleri.

Bileşenler	%'si	Fiziksel Özellikler		
SiO_2	15.82	Özgül Ağırlık (gr/cm^3)		3.14
Al_2O_3	3.77	Priz süresi	Başlama (dak)	129
Fe_2O_3	3.33		Bitiş (dak)	191
MgO	1.04	Hacim genişlemesi (mm)		1.0
CaO	66.11	İncelik	Özgül Yüzey Blaine (cm^2/g)	3942
Na_2O	0.23		45 μm elek kalıntısı	2.88
K_2O	0.97		90 μm elek kalıntısı	0.04
TiO_2	0.28			
P_2O_5	0.10			
MnO	0.11			
Cr_2O_3	0.08			
Cl	0.04			
SO_3	4.52			
KK*	3.47			

* KK: Kızdırma Kaybı

3.1.2 Agrega

Numune üretimlerinde granülometrisi birbirinden farklı iki kum kullanılmıştır. Bunlar üreticisinden elde edilen silis kumlarıdır. AR Glass ile Bazalt tekstillerin mesh (ızgara) göz açıklığı büyük olduğundan bu tekstillerle üretilen numunelerde maksimum dane boyutu daha büyük olan Agrega I kullanılmıştır. PVA tekstiller dokuma tekstillerdir ve göz açıklıkları çok küçük olduğundan en büyük dane boyutu daha küçük olan silis

kumu kullanılmıştır. PVA kompozit numunelerin yapımında kullanılan daha ince agrega; Agrega II olarak isimlendirilmiştir.

Agregalar alkali silika reaksiyonu açısından deneye tabi tutulmuştur. Alkali silika reaksiyonu agregadaki silika ile çimentodan gelen alkalilerin ortamdaki nem varlığında genleşen bir jel oluşturmasıyla bilinmektedir. Betonda ya da harçta gözlenebilen bu reaksiyon reaktif agrega varlığında ortaya çıkabilir. Burada harç karışımlarında kullanılan silis kumlarının alkali silika reaksiyonu açısından reaktivitesinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu reaksiyon genleşmeye sebep olan ve ortamdaki nem varlığı devam ettikçe sınırsızca genleşebilecek bir yapıda olduğundan yapıların taşıma kapasitelerine ulaşmadan aniden göçmelerine sebebiyet verir. Ürettiğimiz çimento esaslı kompozitlerin böyle bir reaksiyondan zarar görmemeleri amaçlandığından kullanılan agregalar deneye tabi tutulmuştur. ASTM C1260 metodu uygulanarak standartta belirtilen prosedür izlenmiştir [83]. Matris tasarımında kullanılacak çimento ve kum kombinasyonlarında uygulanmıştır. Sonuçlar Çizelge 3.3 ve 3.5'te gösterilmiştir. 14 günlük genleşmeleri %0.10 - %0.20 olan agregalar standartta belirtildiği üzere potansiyel reaktif agregalardır. Sahada nem varlığında genleşip şişebilen bir yapı oluşturabilirler.

3.1.2.1 Agrega I

İstanbul yöresi kökenli silis kumu agregasıdır. Alkali silika reaktivitesinin belirlenmesi için ASTM C1260 metodu kullanılarak hızlandırılmış harç çubuğu deneyleri yapılmıştır. Bu deneylere göre agreganın 14 günlük genleşmeleri verilmiştir. Agreganın 14 günlük genleşmeleri ortalaması %0.18 dir ve potansiyel reaktiftir. Sonuçlar Çizelge 3.2'de gösterilmiştir. Bu agrega üzerinde XRF ve XRD yöntemleri kullanılarak major bileşenler elde edilmiş ve agreganın yapısını oluşturan mineraller tespit edilmiştir.

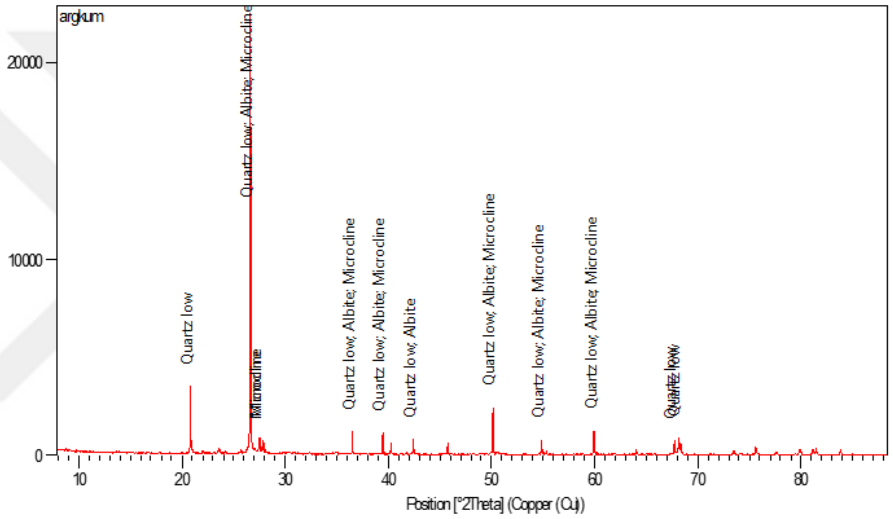
Çizelge 3.2 : Agrega I'in 14 günlük genleşme deneyi sonuçları.

14 günlük genleşme	**%'si**
1. Harç Çubuğu	0,17
2. Harç Çubuğu	0,18
3. Harç Çubuğu	0,19
Ortalama	**0.18**

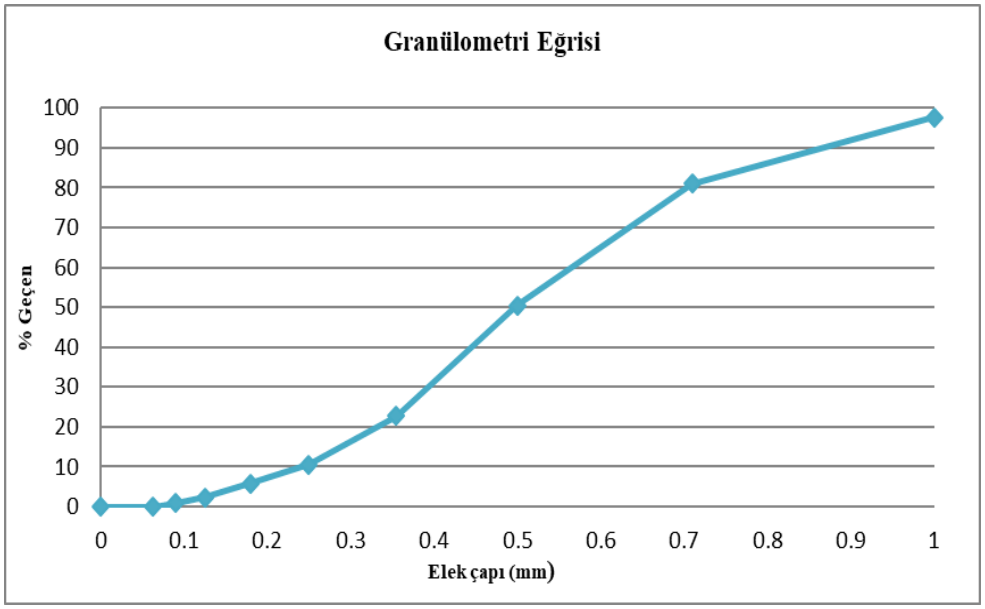
Sonuçlar Çizelge 3.3'te verilmiştir. Şekil 3.1'de Agrega I'e ait XRD grafiği verilmiştir. Şekil 3.2'de Agrega I'e ait granülometri eğrisi görülmektedir.

Çizelge 3.3 : Agrega I'in kimyasal ve petrografik özellikleri.

Bileşenler	%'si	Mineral	%'si
SiO_2	84.03	Quartz	77.0
Al_2O_3	7.94	Albite	9.0
Fe_2O_3	0.60	Microcline	13.0
MgO	0.24		
CaO	0.75		
Na_2O	1.58		
K_2O	3.63		
TiO_2	0.13		
P_2O_5	0.04		
MnO	0.02		
KK	0.77		



Şekil 3.1 : Agrega I' e ait XRD grafiği.



Şekil 3.2 : Agrega I granülometrisi.

3.1.2.2 Agrega II

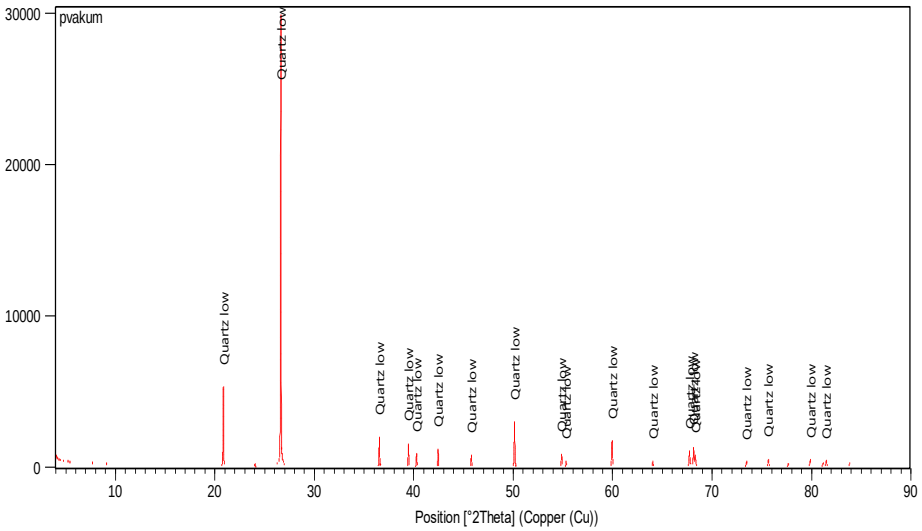
İstanbul yöresi kökenli silis kumu agregasıdır. Agrega II ye ait kimyasal ve petrografik özellikler Çizelge 3.4 te verilmiştir. Bu agrega üzerinde alkali silika reaktivitesinin belirlenmesi için ASTM C1260 metodu kullanılarak hızlandırılmış harç çubuğu deneyleri yapılmıştır [83]. Bu deneylere göre agreganın 14 günlük genleşmeleri verilmiştir. Agreganın 14 günlük genleşmeleri ortalaması %0.15 dir ve potansiyel reaktiftir. Sonuçlar Çizelge 3.5'te gösterilmiştir. Şekil 3.3'te Agrega I'e ait XRD grafiği verilmiştir. Şekil 3.4'te Agrega I'e ait granülometri eğrisi görülmektedir.

Çizelge 3.4 : Agrega II'nin kimyasal ve petrografik özellikleri.

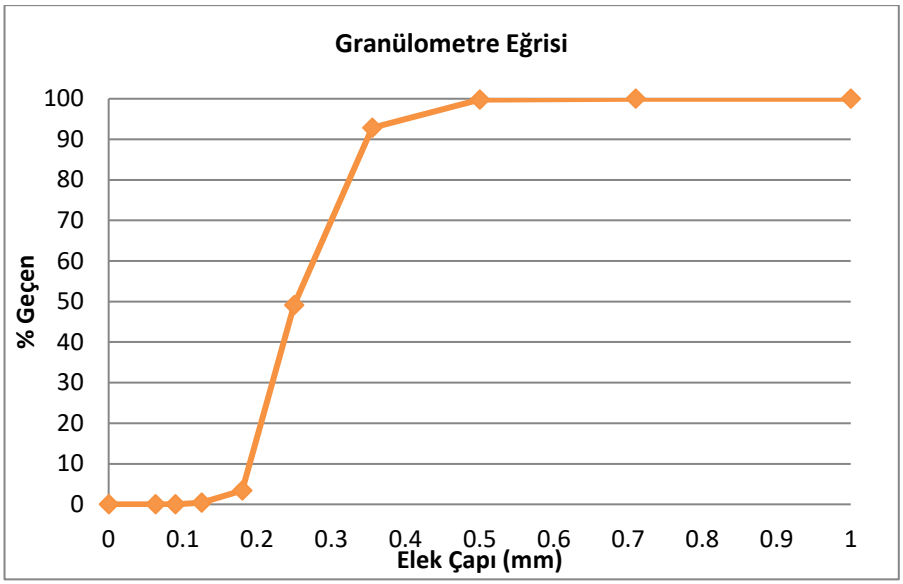
Bileşenler	%'si	Mineral	%'si
SiO_2	98.23	Quartz	100.0
Al_2O_3	0.64		
Fe_2O_3	0.18		
MgO	0.22		
CaO	0.07		
K_2O	0.07		
TiO_2	0.18		
Cr_2O_3	0.03		
KK	0.36		

Çizelge 3.5 : Agrega II'nin 14 günlük genleşme deneyi sonuçları.

14 günlük genleşme	%'si
1. Harç Çubuğu	0,15
2. Harç Çubuğu	0,14
3. Harç Çubuğu	0,16
Ortalama	**0.15**



Şekil 3.3 : Agrega II' ye ait XRD grafiği.



Şekil 3.4 : Agrega II granülometrisi.

3.1.3 Silis Dumanı

Deneylerde üretici firmadan temin edilen silis dumanı kullanılmıştır. Silis dumanının fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 3.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 3.6 : Silis dumanının kimyasal ve fiziksel özellikleri.

Bileşenler	%'si	Fiziksel Özellikler	
SiO_2	87.56	Özgül Ağırlık (gr/cm^3)	2.20
Al_2O_3	0.33	Priz süresi Başlama (dak)	-
Fe_2O_3	3.51	Bitiş (dak)	-
MgO	0.31	Hacim genişlemesi (mm)	-
CaO	1.00	Özgül Yüzey – BET (cm^2/g)	200000
Na_2O	0.48		
K_2O	1.32		
TiO_2	0.01		
P_2O_5	0.40		
MnO	0.22		
Cr_2O_3	0.24		
Cl	0.07		
SO_3	1.17		
KK	3.21		

3.1.4 Uçucu kül

Deneylerde F tipi uçucu kül kullanılmıştır. Uçucu külün fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 3.7'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.7 : Uçucu külün kimyasal ve fiziksel özellikleri.

Bileşenler	%'si	Fiziksel Özellikler		
SiO_2	48.29	Özgül Ağırlık (gr/cm^3)		2.20
Al_2O_3	27.60	Priz süresi	Başlama (dak)	-
Fe_2O_3	5.24		Bitiş (dak)	-
MgO	1.43	Hacim genişlemesi (mm)		-
CaO	6.58			
Na_2O	0.46			
K_2O	1.34			
TiO_2	1.73			
P_2O_5	1.53			
MnO	0.07			
Cr_2O_3	0.03			
SO_3	0.62			
KK	4.27			

3.1.5 Köpük kesici katkı (Defoamer)

Deneylerde polimer malzemelerin hava sürükleme etkisini azaltmak için köpük kesici (köpük engelleyici) katkı maddesi kullanılmıştır. Poligilikol kökenli köpük kesici malzeme silikon ve mineral yağ içermemektedir. Köpük kesici katkının teknik özellikleri aşağıdaki Çizelge 3.8'de verilmiştir.

Çizelge 3.8 : Köpük kesici katkının teknik özellikleri.

Kimyasal Özellikler	Kimyasal Köken	Yoğunluk (gr/l)	Kıvam	Kül içeriği (%)	Renk
Köpük Kesici	Poliglikol	320.0	Toz	33	Beyaz

3.1.6 Toz akışkanlaştırıcı

Deneylerde melamin sülfonat esaslı, toz halde, su azaltıcı özelliği olan süperakışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Karışım suyunun azaltılarak mukavemetin artırılması hedeflenmiştir. Aynı zamanda işlenebilirliğin de artırılması amaçlanmıştır. Toz akışkanlaştırıcı malzemenin teknik özellikleri Çizelge 3.9'da verilmiştir.

Çizelge 3.9 : Toz akışkanlaştırıcının teknik özellikleri.

Kimyasal Özellikler	Kimyasal Köken	Yoğunluk (gr/cm^3)	Kıvam	PH	Renk
Toz akışkanlaştırıcı	Melamin Sülfonat	1.80	Toz	10	Krem

3.1.7 Polimerler

3.1.7.1 Yeniden dağılabilir toz polimerler

Deneylerde iki farklı kökenli toz polimer kullanılmıştır. Redispersible powder olarak literatürde adı geçen malzemenin kısaltmasıyla RDP I ve RDP II olarak isimlendirilmiştir. Çizelge 3.10'da görülen MFFT ile isimlendirilen özellik (Minimum Film Forming Temperature) minumum film oluşturma sıcaklığıdır.

Çizelge 3.10 : RDP polimerlerin kimyasal ve fiziksel özellikleri.

Özellikler	RDP I	RDP II	Fiziksel Özellikler	RDP I	RDP II
Yoğunluk (g/l)	320	540	Kıvam	Toz	Toz
pH	6.0-7.0	6.0-7.0	Renk	Beyaz	Beyaz
MFFT (°C)	8	0	Alkaliye Dayanıklılık	Yüksek	Yüksek
Kül içeriği	12.0	12.0			
			Kimyasal Köken	VA / VeoVa / Akrilik Kopolimeri	Va/VeoVa Kopolimeri

3.1.7.2 Lateks polimerler

Deneylerde iki farklı kökenli sıvı lateks polimer kullanılmıştır. Lateks polimer olarak literatürde adı geçen malzemenin kısaltmasıyla Latex I ve Latex II olarak isimlendirilmiştir. Çizelge 3.11'de belirtilen Tg ile ifade edilen özellik (Glass Transition Temperature) camsı geçiş sıcaklığı olarak bilinir.

Çizelge 3.11 : Latex polimerlerin kimyasal ve fiziksel özellikleri.

Özellikler	Latex I	Latex II	Özellikler	Lateks I	Lateks II
Katı Madde İçeriği (%)	47	57	Viskozite (RVT 3/60)	300	200-700
Yoğunluk (gr/cm^3)	1.03	1.04	Kimyasal Köken	Saf Akrilik Kopolimer	Stren Akrilik Kopolimer
pH	9.0	8.0	Tg (°C)	15	-10

3.1.8 Tekstiller

Tez kapsamında kullanılacak takviye elemanı tekstil malzemeler 3 çeşittir. Bunlar AR Glass, Bazalt ve PVA tekstillerdir. AR Glass ve Bazalt tekstiller mesh (ızgara) şeklinde çapraz (leno) dokumaya sahiptir. PVA tekstiller ise düz dokuma tekstillerdir.

Bu tekstillere ait mekanik ve kimyasal özellikler Çizelge 3.12, 3.13 ve 3.14'te verilmiştir. Kullanılan tekstillere ait görseller Şekil 3.5, 3.6 ve 3.7'de gösterilmiştir.

3.1.8.1 AR Glass tekstil

Çizelge 3.12 : AR Glass tekstile ait fiziksel özellikler.

Fiziksel Özellikler	AR Glass
Dokuma Türü	Leno
Mesh göz açıklığı (mm)	4.0
Birim alandaki ağırlık (gr/m^2)	163
Latex içeriği-kaplama (gr/m^2)	21.5
İplik kalınlığı (mm)	0.16
ZrO_2 (%)	16

3.1.8.2 Bazalt tekstil

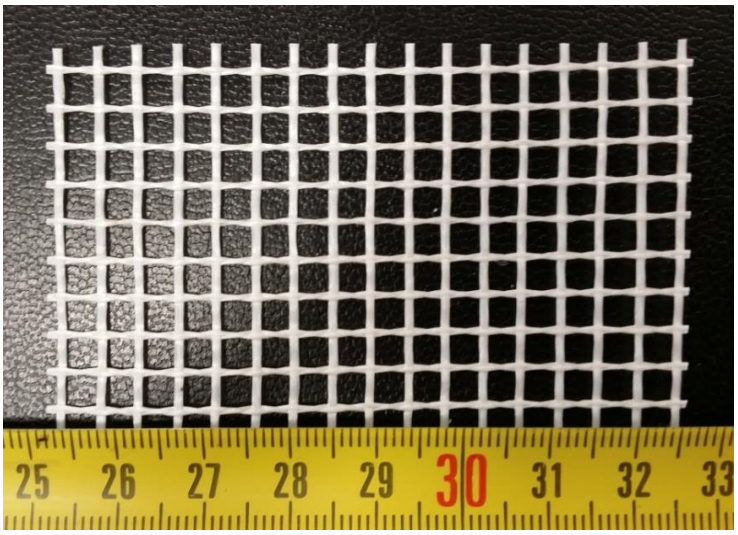
Çizelge 3.13 : Bazalt tekstile ait fiziksel özellikler.

Fiziksel Özellikler	Bazalt
Dokuma Türü	Leno
Mesh göz açıklığı (mm)	5.0
Birim alandaki ağırlık (gr/m^2)	163
İplik kalınlığı (mm)	0.21
LOI (%)	0.5-0.7
Erime Sıcaklığı (°C)	1350

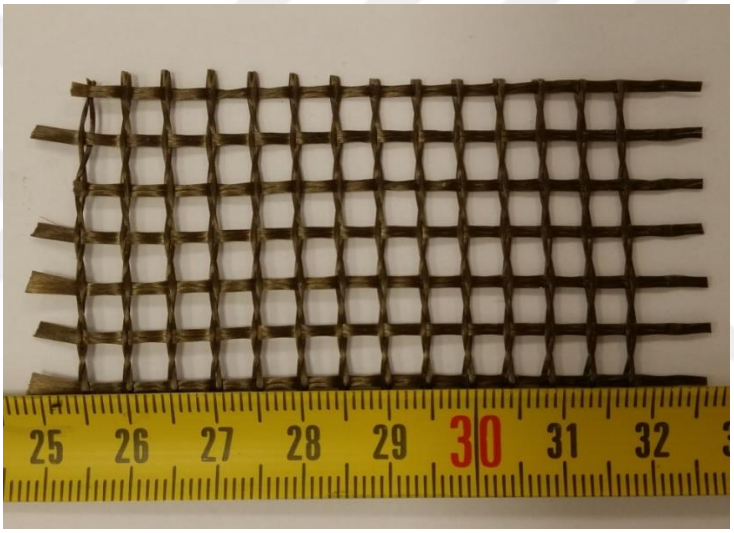
3.1.8.3 PVA tekstil

Çizelge 3.14 : PVA tekstile ait fiziksel özellikler.

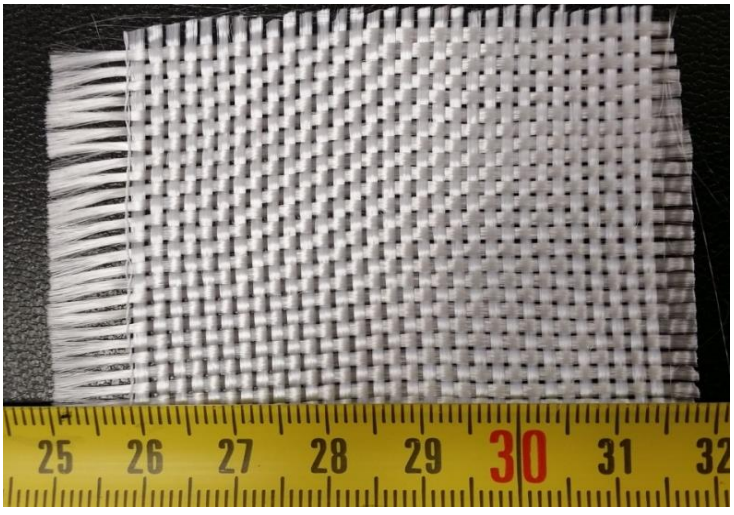
Fiziksel Özellikler	PVA
Dokuma Türü	Düz (Plain) dokuma
Kalınlık (mm)	0.23
Birim alandaki ağırlık (gr/m^2)	158
Filament sayısı	200



Şekil 3.5 : AR Glass Tekstil.



Şekil 3.6 : Bazalt Tekstil.



Şekil 3.7 : PVA Tekstil.

3.2 Deney Yöntemleri

3.2.1 Taze harç deneyleri

3.2.1.1 Birim ağırlık deneyi

Taze halde birim ağırlık ASTM C185'e uygun olarak yapılmıştır [84]. Birim ağırlık deneyi hacmi bilinen bir kap içerisine harç malzemesinin doldurulmasıyla elde edilmiştir. Standarta 400 ml kap kullanılması belirtildiğinden hacmi 400 ml silindirik bir metal kap kullanılmıştır. Hacmi bilinen kap içerisindeki malzemenin ağırlığı tartılmış ve birim ağırlık değerleri hesaplanmıştır.

3.2.1.2 Yayılma deneyi

Yayılma çapı deneyi BS EN 1015-3'ye uygun olarak gerçekleştirilmiştir [85]. Hazırlanan harçlarda yayılma deneyi ilgili standartta belirtilen işlem adımları izlenerek yapılmıştır. Nispeten plastik kıvamda olan harçlarda yayılma tablası 25 kez düşürülerek yayılma çapı ölçülmüştür. Kendiliğinden yayılan özellik gösterenlerde ise yayılma tablası beyaz bir zemin elde edilerek sadece akma konisi içine malzeme konulup akma konisi kaldırıldığında ulaştığı yayılma çapı ve yayılma süresi belirlenmiştir.

3.2.1.3 Hava içeriği

Hava içeriği deneyleri BS EN 1015-7'e uygun olarak yapılmıştır [86]. Taze haldeki harçta hava içeriğini ölçmeyi sağlayan 1 litrelik hava ölçer aleti kullanılarak belirlenmiştir.

3.2.2 Sertleşmiş harç deneyleri

3.2.2.1 Eğilme deneyi

Harçlardan beklenen yüksek performans özellikleri hem mekanik hem de dürabilite özelliklerinin iyi seviyede olmasını gerekli kılmıştır. Bu sebeple üretilen harçlarda eğilme deneyiyle mekanik dayanım araştırılmıştır. Eğilme deneyi BS EN 196-1'e uygun gerçekleştirilmiştir. Eğilme deneyleri 7. gün ve 28. günde yapılmıştır.

3.2.2.2 Basınç deneyi

Basınç deneyleri eğilme numunelerinin ortadan kırılmasıyla elde edilen numuneler üzerinde yapılır. Basınç deneyleri 7. gün ve 28. gün gerçekleştirilmiştir.

3.2.2.3 Alkali silika reaksiyonu deneyi

Harçlarda uygulanacak alkali silika reaksiyonu deneyi için 25x25x285 mm lik kalıplara her bir seriden iki adet numune hazırlanarak yapılmıştır. Alkali silika reaksiyonuna bağlı genleşmelere yapıda kullanılacak onarım harçlarındaki agreganın reaktifliği veya bunun yanında karışımın uygun olmaması sebep olabilir. Hızlandırılmış harç çubuğu deney yöntemi kullanılarak ASTM C1260 standardına uygun işlem adımları izlenmiştir [83].

3.2.2.4 Kuruma rötresi deneyi

Harçlarda uygulanacak kuruma rötresi deneyi için 25x25x285 mm lik kalıplara her bir seriden iki adet numune hazırlanarak yapılmıştır. Kuruma rötresi deneyleri harçların teknik verilerinde garanti ettikleri gibi gerçekten rötresiz olup olmadıklarını tespit etmek için yapılmıştır. Standartta belirtildiği üzere laboratuvar ortamında (25 °C ve %80 Rh) 1. 4. 7. 14. ve 28. Günlerde okuma yapılmıştır.

3.3 Hazır Onarım Harçları

Literatürde tekstil donatılı çimento esaslı kompozit üretiminde ticari olarak uygulamada bulunan harçların kullanıldığı örnekler vardır. Bu sebeple üreteceğimiz kompozit numuneler için harç tasarlamadan önce uygulamada kullanılan benzerlerinin araştırılması uygun bulunmuştur. Üreticisinden polimer katkılı onarım harçları temin edilmiştir. 9 adet polimer katkılı onarım harcı deneyler için teknik özelliklerinde belirtilen karışım oranlarında ve karıştırma adımlarına uyularak hazırlanmıştır. Aşağıdaki Çizelge 3.15'te hazır toz karışımların içerdiği malzemeler listelenmiştir. Listelenen malzeme karışımın içinde varsa V yoksa X işareti kullanılmıştır. Toz karışımlara karışım suyu eklenerek oluşturulan harçlar, ürünün üzerinde belirtilen karışım oranlarına uygun olarak aşağıdaki Çizelge 3.16'da belirtilen miktarlarda karıştırılmıştır. Taze harçta birim ağırlık, hava içeriği ve yayılma çapı deneyleri yapılmıştır. Çizelge 3.17'de taze harç deney sonuçları gösterilmiştir.

Çizelge 3.15 : Hazır onarım harcı içerikleri.

Onarım Harcı	Çimento	Kum	Polimer	Silis dumanı	Lif	Rötresiz
1	V	V	V	X	X	V
2	V	V	V	X	V	X
3	V	V	V	X	V	V
4	V	V	V	X	V	V
5	V	V	V	V	X	X
6	V	V	V	V	X	X
7	V	V	V	*	V	X
8	V	V	V	X	X	X
9	V	V	V	*	X	X

*Belirtilmedi

Çizelge 3.16 : Karıştırma miktarları.

Onarım Harcı	Toz Karışım (kg)	Su (kg)	Toplam (kg)	Su/Toz Oranı
1	5.000	1.000	6.000	0.20
2	5.245	0.755	6.000	0.14
3	5.172	0.828	6.000	0.16
4	5.020	0.980	6.000	0.20
5	5.024	0.976	6.000	0.19
6	5.214	0.786	6.000	0.15
7	4.800	1.200	6.000	0.25
8	4.800	1.200	6.000	0.25
9	5.357	0.643	6.000	0.12

Çizelge 3.17 : Hazır onarım harçlarına ait taze harç özellikleri.

Onarım Harcı	Yayılma Çapı (cm)	Birim Ağırlık (kg/lt)	Hava İçeriği (%)
1	17.5	1.37	12.0
2	18.4	1.85	7.1
3	18.1	1.97	2.1
4	18.6	2.17	3.3
5	18.5	1.74	2.2
6	21.0	2.10	16.5
7	13.1	1.75	3.8
8	23.0	1.65	15.0
9	20.2	1.67	8.9

Sertleşmiş halde eğilme dayanımı, basınç dayanımı, kuruma rötresi ve alkali silika reaksiyonu etkisinde genleşme araştırılmıştır. Karıştırma işlemi bittikten sonra harçlar basınç ve eğilme testi için 40x40x160 mm ölçüsündeki kalıplara iki aşamada

yerleştirilmiştir. Toplamda 6 numune 7. gün ve 28. gün numunesi olarak hazırlanmıştır. Laboratuvar ortamında bekleyen numuneler bir gün sonra kalıptan çıkarılmıştır. Kalıptan çıkarılan numuneler 20°C deki standart kürde 3 gün kürlenmiştir. 4. Gün sudan çıkarılan numuneler deney gününe kadar laboratuvar ortamında kurumaya bırakılmıştır.

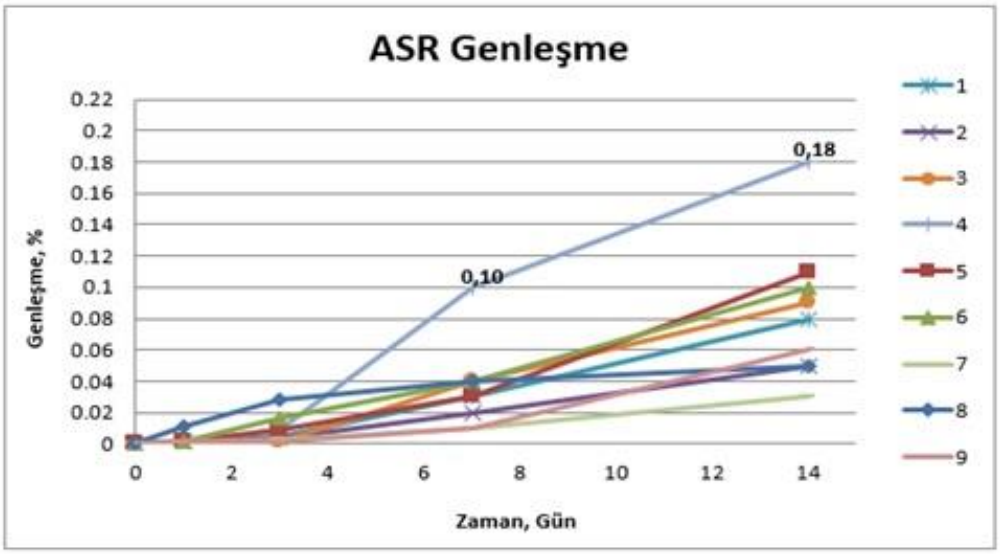
Alkali silika reaksiyonu ve kuruma rötresi deneyleri için 25x25x225 mm ölçüsündeki kalıplara yerleştirilen harçlar hazırlandıktan sonra 1 gün kalıpta sertleşmeleri beklenmiştir. Alkali silika reaksiyonu deneyleri için ertesi gün kalıptan çıkarılan numuneler 80 °C de suda bekletilir. Bu kürleme evresinden sonra okuma alınır ve kaydedilir. Daha sonra standarda uygun olarak hazırlanmış alkali içerikli çözelti içine harç çubukları daldırılır ve 1. 3. 7. ve 14. Günler okuma alınır. 14 günlük genleşme sonuçları karışımın reaktivitesi hakkında kullanıcıya bilgi vermektedir. Kuruma rötresi için kalıptan çıkarılan numuneler laboratuvar ortamında bekletilir ve farklı günlerdeki kısalmaları ölçülür. Eğilme deneyi BS EN 196-1 e uygun olarak gerçekleştirilmiştir [87]. Her bir harç numunesi eğilme testine tabi tutulduktan sonra ortadan kırılan numunelerden 2 adet basınç testi için numune çıkarılmıştır. Bu elde edilen numunelere basınç uygulanmıştır. Hazır onarım harçlarına ait sertleşmiş harç özellikleri Çizelge 3.18'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.18 : Hazır onarım harçlarına ait sertleşmiş harç özellikleri.

Test Günü	**7. gün**		**28. gün**	
Mekanik Dayanım	**Basınç Dayanımı (MPa)**	**Eğilme Dayanımı (MPa)**	**Basınç Dayanımı (MPa)**	**Eğilme Dayanımı (MPa)**
1	33.3	3.9	41.7	8.9
2	36.2	4.0	40.9	8.4
3	50.0	5.1	61.4	12.0
4	62.4	5.3	71.3	11.9
5	51.8	6.8	66.3	13.6
6	21.7	4.3	31.0	8.0
7	13.4	4.7	38.3	7.9
8	11.8	2.9	14.7	2.6
9	22.1	5.0	35.4	7.0

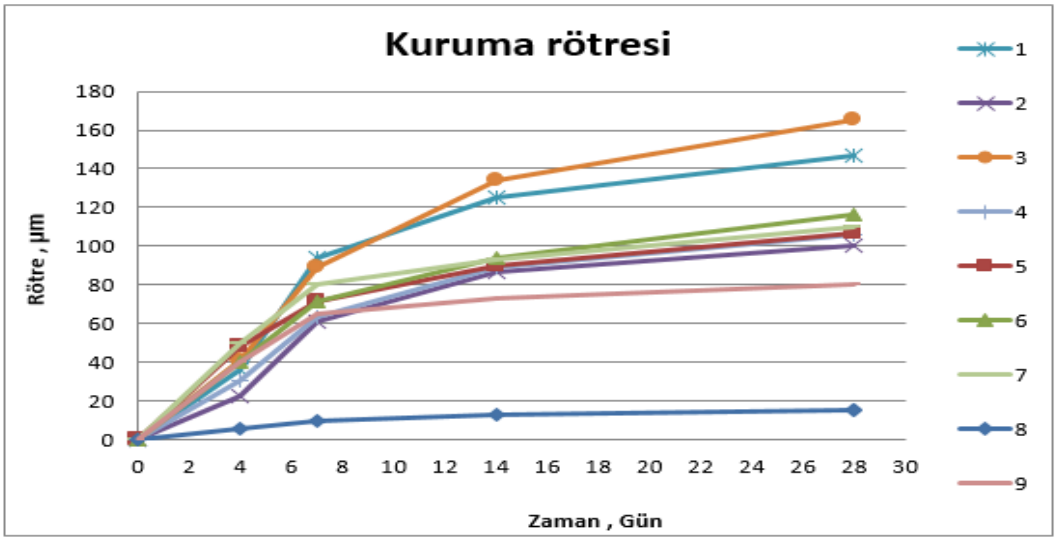
Alkali silika reaksiyonu sonucunda genleşmeler ölçülmüştür. Sonuçlar Şekil 3.8'de verilmiştir. Standartta belirtilenler ışığında 14 günlük genleşmeler 0.10 ile 0.20 arasında olan karışımlar potansiyel reaktif karışımlardır. Bu onarım harçları da sahada kullanıldığında nem varlığında alkali silika reaksiyonuna bağlı genleşmeler

gösterebilir. Onarım amacıyla kullanılmayı planladığımız harçlar yapıda ekstra olumsuzluklara yol açabilir.

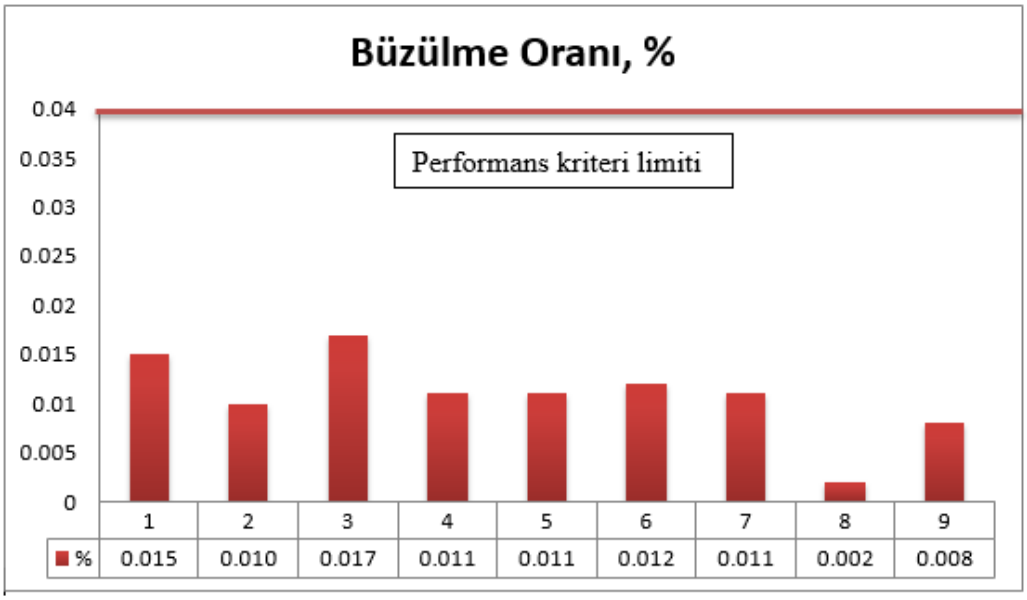


Şekil 3.8 : Hazır onarım harçlarında ASR deneyi sonuçları.

Kuruma rötresi sonuçları Şekil 3.9'da gösterilmiştir. Rötresiz harç olduğu iddiası olmayan hazır karışımların büzülme sonuçları, rötresiz harç olduğunu iddia edenlerden daha düşüktür. Rötresiz harç olarak üretilenler daha fazla rötre yapmıştır. Araştırmacıların yayınladığı bir performans kriteri olarak onarım harçlarının yaptığı büzülme oranına bir sınırlama ve üst bir limit getirilmiştir [88]. 28 gün sonucunda büzülme oranı %0.04 ten yüksek olmamalıdır ki onarım yapılan kısımda yeni bir çatlama olmasın. Karşılaştırmalı büzülme oranı sonuçları Şekil 3.10'da grafikte gösterilmiştir.



Şekil 3.9 : Hazır onarım harçlarında kuruma rötresi sonuçları.



Şekil 3.10 : Kuruma rötresi deneyi sonucu büzülme oranları [88].

3.4 Geliştirilecek Harçlarda Kullanılan Polimerlerin Seçimi

Uygulamada kullanılan hazır onarım harçlarıyla yapılan çalışmalar sonucunda çimento esaslı matristen beklenen özelliklerin sağlanamayacağı ortaya çıkmıştır. Çünkü bu harçların içine giren bileşenler kontrol edilemeyeceği için beklenmedik dayanım, dayanıklılık ve işlenebilirlik problemleriyle karşılaşmak olasıdır. Bu da araştırmacıları kendi matris tasarımını belirleyerek yeni bir çimento esaslı polimer modifiyeli harç karışımı yapmaya yönlendirmiştir. Bu amaçla piyasadan farklı kimyasal kökenli, aynı kimyasal kökene sahip fakat farklı kimyasal özelliği olan lateks ve yeniden dağılabilir toz polimerler temin edilmiştir. 10 farklı toz polimer ve 10 farklı lateks polimer üreticilerinden temin edilerek çalışmaya dahil edilmiştir. Burada amaç geniş bir yelpazede ürün tarayarak matris harcından en uygun fiziksel ve mekanik özellikleri elde edebilmektir. Bahsedilen sıvı ve toz polimerlerin kimyasal ve fiziksel özellikleri EK C'de verilmiştir. İsimlendirme lateks polimerler için L1, L2, L3 vb şeklinde toz polimerler için R1, R2, R3 vb şeklinde yapılmıştır.

Harç karışımlarının hazırlanmasında tüm toz malzemeler sırasıyla pan tipi yatay karıştırıcıya boşaltılır. Eğer sıvı polimer kullanıldıysa uygun miktarlarda tartılır ve karışıma daha sonra eklenmek üzere hazır bekletilir. Karışım suyu eklenirken sıvı polimerden gelecek su miktarı göz önüne alınır aksi takdirde sıvı polimerden gelen ekstra su su/bağlayıcı oranının değişmesine sebep olur. Kuru malzemeler 30 sn karıştırılır. Karıştırma devam ederken tartılan ıslanma suyu karışıma yavaş yavaş

eklenir. Karıştırma bittiğinde harç bir süre dinlendirilir. İçindeki kimyasal malzemelerin birlikte çalışabilmesi için etkin hale gelmesi ve kendilerinden beklenen görevleri yapabilmesi için bu süreye ihtiyaç vadır. Daha sonra tekrar kısa bir karıştırma yapılır ve malzemeler taze harç deneylerine tabi tutulur. Sıvı polimer konulduğu zaman ıslanma suyuyla karışım bir miktar ıslatılıp tüm malzemeler nemlendikten sonra sıvı polimerler eklenmelidir. Aksi takdirde çimento parçacıkları veya kum tanelerinin yüzeyine polimer malzemeler kolaylıkla emilir ve efektif bir kullanım sağlanmamış olur.

Hazırlanan harç karışımları taze halde ve sertleşmiş halde deneylere tabi tutulmuştur. Harçlardan beklenen yüksek performanslı özelliklerin yanı sıra karşılaştırmalı deneyler yapılarak polimerlerin performansları da belirlenmek istenmiştir. Bu sebeple karışıma giren tüm malzemeler sabit tutularak sadece polimer oranları değiştirilmiştir. Seriler polimer katkıların hava sürükleme miktarlarını tayin edebilmek için köpük kesici katkılı ve köpük kesici katkısız olarak hazırlanmıştır. Taze halde hava içeriği, yayılma çapı ve süresi ile birim ağırlık değerleri elde edilmiştir.

Harç karışımı içeriğindeki bileşenlerin ağırlıkça % leri Çizelge 3.19'da verilmiştir. Harç karışımına yeniden dağılabilir toz polimerler bağlayıcı ağırlığına oranla (çimento+silis dumanı) %3 lük bir dozajda eklenmiştir. Bunun yanısıra lateks polimerler %10 dozajında ilave edilmiştir.

Çizelge 3.19 : Harç karışımı.

Malzeme	**Bileşenler (%)**
Çimento	38
Silis Dumanı	4
Toplam Bağlayıcı	42
Silis Kumu (Agrega I)	56.8
Akışkanlaştırıcı	0.8
Köpük Kesici Katkı	0.4
TOPLAM	**100**
Bağlayıcı/Agrega Oranı	1:1.35
Su/Bağlayıcı Oranı	0.35

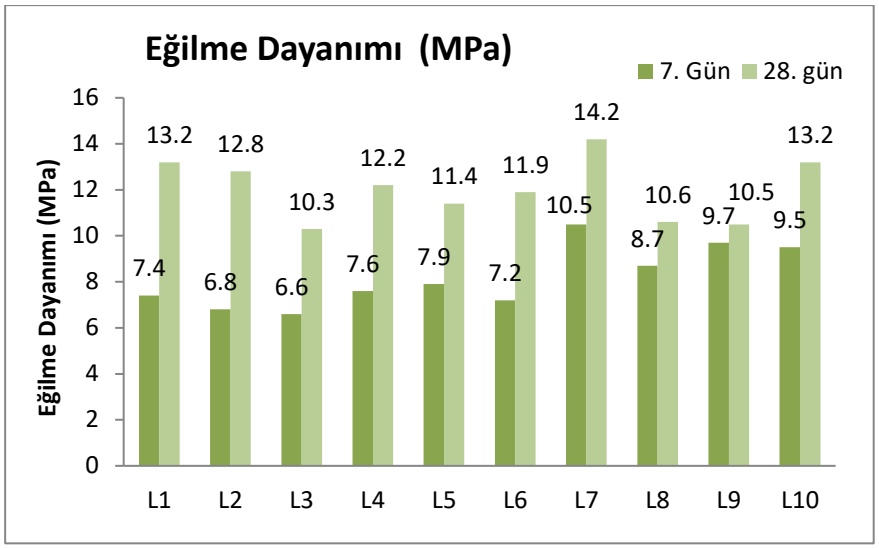
Harçlar 4x4x16 cm boyutlarında kalıplara dökülüp 24 saat sonra kalıptan çıkarıldı. Kirece doygun suda 20 °C' de üç gün süreyle kürlendi. Sertleşme süresinden sonra, test gününe kadar laboratuar koşullarında kuru kürlenmiştir. Karışımlar işlenebilirlik özellikleri açısından karşılaştırılmıştır. Kıvam 1: Plastik kıvam (PK), Kıvam 2: Kendiliğinden yayılan olarak belirlenmiştir (KY). Elde edilen sonuçlara göre harç karışımları taze hal özelliklerine göre de etiketlendirilmiştir. Su/çimento oranı 0.35 olarak sabit tutulmuştur. Lateksin katı madde içeriği ve içerdiği su miktarı dikkate alınarak karışım suları aynı miktarda azaltılmıştır. Matris harçlarının taze halde birim ağırlığı, hava içeriği ve yayılma çapı ölçülmüştür. Sonuçlar Çizelge 3.20 ve 3.21'de verilmiştir. Sertleşmiş halde 7. gün ve 28. gün eğilme ve basınç dayanımı elde edilmiştir. Sonuçlar Şekil 3.11, 3.12, 3.13 ve 3.14'te görülmektedir.

Çizelge 3.20 : Lateks polimerle hazırlanmış harçların taze hal özellikleri.

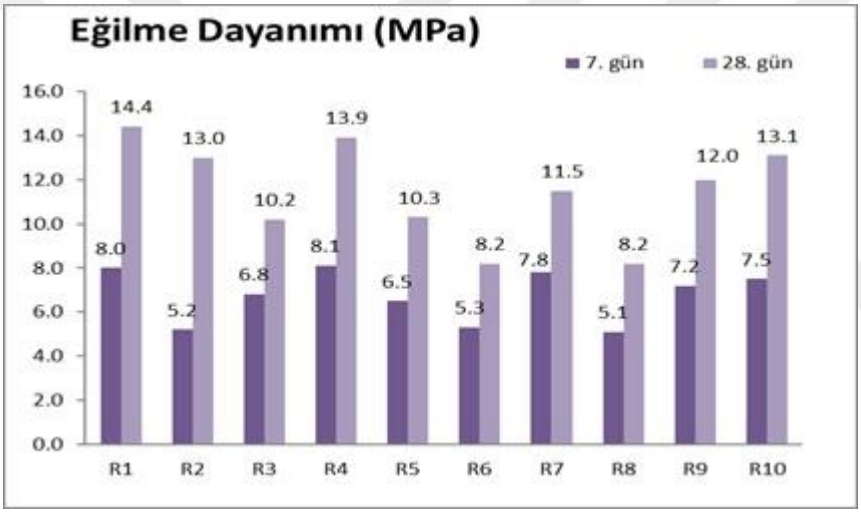
Karışım	Polimer Bağlayıcı (%)	Birim Ağırlık (gr/cm^3)	Hava Miktarı (%)	Yayılma Çapı (cm)	Kıvam (PK veya KY)
L 1	10	1.64	12.0	20.0	KY
L 2	10	1.74	9.0	29.0	KY
L 3	10	1.75	4.5	18.0	PK
L 4	10	1.40	11.3	17.3	PK
L 5	10	1.98	6.5	18.5	KY
L 6	10	1.96	4.8	17.3	KY
L 7	10	2.05	4.8	15.8	KY
L 8	10	1.94	10.8	18.5	KY
L 9	10	2.00	6.7	20.8	KY
L10	10	2.01	4.5	16.5	KY

Çizelge 3.21 : RDP polimerle hazırlanmış harçların taze hal özellikleri.

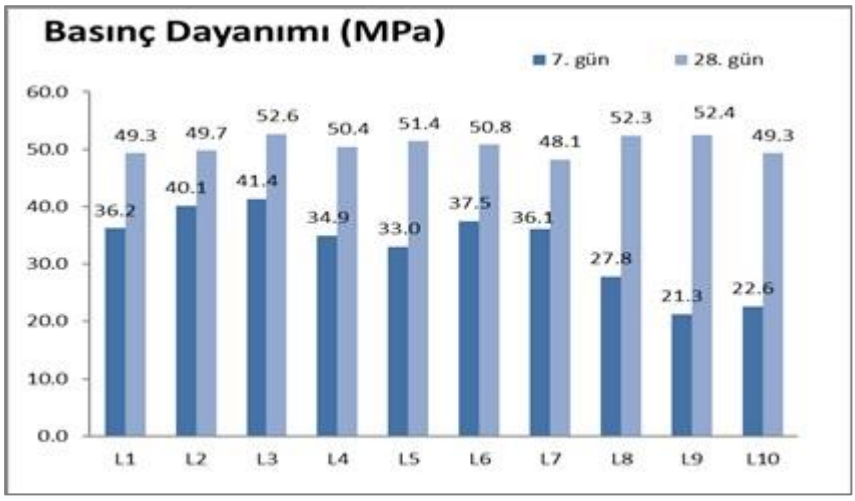
Karışım	Polimer Bağlayıcı (%)	Birim Ağırlık (gr/cm^3)	Hava Miktarı (%)	Yayılma Çapı (cm)	Kıvam (PK veya KY)
R1	3	1.91	6.0	24.0	PK
R2	3	1.98	7.0	27.0	KY
R3	3	2.07	5.5	22.4	KY
R4	3	1.92	5.0	22.0	KY
R5	3	2.10	5.8	21.3	KY
R6	3	2.13	3.4	17.7	KY
R7	3	2.07	5.2	19.0	KY
R8	3	2.09	3.2	24.0	KY
R9	3	2.12	4.8	16.0	KY
R10	3	2.12	4.7	12.7	KY



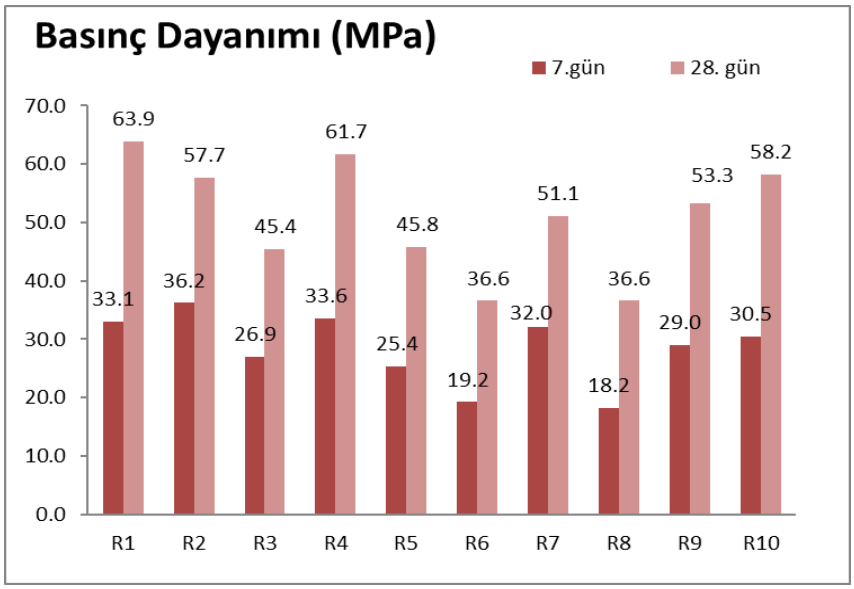
Şekil 3.11 : Lateks polimerli harçların eğilme dayanımları.



Şekil 3.12 : RDP polimerli harçların eğilme dayanımları.



Şekil 3.13 : Lateks polimerli harçların basınç dayanımları.



Şekil 3.14 : RDP polimerli harçların basınç dayanımları.

Elde edilen taze hal ve sertleşmiş hal sonuçları değerlendirilerek harç karışımı tasarımlarında L1 ve L2 lateks polimerleri ile, R1 ve R2 yeniden dağılabilir toz polimerlerin kullanılmasına karar verilmiştir.

3.5 TRCC'lerin Üretiminde Kullanılacak Harçların Tasarımı

Literatürde RILEM TC 201 raporunda TRCC sistemlerde kullanılan matris tasarımı konusu geniş biçimde ele alınmıştır [5]. Harç karışımlarının başlangıç tasarımları ve denemeleri ışığında gerçekleştirilirken optimum bir bileşim elde edilmiştir. Böylece malzeme kısmında bahsedilen bileşenler kullanılarak yeni bir dayanım ve dayanıklılık açısından yüksek performanslı çimento esaslı harç karışımı tasarlanmıştır. Yüksek performanslı tabakalı kompozitler üretebilmek için yüksek performanslı bir matris elde etmek gereklidir. İlk çatlama dayanımı matris dayanımına eşit olan kompozitlerde bu çok önemli bir gerekliliktir [89].

Harç karışımı içeriğindeki bileşenlerin ağırlıkça %'leri Çizelge 3.22'de verilmiştir. Polimer oranları ayrıca bağlayıcı miktarına oranla verildiği için harç karışımına eklenmemiştir. 2 farklı polimer grubu kullanıldığından toz ve sıvı polimer oranları olarak ayrılmıştır. Polimerlerin yüzdece oranları karışıma giren çimento + mineral katkı (bağlayıcı madde) malzemenin ağırlığına oranladır. Toz polimerler doğrudan bu oranda toz halde olduklarından eklenebilirken sıvı polimerler bünyesinde hem toz

polimer malzeme hem de su bulundurduğundan katı madde oranlarıyla hesaplanarak karışıma eklenmiştir.

Lateks polimerlerin karışım oranları içeriğinde bulundurduğu katı madde içeriği/ bağlayıcı oranı ile hesaplanarak karışıma eklenmiştir. Toz ve lateks polimerlerin karışıma eklenme oranları Çizelge 3.23'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.22 : Harç karışımı.

Malzeme	**Bileşenler (%)**
Çimento	38
Silis Dumanı	4
Toplam Bağlayıcı	42
Silis Kumu (Agrega I)	56.8
Akışkanlaştırıcı	0.8
Köpük Kesici Katkı	0.4
TOPLAM	**100**
Bağlayıcı/Agrega Oranı	1:1.35
Su/Bağlayıcı Oranı	0.35

Çizelge 3.23 : Polimer karışım oranları.

Sıvı Polimerler		**Toz Polimerler**	
Latex I	**Latex II**	**RDP I**	**RDP II**
%10	%10	%1	%1
%15	%15	%3	%3
%20	%20	%5	%5

3.5.1 Deney sonuçları

3.5.1.1 Taze harç deney sonuçları

Elde edilen taze harç deney sonuçları Çizelge 3.24'te verilmiştir Sonuçlar değerlendirilerek tekstil donatılı çimento esaslı kompozit üretiminde kullanılacak seri belirlenmiştir. Harçların makineyle kompozit üretimine uygun işlenebilirlik özelliklerine sahip olması karar verilirken en önemli etken olmuştur. Bunun yanında sertlemiş hal özelliklerinden olan eğilme dayanımı da göz önüne alınarak karar verilmesi planlanmıştır.

Çizelge 3.24 : Taze harç deney sonuçları.

P	(%)	BA	H	YÇ	T_{20}	BA	H	YÇ	T_{20}
		Köpük kesici katkı yok (%0)				**Köpük kesici katkı var (%0.4)**			
Latex I	%10	1.64	12.0	20.0	8.0	1.98	4.6	29.0	6.5
	%15	1.38	14.0	17.5	-	1.92	5.0	28.0	9.0
	%20	1.47	13.0	20.0	-	1.90	5.5	27.0	13.6
Latex II	%10	1.74	9.0	29.0	1.1	2.06	3.0	30.0	3.0
	%15	1.85	6.5	29.5	1.3	2.03	2.2	31.0	1.5
	%20	1.88	6.0	29.0	1.0	2.02	2.7	32.0	1.1
RDP I	%1	2.10	4.0	20.0	-	2.19	1.8	24.5	4.0
	%3	1.91	6.0	24.0	-	2.14	2.4	23.0	5.0
	%5	1.99	5.5	22.0	-	2.14	2.1	22.0	6.0
RDP II	%1	2.24	3.5	17.0	3.5	2.14	1.7	19.0	4.5
	%3	1.98	7.0	27.0	4.0	2.12	2.4	23.0	9.0
	%5	1.84	10.0	22.0	7.0	2.13	2.1	21.0	12.0

P: Polimer, BA: Birim Ağırlık (gr/cm^3), H: Hava Miktarı (%), YÇ : Yayılma Çapı (cm), T_{20} : Yayılma süresi (sn)

3.5.1.2 Sertleşmiş harç deney sonuçları

Elde edilen sertleşmiş hal deney sonuçları Çizelge 3.25'te gösterilmiştir. Sonuçlar değerlendirilerek tekstil donatılı çimento esaslı kompozit üretiminde kullanılacak seri belirlenmiştir. Harçların makineyle kompozit üretimine uygun işlenebilirlik özelliklerine sahip olmasının yanında beklenilen mekanik özellikleri de sağlaması istenmiştir. Sertleşmiş harç özelliklerinden olan eğilme dayanımı ve basınç dayanımı değerleri de göz önüne alınarak RDP I %5 serisi kompozit üretimlerinde kullanılacaktır.

Çizelge 3.25 : Sertleşmiş harç deney sonuçları.

Polimer Malzeme	Katkı Oranı (%)	Eğilme Dayanımı (MPa)		Basınç Dayanımı (MPa)	
		7. gün	28. gün	7. gün	28. gün
Latex I	%10	7.4	13.2	35.6	48.5
	%15	7.6	14.5	34.0	47.9
	%20	7.9	14.4	32.3	48.0
Latex II	%10	6.8	12.8	42.5	50.1
	%15	6.9	12.2	41.0	50.7
	%20	5.9	11.4	44.1	51.3
RDP I	%1	8.0	14.4	59.7	70.2
	%3	8.1	15.5	56.8	69.9
	%5	8.2	15.4	57.2	66.9
RDP II	%1	5.2	13.0	54.2	69.4
	%3	5.7	14.4	53.5	64.3
	%5	6.5	14.6	52.9	62.8

3.5.2 Geliştirilen harçlarda deney sonuçlarının değerlendirmesi

3.5.2.1 Taze harçların değerlendirmesi

Taze harç deney sonuçlarına bakıldığında geleneksel harçlara kıyasla polimer ile modifiye edilen harçların hava içeriğinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Bunun bir nedeni emülsiyon yapıcı ve stabilizer kimyasallar içinde bulunan sürfaktanların etkisidir [90]. Lateks polimerler ile modifiye edilmiş harçlar yeniden dağılabilir tozlar ile modifiye edilmiş harçlara göre daha yüksek hava içeriğine ulaşmıştır. Lateks I in %15 oranında eklendiği serilerde köpük kesici katkı kullanılmayan serilerin en yüksek hava içeriği olan %14 değerine ulaştığı görülmüştür. Surfaktanlar lateks polimerler içinde daha çok bulunur. Bu yüzey aktif malzemeler polimerin hava sürükleyici etkisini arttırırlar [91]. Farklı kökenli polimerler (lateks veya toz polimer) farklı hava sürükleme etkisine sahiptir. Aşırı hava sürükleme iç yapıda süreksizliklere neden olur [92]. Hava içeriğindeki artış mukavemet ve dayanıklılığın düşmesine neden olur. Bu problemin üstesinden gelmek için karışıma köpük kesici katkı ilavesi yapılmıştır. Karışımlara eklenen köpük kesici katkı miktarı sabit tutulmuştur. Sürüklenen hava miktarı köpük kesici katkının eklenmesiyle tüm serilerde azaltılmıştır. Genel olarak geleneksel harçların içerdiği hava miktarı seviyelerine düşmüştür. Ancak Lateks I ile üretilen harçta bu geçerli olmamıştır çünkü başlanıgıçta da çok yüksek hava içeriğine

sahip olan bu serilerin hava içeriği köpük kesici katkı kullanımında normal seviyelere inmemiştir. Köpük kesici katkı içeren lateks modifiyeli serilerin içermeyenlere göre daha akıcı bir kıvama sahip oldukları görülmektedir. Köpük kesici katkılar genel olarak akışkanlaştırıcı etki göstermiştir.

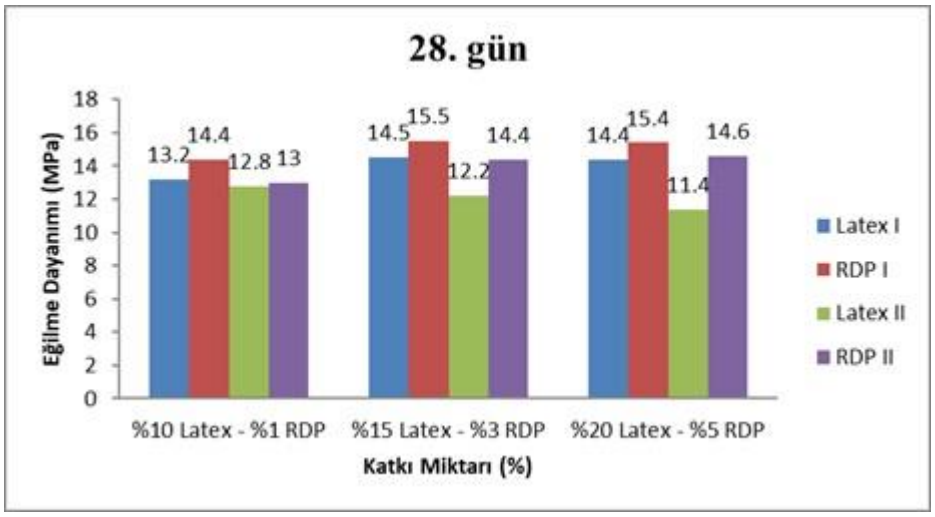
3.5.2.2 Sertleşmiş harçların değerlendirmesi

Polimer katkılı harçların eğilme dayanımları ve basınç dayanımlarının karşılaştırması Şekil 3.15 ve 3.16'da verilmiştir. Polimer katkıların harç ve betonların basınç dayanımını azalttığı kanıtlanmıştır [93]. Lateks polimerler ile üretilen harçlar yeniden dağılabilir tozlarla üretilenlere göre daha düşük basınç dayanımına sahip olmuştur. Bunun nedeni lateks polimerlerin bünyesinde bulundurdukları suyun kuruması ve iç yapıda film oluşturması için daha uzun bir sürenin geçmesi gerekliliğidir [12]. Bu harçlarda basınç dayanımı azalırken çekme dayanımının artması çimento hamuru-agrega arayüzünde polimer tarafından yüksek çekme mukavemeti sağlayan film oluşturulmasındandır. Daha sert polimerlerle üretilen harçlar daha yüksek eğilme dayanımına sahip olurken, daha yumuşak polimerlerle üretilen harçlar daha düşük dayanım elde etmiştir. Polimerlerin camsı geçiş sıcaklığı yükseldikçe daha sert hale gelirler ve böylece daha yüksek eğilme dayanımına ulaşırlar [90].

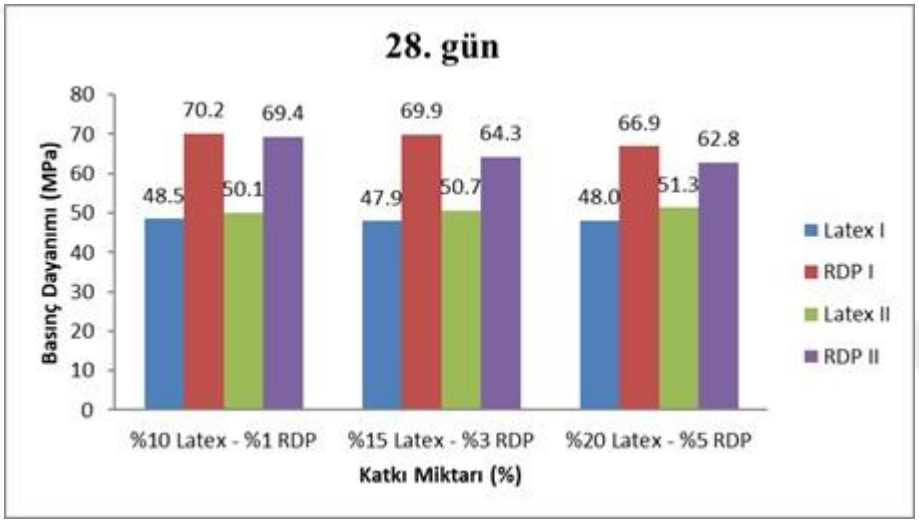
%1 oranında RDP I ile hazırlanmış köpük kesici katkı içeren seriler 70.2 MPa ile en yüksek basınç dayanımına sahiptir. RDP serileri genel olarak Lateks serilerinden daha yüksek basınç dayanımı değerlerine ulaşmıştır. Lateks serilerinde RDP serilerinden daha düşük eğilme dayanımları elde edilmiştir.

Lateks polimerlere benzer şekilde toz polimerler ile üretilmiş harçlarda harcın mekanik özellikleri polimerin kimyasal ve fiziksel özellikleri ile polimer/çimento oranıyla doğrudan ilgilidir [94]. Yeniden dağılabilir tozlarla üretilmiş harçlarda harcın polimer içeriği arttıkça basınç dayanımı değerleri azalmıştır. Köpük kesici katkı içeren %3 ve %5 oranında toz polimer eklenmiş serilerin eğilme dayanımları çok yakın olup RDP I ile hazırlanmış numunelerde 15.5 ve 15.4 MPa ve RDP II ile hazırlanmış numunelerde 14.4 ve 14.6 MPa dır.

TRCC üretimlerinde kullanılmak üzere seçilen seriler RDP I %5 serileridir. Hem dayanım hem de işlenebilirlik özellikleri dikkate alınarak makine ve tekstille uyumlu çalışan bir harç olduğundan bu polimerin kullanımına karar verilmiştir.



Şekil 3.15 : Eğilme dayanımlarının karşılaştırması.



Şekil 3.16 : Basınç dayanımlarının karşılaştırması.

4. TRCC ÜRETİMİ VE UYGULANAN DENEYLER

Tekstil donatılı çimento esaslı kompozitlerin üretiminde birçok teknik geliştirilmiştir. Bu tekniklerin var olan yöntemde olumsuzluk içermesi sebebiyle bu tez kapsamında yeni bir üretim yöntemi önerilmiş ve uygulanmıştır. PPR - Pull Pour and Roll (Çek, Dök ve Sar) tekniği adı verilen yöntemle üretimin yapılması için yeni ve daha önce var olan yöntemlerde bulunmayan özelikte tasarlanmış bir makine kullanılmıştır. Tekstil donatılı çimento esaslı kompozitler bu yeni makine yardımıyla ve tekniğe ismini veren işlem adımları uygulanarak üretilmiştir.

4.1 TRCC Üretiminde Kullanılan Makine ve Üretim Yöntemi

Üretilen makine mevcut teknikle başarılamayan, tekstillere ön germe verme, kalıba sarma ve basınç uygulama işlemleri sayesinde çok ince kesitli TRCC kompozit ürün elde edilmesini sağlamaktadır. Bu yeni üretim yönteminin öncelikli amacı çok ince, hızlı, pratik, üç boyutlu, içi boş, farklı şekil ve boyutlarda tekstil takviyeli çimento esaslı taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan kompozitlerin üretilebilmesi için bir yöntem ve bu yönteme uygun makine ile ilgilidir. Bu sayede üretilecek ince kesitli kompozite istenilen tabaka sayısı kadar tekstil yerleştirilmesine imkan vermektedir. Kesitin ince ve tabaka sayısının yüksek olması kompozit içerisindeki tekstil oranını artırır. Böylece kompozitlerdeki matris harcıyla tekstil malzeme arasındaki aderans artmaktadır. Yüksek aderans sayesinde kompozitte oluşacak çatlak açıklıkları ve çatlaklar arası mesafe sınırlandırılmış olacak böylece mekanik performansı yüksek uzun ömürlü ürün elde edilmiş olacaktır.

Pull Pour Roll (PPR) tekniğinde öncelikle matris malzemelerini içeren bileşenler uygun formülasyona göre tartılarak mikserde karıştırılır ve matris karışımı hazırlanır. Bu harç karışımı makinede bulunan harç besleme haznesine boşaltılır. Tekstil yükleme rulosundaki tekstil malzemenin bant üzerine konumlanması sağlanır. Kontrol ünitesi yardımıyla makineyle ilgili tekstil gerginliği, üretim hızı, bant vibrasyonu vb. özellikler ayarlandıktan sonra üretime başlama komutu verilir. Harç karışımı besleme

haznesi üzerinden taşıma bandı üzerine düşürülür. Buradan ilerleyen karışım ilk sıyırıcıya gelir ve üstteki harç malzemesinin 2-3 cm arası kalınlığa gelmesi için tesviye edilir. İlk sıyırıcıda bant üstünde ilerleyen harç ve tekstil birlikteliğindeki malzemeye bant bünyesinden vibrasyon verilir. Titreşim yardımıyla harçta kalan hava boşlukları çıkarılır, harcın tekstil iplikçiklerine iyice nüfuz etmesi sağlanır. İkinci sıyırıcıya gelen harç malzemesine 1-3 mm kalınlık verilerek fazla malzeme sıyırılır. Ardından malzeme kalıp ünitesine gelerek istenilen tabaka sayısı kadar sarma işlemi gerçekleştirilir. Farklı kesitlerde içi boş dikdörtgen, dairesel, plaka veya çokgen kesitli iç kalıplara sarılma işlemi yapılır. İstenilen tabaka sayısına ulaşılınca kontrol ünitesi durudurulur. İç kalıp üzerine sarılmış malzeme dış kalıp yardımıyla hidrostatik basınca maruz bırakılır. Bir gün kalıba sarılı halde sertleşen malzeme ertesi gün iç kalıp alınarak herhangi bir kesici aletle istenilen formda kesilerek ürün elde edilir. Ürünler bu işlemin ardından kürlemeye alınır. PPR sistemiyle elde edilen TRCC yapısal ürünler tabakalı kompozit şeklindedir. Bu sebeple istenilen tabaka sayısında üretim yapma imkanı sağlamaktadır.

Üretim yöntemi (PPR) ve makinesi ile üretilebilen TRCC kompozit bünyesinde kullanılan tekstil malzemeler doğal, inorganik ve sentetik olabilmektedir. Bu nedenle bazalt, polipropilen(PP), polivinil alkol(PVA), alkali dirençli cam (AR Glass), alkali dirençsiz cam, kevlar, polietilen (PE), yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE), karbon, akrilik, naylon, polyester, phenylene benzobis oxazole (PBO), metal tekstiller ile hayvansal ve bitkisel tekstil türleri ile birlikte, bükülebilir her türlü iki boyutlu(2D) ve üç boyutlu(3D) tekstili içeren gruptan seçilen bir tekstil veya bunların uygun bir kombinasyonu olarak kullanılabilmektedir. Makine ile üretimde tercih edilen tekstil malzeme tipleri dokuma, örme veya mesh şeklinde olmaktadır. Dokuma ürünler Plain, Twill, Satin veya Leno dokuma türlerinden biri seçilebilmektedir [3]. Örme ürünler warp, weft, raschel, milanese, tricot, circular ve flat örme tiplerinden seçilebilmektedir [3]. Mesh tekstiller istenilen göz açıklığı ve kaplanmış ürünler arasından seçilebilmektedir. Aynı zamanda 3D tekstil ve dokuma olmayan (non-woven) tekstil türlerinden biri veya kombinasyonları kompozit üretiminde kullanılabilmektedir. Yöntemin sağladığı en önemli avantaj üç boyutlu, içi boş taşıyıcı veya taşıyıcı olmayan farklı şekil ve boyutlarda kompozit elde etmektir. Üretim yönteminin (PPR) polimer modifiyeli matris harç karışımlarına uygun olması dayanım ve dayanıklılık açısından önemlidir. PPR makinesinin görünüşü EK D'de gösterilmiştir. Önerilen tekniğe ait

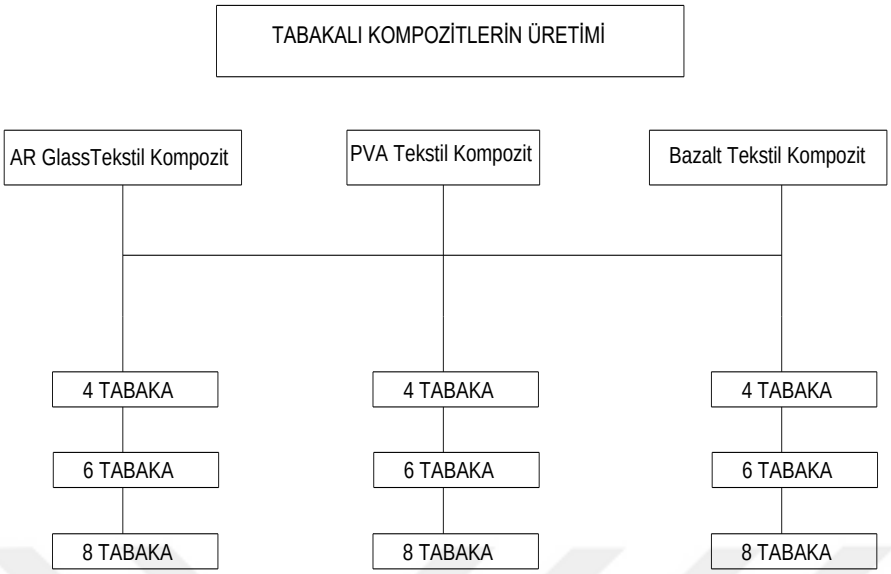
olan bu üretim yöntemiyle (PPR) elde edilen kompozitin sahip olduğu özelikler şu şekildedir;

- Yüksek dayanım ve dayanıklılık
- Üç boyutlu, içi boş kompozit elemanların üretimi
- Yüksek oranda tekstil malzemesi kullanımı
- Tekstile yüksek seviyede gerginlik verilmesi
- Kompozite yüksek seviyede hidrostatik basınç verilmesi
- Üretimde kullanılacak polimer katkılı matris harcı ile kompozit performansının artması
- Üretimi çok zor, sık dokumalı (16 iplik/cm) tekstille bile kolaylıkla üretim yapılabilmesi
- İstenilen tabaka sayısı ve incelikte kompozit üretilebilmesi

4.2 TRCC Numunelerin Üretimleri

Dokuma tekstillerle yapılan üretimde mesh (ızgara) tekstiller ile kullanılan matrisin kıvamının kompozit üretimine elverişli olmadığı ve yeni bir harç geliştirilmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır. Burada çalışmaya uçucu kül malzeme dahil edilmiştir. Kendiliğinden yayılan bir karışım elde edebilmek, aynı zamanda ayrışma problemini ortadan kaldırmak için bağlayıcı ve filler (toz) malzemeler arttırılmıştır.

Uçucu kül bu aşamada çok etkili olmuştur çünkü uçucu külün varlığı işlenebilirliği daha düşük su/çimento oranında yeterli ölçüde arttırırken aynı zamanda ayrışmayı da engellemiştir. Su/bağlayıcı oranı 0.32 de sabitlenmiştir. PVA serilerinde kullanılan karışım aşağıda Çizelge 4.1'de görülmektedir. Numune üretimlerinde izlenen akış şeması Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



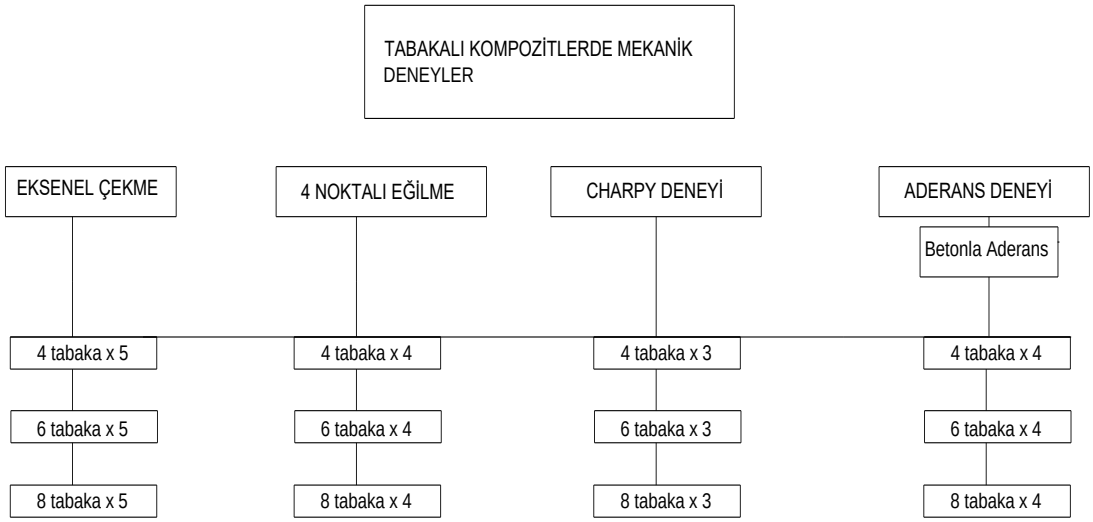
Şekil 4.1 : TRCC numune üretimleri.

Çizelge 4.1 : PVA Matris Harcı.

Malzeme	**Bileşen (%)**
Çimento	31
Silis Dumanı	4.5
Uçucu Kül	12.5
Toplam Bağlayıcı	48
Silis Kumu (Agrega II)	50.8
Akışkanlaştırıcı	0.8
Köpük Kesici Katkı	0.4
TOPLAM	**100**
Bağlayıcı/Agrega Oranı	1:1.05
Su/Bağlayıcı Oranı	0.32

4.2.1 Mekanik deneyler

AR Glass, Bazalt ve PVA tekstil kompozitlerden oluşan her bir grupta 4 kat, 6 Kat ve 8 kat tekstil içeren numuneler bulunmaktadır. Üretilen bu tabakalı kompozitlere mekanik deneyler uygulanmıştır. Mekanik deneyler; eksenel çekme, 4 noktalı eğilme, Charpy çarpma dayanımı testi ve betona yapışma (aderans) deneyidir ve Şekil 4.2 de gösterilmiştir.



Şekil 4.2 : TRCC lere uygulanan mekanik deneyler.

4.3 TRCC Malzemelere Uygulanan Deneyler

4.3.1 Eksenel çekme deneyi

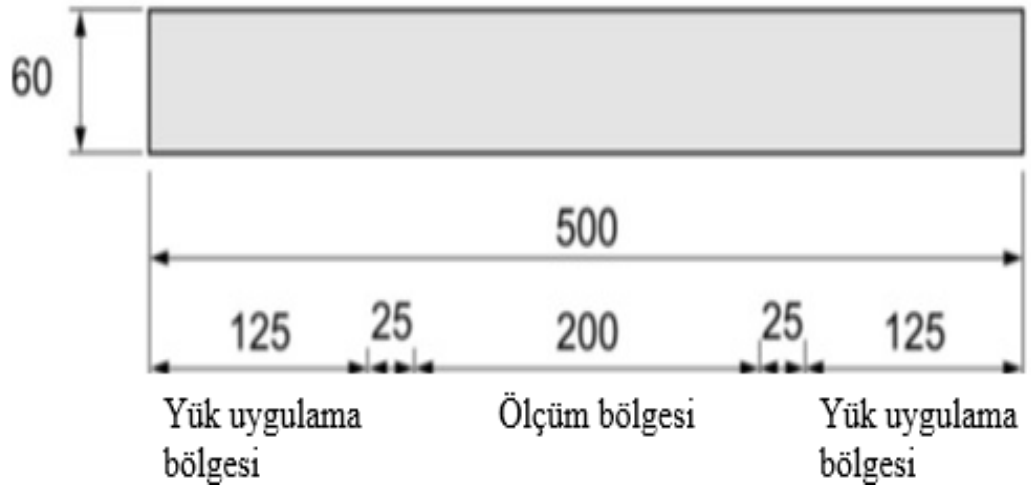
Tekstil donatının amacı matriste yük altında oluşacak çekme gerilmelerini taşımaktır. Tezin bu bölümünde kompozitin tek eksenli çekme etkisinde gerilme davranışını belirlemek amaçlanmıştır. Genel olarak, tek eksenli gerilme altında tekstil donatılı kompozit doğrusal elastik ve kırılgan bir davranış gösterir ve maksimum dayanımına ulaştığında ani bir şekilde kopar.

Tekstil donatılı çimento esaslı kompozitlerin heterojen bir yapıdan oluşması nedeniyle incelenen gerilme davranışı tekstili oluşturan filamentler ve ipliklerle doğrudan ilişkilidir. Örneğin iplik haline getirilmemiş bir filament daha büyük çekme gerilmesi dayanımına sahiptir. Bu filament işlenerek iplik haline getirildiğindeyse malzeme dayanım kaybına uğrar. Bunun sebebi her bir tekil filament içindeki malzeme kusurları ya da filament yüzeyindeki kusurlardan ileri gelir [5]. Örgü/ızgara yapısıyla son haline getirilmiş iplikler daha fazla mukavemet kaybına uğrar [95]. Çimento esaslı matris ve her bir filament arasındaki bağ kompozitin nihai dayanımını etkileyen birincil faktör haline gelir. O yüzden sadece tekstil ya da sadece matrisin çekme gerilmeleri altındaki davranışını bilmek yeterli değildir. Kompozit davranışı kendine özgü karakterize edilen bir davranıştır. TRCC malzemelerin eksenel çekme yükü altındaki davranışı üç farklı evreden oluşur. Bunlar 1. Çatlamamış aşama, 2. Çoklu çatlakların oluşumu, 3. Çatlakların tamamlanması ve 4. kırılma. Bu kompozitlerde oluşan çatlaklar geleneksel

betonarme elemanlarda oluşanlara göre çok daha ince yapıdadır. Bu sebeple, sadece matrisin çekme dayanımı değil kompozitin yük taşıma kapasitesi önem kazanır. Dünya çapında yapılan araştırmalarda araştırmacılar farklı yöntemlar kullanarak kompozit elemanlarda eksenel çekme uygulamıştır. Birbirinden farklı boyutlarda deney numuneleri üzerinde çekme testi gerçekleştirilmiştir. Eksenel çekme deneyi için kompozit numunelerin tutturulacakları çeneler bir çok farklı yöntemle uygulanmıştır.

Eksenel çekme deneyleri RILEM TC 232-TDT ne uygun olarak gerçekleştirilmiştir [96]. Bu standardın amacı TRCC'lerin eksenel yük altında çekme gerilmelerini belirlemektir. TRCC'lerin yük-sehim davranışının ölçülmesi, tekstilin mukavemetinin belirlenmesi ve kompozit tasarımında kullanılacak verilerin elde edilmesi için bir test yöntemi önermektedir.

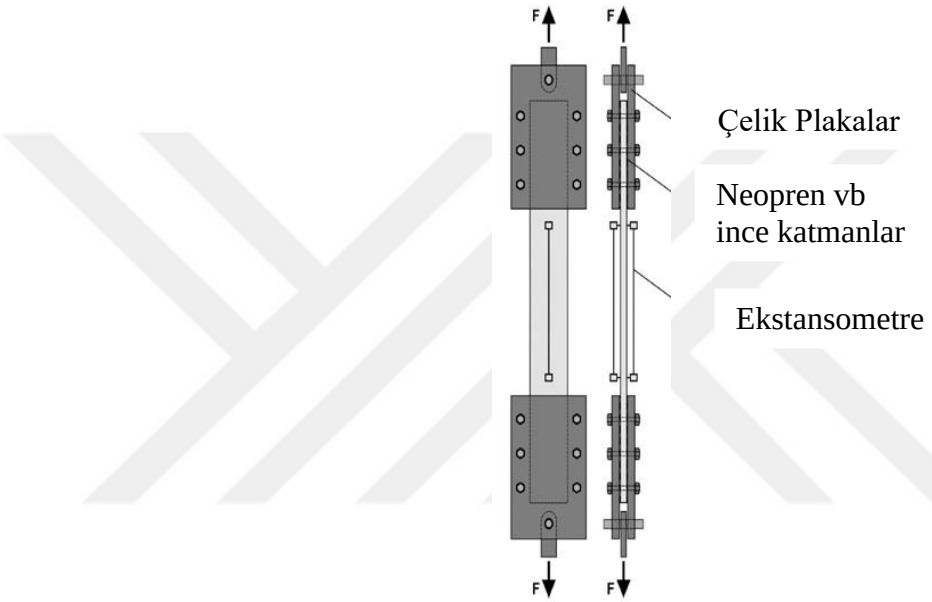
Deneyde kullanılacak çekme numunesinin üzerinde uzama ölçümleri yapılabilmesi ve çatlak oluşumunun gözlenebilmesi için deney numunesinin boy:genişlik oranı en az 5:1 olmalıdır ve uzunluğu en az 500 mm ve genişliği en az 60 mm olmaldır. Kompozitin içerebileceği tekstil sayısına bağlı olarak kompozitin kalınlığı değişebilmektedir ancak 6 mm den az olmamalıdır. Minimum lif oranı da göz önünde tutularak kompozit kalınlığı ve tekstil kat sayısı belirlenmeli, şekil değiştirme sertleşmesi gözlenebilecek şekilde seçilmelidir. Numunenin görünümü Şekil 4.3'te gösterilmiştir. Ölçüler mm dir.



Şekil 4.3 : Eksenel çekme numunesi boyutları [96].

Tekstilde kullanılan matris harç özelliğinde olmaldır ve harç içeriğindeki agreganın maksimum dane boyutu 2 mm ile sınırlandırılmıştır. Gerilme – şekil değiştirme grafiğinin orantılılık sınırı ilk çatlak dayanımını tanımlar.

Numune sert çelik plakalar arasına yeterince sıkıştırılmış kauçuk katmanlar (neopren vb) ile sabitlenir. Eksenel çekme yükü sürtünme yoluyla numuneye aktarılır. Numunenin çelik plakalar arasından kaymasını engellemek için uygun miktarda basınç uygulayarak sıkılması gereklidir. Bu sebeple çelik plakaların birbirine kenetlenmesi için cıvata kullanılır ve ankraj boyu kenetlenme boyu kadardır. RILEM TC 232 de belirtilen test düzeneği olarak Şekil 4.4'te gösterilmiştir [96]. Maksimum eksenel çekme gerilmesi (σ_{max}) maksimum çekme yükünün ($F_{çekme}$) kompozit elemanının çekme yüküne dik alanına (A_c) bölünmesiyle elde edilmiştir.



Şekil 4.4 : RILEM TC 232 ye uygun deney düzeneği [96].

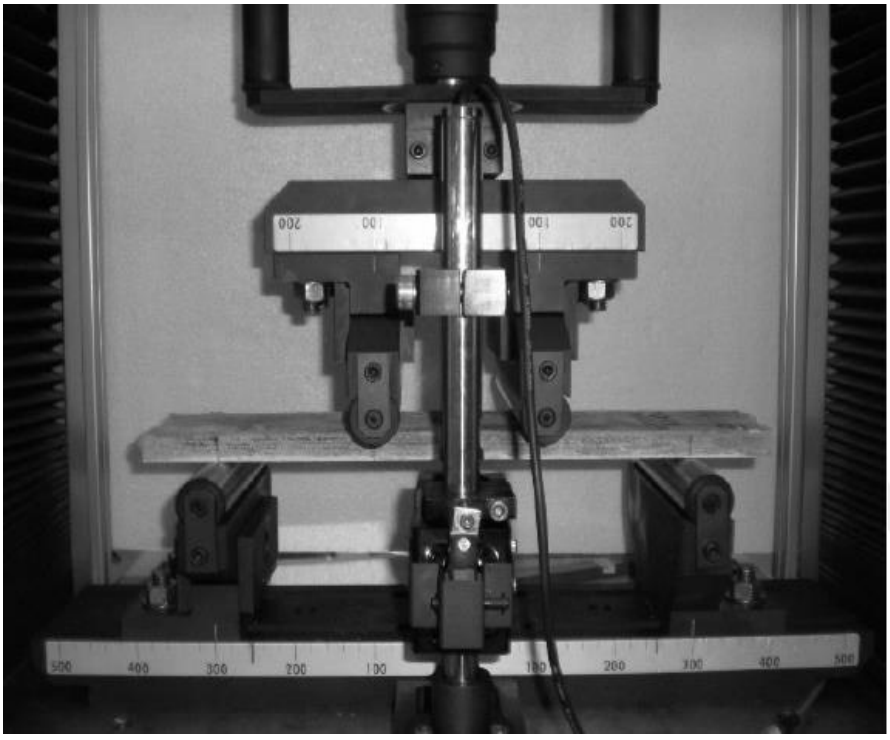
4.3.2 Dört noktalı eğilme deneyi

Bu tezin kapsamında PPR (Pull Pour roll) yöntemiyle üretilen tekstil donatılı çimento esaslı kompozitlerde dört noktalı eğilme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneyler Boğaziçi Üniversitesi Yapı Malzemesi Laboratuvarı'nda MTS eğilme deneyi aleti kullanılarak yapılmıştır.

Eksenel çekme deneyinde olduğu gibi eğilme deneyinde henüz tekstil donatılı çimento esaslı kompozitler için dünya çapında önerilen bir standart yoktur. Tekstil donatılı çimento esaslı kompozit malzemeler alanında yapılan araştırmalarda bir çok eğilme deney düzeneği ve deney numunesi boyutları önerilmiştir. Yapılan bir çalışmada jute tekstil kullanılarak üretilen çimento esaslı kompozitlere dört noktalı eğilme deneyi uygulanmıştır. Kompozitler el yatırması yöntemiyle üretilmiş olup V_f oranı (Lif

hacmi) %5.5 tan %11 e kadar değişmektedir ve numune boyutları 400 mm x 80mm x 12 mm (uzunluk x genişlik x kalınlık) olarak seçmişlerdir [97].

Dört noktalı eğilme deneyinde numuneler 300 mm mesnet açıklığından mesnetlenmiştir. Deney deformasyon kontrollü olarak 0.5 mm/dak hızda gerçekleştirilmiştir. Numunelerin orta noktasından maksimum sehim değerleri LVDT şekil değiştirme ölçerler yardımıyla elde edilmiştir. Deney düzeneği aşağıdaki Şekil 4.5'te gösterilmiştir.



Şekil 4.5 : Dört noktalı eğilme deneyi.

Bu tez kapsamında araştırmacıların yaptığı çalışmalar göz önüne alınarak uygun bir deney numunesi boyutu belirlenmiştir. Her bir seride 4 adet eğilme deney numunesinde gerçekleştirilen deneylerde numuneler 400 mm x 80 mm (uzunluk x genişlik) olarak boyutlandırılmıştır.

Numune kalınlıkları üretilen kompozitlerin içerdikleri tekstil miktarına göre değiştiğinden sabit değildir. Numunelerin eğilme yükü altında yaptıkları deplasmanlar kompozit plakaların orta noktasından LVDT (transducer) kullanılarak ölçülmüştür.

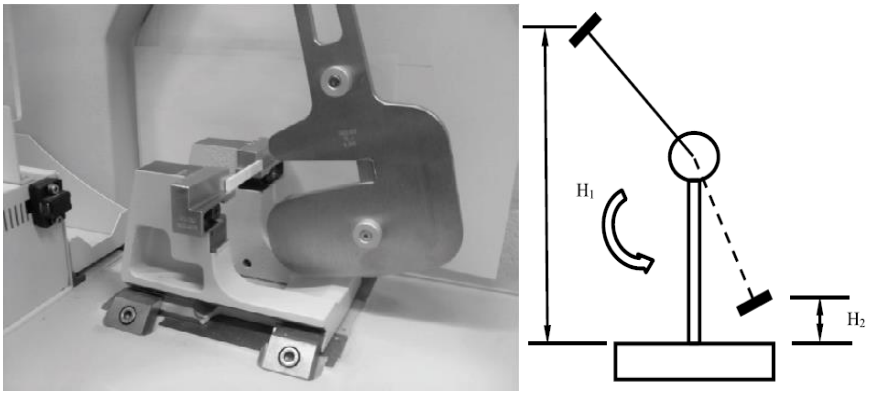
Yük-sehim eğrileri elde edilerek bu eğrilerden ilk çatlama dayanımı, maksimum eğilme dayanımı, eğilmede tokluk değerleri hesaplanmıştır. Tokluk yük-sehim eğrisi altında kalan alan hesaplanarak elde edilmiştir.

4.3.3 Charpy çarpma deneyi

Çimento esaslı tekstil donatılı kompozitler çekme yükleri altında şekil değiştirme sertleşmesi göstermesinin yanında büyük oranda enerji yutma kapasitesine sahip malzemelerdir. Enerji yutma kapasitesini ölçmek ve Charpy çarpma anında kırılma şeklini belirlemek için uygun bir deney yöntemi seçilmelidir.

Kompozitlere uygulanan Charpy çarpma deneylerinden en bilinenleri ağırlık düşürme testi (drop weight test) ya da pendulum testlerdir. Ağırlık düşürme testinde numunenin global veya lokal Charpy çarpma dayanımı nicel olarak belirlenir. Charpy çarpma testi metallerin üç noktalı eğilme altında lokal Charpy çarpma enerjisi yutma kapasitesini belirlemek için tasarlanmıştır Makinenin kapasitesinde yapılan değişiklikler ve numune boyutlarının ayarlanmasıyla Charpy çarpma testinin başka malzemelere de uygulanması sağlanmıştır. İlk olarak 1980 ve 1990 larda lif donatılı kompozitlere uygulanabilir Charpy çarpma testi geliştirilmiştir [98]. Bu geliştirilen yöntemde belirlenen numune boyutları bugünkü ince tekstil donatılı kompozitlere uygun değildir.

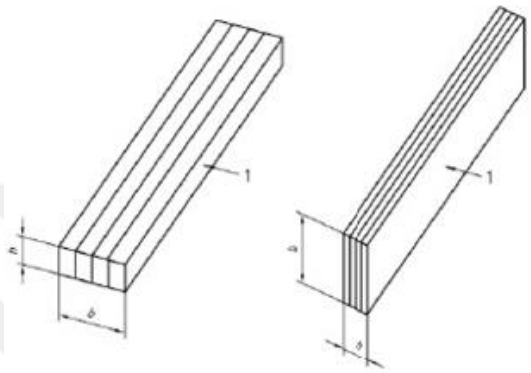
Tekstil donatılı çimento esaslı kompozitlerle ilgili çoğu deney polimer kompozitlere uygulanan deneylerden uyarlanmıştır veya bu deneylerden ilham alınarak üretilmiştir. Bu amaçla plastik ve polimer kompozit malzemelerin Charpy Charpy çarpma özelliklerini belirlemek için geliştirilen ISO 179-1 standardı incelenmiştir [99]. Standartta belirtildiği gibi bu yöntem tasarım verileri elde etmek için kullanılmamalıdır. Charpy deneyinin amacı karşılaştırmalı bir test yaparak farklı malzemelerin lokal Charpy çarpma enerjisi yutma kapasitesini belirlemektir. Test metoduna ait görsel Şekil 4.6 (a)'da verilmiştir [99].



(a) (b)

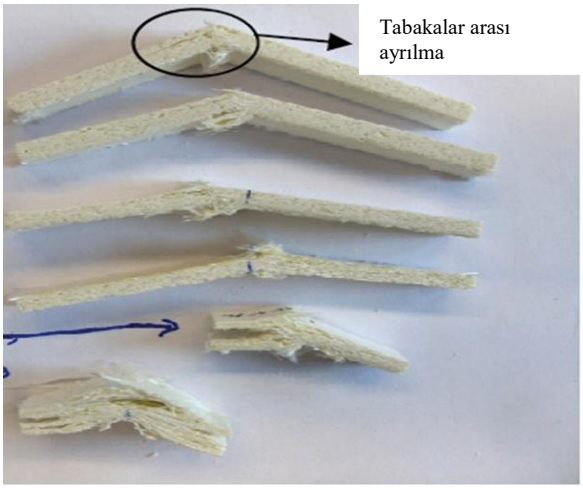
Şekil 4.6 : Charpy çarpma deney aleti ve düzeneği.

Numune iki tarafından basitçe tutturulur ve çarpma pendulumun vurucu kısmıyla tek seferde etkir. Absorplanan enerji pendulumun Charpy çarpma öncesi ve sonrası sahip olduğu potansiyel enerji değişiminin hesaplanmasıyla elde edilir. Şekil 4.6 (b)'de gösterilmiştir. Charpy Charpy çarpma dayanımı absorblanan enerjinin numunenin kesit alanına bölünmesiyle elde edilen dayanım değeridir. Tabakalı tekstil donatılı kompozit numuneler dikey ya da yatay olacak şekilde farklı yönlerde makineye yerleştirilebilir. Şekil 4.7'de bu yerleşim şekilleri görülür.



Şekil 4.7 : Numune yerleştirme yönü.

Yapılan bir çalışmada iki boyutlu cam mat tekstil kullanılarak üretilen tabakalı kompozitlere Charpy çarpma testi uygulanmıştır [100]. Farklı numunelerde gözlenen birbirinden farklı kırılma şekilleri rapor edilmiştir ve Şekil 4.8'de gösterildiği gibidir.



Şekil 4.8 : Charpy deneyi kırılma ve göçme modları [100].

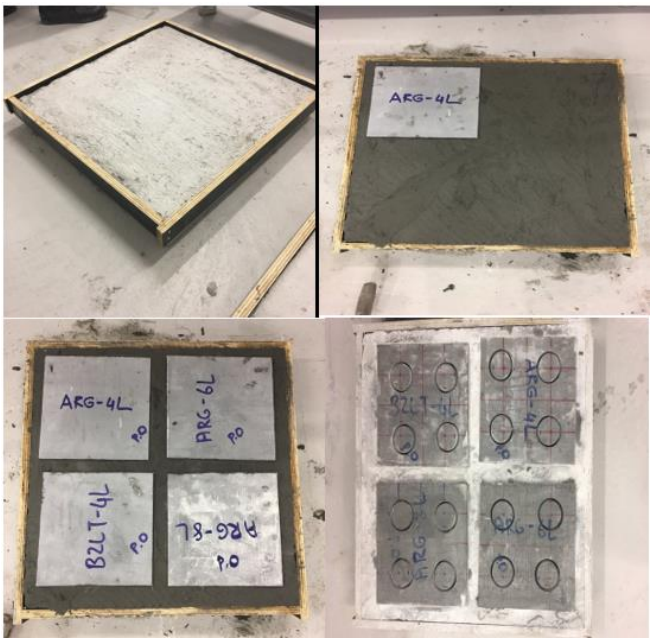
Bu tarz lamina tekstil donatılı kompozitlerde darbe etkisi altında tabakalar arası kayma sebebiyle ayrılma sıklıkla gözlenmektedir. Bu çalışmada da bazı numunelerde tabakalar arası ayrılma gerçekleşmiştir. Çalışmanın sonucunda belirtilen test

metodunun, farklı tekstil donatılı tabakalı kompozit malzemelerin lokal darbe dayanımının ve enerji yutma kapasitelerinin nitel olarak belirlenmesinde kullanılabileceği söylenmiştir. Kompozitte tekstil ve matris arasındaki aderansun düşük olduğu bölgelerde, tabakalar arası ayrılma önemli bir hasar mekanizması haline gelmiştir. Bu tez çalışmasında tüm numuneler dikey olacak şekilde makineye yerleştirilmiştir. Numune boyutları deney aletine yerleştirilmeye uygun olacak şekilde uzunluğu 250 mm, eni 35 mm olarak belirlenmiştir ve kesilerek hazırlanmıştır. Her bir seride ISO 179-1'de de belirtildiği gibi 3 adet numune deneye tabi tutulmuştur [99].

4.3.4 Yapışma (Aderans) deneyi

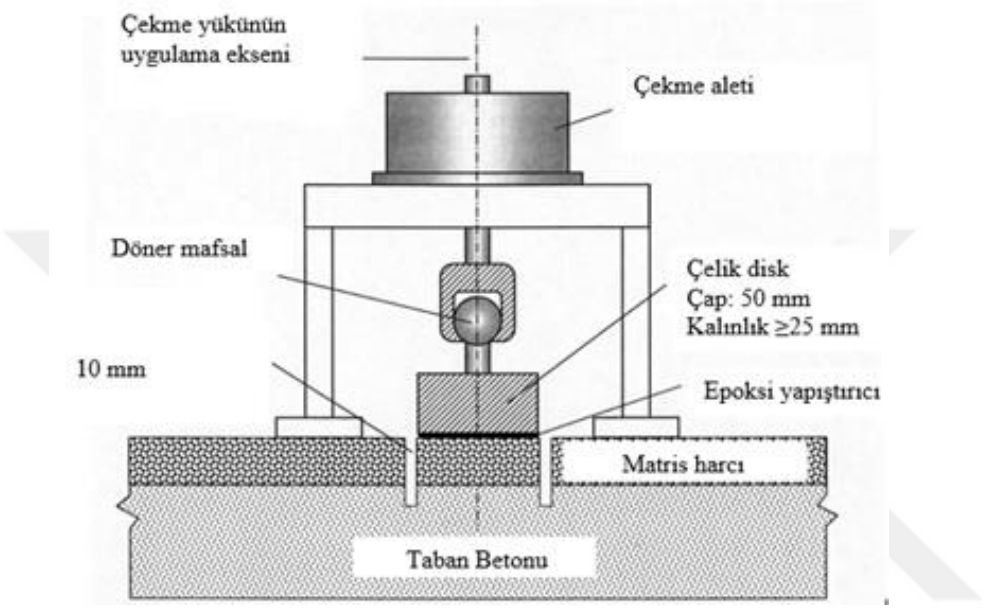
Üretilen tekstil donatılı çimento esaslı kompozit tabakalı plakalar kendi yapısında kullanılan matris harcı kullanılarak beton yüzeylere yapıştırılmıştır. Beton yüzeye yapışması aderans deneyleri ile araştırılmıştır.

Taban betonunun mukavemet özellikleri TS EN 12390-3 standardına göre belirlenmiştir [101]. Taban betonunun basınç dayanımı 30.2 MPa olarak belirlenmiştir. Yapışma deneyini yapmak için şu hazırlık aşamaları sırayla yapılmıştır. Taban betonunun hazırlanması, üzerine matris harcının sıvanması, kompozit plakaların yapıştırılması sonrası yapışma (aderans) testi yapılabilmesi için karot bıçağıyla iz açılması. Hazırlık aşamalarına ait fotoğraflar Şekil 4.9'da gösterilmiştir.



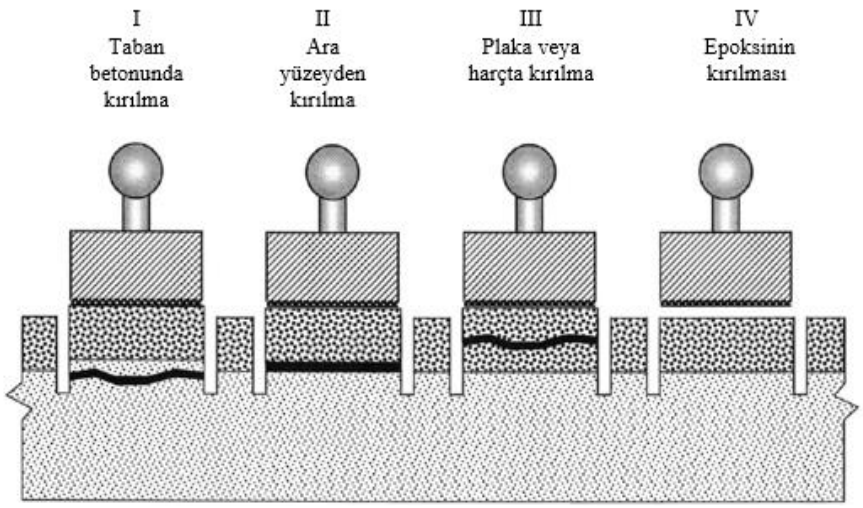
Şekil 4.9 : Yapışma (aderans) numuneleri hazırlık aşamaları.

Her bir seriden 1 adet plaka yapıştırılmıştır. Toplam 9 farklı seriden 9 adet plaka taban betonu üzerine matris harcı kullanılarak yapıştırılmıştır. Yerleştirilen plakalarda 4 adet yapışma (aderans) deneyinin yapılacağı iz açılmıştır. Yapışma (aderans) deneyi ASTM C1583 standardına uygun olarak yapılmıştır [102]. Açılacak izin derinliği ASTM C1583 standardı göz önüne alınarak belirlenmiştir. Standartta belirtilen deney düzeneği Şekil 4.10'da gösterilmiştir.



Şekil 4.10 : Yapışma (aderans) deney düzeneği [102].

Yapışma (aderans) deneyi sonucunda oluşacak kırılma şekilleri standartta belirtilmiştir. Hasar modları aşağıdaki Şekil 4.11'de gösterilmiştir.



Şekil 4.11 : Yapışma (aderans) deneyinde hasar modları [102].

Matris harcı ve tekstil donatı arasındaki aderans tekstil donatılı çimento esaslı kompozitin dayanımında kritik rol oynar. Bu sebeple SBR (Stren butadien kauçuk) epoksi ya da başka malzemelerle kaplama yapılan tekstiller kompozit üretiminde kullanılmaktadır. Tekstillerde yapılan kaplama tekstil ile matrisin birbirine yapışmasını arttıran, çimento esaslı kompozitlerde aderans sağlayan bir etkendir. Kaplama malzemesi yükün matris harcından liflere en iyi şekilde iletilmesini sağlar ve aynı zamanda kompozit üretiminde betonlama sırasında liflerin göreceği hasarı minimize eder [103].

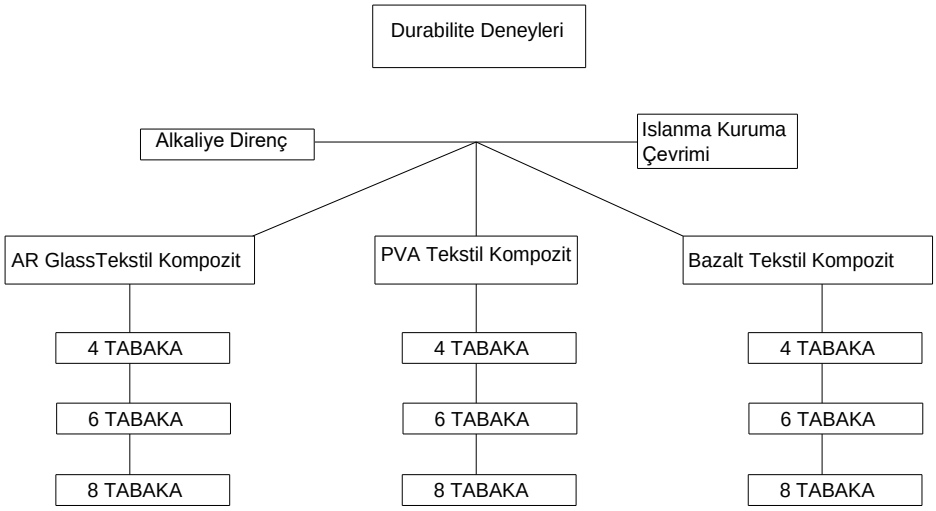
Bazı uygulamalarda, tekstil ve harç arasındaki aderans, yapışma dayanımının üst limitini belirler [95]. Şekil 4.12'de yüzey kaplaması yapılmamış SBR emdirilmiş bir tekstil ve püskürtme harç kullanılarak yapılan uygulamada yapışma deneyi örneği görülmektedir. Önceki çalışmalar, tekstillere yüzey kaplaması uygulanmasının tekstil donatılı çimento esaslı kompozitlerin performansına olumlu etkileri olduğunu kanıtlamıştır [95].



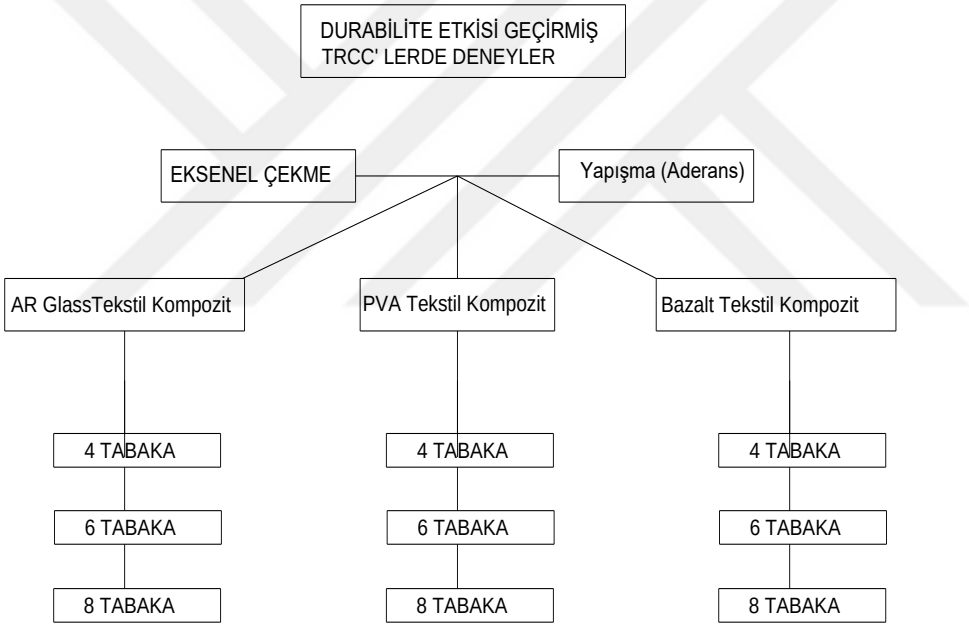
Şekil 4.12 : Yapışma (aderans) deneyi örneği [95].

4.3.5 Dürabilite deneyleri

AR Glass, Bazalt ve PVA tekstil kompozitlerden oluşan her bir grupta 4 kat, 6 kat ve 8 kat tekstil içeren numuneler bulunmaktadır. Üretilen bu tabakalı kompozitlere dürabilite deneyler uygulanmıştır. Dürabilite deneyleri; alkaliye direnç ve ıslanma-kuruma çevrimidir. Bu deneyler Şekil 4.13'te gösterilmiştir. Dürabilite deneyleri uygulanmış numunelerde eksenel çekme ve yapışma (aderans) deneyleri yapılmıştır. Yapılan bu deneyler Şekil 4.14'te özetlenmiştir.



Şekil 4.13 : TRCC'lere uygulanan dürabilite deneyleri.



Şekil 4.14 : Dürabilite etkisi geçirmiş elemanlara uygulanan mekanik deneyler.

4.3.5.1 Alkaliye direnç testi

Tekstil donatılı çimento esaslı kompozitin yük taşıma kapasitesi, tekstil donatı ile matris harcının arasındaki bağlantıyla ve bu iki bileşenin birbirine yük aktarımıyla doğrudan ilişkilidir. Bu kompozitlerin en önemli özelliği olan pekleşme mekanizmaları, lif-matris arayüzünün sahip olduğu mekanik özelliklerle doğrudan ilgilidir. Bunun sonucu olarak arayüz bölgesinin yük transfer etme mekanizmaları yeterli bir şekilde araştırılmalıdır.

Çoğu hidrolik çimentonun yapısı alkalidir. Çimentoyu oluşturan kilinker hammadde olarak eklenen kil ve şeyllerdeki metal safsızlıklar çimento yapısına dahil olur. Betonun karıştırılma işlemi sırasında, bu oldukça çözünür alkaliler serbest kalarak pH yükselir. Çimento sertleştikçe, alkali gözenek çözeltisinde konsantre olur. Bu 13.7 ye veya 700 mmol/ l $[OH^-]$ a kadar bir pH değerine ulaşabilir ve bu etki iç yapıda oluşan $Ca(OH)_2$ ile tamponlanmaktadır (nötrlenmektedir). Çoğu lif bu yüksek alkali ortamda zarar görür [104].

Lif ya da tekstil donatılı kompozitler nispeten yeni ve genç malzemelerdir ve 'gerçek zamanlı' bir yaşlandırma verisi mevcut değildir. Bu sebeple dürabiliteyi arttırmak için tasarlanmış yeni karışımlar geliştirildiğinde, tasarlanan karışımların etkinliğini doğrulamak için hızlandırılmış yöntemler kullanılmıştır ve hala kullanılmaktadır. Burada iki farklı test türü belirlenebilir; sıcak suda yaşlandırma ve çevrimli yaşlandırma. Sıcak suda yaşlandırmada amaç doğrudan örnekleri yüksek sıcaklıkta suya daldırarak (≥50°C) lif-matris etkileşimini hızlandırmaktır [5]. Sıcak su ısıl eylemsizlik sağladığı için kullanılır çünkü lif donatılı kompozitlerin bozunma mekanizması bir şekilde suya bağlıdır ve kuru bozunma yerine su sebebiyle bozunma gerçekleşir. Çevrimli yaşlandırma lif donatılı kompozitlerin servis ömrü boyunca maruz kalabileceği sıcaklık ve nem döngüsünü simule eder. Sıcak suda yaşlandırma ve çevrimli yaşlandırma birbiri yerine geçmez ve ilişkilendirilemez.

Araştırmacılar liflerin çimento matrisi içerisinde olası davranışlarını belirlemek için hızlandırılmış yaşlanmaya maruz bırakmışlardır. Bu testler genellikle liflerin sıcak alkali çözeltilere daldırılmasını ya da benzeştirilmiş boşluk çözeltisi içine bırakılmasını ve zamanla lifte oluşan mukavemet kaybının ölçülmesini içerir [105].

Bu deneyler kullanılacak liflerin değerlendirilmesine yardımcı olmasına rağmen, dikkatle yorumlanmalıdır çünkü çimento matrisinin lif üzerindeki etkisi sadece boşluk çözeltisinin alkalinitesiyle kontrol edilemez.

Lif donatılı kompozitler için en iyi bilinen hızlandırılmış yaşlandırma mantığı, 1970 lerin sonunda Proctor ve arkadaşları tarafından katkısız çimento ve alkaliye dayanıklı cam kullanılarak elde edilmiştir [105-106]. Sıcak suda yaşlandırılmış cam donatılı kompozitler ile doğal hava koşullarına maruz kalan örneklerin zamanla gösterdiği dayanım değişimi sonuçları elde edilmiştir. Hızlandırılmış testler ile servis koşullarında yapılan testler birbirleriyle ilişkilendirilmiştir. Bunun sonucunda 1 gün

50°C, 60 °C ve 80 °C sıcak suda yaşlandırmanın 101, 272 ve 506 gün İngiltere ikliminde yaşlandırmaya karşılık geldiği dayanım kayıpları ilişkilendirilerek belirlenmiştir. Sonuçların öngörülebilir gerekçelere dayandırılması ve sağlamlığı, sıcak suda yaşlandırma testinin cam lif donatılı kompozitlerde yeni matris formülasyonlarının dürabilitesini doğrulamada standart bir yöntem olarak kabul edilmesini sağlamıştır [107- 109].

Matris formülasyonunda farklı yüzdelerde uçucu kül ikamesi yapılarak üretilen cam donatılı çimento esaslı kompozitlerin sıcak suda yaşlandırılması araştırılmıştır [110]. Hızlandırılmış yaşlandırma doymuş kalsiyum hidroksit solüsyonu ile 28 gün boyunca 80°C'de sıcaklıktaki suya bırakılarak gerçekleştirilmiştir. Kompozitlerin gerilme-şekil değiştirme diyagramlarında önemli bir değişim gözlenmemiştir. Uçucu kül ikame yüzdesinin de küçük bir etkisi olduğu çalışmada görülmüştür. Aynı yaşlandırma rejiminden geçmiş benzer kompozitler üzerinde eğilme dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiş ve önemli bir dayanım kaybı gözlenmemiştir [111,112].

Yine bir çalışmada E Glass (alkali dayanıklı olmayan cam) ve AR Glass (Alkaliye dayanıklı cam) ile üretilmiş kompozitler 80°C 'de sıcak suya batırılmış ve hızlandırılmış yaşlandırma testine tabi tutulmuştur. Bu iki farklı tekstille üretilen kompozitlerin çekme dayanımları karşılaştırılmıştır. E Glass ile üretilen numuneler AR Glass ile üretilenlere göre daha büyük dayanım düşüşleri yaşamış ve alkali ortamdan daha çok etkilenmiştir. E Glass kompozitlerde çekme dayanımları 4 gün sonunda başlangıç dayanımının %15'ine düşmüştür. AR Glass kompozitlerde başlangıç dayanımının %92'si geriye kalmış sadece %8 lik bir düşüş tespit edilmiştir [113].

Standart AR Glass kütlece %16 – 20 arasında ZrO_2 içerir ve böylece oldukça alkalin ortamlarda E Glass veya C Glass a göre önemli ölçüde arttırılmış alkali dirence sahiptir. Alkali ortamda boşluk çözeltisinin pH değeri ve ortam sıcaklığı arttıkça cam liflerin uğradığı bozunma artar [72].

Araştırmacılar AR Glass lifleri 80°C de çimento solüsyonuna yatırmış ve liflere hızlandırılmış yaşlanma uygulanmıştır. Üretim esnasında lif yüzeylerine uygulanan organik polimer kaplama alkali ortamdan kaynaklanan bozunmayı önemli ölçüde geciktirmiştir [73].

Yapılan bir araştırmada çimento esaslı cam lif donatılı kompozitler 1 yıl boyunca 20°C, 38°C ve 65°C deki suya batırılmıştır. 1 yıl sonunda 20°C 'ye batırılmış numunelerde ciddi bir bozunma gözlenmemiş ve mekanik dayanımlarında düşüş gözlenmemiştir. 38°C deki sıcak suya bırakılan numuneler yeni bir özel matrisle üretilmiş ve bu numunelerde de ciddi bir bozunma gözlenmemiştir. Ancak 65°C de suda tutulan kompozitler 1 yılın sonunda ciddi dayanım kayıpları yaşamış ve maksimum gerilme ve maksimum şekil değiştirme değerleri donatılı olmayan matrisle aynı değere inerek başlangıç dayanımının %35 ine düşmüştür [114].

Alkaliye dayanıklı Cam (AR Glass) veya E Glass gibi alkali ortamlardan etkilenen tesktillerin dışında PVA gibi alkali ortama dayanıklı tekstillerle de araştırmalar yapılmıştır. Araştırmacılar sıcak alkali ortamda bekletilen PVA liflerin çekme dayanımı kayıplarını tespit etmiş ve uzun süreli dayanım kayıpları belirlenmiştir. Sonuçta PVA liflerin uzun süreli dürabilite etkilerine karşı dayanıklı oldukları ortaya çıkmış ve 100 yıl sonra bile dayanımlarının %99.8 ine sahip oldukları hesaplanmıştır [115]. Kimyasal açıdan stabil malzeme olarak gösterilen PVA lifler asidik çözeltilere ve organik solventlere de dayanıklıdır.

Literatürde yapılan çalışmalar değerlendirildiğinde hızlandırılmış sıcak suda yaşlandırma testi güvenilir bir test olarak belirlenmiştir. Farklı araştırmalarda kompozitler 20°C den 80°C ye değişen sıcaklıklardaki suya bırakılmıştır. Literatürde uygulanan en şiddetli ortam koşullarını elde etmek ve en yüksek sıcaklığı uygulamak için numunelerin içine bırakılacağı suyun derecesi 80°C olarak seçilmiştir. 28 gün süreyle sıcak su içinde tutulan numuneler 28. Gün sonunda sudan çıkarılmıştır.

AR Glass, Bazalt ve PVA numuneler farklı günlerde sıcak sudan çıkarılıp fotoğraflanmıştır ve EK E'de gösterilmiştir. Bu numunelere eksenel çekme testi uygulanmıştır. Her bir seride 5 adet numune eksenel çekme testine tabi tutulmuştur.

4.3.5.2 Islanma kuruma çevrimi

Çimento esaslı kompozitler çevreden maruz kalabileceği ıslanma-kuruma değişiklikleri sonucunda hacim değişikliği gösterebilir. Çimento esaslı matris kuruma nedeniyle büzülmektedir. Sertleşmiş matris ıslandığı anda az da olsa genleşmektedir. Islandıktan sonra çevre sıcaklığı artarsa tekrar içindeki suyu kaybederek kurur ve zamanla büzülme yeniden oluşur. Dış etkilere açık örneğin çimento esaslı kompozit

dış cephe kaplamaları, saha betonları, sulama kanalları özellikle sıcak ve kurak iklimlerde diğer zararlı etkilere ek olarak ıslanma-kuruma çevrimi etkisindedir.

Islanma-kuruma çevrimi çimento esaslı kompozit eleman kesiti boyunca çok eksenli gerilme ve şekil değiştirmeye yol açar. Islanma-kuruma tekrarlarında matriste oluşacak hasar, ortamın sıcaklığına, bağıl nemine, kuruma ve ıslanma sırasındaki ortamın sıcaklık farkına bağlıdır. Islanma-kuruma çevriminin şiddeti ile genliği artabilen tekrarlı gerilme ve şekil değiştirmeler kompozit elemana etkir. Islanma-kuruma etkisi gibi periyodik ve sürekli etkileri olan zorlu çevresel koşullar tasarımda dikkate alınmalıdır [116-117].

Araştırmacılar kırpık lif donatılı çimento esaslı kompozit numuneleri ıslanma kuruma testine tabi tutmuşlardır. Islanma – kuruma prosedürü 20°C suda 24 saat, daha sonra 55°C etüvde 22 saat, 20°C de 2 saat soğuma adımları izlenerek uygulanmıştır ve 300 çevrim yapılmıştır. Bu prosedür güneş ve yüksek sıcaklık gibi çevrimsel dış etkileri simule etmek için kullanılmıştır [118].

Başka bir çalışmada araştırmacılar kırpık lif donatılı çimento esaslı kompozitleri (ECC) iki farklı prosedür kullanarak çevrimsel ıslanma-kuruma testine tabi tutmuştur. Birinci prosedür 20°C suda 24 saat, 20°C de 24 saat kuruma şeklindedir. Yağmurlu ve bulutsuz günler gibi çevrimsel ve çevresel dış etkileri simule etmek için belirlenmiştir. Böylece bu prosedürde sıcaklık etkileri göz önüne alınmamıştır. İkinci prosedür. 20°C suda 24 saat, 55°C etüvde 22 saat ve 20°C de 2 saat soğuma adımlarından oluşur. Bu prosedür de yağmurlu ve yüksek sıcaklıktaki güneşli günlerdeki çevresel dış etkileri simule etmek için belirlenmiştir. 12 çevrim yapılmıştır [119].

Yapılan bir çalışmada kırpık lif donatılı çimento esaslı kompozitler 5 farklı kür rejimine tabi tutulmuştur;

1. (Su/Hava çevrimi) 20°C de 24 saat, 20°C de %50 RH da 24 saat laboratuvar ortamında kuruma. Simule edilen çevrimsel dış ortam: yağmurlu ve bulutlu günler
2. (Su/Sıcak hava çevrimi) 20°C de 24 saat, 55°C de etüvde 22 saat, 20°C de %50 RH da 2 saat laboratuvar ortamında kuruma. Simule edilen çevrimsel dış ortam: yağmurlu ve ardından güneşli, sıcak günler

3. (%90 RH/ Hava çevrimi) %90 RH nem ortamı sağlanmış kabinde 20°C de 24 saat, daha sonra %50 RH nemde 20°C de 24 saat. Simule edilen çevrimsel ortam: suyla teması olmayan, yüksek nemli dış ortam
4. (Su) Devamlı 20°C de su içinde bekletme. Simule edilen çevrimsel ortam: Su altı yapılarında kullanılan ECC kompozitler.
5. (Hava) Laboratuvar ortamında 20°C de %50 RH nemde bekletme. Bu referans çevrimdir.

Görüldüğü üzere çalışmada 5 farklı kürleme prosedürü kullanılarak her bir prosedürün simule ettiği ortam açıklanmıştır. 10 çevrim yapılmıştır. Farklı deney prosedürleri farklı çevresel dış etkileri karşılık gelmektedir [120].

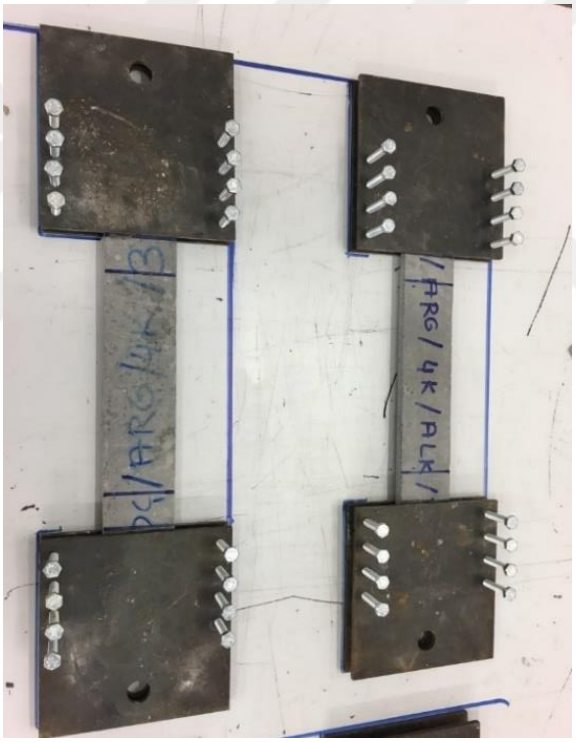
Bir çalışmada çimentolu harçlara ıslanma kuruma çevrimi uygulanmıştır. Suya doygun harç numuneleri 17 saat 50°C'de etüvde, 1 saat 20°C'de laboratuvar ortamında, 6 saat 20°C'de suda bekletilmiştir. 25 çevrim uygulanmıştır. Harçlarda ıslanma-kurumanın ağırlık kayıpları dikkate alındığında önemli hasara neden olduğu anlaşılmıştır [21].

Tez çalışması kapsamında üretilen tekstil donatılı çimento esaslı kompozitler ıslanma-kuruma çevrimine tabi tutulmuştur. Hazırlanan numuneler 25x25 cm boyutunda kesilerek plaka haline getirilmiştir. Burada amaç şekil stabilitesinin bozulup bozulmayacağını gözlemektir. Üretilen plakaların dış cephede kaplama olarak kullanılabileceği göz önüne alınarak çevrimsel dış ortam yağmurlu ardından sıcak ve güneşli olarak belirlenmiştir. En elverişsiz çevresel etki olması göz önüne alınarak suya doygun numuneler 17 saat 50°C'de etüvde, 1 saat 20°C'de laboratuvar ortamında, 6 saat 20°C'de suda bekletilmiştir. 28 çevrim yapılmıştır.

5. TRCC'LERDE YAPILAN DENEYLERİN SONUÇLARI

5.1 TRCC Eksenel Çekme Deneyi Sonuçları

Numuneler RILEM TC 232-TDT standardına uygun hazırlanmış ve bu standartta belirtilen deney aparatları kullanılarak eksenel çekme testi yapılmıştır. TRCC numuneler MTS 50 kN kapasiteli elektromanyetik universal test cihazında çekme deneyine tabi tutulmuştur. Eksenel çekme numuneleri Şekil 5.1'de görülmektedir.



Şekil 5.1 : Eksenel çekme deneyi numuneleri.

2 adet CDP – 25 mm yerdeğiştirme ölçer (LVDT) numunenin her iki yüzüne de yerleştirilmiştir. Deney esnasında oluşan şekil değiştirmeler yerleştirilen şekil değiştirme ölçerler ile ölçülmüştür. Numunenin uzama miktarını belirlemek için 200 mm lik ölçüm boyu belirlenmiştir. Test prosedürü sabit şekil değiştirme hızı 0.5 mm/sn belirlenerek uygulanmıştır. Veri toplama sisteminden (data logger) LVDT yer değiştirmeleri elde edilirken yük MTS çekme cihazından elde edilmiştir. TRCC elemanlara uygulanan eksenel çekme deneyine ait fotoğraf Şekil 5.2'de verilmiştir.



(a) (b)

Şekil 5.2 : a) Eksenel çekme deneyi, b) LVDT yerleşimi.

Numuneler 500 mm boyunda, 60 mm enindedir. Numune kalınlıkları tekstil kat sayısına ve tekstil cinsine göre değişmektedir. Numune kalınlıklarına ait değerler Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Çizelge 5.1 : TRCC numunelerin kalınlıkları.

Numune Kodu	Kalınlık (mm)	Numune Kodu	Kalınlık (mm)	Numune Kodu	Kalınlık (mm)
ARG 4L 1	7.6	BZLT 4L 1	8.0	PVA 4L 1	17.5
ARG 4L 2	8.2	BZLT 4L 2	8.0	PVA 4L 2	16.2
ARG 4L 3	9.3	BZLT 4L 3	8.3	PVA 4L 3	14.3
ARG 4L 4	8.6	BZLT 4L 4	7.8	PVA 4L 4	16.0
ARG 4L 5	9.6	BZLT 4L 5	8.4	PVA 4L 5	15.9
Ortalama	**8.7**	**Ortalama**	**9.7**	**Ortalama**	**16.0**
ARG 6L 1	12.3	BZLT 6L 1	15.1	PVA 6L 1	16.7
ARG 6L 2	9.6	BZLT 6L 2	14.8	PVA 6L 2	18.2
ARG 6L 3	10.0	BZLT 6L 3	14.7	PVA 6L 3	17.6
ARG 6L 4	10.0	BZLT 6L 4	14.0	PVA 6L 4	17.5
ARG 6L 5	10.5	BZLT 6L 5	14.3	PVA 6L 5	17.9
Ortalama	**10.0**	**Ortalama**	**14.5**	**Ortalama**	**17.6**
ARG 8L 1	11.0	BZLT 8L 1	14.0	PVA 8L 1	20.6
ARG 8L 2	11.2	BZLT 8L 2	14.3	PVA 8L 2	21.2
ARG 8L 3	12.5	BZLT 8L 3	15.3	PVA 8L 3	23.3
ARG 8L 4	11.0	BZLT 8L 4	12.7	PVA 8L 4	21.7
ARG 8L 5	12.5	BZLT 8L 5	14.9	PVA 8L 5	22.0
Ortalama	**11.6**	**Ortalama**	**14.2**	**Ortalama**	**21.8**

5.1.1 AR Glass TRCC numunelerin eksenel çekme deneyi sonuçları

AR Glass tekstiller kullanılarak üretilen TRCC elemanlara eksenel çekme deneyi uygulanmıştır. Numunelerin genişlikleri 60 mm ve uzunlukları 500 mm olacak şekilde kesilerek hazırlanmıştır. Numunelerin kalınlıkları elemanların içine yerleştirilen tekstil tabaka sayısına göre değişmektedir ve sabit değildir. Her bir seride 5 adet numune eksenel çekme testine tabi tutulmuştur.

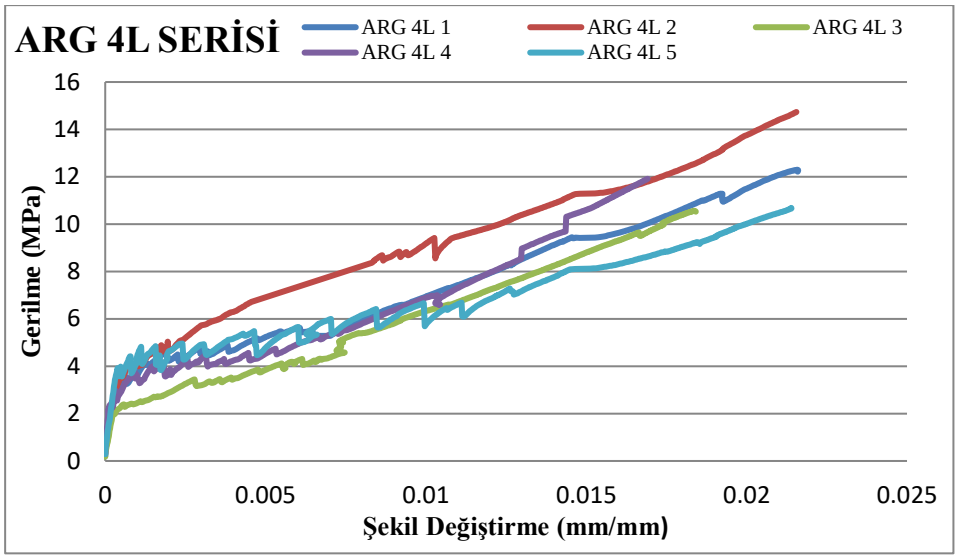
Eksenel çekme deneyine ait Gerilme-Şekil değiştirme eğrileri çizilmiştir. AR Glass TRCC elemanlar tabaka sayısı göz önüne alınarak tabaka sayısı aynı olan elemanlara ait sonuçlar aynı grafik üzerinde gösterilmiştir.

Deney sonuçlarına ait veriler aşağıdaki Çizelge 5.2'de verilmiştir.

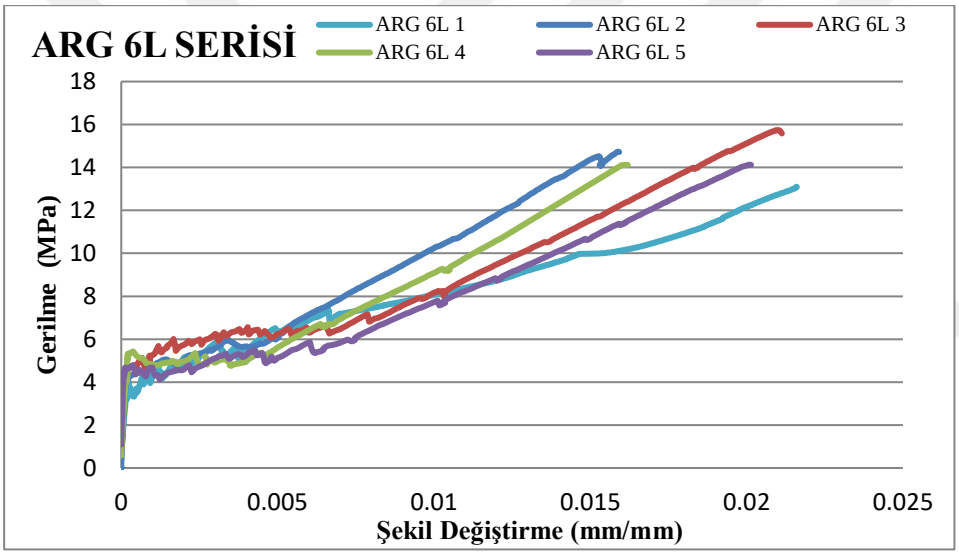
Şekil 5.3, 5.4, 5.5'te AR Glass TRCC elemanlara ait 4 katlı, 6 katlı ve 8 katlı numunelere ait grafikler verilmiştir.

Çizelge 5.2 : AR Glass TRCC numunelere ait deney sonuçları.

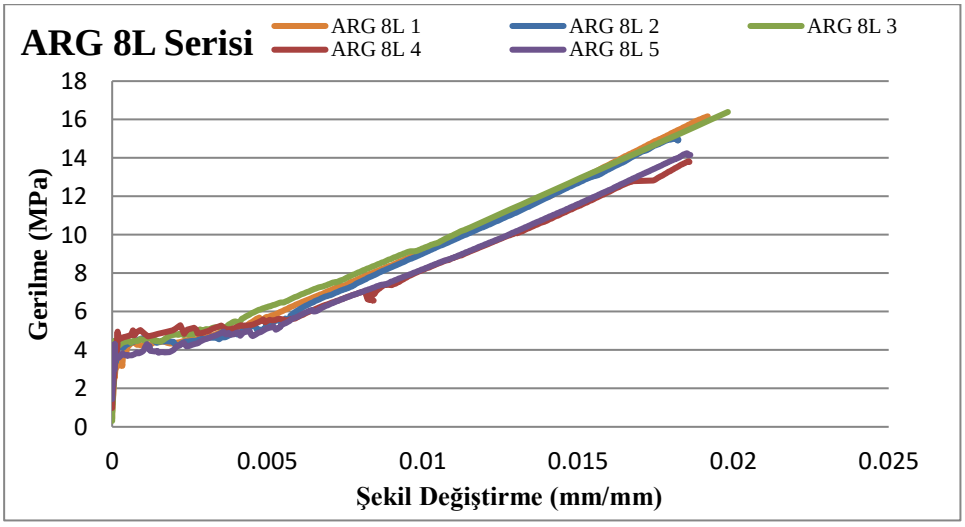
Numune Kodu	İlk Çatlak Dayanımı (MPa)	İlk Çatlak Şekil Değiştirme (%)	Maksimum Gerilme (MPa)	Maksimum Şekil değiştirme (%)
ARG 4L 1	3.2	0.03	12.3	2.2
ARG 4L 2	3.6	0.05	14.7	2.2
ARG 4L 3	2.2	0.03	10.6	1.8
ARG 4L 4	2.1	0.01	11.9	1.7
ARG 4L 5	3.9	0.04	10.7	2.1
Ortalama	**3.0**	**0.03**	**12.0**	**2.0**
ARG 6L 1	3.8	0.02	13.1	2.1
ARG 6L 2	4.0	0.02	14.7	1.6
ARG 6L 3	4.5	0.01	15.7	2.1
ARG 6L 4	4.6	0.02	14.1	1.6
ARG 6L 5	4.7	0.01	14.1	2.0
Ortalama	**4.3**	**0.02**	**14.4**	**1.9**
ARG 8L 1	4.4	0.01	16.2	1.9
ARG 8L 2	4.1	0.02	15.0	1.8
ARG 8L 3	4.5	0.01	18.0	2.2
ARG 8L 4	5.0	0.02	13.8	1.9
ARG 8L 5	4.3	0.01	14.2	1.8
Ortalama	**4.5**	**0.01**	**15.4**	**1.9**



Şekil 5.3 : AR Glass 4L serisine ait eksenel çekme deneyi grafiği.



Şekil 5.4 : AR Glass 6L serisine ait eksenel çekme deneyi grafiği.



Şekil 5.5 : AR Glass 8L serisine ait eksenel çekme deneyi grafiği.

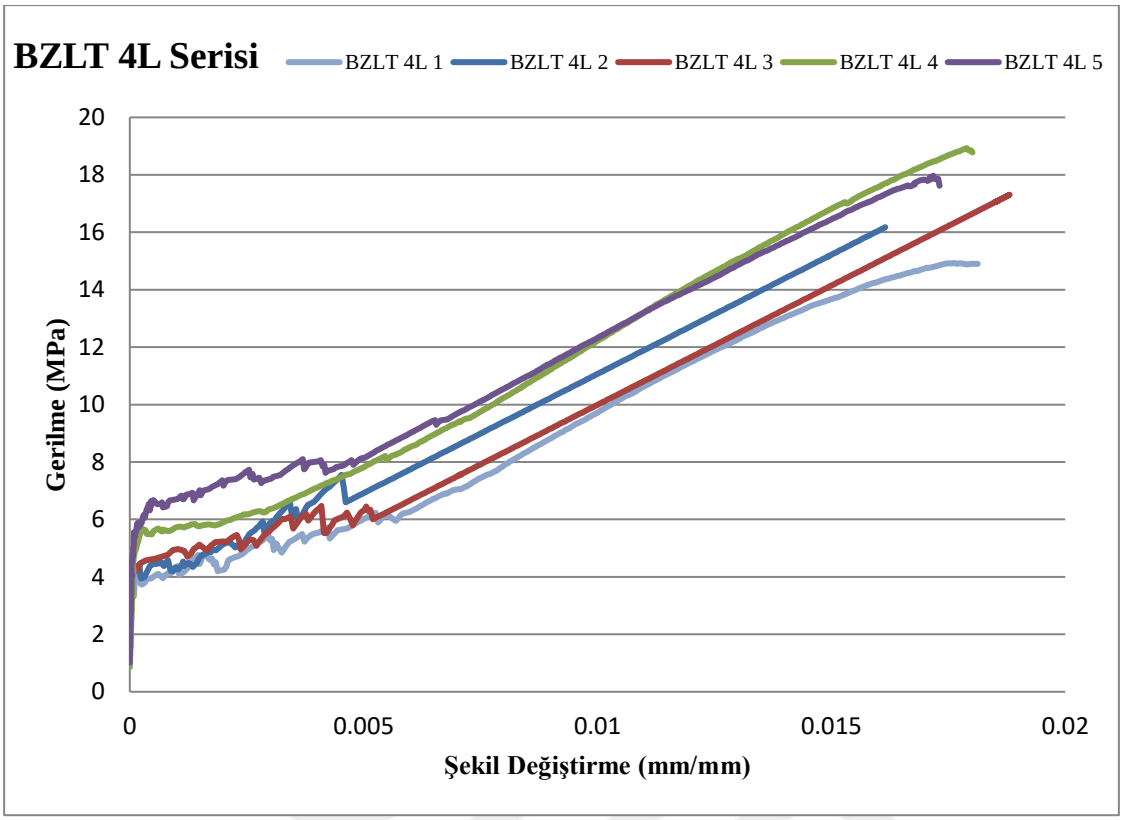
5.1.2 Bazalt TRCC numunelerin eksenel çekme deneyi sonuçları

Bazalt tekstiller kullanılarak üretilen TRCC elemanlara eksenel çekme deneyi uygulanmıştır. Numunelerin genişikleri 60 mm ve uzunlukları 500 mm olacak şekilde kesilerek hazırlanmıştır. Numunelerin kalınlıkları elemanların içine yerleştirilen tekstil tabaka sayısına göre değişmektedir ve sabit değildir. Her bir seride 5 adet numune eksenel çekme testine tabi tutulmuştur. Deney sonuçlarına ait veriler aşağıdaki Çizelge 5.3'te verilmiştir.

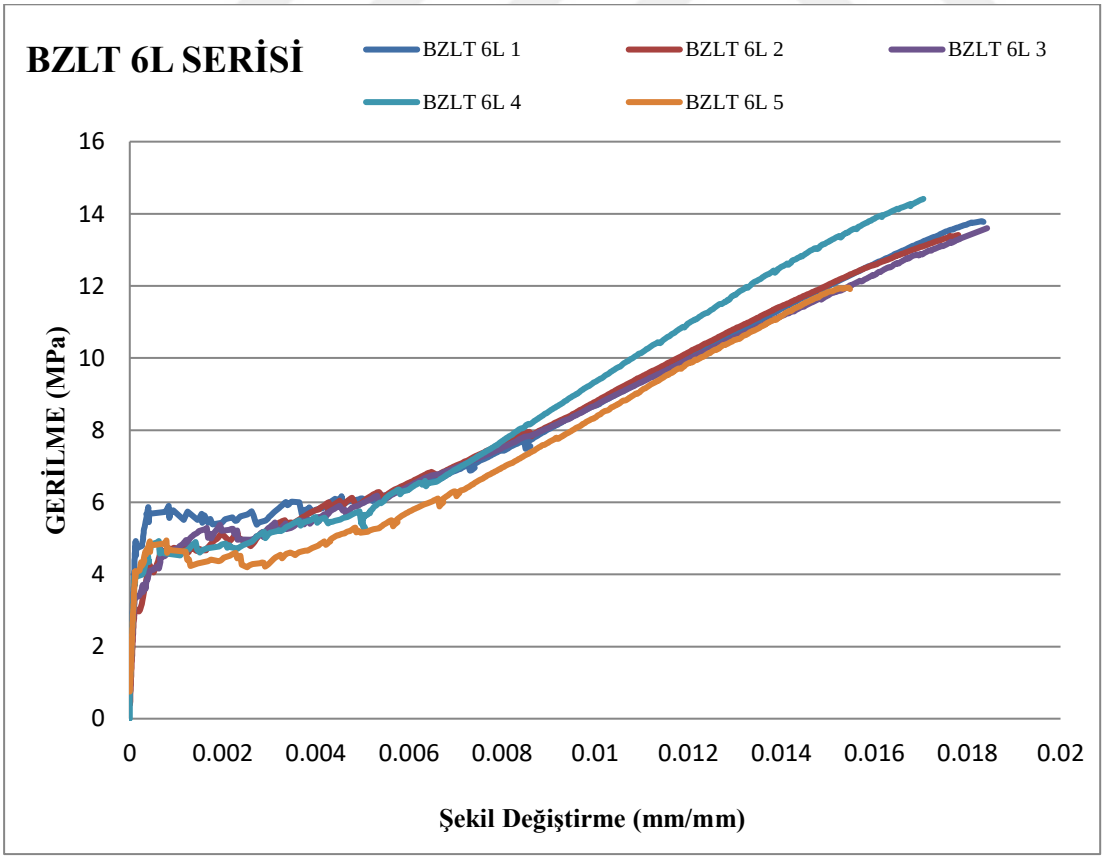
Çizelge 5.3 : Bazalt TRCC numunelere ait deney sonuçları.

Numune Kodu	İlk Çatlak Dayanımı (MPa)	İlk Çatlak Şekil Değiştirme (%)	Maksimum Gerilme (MPa)	Maksimum Şekil değiştirme (%)
BZLT 4L 1	4.2	0.02	14.5	1.7
BZLT 4L 2	4.4	0.02	16.2	1.6
BZLT 4L 3	5.1	0.15	16.1	1.8
BZLT 4L 4	4.7	0.01	17.3	1.7
BZLT 4L 5	5.1	0.008	17.2	1.6
Ortalama	**4.7**	**0.04**	**16.2**	**1.7**
BZLT 6L 1	4.9	0.013	13.8	1.8
BZLT 6L 2	4.3	0.011	13.4	1.8
BZLT 6L 3	3.4	0.010	13.6	1.8
BZLT 6L 4	4.0	0.013	14.4	1.7
BZLT 6L 5	4.1	0.012	12.0	1.5
Ortalama	**4.1**	**0.012**	**13.4**	**1.7**
BZLT 8L 1	6.3	0.03	18.8	1.6
BZLT 8L 2	5.8	0.02	19.4	1.7
BZLT 8L 3	3.5	0.02	15.2	1.6
BZLT 8L 4	6.2	0.01	18.0	1.5
BZLT 8L 5	6.0	0.05	19.0	1.8
Ortalama	**5.6**	**0.03**	**18.1**	**1.6**

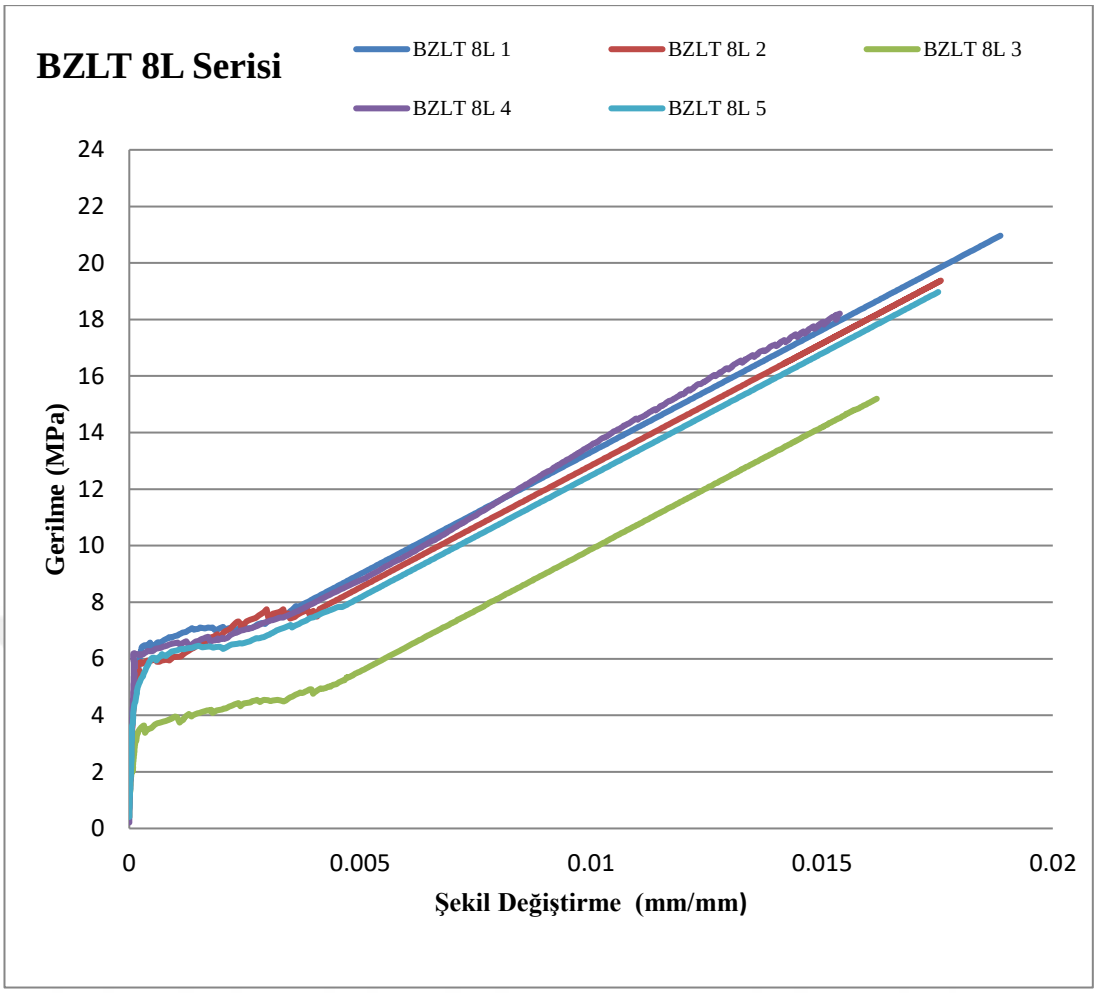
Eksenel çekme deneyine ait Gerilme-Şekil değiştirme eğrileri çizilmiştir. Bazalt TRCC elemanlar tabaka sayısı göz önüne alınarak tabaka sayısı aynı olan elamanlara ait sonuçlar aynı grafik üzerinde gösterilmiştir. Şekil 5.6, 5.7, 5.8'de Bazalt TRCC elemanlara ait 4 katlı, 6 katlı ve 8 katlı numunelere ait grafikler verilmiştir.



Şekil 5.6 : Bazalt 4L serisine ait eksenel çekme deneyi grafiği.



Şekil 5.7 : Bazalt 6L serisine ait eksenel çekme deneyi grafiği.



Şekil 5.8 : Bazalt 8L serisine ait eksenel çekme deneyi grafiği.

5.1.3 PVA TRCC numunelerin eksenel çekme deneyi sonuçları

PVA tekstiller kullanılarak üretilen TRCC elemanlara eksenel çekme deneyi uygulanmıştır. Numunelerin genişikleri 60 mm ve uzunlukları 500 mm olacak şekilde kesilerek hazırlanmıştır. Numunelerin kalınlıkları elemanların içine yerleştirilen tekstil tabaka sayısına göre değişmektedir ve sabit değildir.

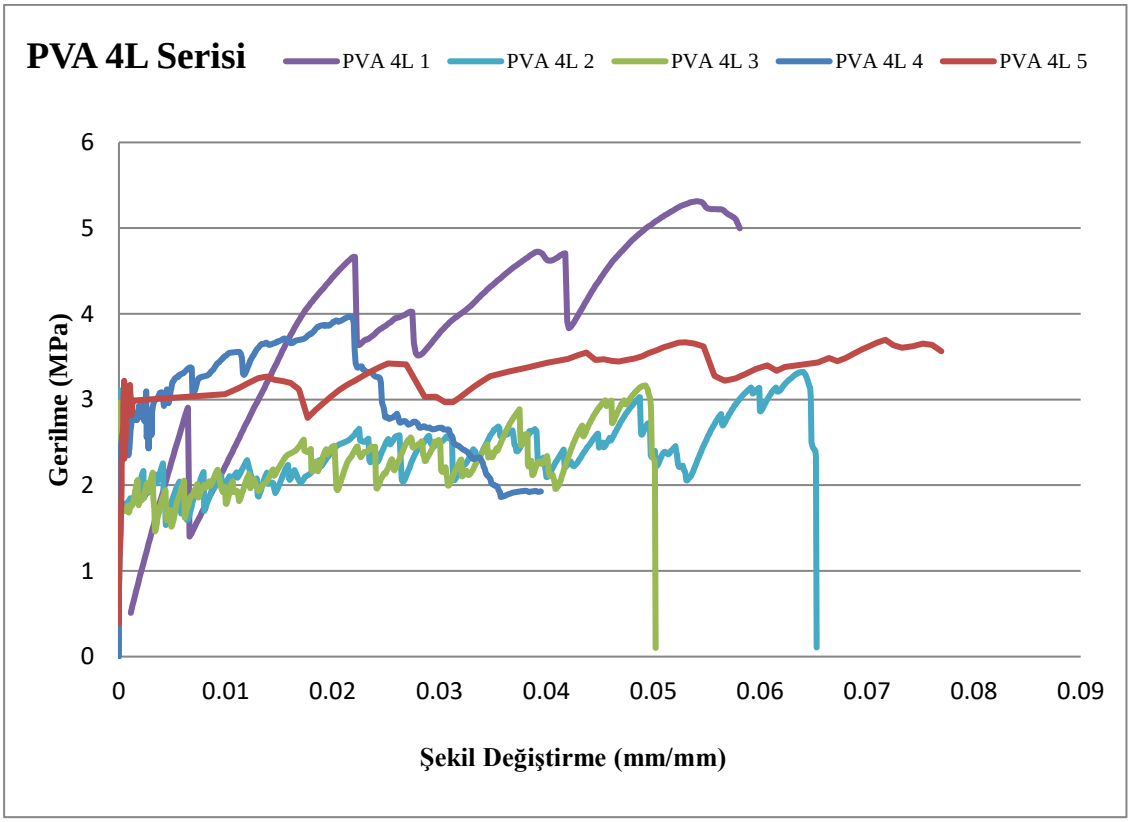
Eksenel çekme deneyine ait Gerilme-Şekil değiştirme eğrileri çizilmiştir. PVA TRCC elemanlar tabaka sayısı göz önüne alınarak tabaka sayısı aynı olan elemanlara ait sonuçlar aynı grafik üzerinde gösterilmiştir.

Şekil 5.9, 5.10, 5.11'de PVA TRCC elemanlara ait 4 katlı, 6 katlı ve 8 katlı numunelere ait grafikler verilmiştir.

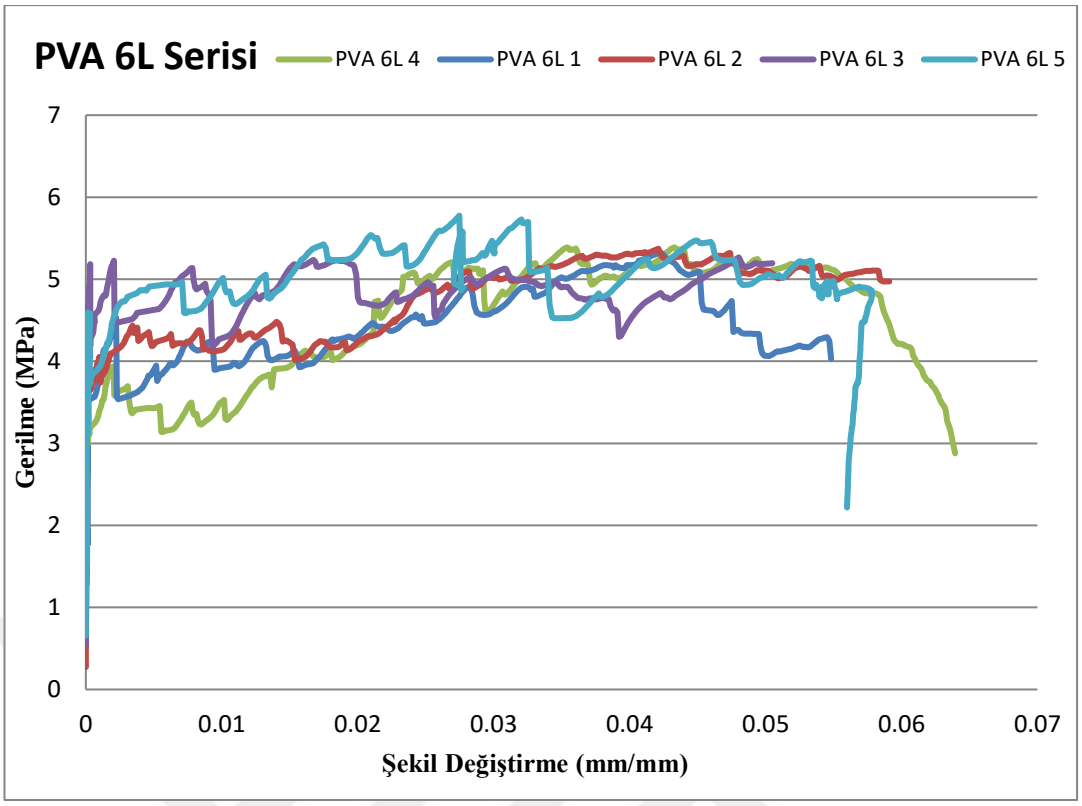
Deney sonuçlarına ait veriler aşağıdaki Çizelge 5.4'te özetlenmiştir.

Çizelge 5.4 : PVA TRCC numunelere ait deney sonuçları.

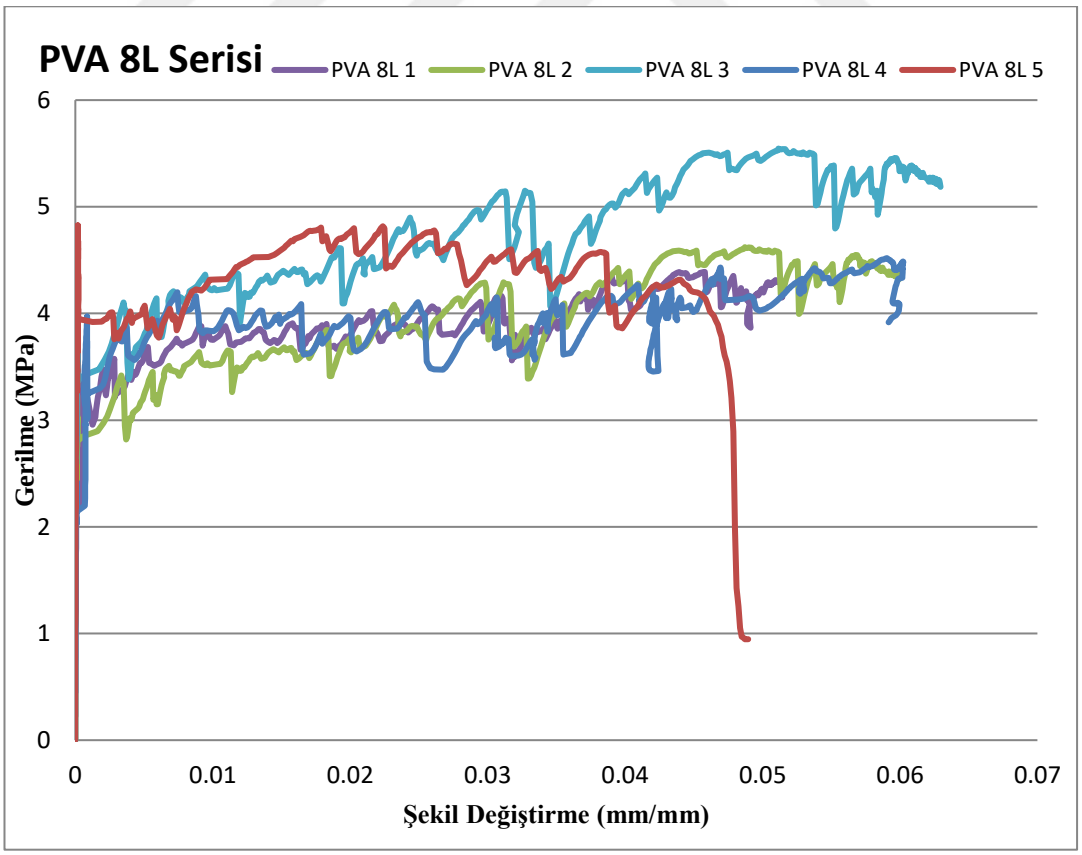
Numune Kodu	İlk Çatlak Dayanımı (MPa)	İlk Çatlak Şekil Değiştirme (%)	Maksimum Gerilme (MPa)	Maksimum Yükte Şekil değiştirme (%)	Maksimum Şekil Değiştirme (%)
PVA 4L 1	2.8	0.6	5.3	5.0	6.6
PVA 4L 2	3.1	0.07	3.3	5.0	5.2
PVA 4L 3	2.9	0.005	3.1	4.9	4.0
PVA 4L 4	2.5	0.003	3.9	2.0	3.6
PVA 4L 5	3.2	0.004	3.7	8.0	7.7
Ortalama	**2.9**	**0.14**	**3.9**	**5.0**	**5.4**
PVA 6L 1	4.1	0.08	5.3	4.2	5.5
PVA 6L 2	4.0	0.07	5.4	4.2	5.9
PVA 6L 3	4.6	0.01	5.3	4.8	5.1
PVA 6L 4	3.8	0.01	5.4	4.3	4.0
PVA 6L 5	4.5	0.01	5.4	4.5	5.0
Ortalama	**4.2**	**0.04**	**5.4**	**4.4**	**6.0**
PVA 8L 1	3.3	0.04	4.4	4.5	5.1
PVA 8L 2	3.1	0.01	4.6	5.0	6.0
PVA 8L 3	3.9	0.01	4.8	2.0	5.0
PVA 8L 4	3.7	0.09	4.5	5.9	6.0
PVA 8L 5	3.8	0.01	5.5	4.7	6.0
Ortalama	**3.6**	**0.03**	**4.8**	**4.4**	**5.6**



Şekil 5.9 : PVA 4L serisine ait eksenel çekme deneyi grafiği.



Şekil 5.10 : PVA 6L serisine ait eksenel çekme deneyi grafiği.



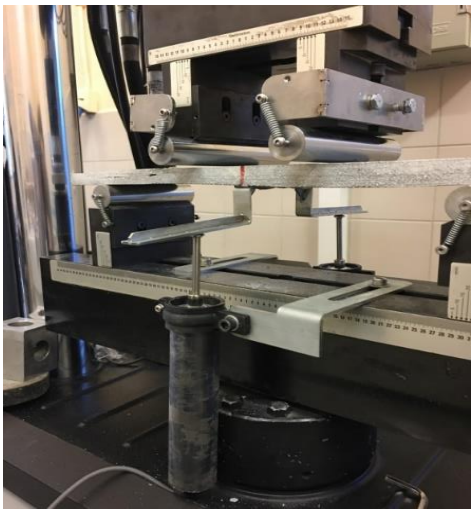
Şekil 5.11 : PVA 8L serisine ait eksenel çekme deneyi grafiği.

5.2 TRCC Eğilme Deneyi Sonuçları

Dünya çapında yapılan araşırmalarda tekstil donatılı çimento esaslı kompozit elemanlara uygulanan eğilme deneyi henüz bir standarda bağlanmamıştır. Bu sebeple literatürde yapılan önceki çalışmalar göz önüne alınarak deney yöntemi ve numune boyutları belirlenmiştir. 400 mm uzunluğunda, 80 mm genişliğinde kesilen numuneler dört noktalı eğilme testine tabi tutulmuştur. 2 adet TML CDP – 50 mm yerdeğiştirme ölçer (LVDT) numunenin her iki tarafına da tam orta noktadan sehimi ölçmek amacıyla yerleştirilmiştir. Numuneler 30 cm mesnet açıklığına sahip olacak şekilde deney aletine yerleştirilmiştir. Deney esnasında oluşan şekil değiştirmeler bu yerleştirilen şekil değiştirme ölçerler ile ölçülmüştür. Test prosedürü sabit şekil değiştirme hızı 0.36 mm/sn belirlenerek uygulanmıştır. Şekil değiştirme verileri LVDT cihazlarından, uygulanan yük değerleri MTS cihazından elde edilmiştir. TRCC elemanlara uygulanan eğilme deney düzeneği ve LVDT yerleşimine ait fotoğraflar Şekil 5.12 ve 5.13'te verilmiştir.



Şekil 5.12 : Eğilme deney düzeneği.



Şekil 5.13 : LVDT lerin (şekil değiştirme ölçer) yerleşimi.

Numune kalınlıkları tekstil kat sayısına ve tekstil cinsine göre değişmektedir. Her seride 4 adet numunede deney uygulanmıştır. Numuneler 400 mm boyunda, 80 mm genişliğindedir. Numune kalınlıklarına ait değerler Çizelge 5.5'te verilmiştir.

Çizelge 5.5 : TRCC numunelerin kalınlıkları.

Numune Kodu	Kalınlık (mm)	Numune Kodu	Kalınlık (mm)	Numune Kodu	Kalınlık (mm)
ARG 4L 1	7.4	BZLT 4L 1	8.9	PVA 4L 1	13.7
ARG 4L 2	7.5	BZLT 4L 2	9.2	PVA 4L 2	13.8
ARG 4L 3	7.2	BZLT 4L 3	9.4	PVA 4L 3	12.8
ARG 4L 4	7.0	BZLT 4L 4	8.9	PVA 4L 4	12.8
Ortalama	**7.3**	**Ortalama**	**9.1**	**Ortalama**	**13.3**
ARG 6L 1	12.6	BZLT 6L 1	17.5	PVA 6L 1	16.2
ARG 6L 2	12.6	BZLT 6L 2	16.9	PVA 6L 2	20.8
ARG 6L 3	12.8	BZLT 6L 3	17.3	PVA 6L 3	20.2
ARG 6L 4	11.9	BZLT 6L 4	19.1	PVA 6L 4	23.2
Ortalama	**12.5**	**Ortalama**	**17.7**	**Ortalama**	**20.1**
ARG 8L 1	15.2	BZLT 8L 1	18.5	PVA 8L 1	22.3
ARG 8L 2	15.0	BZLT 8L 2	19.1	PVA 8L 2	23.5
ARG 8L 3	16.4	BZLT 8L 3	15.5	PVA 8L 3	23.9
ARG 8L 4	16.7	BZLT 8L 4	19.5	PVA 8L 4	25.1
Ortalama	**15.8**	**Ortalama**	**18.2**	**Ortalama**	**23.7**

Eğilme deneyine ait Gerilme-Şekil değiştirme eğrileri çizilmiştir. Tüm TRCC elemanlar tabaka sayısı göz önüne alınarak tabaka sayısı aynı olan elamanlara ait sonuçlar aynı grafik üzerinde gösterilmiştir.

5.2.1 AR Glass TRCC numunelerin eğilme deneyi sonuçları

AR Glass tekstiller kullanılarak üretilen TRCC elemanlara 4 noktalı eğilme deneyi uygulanmıştır. Numunelerin genişlikleri 80 mm ve uzunlukları 400 mm olacak şekilde kesilerek hazırlanmıştır.

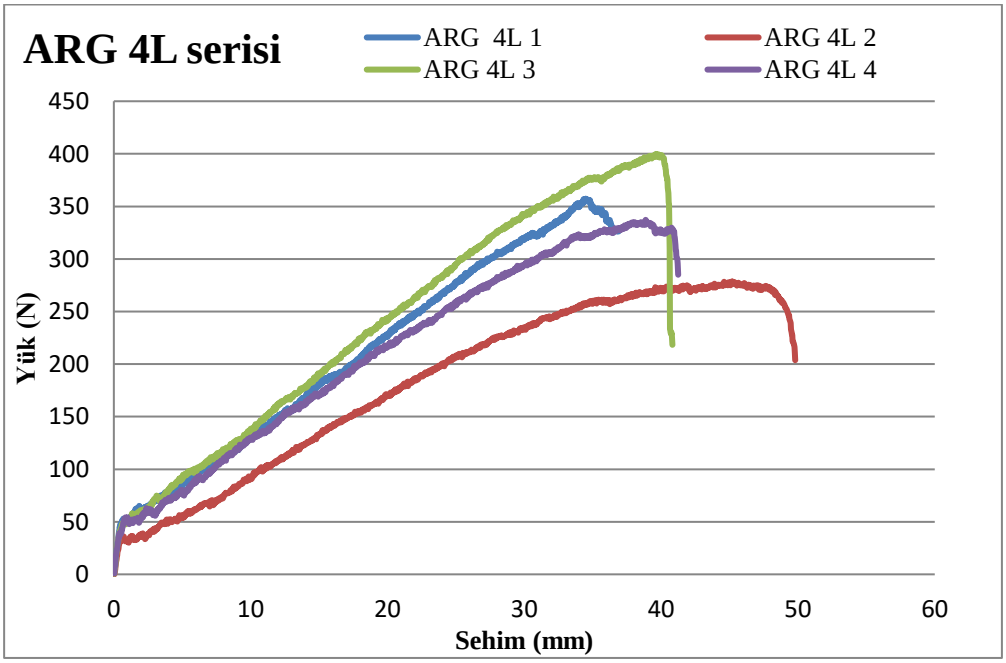
Numunelerin kalınlıkları elemanların içine yerleştirilen tekstil tabaka sayısına göre değişmektedir ve sabit değildir. LVDT (şekil değiştirme ölçer) ölçüm cihazları numunenin orta noktasına yerleştirilerek maksimum sehim değerlerinin elde edilmesi hedeflenmiştir.

Her bir seride 4 adet numune eğilme deneyine tabi tutulmuştur. Deney sonuçlarına ait veriler aşağıdaki Çizelge 5.6'da özetlenmiştir.

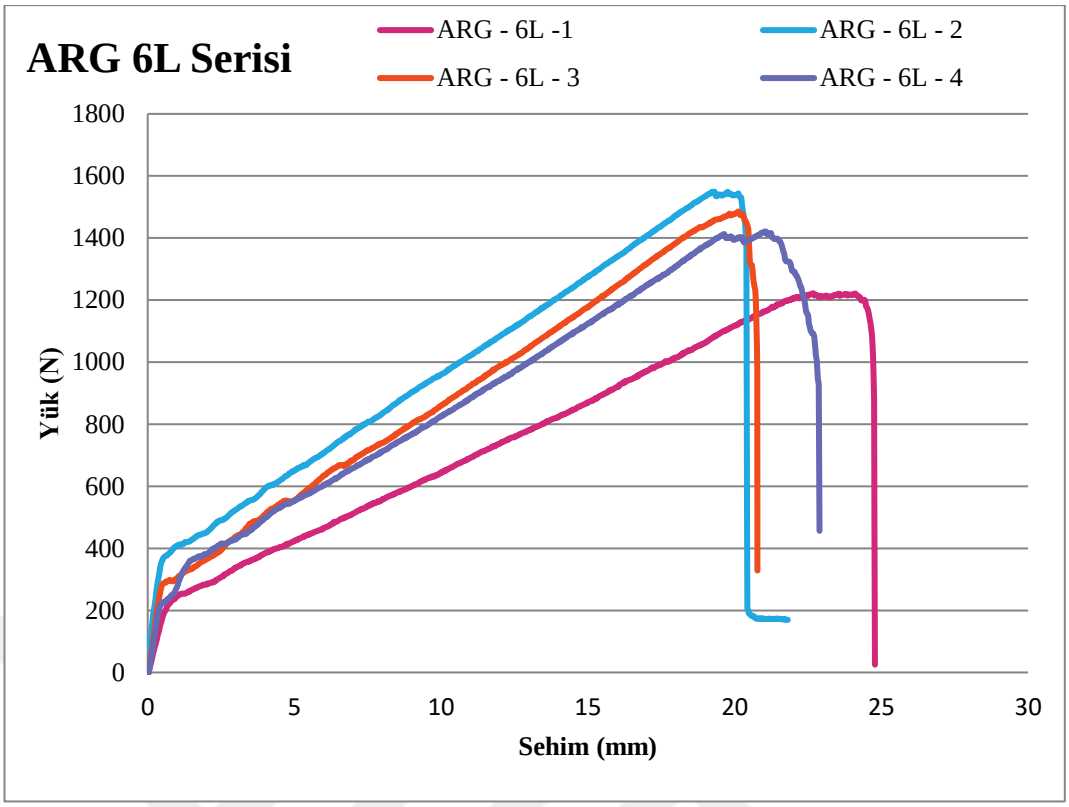
Çizelge 5.6 : AR Glass TRCC numunelere ait eğilme deneyi sonuçları.

Numune Kodu	İlk Çatlak Dayanımı (kN)	İlk Çatlak Sehim (mm)	Maksimum Yük (kN)	Maksimum Yükte Sehim (mm)	Maksimum Sehim (mm)
ARG 4L 1	52.9	0.69	354.6	34.6	36.9
ARG 4L 2	35.8	0.73	278.0	45.4	49.7
ARG 4L 3	49.7	0.69	399.2	39.5	40.8
ARG 4L 4	54.1	0.84	335.7	38.9	41.2
Ortalama	**48.1**	**0.74**	**341.9**	**39.6**	**42.2**
ARG 6L 1	249.5	1.05	1218.5	22.6	23.1
ARG 6L 2	376.6	0.57	1546.3	19.4	20.4
ARG 6L 3	289.6	0.63	1485.7	20.1	20.5
ARG 6L 4	232.7	0.66	1413.5	21.0	22.2
Ortalama	**287.1**	**0.73**	**1416.0**	**20.8**	**21.6**
ARG 8L 1	314.4	0.72	2224.8	22.7	26.0
ARG 8L 2	617.3	0.54	2973.1	16.1	16.6
ARG 8L 3	588.0	0.57	2813.0	15.7	17.5
ARG 8L 4	645.3	0.96	2336.8	20.0	20.5
Ortalama	**541.3**	**0.70**	**2586.9**	**18.6**	**20.2**

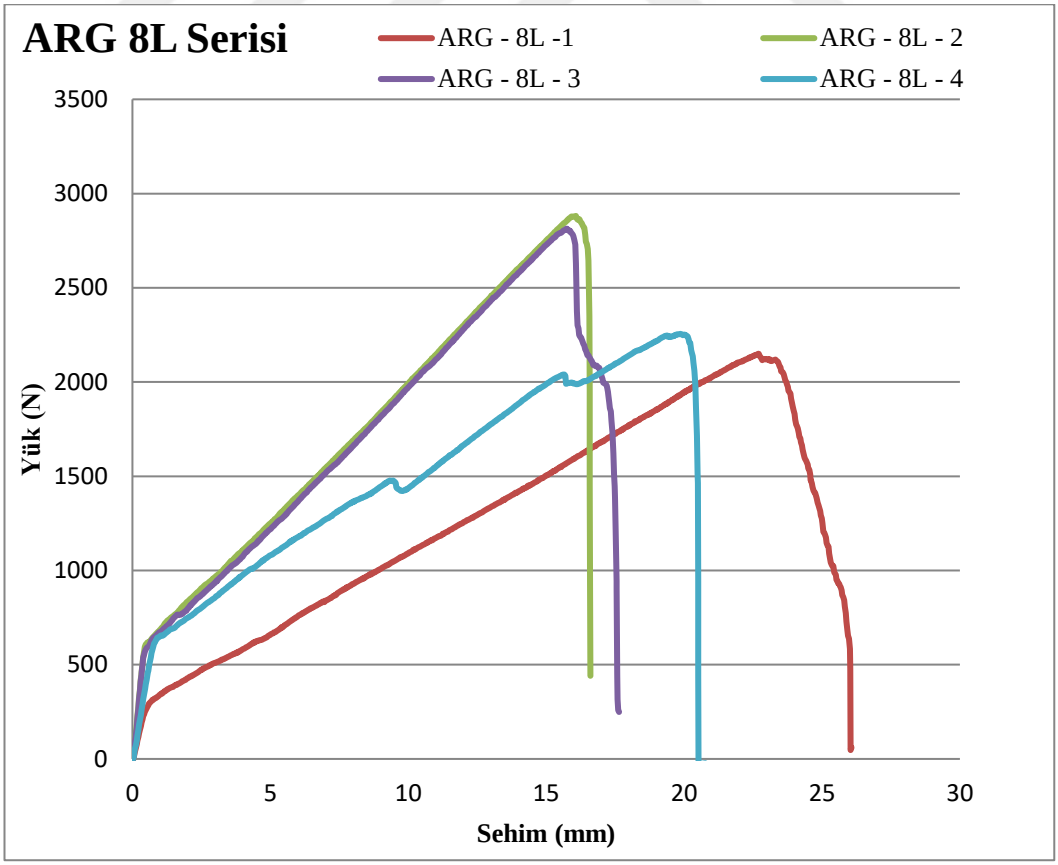
Dört noktalı eğilme deneyine ait Yük-Sehim eğrileri çizilmiştir. AR Glass TRCC elemanlar tabaka sayısı göz önüne alınarak tabaka sayısı aynı olan elamanlara ait sonuçlar aynı grafik üzerinde gösterilmiştir. Şekil 5.14, 5.15, 5.16'da AR Glass TRCC elemanlara ait 4 katlı, 6 katlı ve 8 katlı numunelere ait grafikler verilmiştir. Numunelere ait fotoğraflar Şekil 5.17, 5.18 ve 5.19'da gösterilmiştir.



Şekil 5.14 : ARG 4L serisine ait yük-sehim eğrisi.



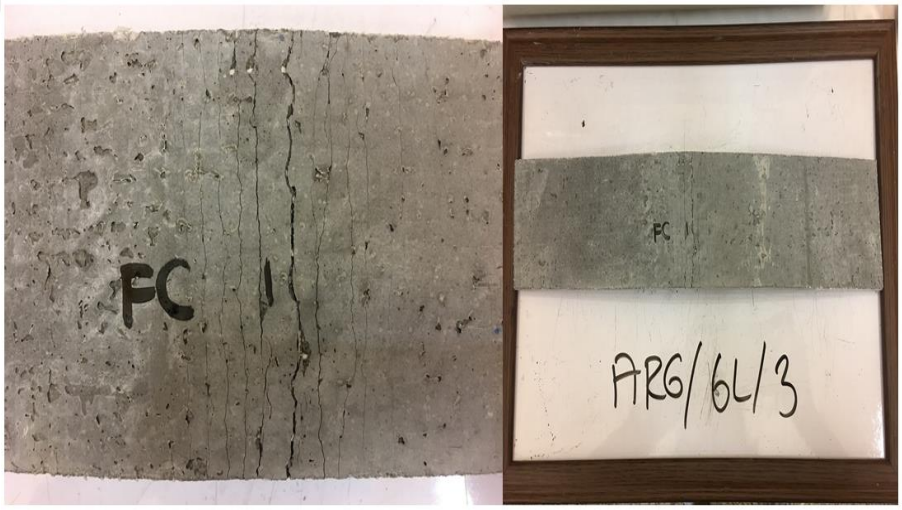
Şekil 5.15 : ARG 6L serisine ait yük-sehim eğrisi.



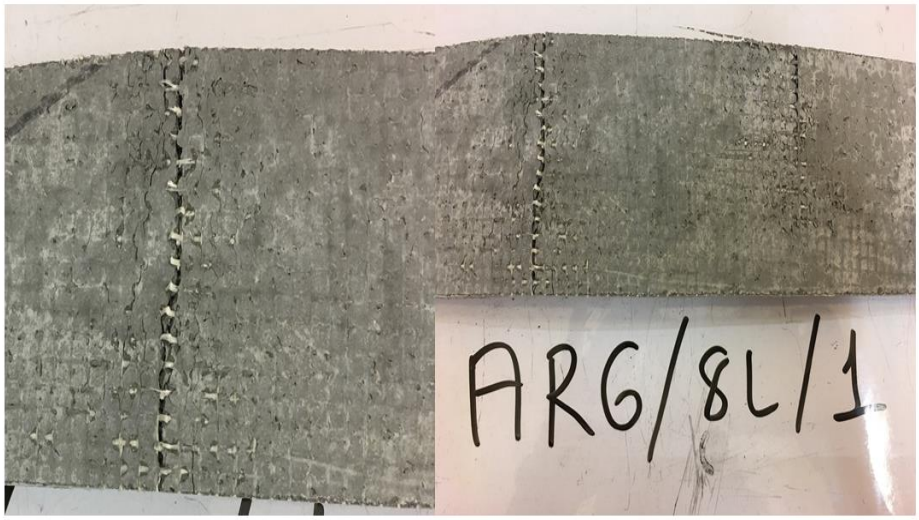
Şekil 5.16 : ARG 8L serisine ait yük-sehim eğrisi.



Şekil 5.17 : ARG 4L serisine ait eğilme numunesi.



Şekil 5.18 : ARG 6L serisine ait eğilme numunesi.



Şekil 5.19 : ARG 8L serisine ait eğilme numunesi.

5.2.2 Bazalt TRCC numunelerin eğilme deneyi sonuçları

Bazalt tekstiller kullanılarak üretilen TRCC elemanlara 4 noktalı eğilme deneyi uygulanmıştır. Numunelerin genişlikleri 80 mm ve uzunlukları 400 mm olacak şekilde kesilerek hazırlanmıştır. Numunelerin kalınlıkları elemanların içine yerleştirilen tekstil tabaka sayısına göre değişmektedir ve sabit değildir. Her bir seride 4 adet numune eğilme deneyine tabi tutulmuştur.

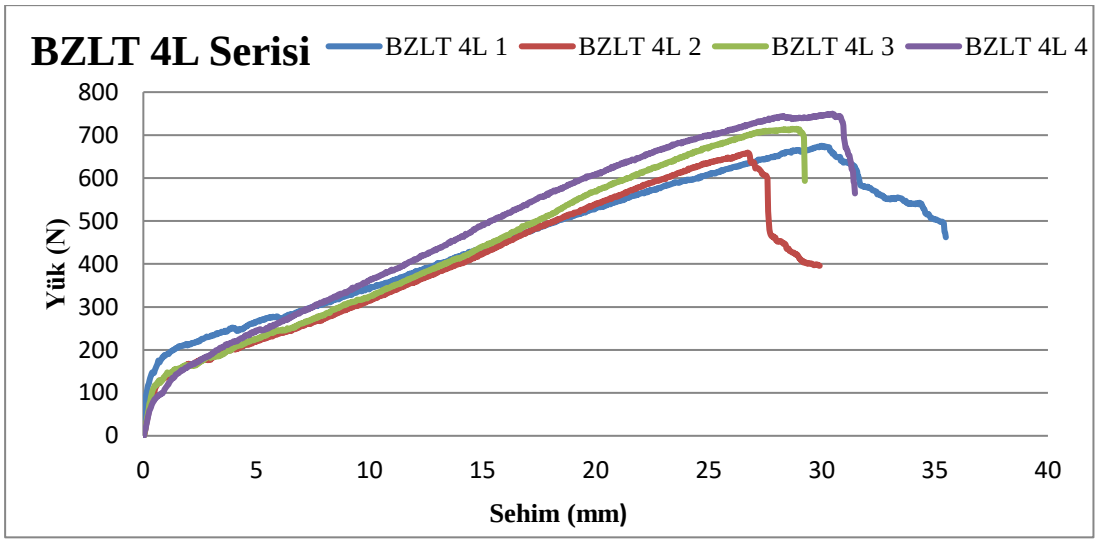
LVDT (şekil değiştirme ölçer) ölçüm cihazları numunenin orta noktasına yerleştirilerek maksimum sehim değerlerinin elde edilmesi hedeflenmiştir.

Deney sonuçlarına ait veriler aşağıdaki Çizelge 5.7'de verilmiştir.

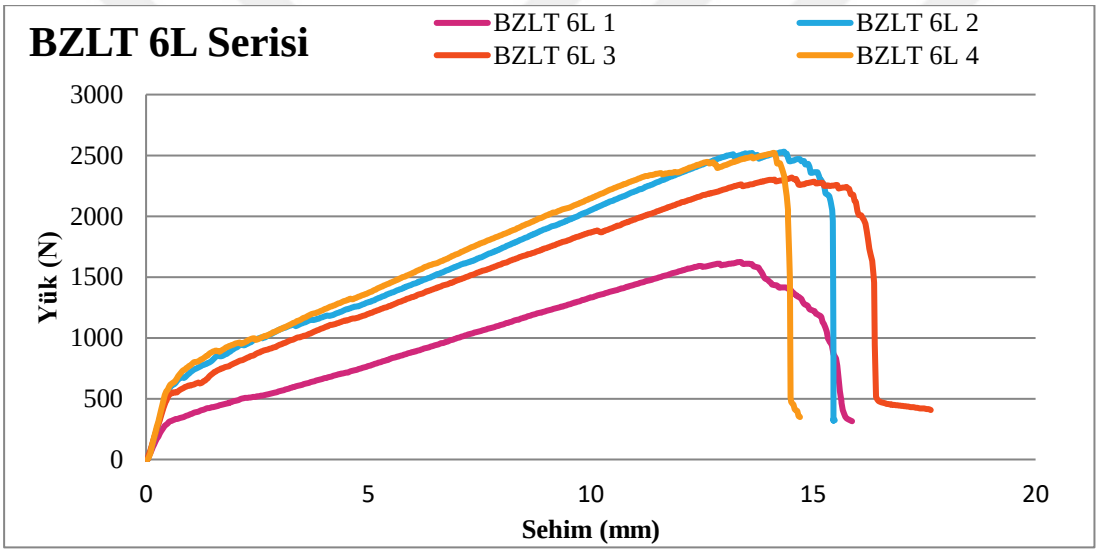
Çizelge 5.7 : Bazalt TRCC numunelere ait eğilme deneyi sonuçları.

Numune Kodu	İlk Çatlak Dayanımı (N)	İlk Çatlak Sehim (mm)	Maksimum Yük (N)	Maksimum Yükte Sehim (mm)	Maksimum Sehim (mm)
BZLT 4L 1	169.6	0.63	675.2	30.0	35.5
BZLT 4L 2	129.1	0.72	658.0	26.7	30.0
BZLT 4L 3	124.9	0.63	714.6	28.7	29.2
BZLT 4L 4	107.1	0.93	750.0	30.5	31.5
Ortalama	**132.7**	**0.73**	**699.5**	**29.0**	**31.6**
BZLT 6L 1	323.2	0.60	1624.1	13.4	15.8
BZLT 6L 2	609.2	0.57	2531.1	14.3	15.5
BZLT 6L 3	538.3	0.54	2318.2	14.5	16.5
BZLT 6L 4	614.7	0.54	2520.8	14.1	14.7
Ortalama	**521.4**	**0.56**	**2248.6**	**14.1**	**15.6**
BZLT 8L 1	840.6	0.64	4860.5	16.4	18.3
BZLT 8L 2	881.5	0.69	3673.8	15.0	15.6
BZLT 8L 3	990.3	0.94	4975.4	19.7	22.3
BZLT 8L 4	950.6	1.56	3314.0	17.1	20.0
Ortalama	**915.8**	**0.96**	**4205.9**	**17.1**	**19.1**

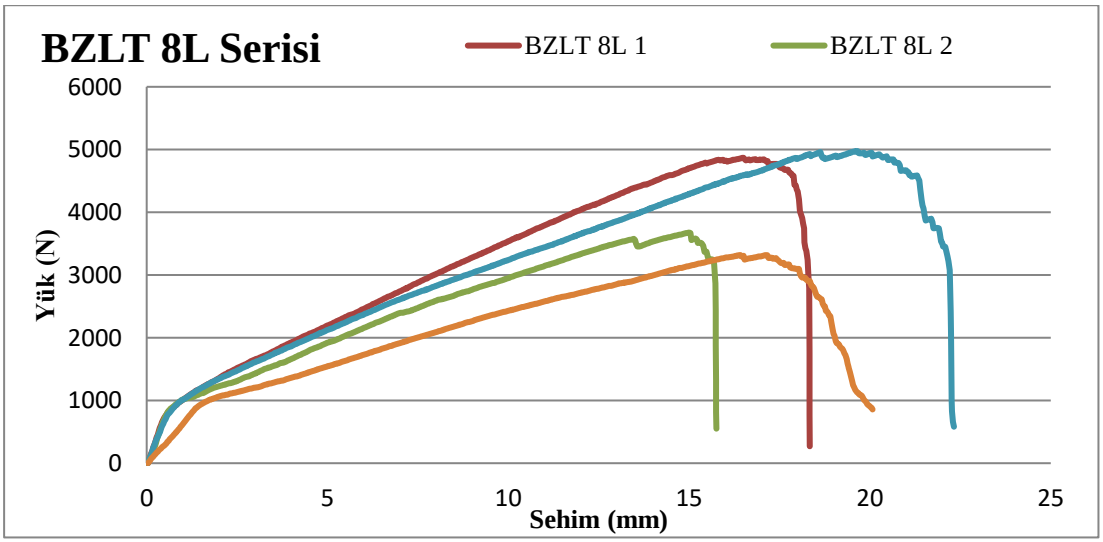
Dört noktalı eğilme deneyine ait Yük-Sehim eğrileri çizilmiştir. Bazalt TRCC elemanlar tabaka sayısı göz önüne alınarak tabaka sayısı aynı olan elamanlara ait sonuçlar aynı grafik üzerinde gösterilmiştir. Şekil 5.20, 5.21, 5.22'de Bazalt TRCC elemanlara ait 4 katlı, 6 katlı ve 8 katlı numunelere ait grafikler verilmiştir. Numunelere ait fotoğraflar Şekil 5.23, 5.24 ve 5.25'te gösterilmiştir.



Şekil 5.20 : Bazalt 4L serisine ait yük-sehim eğrisi.



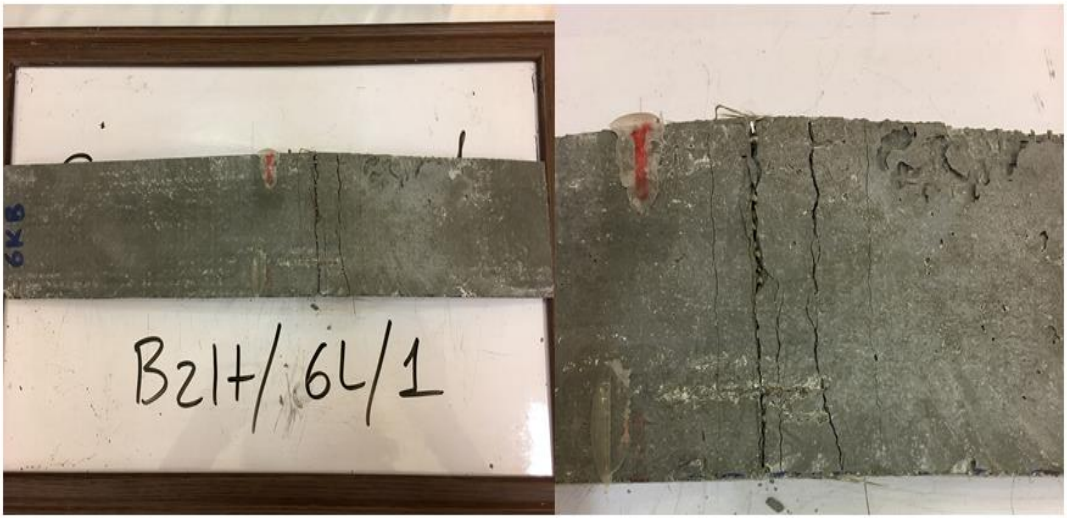
Şekil 5.21 : Bazalt 6L serisine ait yük-sehim eğrisi.



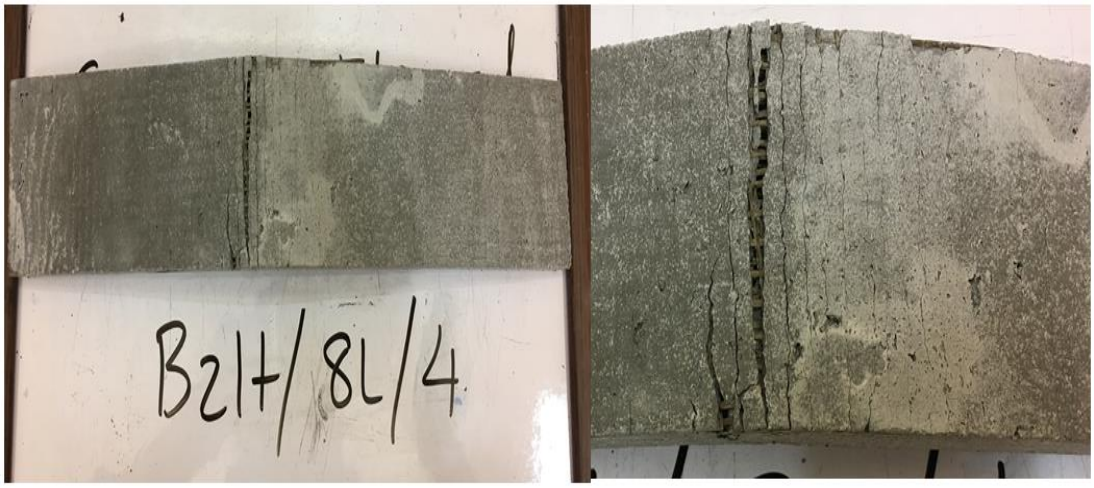
Şekil 5.22 : Bazalt 8L serisine ait yük-sehim eğrisi.



Şekil 5.23 : Bazalt 4L serisine ait eğilme numunesi.



Şekil 5.24 : Bazalt 6L serisine ait eğilme numunesi.



Şekil 5.25 : Bazalt 8L serisine ait eğilme numunesi.

5.2.3 PVA TRCC numunelerin eğilme deneyi sonuçları

PVA tekstiller kullanılarak üretilen TRCC elemanlara 4 noktalı eğilme deneyi uygulanmıştır. Numunelerin genişlikleri 80 mm ve uzunlukları 400 mm olacak şekilde kesilerek hazırlanmıştır. Numunelerin kalınlıkları elemanların içine yerleştirilen tekstil tabaka sayısına göre değişmektedir ve sabit değildir. LVDT (şekil değiştirme ölçer) ölçüm cihazları numunenin orta noktasına yerleştirilerek maksimum sehim değerlerinin elde edilmesi hedeflenmiştir. Her bir seride 4 adet numune eğilme deneyine tabi tutulmuştur.

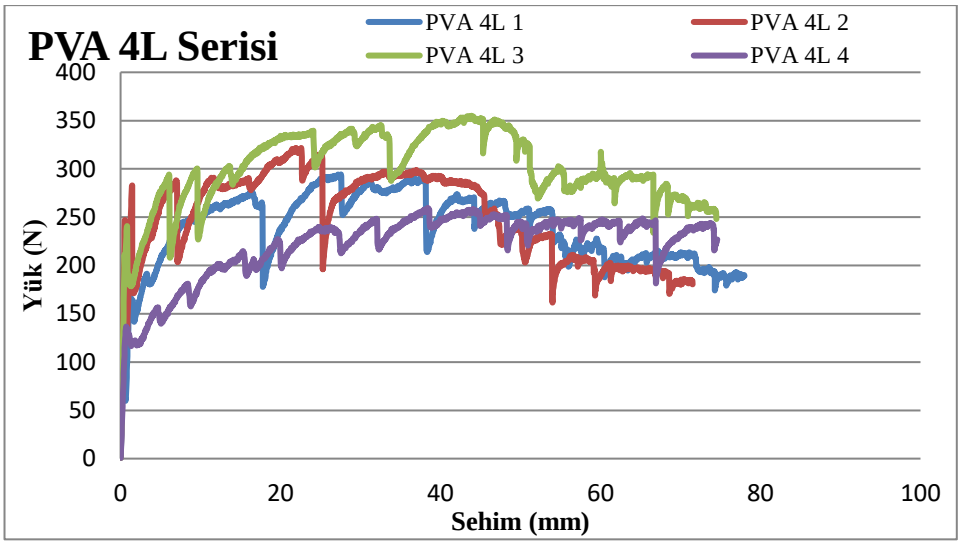
Deney sonuçlarına ait veriler aşağıdaki Çizelge 5.8'de özetlenmiştir.

Çizelge 5.8 : PVA TRCC numunelere ait eğilme deneyi sonuçları

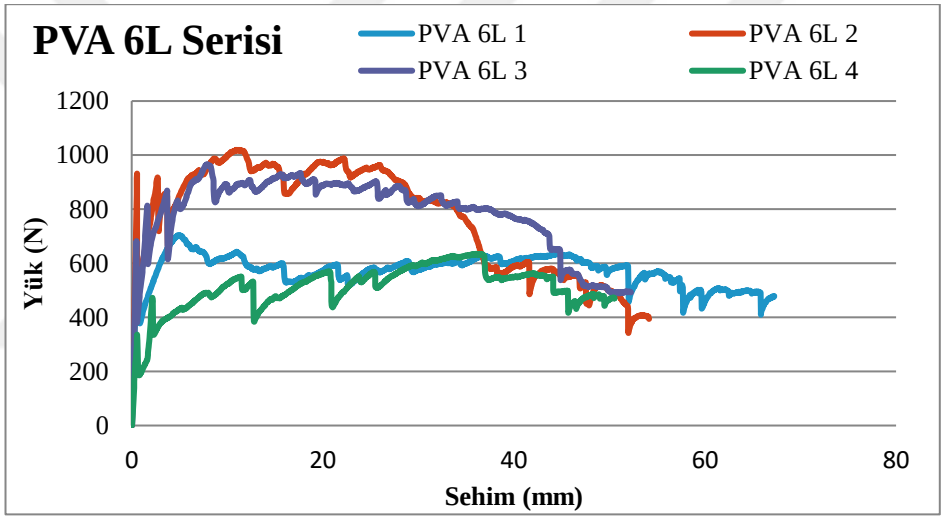
Numune Kodu	İlk Çatlak Dayanımı (N)	İlk Çatlak Sehim (mm)	Maksimum Yük (N)	Maksimum Yükte Sehim (mm)	Maximum Sehim (mm)
PVA 4L 1	143.2	0.39	294.3	27.5	78.0
PVA 4L 2	247.0	0.54	321.6	22.6	71.5
PVA 4L 3	211.2	0.51	355.0	43.9	74.5
PVA 4L 4	136.7	0.69	259.3	38.5	74.6
Ortalama	**184.5**	**0.53**	**307.6**	**33.1**	**74.7**
PVA 6L 1	529.2	0.72	704.2	5.0	67.2
PVA 6L 2	915.3	2.74	1019.2	11.2	54.1
PVA 6L 3	681.9	0.48	965.2	7.9	52.3
PVA 6L 4	276.6	0.24	648.9	19.7	33.2
Ortalama	**600.8**	**1.05**	**834.4**	**11.0**	**51.7**
PVA 8L 1	977.0	0.51	1392.0	40.0	52.6
PVA 8L 2	779.5	1.36	1188.3	22.9	51.2
PVA 8L 3	1067.6	0.42	1913.7	31.8	63.1
PVA 8L 4	1337.9	2.52	1457.8	5.9	30.9
Ortalama	**1040.5**	**1.20**	**1488.0**	**25.2**	**49.5**

Dört noktalı eğilme deneyine ait yük-sehim eğrileri çizilmiştir. PVA TRCC elemanlar tabaka sayısı göz önüne alınarak tabaka sayısı aynı olan elamanlara ait sonuçlar aynı grafik üzerinde gösterilmiştir.

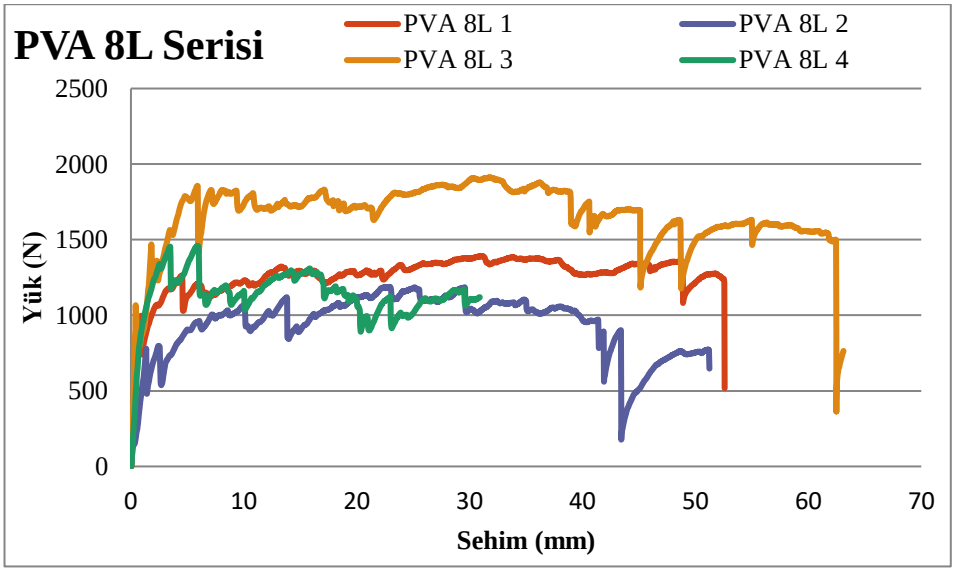
Şekil 5.26, 5.27, 5.28'de PVA TRCC elemanlara ait 4 katlı, 6 katlı ve 8 katlı numunelere ait grafikler verilmiştir. Numunelere ait fotoğraflar Şekil 5.29, Şekil 5.30, Şekil 5.31'de gösterilmiştir.



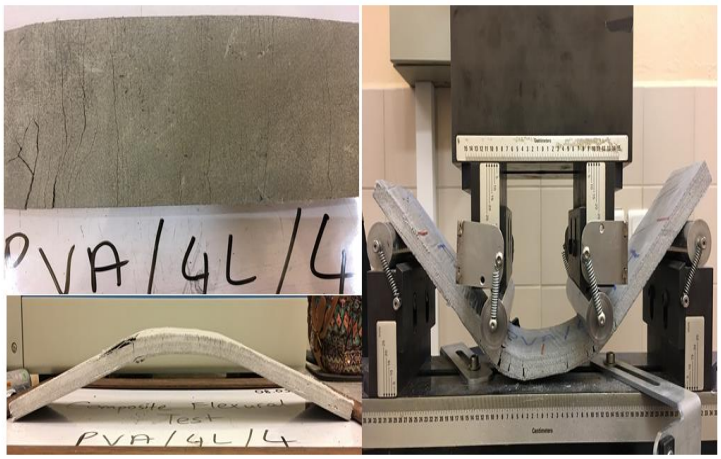
Şekil 5.26 : PVA 4L serisine ait yük-sehim eğrisi.



Şekil 5.27 : PVA 6L serisine ait yük-sehim eğrisi.



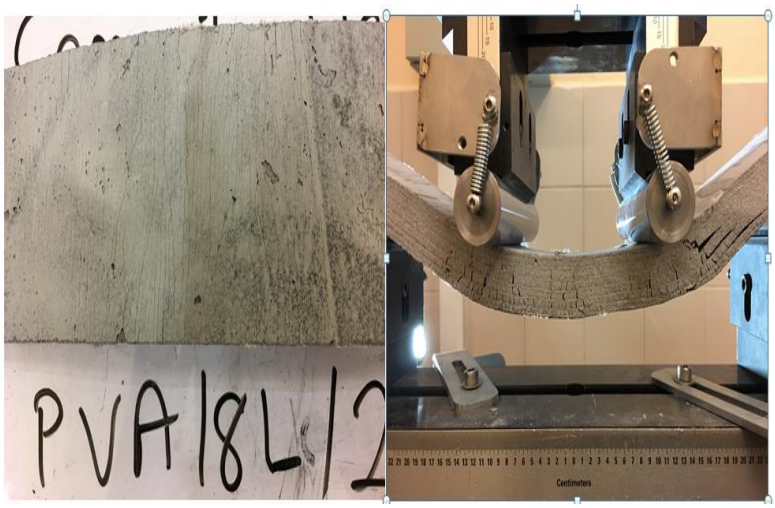
Şekil 5.28 : PVA 8L serisine ait yük-sehim eğrisi.



Şekil 5.29 : PVA 4L serisine ait eğilme numunesi.



Şekil 5.30 : PVA 6L serisine ait eğilme numunesi.



Şekil 5.31 : PVA 8L serisine ait eğilme numunesi.

TRCC elemanlara ait eğilme deneyinde absorplanan enerji yük-sehim grafiği altında kalan alan hesaplanarak elde edilmiştir. Sonuçlar Çizelge 5.9'da görülmektedir.

Çizelge 5.9 : TRCC numunelere ait eğilme deneyinde absorplanan enerjiler.

Numune Kodu	Enerji (joule)	Numune Kodu	Enerji (joule)	Numune Kodu	Enerji (joule)
ARG 4L 1	9.3	BZLT 4L 1	16.2	PVA 4L 1	11.2
ARG 4L 2	9.1	BZLT 4L 2	12.0	PVA 4L 2	11.5
ARG 4L 3	9.6	BZLT 4L 3	12.7	PVA 4L 3	22.4
ARG 4L 4	8.7	BZLT 4L 4	15.2	PVA 4L 4	8.0
Ortalama	**9.2**	**Ortalama**	**14.0**	**Ortalama**	**13.3**
ARG 6L 1	18.6	BZLT 6L 1	15.9	PVA 6L 1	22.3
ARG 6L 2	18.3	BZLT 6L 2	25.8	PVA 6L 2	41.2
ARG 6L 3	18.4	BZLT 6L 3	26.0	PVA 6L 3	40.1
ARG 6L 4	20.4	BZLT 6L 4	24.3	PVA 6L 4	16.3
Ortalama	**18.9**	**Ortalama**	**23.0**	**Ortalama**	**30.0**
ARG 8L 1	32.5	BZLT 8L 1	57.8	PVA 8L 1	66.5
ARG 8L 2	28.8	BZLT 8L 2	38.1	PVA 8L 2	47.9
ARG 8L 3	30.0	BZLT 8L 3	72.7	PVA 8L 3	104.7
ARG 8L 4	30.5	BZLT 8L 4	42.9	PVA 8L 4	35.0
Ortalama	**30.5**	**Ortalama**	**52.9**	**Ortalama**	**63.5**

5.3 TRCC Charpy Çarpma Deneyi Sonuçları

Tekstil donatılı çimento esaslı kompozitlerle ilgili çoğu deney polimer kompozitlere uygulanan deneylerden uyarlanmıştır veya bu deneylerden ilham alınarak üretilmiştir. Bu amaçla plastik ve polimer kompozit malzemelerin Charpy çarpma özeliklerini belirlemek için geliştirilen ISO 179-1 standardı incelenmiştir [99]. Dünya çapında yapılan araşırmalarda tekstil donatılı çimento esaslı kompozit elemanlara uygulanan darbe deneyi henüz bir standarda bağlanmamıştır. Bu sebeple plastik ve polimer kompozit malzemelerin Charpy çarpma özelliklerini belirlemek için geliştirilen ISO 179-1 standardı göz önüne alınarak deney yöntemi ve makine uygun numune boyutları belirlenmiştir. Absorplanan enerji pendulumun çarpma öncesi ve sonrası sahip olduğu potansiyel enerji değişiminin hesaplanmasıyla elde edilir. Charpy çarpma dayanımı absorplanan enerjinin numunenin kesit alanina bölünmesiyle elde edilen dayanım değeridir. Potansiyel enerji değişimi deney cihazından elde edilir ve kgm cinsindendir.

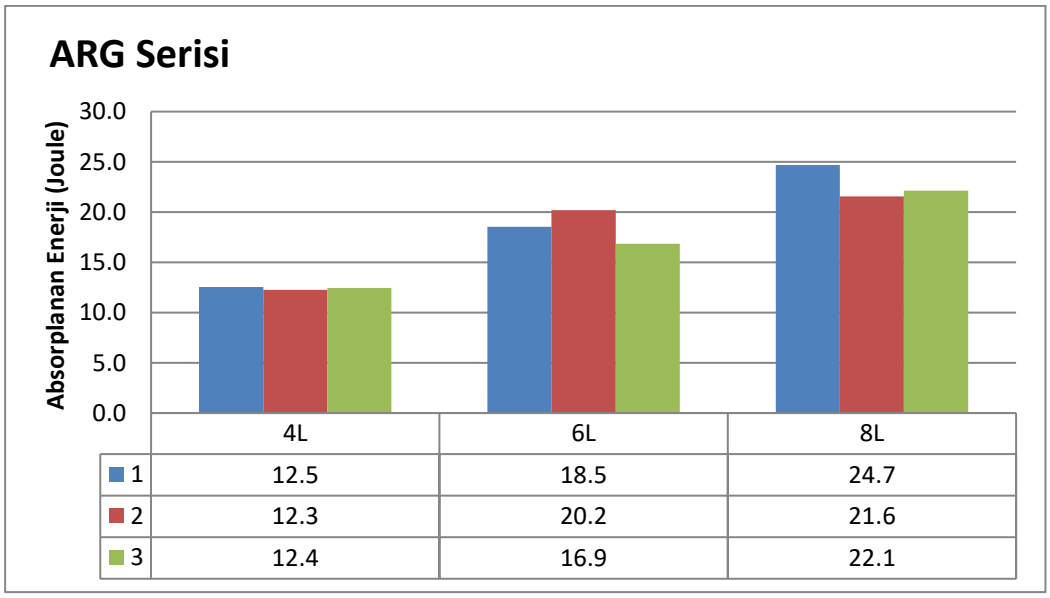
Her bir seride 3 adet numune deneye tabi tutulmuştur. 250 mm uzunluğunda, 35 mm genişliğinde kesilen numunelere çarpma deney cihazında uygulanmıştır. Numuneler 20 cm mesnet açıklığına sahip olacak şekilde deney aletine yerleştirilmiştir. Numune kalınlıkları tekstil kat sayısına ve tekstil cinsine göre değişmektedir. Numune kalınlıkları Çizelge 5.10'da verilmiştir.

Çizelge 5.10 : TRCC numunelerin kalınlıkları.

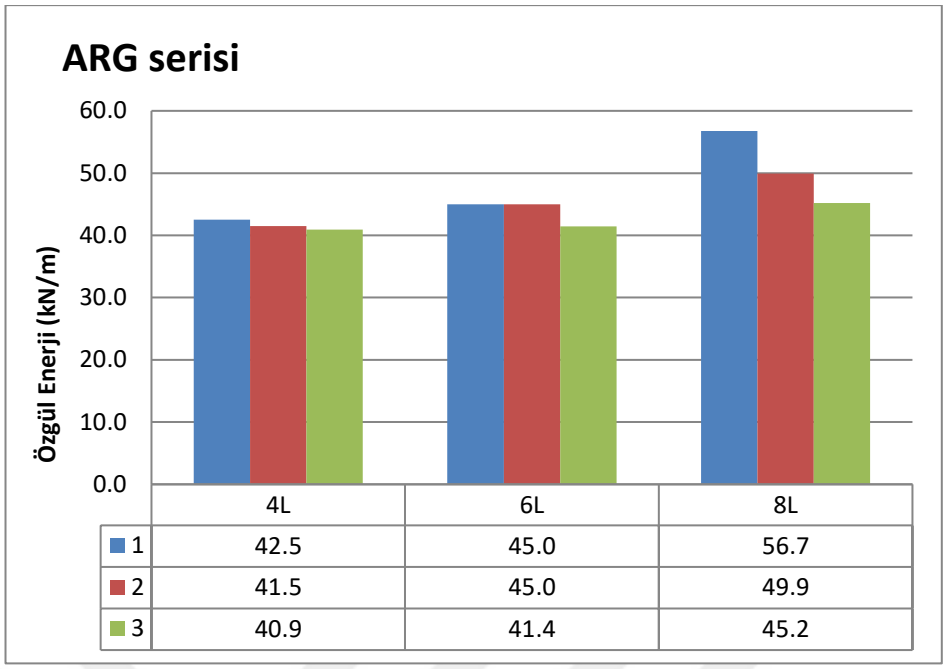
Numune Kodu	Kalınlık (mm)	Numune Kodu	Kalınlık (mm)	Numune Kodu	Kalınlık (mm)
ARG 4L 1	8.4	BZLT 4L 1	7.9	PVA 4L 1	13.9
ARG 4L 2	8.4	BZLT 4L 2	8.8	PVA 4L 2	15.2
ARG 4L 3	8.7	BZLT 4L 3	8.0	PVA 4L 3	15.0
Ortalama	**8.5**	**Ortalama**	8.2	**Ortalama**	14.7
ARG 6L 1	12.7	BZLT 6L 1	14.9	PVA 6L 1	15.9
ARG 6L 2	12.9	BZLT 6L 2	14.9	PVA 6L 2	15.7
ARG 6L 3	11.7	BZLT 6L 3	15.8	PVA 6L 3	15.7
Ortalama	**12.4**	**Ortalama**	15.2	**Ortalama**	15.8
ARG 8L 1	12.7	BZLT 8L 1	18.1	PVA 8L 1	20.9
ARG 8L 2	12.8	BZLT 8L 2	16.6	PVA 8L 2	21.0
ARG 8L 3	14.0	BZLT 8L 3	18.6	PVA 8L 3	20.0
Ortalama	**13.2**	**Ortalama**	17.8	**Ortalama**	20.6

5.3.1 AR Glass TRCC numunelerin çarpma deneyi sonuçları

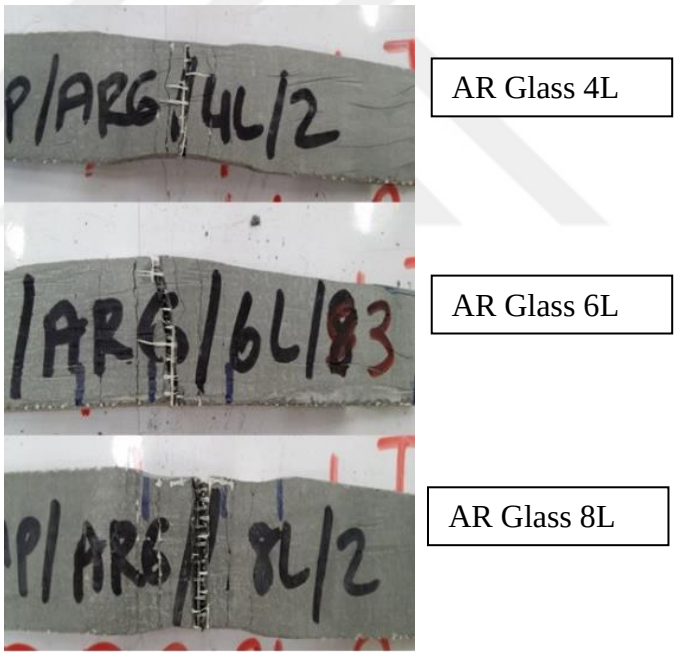
AR Glass tekstiller kullanılarak üretilen TRCC elemanlara Charpy çarpma deneyi uygulanmıştır. Her bir seride 3 adet numuneye charpy deneyi uygulanmıştır Charpy deneyine ait absorplanan enerji (joule) ve özgül enerji (kN/m) sonuçları sütun grafik üzerinde gösterilmiştir. Şekil 5.32, 5.33'te AR Glass TRCC elemanlara ait 4 katlı, 6 katlı ve 8 katlı numunelere ait grafikler verilmiştir. Charpy çarpma etkisi altında kırılan numunelere ait fotoğraflar Şekil 5.34' te verilmiştir.



Şekil 5.32 : AR Glass serilerine ait absorblanan enerji.



Şekil 5.33 : AR Glass serilerine ait özgül enerji.

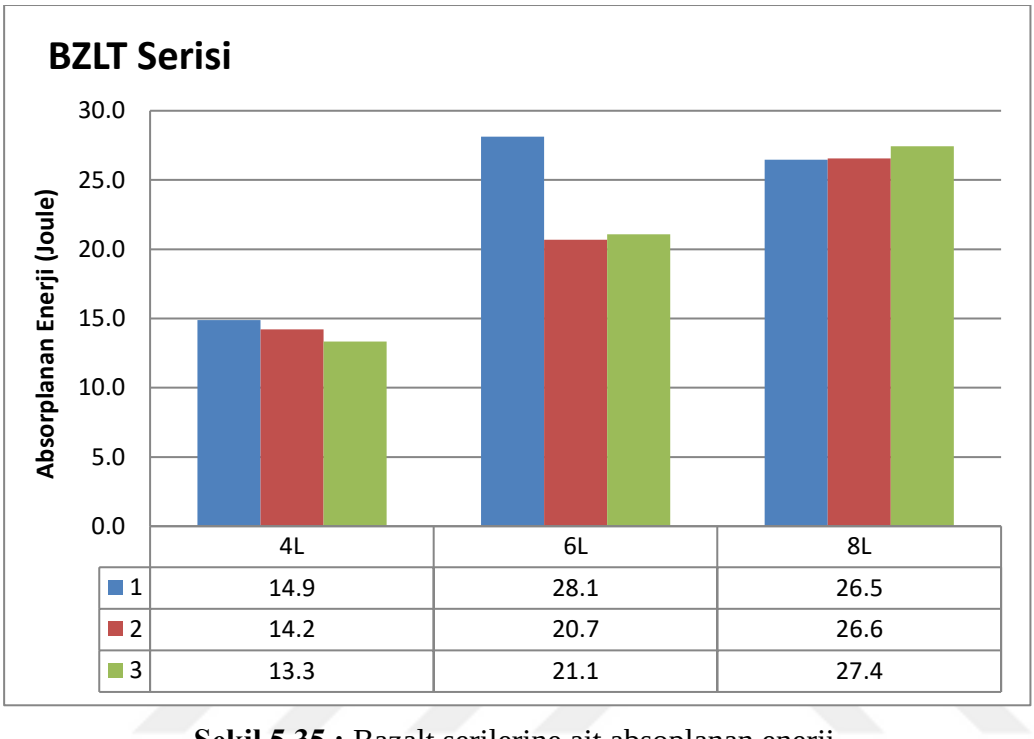


Şekil 5.34 : AR Glass serilerine ait Charpy çarpma deneyi uygulanmış numuneler.

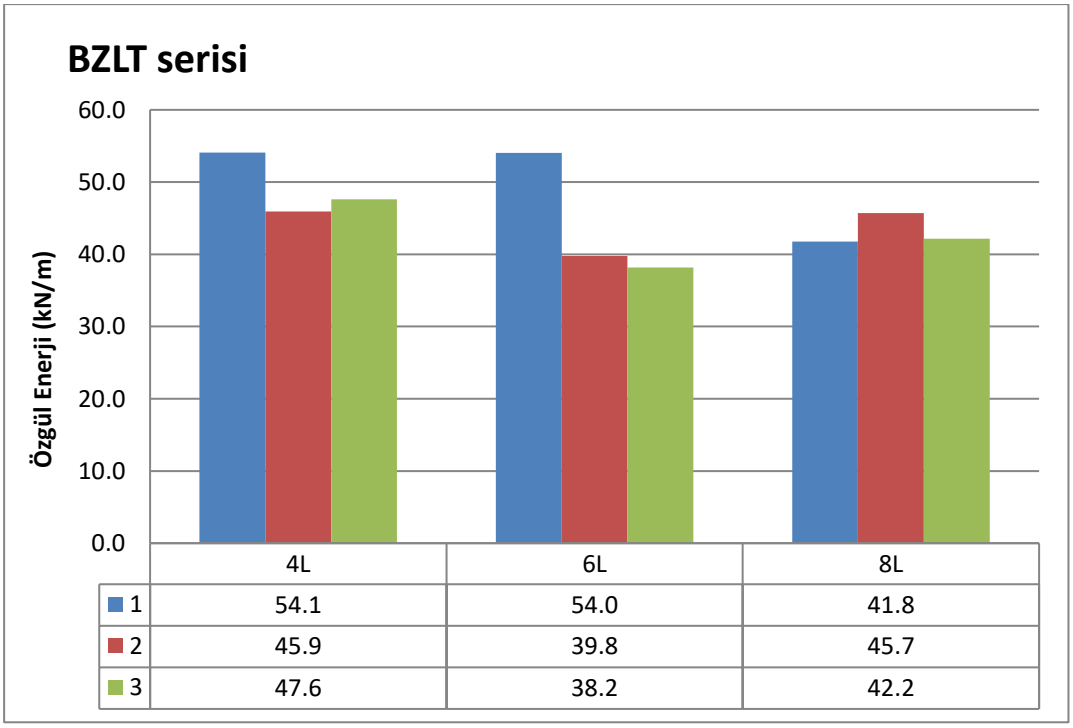
5.3.2 Bazalt TRCC numunelerin Charpy çarpma deneyi sonuçları

Bazalt tekstiller kullanılarak üretilen TRCC elemanlara Charpy çarpma deneyi uygulanmıştır. Numunelerin genişlikleri 35 mm ve uzunlukları 250 mm olacak şekilde kesilerek hazırlanmıştır. Numunelerin kalınlıkları elemanların içine yerleştirilen tekstil tabaka sayısına göre değişmektedir ve sabit değildir. Her bir seride 3 adet numuneye Charpy çarpma deneyi uygulanmıştır.

Charpy çarpma deneyine ait absorblanan enerji ve özgül enerji sonuçları sütun grafik üzerinde gösterilmiştir. Şekil 5.35, 5.36'da Bazalt TRCC elemanlara ait 4 katlı, 6 katlı ve 8 katlı numunelere ait grafikler verilmiştir. Charpy çarpma etkisi altında kırılan numunelere ait fotoğraflar Şekil 5.37 de verilmiştir.



Şekil 5.35 : Bazalt serilerine ait absoplanan enerji.



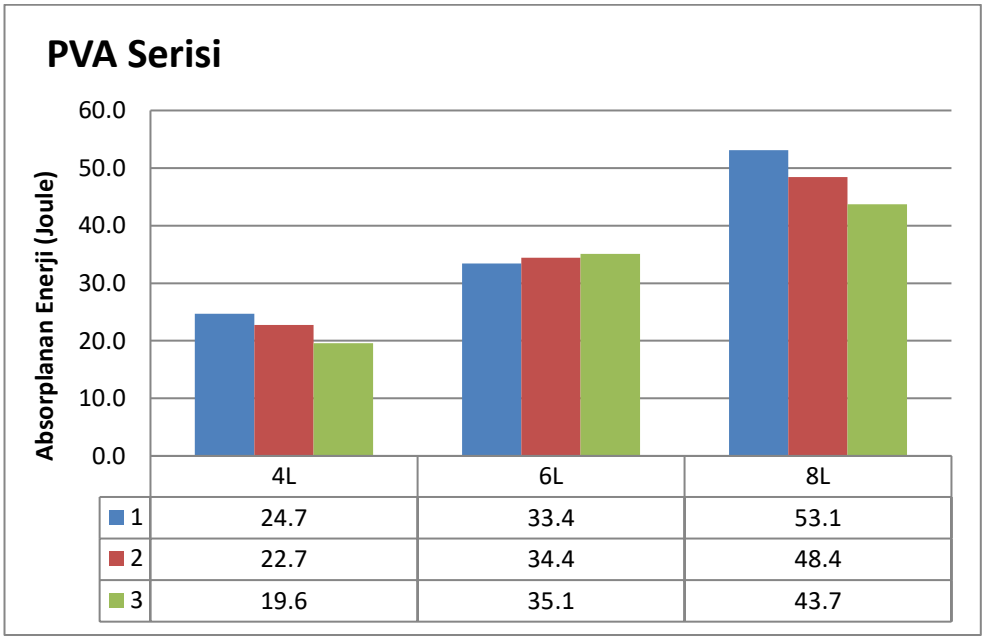
Şekil 5.36 : Bazalt serilerine ait özgül enerji.



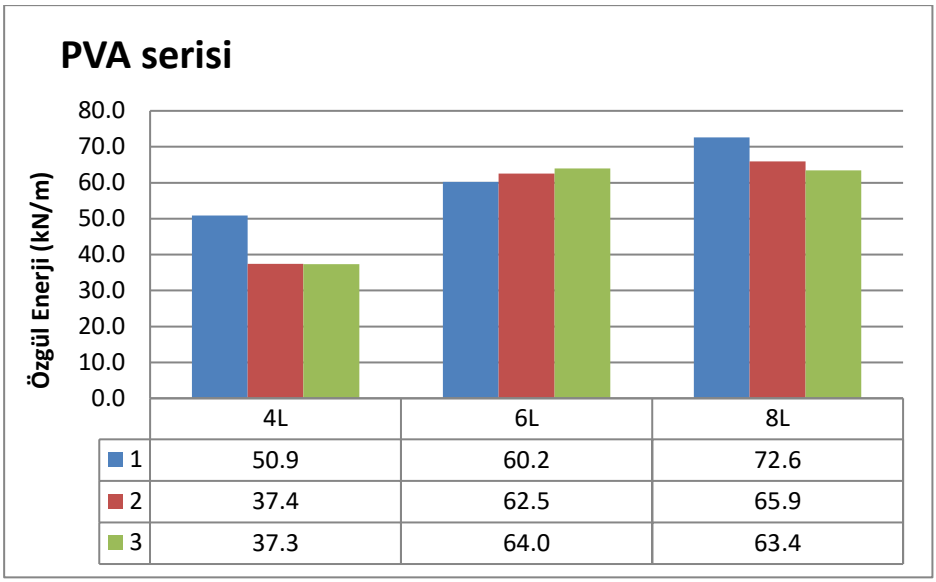
Şekil 5.37 : Bazalt serilerine ait Charpy çarpma deneyi uygulanmış numuneler.

5.3.3 PVA TRCC numunelerin Charpy çarpma deneyi sonuçları

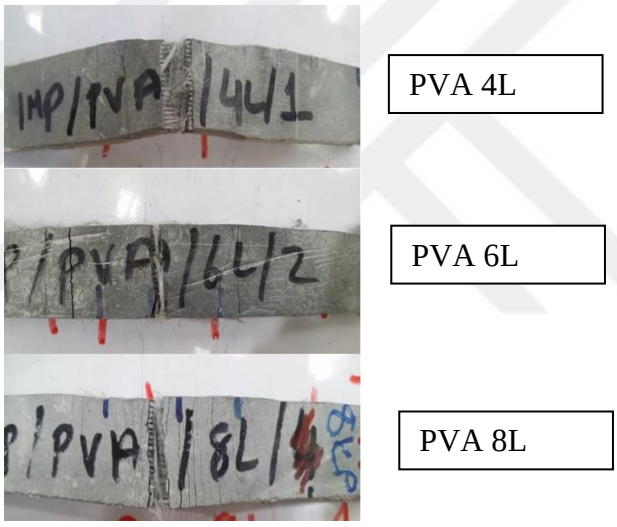
PVA tekstiller kullanılarak üretilen TRCC elemanlara Charpy çarpma deneyi uygulanmıştır. Her bir seride 3 adet numuneye Charpy çarpma deneyi uygulanmıştır. Charpy çarpma deneyine ait absorblanan enerji ve özgül enerji sonuçları sütun grafik üzerinde gösterilmiştir. Şekil 5.38, 5.39'da PVA TRCC elemanlara ait 4 katlı, 6 katlı ve 8 katlı numunelere ait grafikler verilmiştir. Charpy çarpma etkisi altında kırılan numunelere ait fotoğraflar Şekil 5.40 da verilmiştir.



Şekil 5.38 : PVA serilerine ait absoplanan enerji.



Şekil 5.39 : PVA serilerine ait özgül enerji.



Şekil 5.40 : PVA serilerine ait Charpy çarpma deneyi uygulanmış numuneler.

5.4 TRCC Yapışma (Aderans) Deneyi Sonuçları

Yapışma (aderans) deneyi ASTM C1583 standardına uygun olarak yapılmıştır. Açılacak izin derinliği ASTM C1583 standardı göz önüne alınarak belirlenmiştir. Deney sonucunda oluşacak kırılma şekilleri standartta belirtilmiştir. Standartta belirtilen hasar modları 4 farklı şekilde oluşmaktadır:

I. Taban betonunda kırılma

II. Ara yüzeyden Kırılma

III. Plaka veya harçta kırılma

IV. Yapıştırıcı epokside kırılma.

9 farklı seriden elde edilen TRCC elemanlar, 25 x 25 cm plaka halinde kesildikten sonra harç kullanılarak taban betonuna yapıştırılmıştır. Bu plakalar üzerinde karot bıçağıyla iz açılarak açılan izlerin üzerine metal diskler yapıştırılmıştır. Test cihazı kullanılarak numuneye dik bir şekilde çekme yükü uygulanmıştır ve yapışma mukavemeti elde edilmiştir. Aşağıdaki Çizelge 5.11'de yapışma mukavemeti ve kırılma şekilleri verilmiştir. Her bir plakada açılan 4 adet izde test uygulanmıştır. Deney sonucunda kırılma şekilleri Şekil 5.41, 5.42 ve 5.43 de verilmiştir.

Çizelge 5.11 : AR Glass TRCC plaka numunelerine ait deney sonuçları.

Numune Kodu	Kalınlık (mm)	Yapışma Yükü (kN)	Yapışma Mukavemeti (MPa)	Kırılma Şekli
ARG 4L 1	7.6	2.16	1.10	II
ARG 4L 2	8.2	4.61	2.35	II
ARG 4L 3	9.3	5.38	2.74	III
ARG 4L 4	8.6	0.53	0.27	II
Ortalama	**8.4**	**3.17**	**1.62**	
ARG 6L 1	12.3	3.77	1.92	II
ARG 6L 2	9.6	3.30	1.68	II
ARG 6L 3	10.0	4.32	2.20	II
ARG 6L 4	10.5	0.35	0.18	II
Ortalama	**10.6**	**2.94**	**1.50**	
ARG 8L 1	11.0	0.39	0.20	II
ARG 8L 2	11.2	5.16	2.63	III
ARG 8L 3	12.5	3.20	1.63	II
ARG 8L 4	11.0	4.18	2.13	II
Ortalama	**11.4**	**3.23**	**1.65**	



Şekil 5.41 : Yapışma deneyinde AR Glass TRCC numune (Kırılma Şekli II).

Çizelge 5.12 : Bazalt TRCC plaka numunelerine ait deney sonuçları.

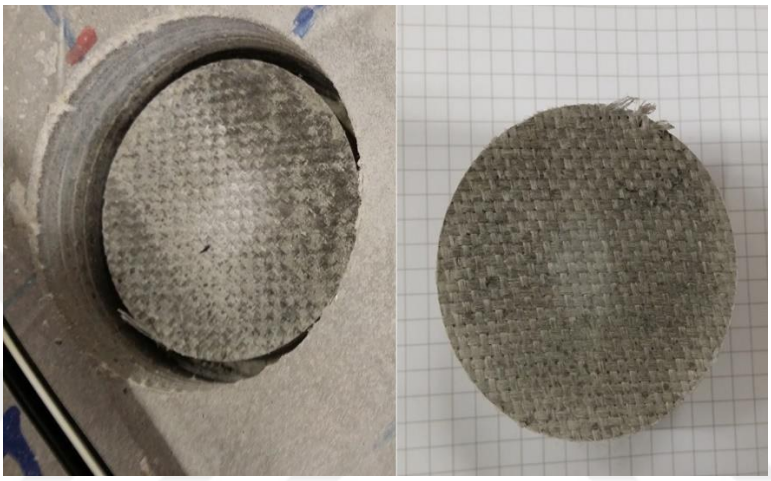
Numune Kodu	Kalınlık (mm)	Yapışma Yükü (kN)	Yapışma Mukavemeti (MPa)	Kırılma Şekli
BZLT 4L 1	8.0	5.46	2.78	II
BZLT 4L 2	8.3	4.34	2.21	II
BZLT 4L 3	7.8	0.26	0.13	II
BZLT 4L 4	8.4	2.26	1.15	II
Ortalama	**8.1**	**3.10**	**1.57**	
BZLT 6L 1	15.1	3.02	1.54	II
BZLT 6L 2	14.8	4.91	2.50	II
BZLT 6L 3	14.7	0.71	0.36	II
BZLT 6L 4	14.0	0.35	0.18	II
Ortalama	**14.7**	**2.25**	**1.15**	
BZLT 8L 1	14.0	3.93	2.00	II
BZLT 8L 2	14.3	4.42	2.25	I
BZLT 8L 3	15.3	3.42	1.74	II
BZLT 8L 4	14.9	1.45	0.74	III
Ortalama	**14.6**	**3.30**	**1.68**	

Çizelge 5.13 : PVA TRCC plaka numunelerine ait deney sonuçları.

Numune Kodu	Kalınlık (mm)	Yapışma Yükü (kN)	Yapışma Mukavemeti (MPa)	Kırılma Şekli
PVA 4L 1	17.5	0.45	0.23	III
PVA 4L 2	16.2	0.49	0.25	II
PVA 4L 3	14.3	0.63	0.32	III
PVA 4L 4	16.0	0.33	0.17	III
Ortalama	**16.0**	**0.48**	**0.24**	
PVA 6L 1	16.7	0.79	0.40	III
PVA 6L 2	18.2	0.90	0.46	III
PVA 6L 3	17.6	0.81	0.41	III
PVA 6L 4	17.9	0.55	0.28	III
Ortalama	**17.6**	**0.76**	**0.40**	
PVA 8L 1	20.6	0.98	0.50	III
PVA 8L 2	21.2	1.24	0.63	III
PVA 8L 3	23.3	0.88	0.45	III
PVA 8L 4	22.0	1.02	0.52	III
Ortalama	**21.8**	**1.03**	**0.53**	



Şekil 5.42 : Yapışma deneyinde Bazalt TRCC numune (Kırılma Şekli I).



Şekil 5.43 : Yapışma deneyinde PVA TRCC numune (Kırılma Şekli III).

5.5 TRCC Alkaliye Direnç Geçirmiş Numunelerde Eksenel Çekme Deneyi Sonuçları

Literatürde yapılan çalışmalar değerlendirildiğinde hızlandırılmış sıcak suda yaşlandırma testi güvenilir bir test olarak belirlenmiştir. Literatürde uygulanan en dramatik deney sonuçlarını elde etmek ve en yüksek sıcaklığı uygulamak için numunelerin içine daldırılacağı suyun derecesi 80°C olarak seçilmiştir. 28 gün süreyle sıcak su içinde tutulan numuneler 28. gün sonunda sudan çıkarılmıştır. Bu alkaliye direnç testi geçirmiş AR Glass, Bazalt ve PVA TRCC elemanlara eksenel çekme testi uygulanmıştır. Her bir seride 5 adet numune eksenel çekme testine tabi tutulmuştur. Numuneler RILEM TC 232-TDT standardına uygun hazırlanmış ve bu standartta belirtilen deney aparatları kullanılarak eksenel çekme testine tabi tutulmuştur. Alkaliye direnç testi geçirmiş TRCC numuneler MTS 50 kN luk elektromanyetik üniversal çekme cihazında deneye tabi tutulmuştur. Numuneler 500 mm boyunda, 60 mm enindedir. 2 adet TML CDP – 25 mm yerdeğiştirme ölçer (LVDT) numunenin her

iki yüzüne de yerleştirilmiştir. Deney esnasında oluşan şekil değiştirmeler bu yerleştirilen şekil değiştirme ölçerler ile ölçülmüştür. Numunenin uzama miktarını belirlemek için 200 mm lik ölçüm boyu belirlenmiştir.

Test prosedürü sabit şekil değiştirme hızı 0.5 mm/sn belirlenerek uygulanmıştır. Veri toplama sisteminden (data logger) LVDT yer değiştirmeleri elde edilirken, yük MTS çekme cihazından elde edilmiştir.

Numunelerin kalınlıkları içine yerleştirilen tekstil tabaka sayısına göre değişmektedir ve sabit değildir. Numune kalınlıkları Çizelge 5.14'te verilmiştir.

Çizelge 5.14 : ALK TRCC numunelerin kalınlıkları.

Seri Adı	Numune Adı	Kalınlık (mm)	Numune Kodu	Kalınlık (mm)	Numune Kodu	Kalınlık (mm)
ALK 4L 1	ARG	7.6	BZLT	7.0	PVA	12.3
ALK 4L 2	ARG	8.2	BZLT	6.9	PVA	13.5
ALK 4L 3	ARG	9.3	BZLT	6.9	PVA	13.4
ALK 4L 4	ARG	8.6	BZLT	8.4	PVA	13.1
ALK 4L 5	ARG	9.6	BZLT	7.9	PVA	12.9
	Ortalama	**8.7**	**Ortalama**	**7.4**	**Ortalama**	**13.0**
ALK 6L 1	ARG	10.9	BZLT	14.5	PVA	17.5
ALK 6L 2	ARG	12.8	BZLT	15.9	PVA	14.9
ALK 6L 3	ARG	12.1	BZLT	14.1	PVA	15.2
ALK 6L 4	ARG	10.0	BZLT	14.8	PVA	16.3
ALK 6L 5	ARG	11.3	BZLT	15.2	PVA	18.1
	Ortalama	**11.4**	**Ortalama**	**14.9**	**Ortalama**	**16.4**
ALK 8L 1	ARG	12.8	BZLT	14.4	PVA	24.4
ALK 8L 2	ARG	11.7	BZLT	14.0	PVA	25.6
ALK 8L 3	ARG	11.3	BZLT	15.2	PVA	23.2
ALK 8L 4	ARG	12.1	BZLT	14.2	PVA	22.6
ALK 8L 5	ARG	13.4	BZLT	15.1	PVA	21.9
	Ortalama	**12.3**	**Ortalama**	**14.6**	**Ortalama**	**23.5**

5.5.1 AR Glass TRCC numunelerin eksenel çekme deneyi sonuçları

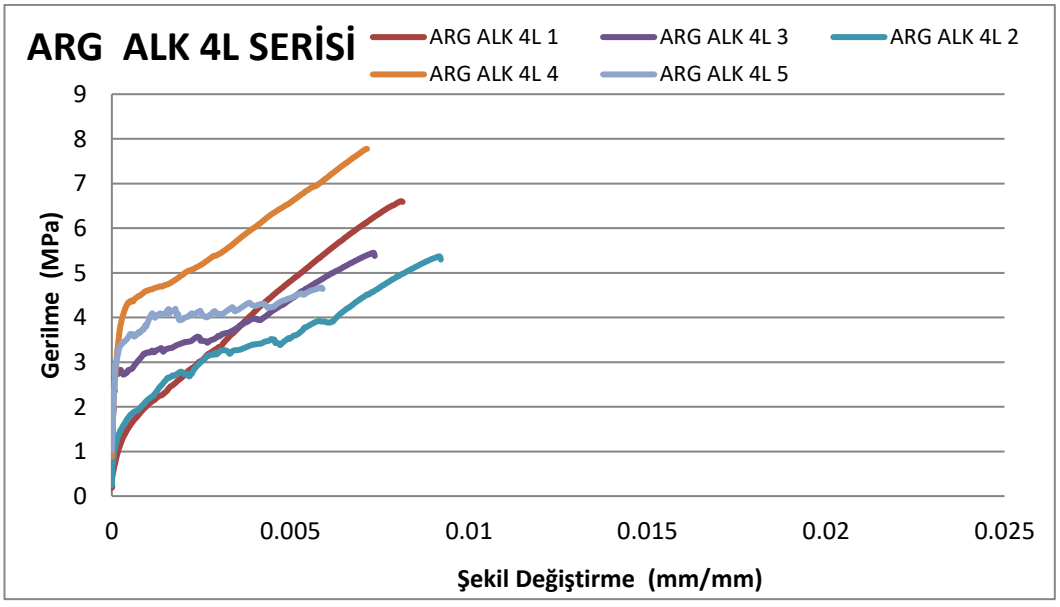
AR Glass tekstiller kullanılarak üretilen alkaliye direnç testi geçirmiş TRCC elemanlara eksenel çekme deneyi uygulanmıştır. Numunelerin genişlikleri yaklaşık 60 mm ve uzunlukları 500 mm olacak şekilde kesilerek hazırlanmıştır.

Çizelge 5.15'te AR Glass ALK serilerine ait eksenel çekme deney sonuçları verilmiştir.

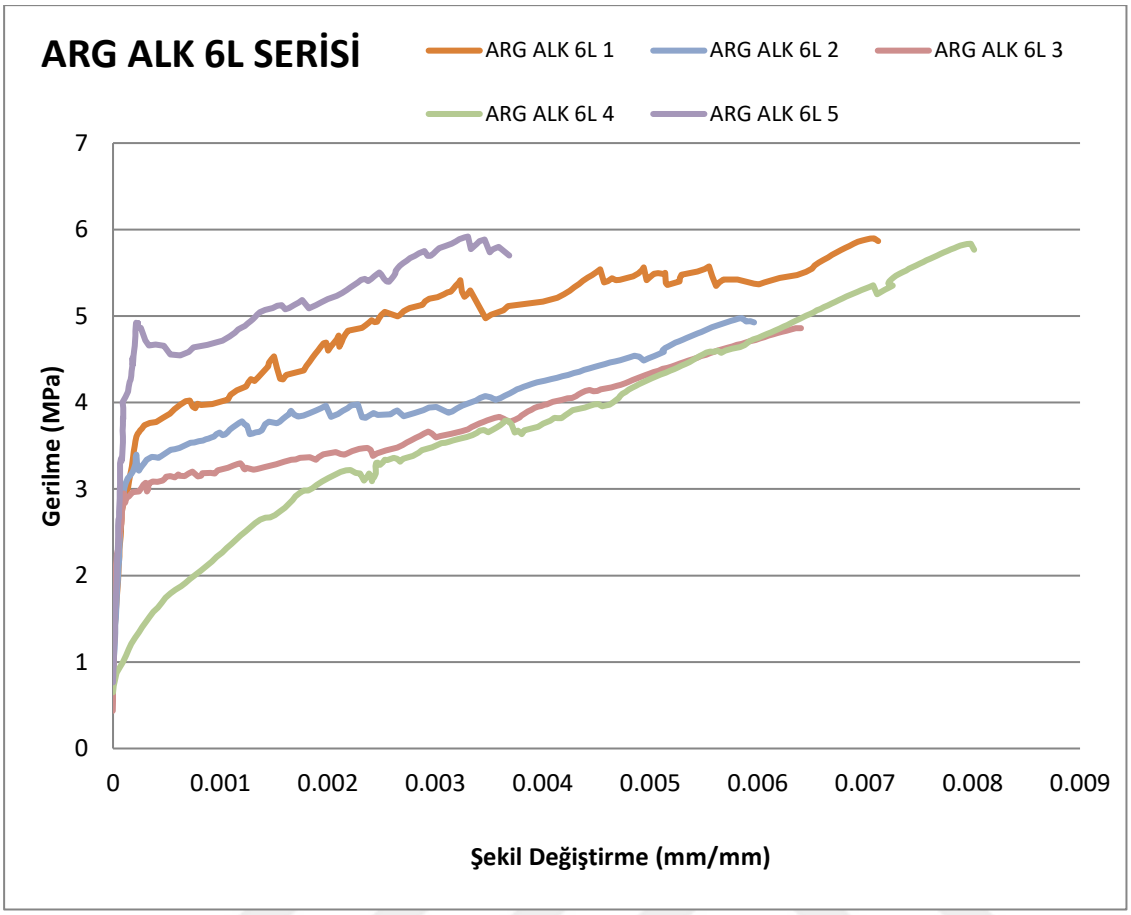
Çizelge 5.15 : AR Glass ALK TRCC numunelere ait deney sonuçları.

Numune Kodu	İlk Çatlak Dayanımı (MPa)	İlk Çatlak Şekil Değiştirme (%)	Maksimum Gerilme (MPa)	Maksimum Şekil değiştirme (%)
ARG ALK 4L 1	2.26	0.14	6.60	0.81
ARG ALK 4L 2	1.90	0.06	5.37	0.92
ARG ALK 4L 3	1.98	0.01	5.45	0.73
ARG ALK 4L 4	4.33	0.05	7.77	0.71
ARG ALK 4L 5	3.45	0.03	4.67	0.59
Ortalama	**2.78**	**0.06**	**5.97**	**0.75**
ARG ALK 6L 1	4.02	0.07	5.90	0.71
ARG ALK 6L 2	3.40	0.02	4.98	0.59
ARG ALK 6L 3	2.95	0.01	4.86	0.64
ARG ALK 6L 4	3.21	0.22	5.84	0.80
ARG ALK 6L 5	3.81	0.01	5.88	0.35
Ortalama	**3.48**	**0.08**	**5.49**	**0.62**
ARG ALK 8L 1	3.42	0.02	5.65	0.63
ARG ALK 8L 2	3.68	0.02	6.56	0.64
ARG ALK 8L 3	2.54	0.01	3.91	0.07
ARG ALK 8L 4	4.21	0.02	6.61	0.73
ARG ALK 8L 5	3.26	0.01	5.24	0.62
Ortalama	**3.42**	**0.02**	**5.59**	**0.54**

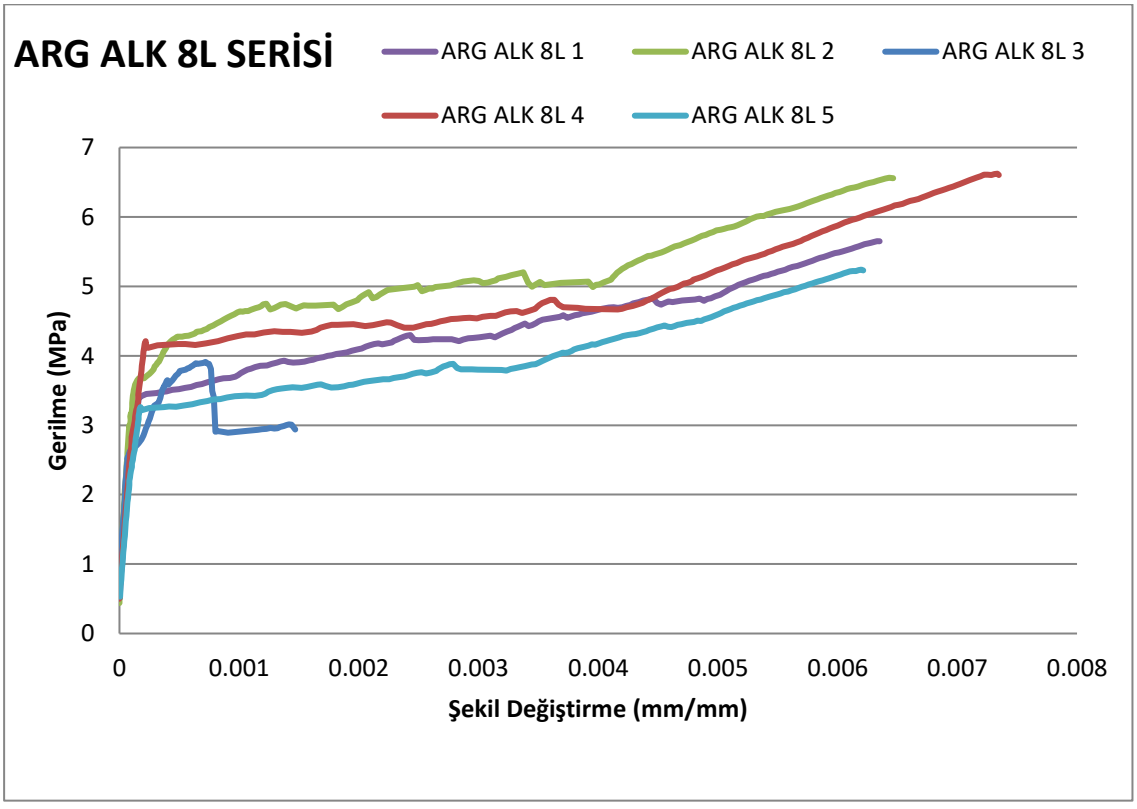
Eksenel çekme deneyine ait Gerilme-Şekil değiştirme eğrileri çizilmiştir. AR Glass TRCC elemanlar tabaka sayısı göz önüne alınarak tabaka sayısı aynı olan elamanlara ait sonuçlar aynı grafik üzerinde gösterilmiştir. Şekil 5.44, 5.45, 5.46'da AR Glass ALK TRCC elemanlara ait 4 katlı, 6 katlı ve 8 katlı numunelere ait grafikler verilmiştir.



Şekil 5.44 : AR Glass ALK 4L serisine ait eksenel çekme grafiği.



Şekil 5.45 : AR Glass ALK 6L serisine ait eksenel çekme grafiği.



Şekil 5.46 : AR Glass ALK 8L serisine ait eksenel çekme grafiği.

5.5.2 Bazalt TRCC numunelerin eksenel çekme deneyi sonuçları

Bazalt tekstiller kullanılarak üretilen alkaliye direnç testi geçirmiş TRCC elemanlara eksenel çekme deneyi uygulanmıştır. Numunelerin genişikleri yaklaşık 60 mm ve uzunlukları 500 mm olacak şekilde kesilerek hazırlanmıştır.

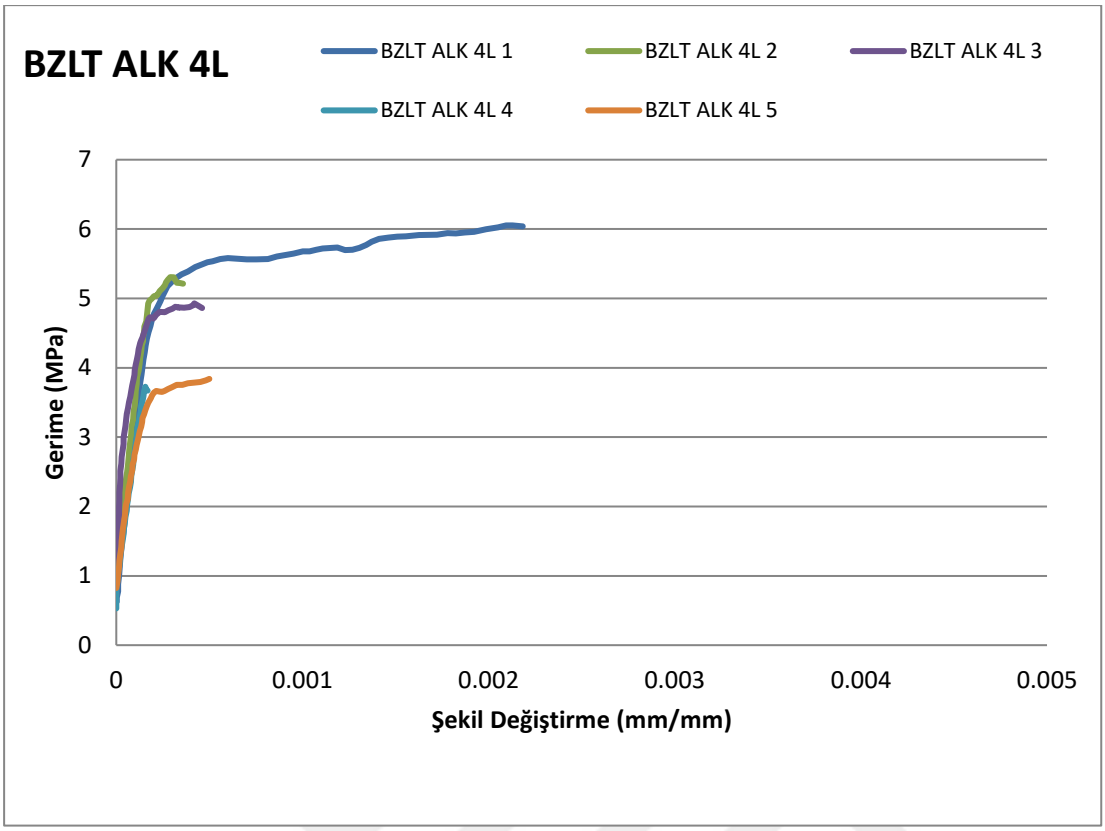
Numunelerin kalınlıkları elemanların içine yerleştirilen tekstil tabaka sayısına göre değişmektedir ve sabit değildir. Her bir seride 5 adet numune eksenel çekme testine tabi tutulmuştur. Eksenel çekme deneyine ait sonuçlar Çizelge 5.16 da özetlenmiştir.

Çizelge 5.16 : Bazalt ALK TRCC numunelere ait deney sonuçları.

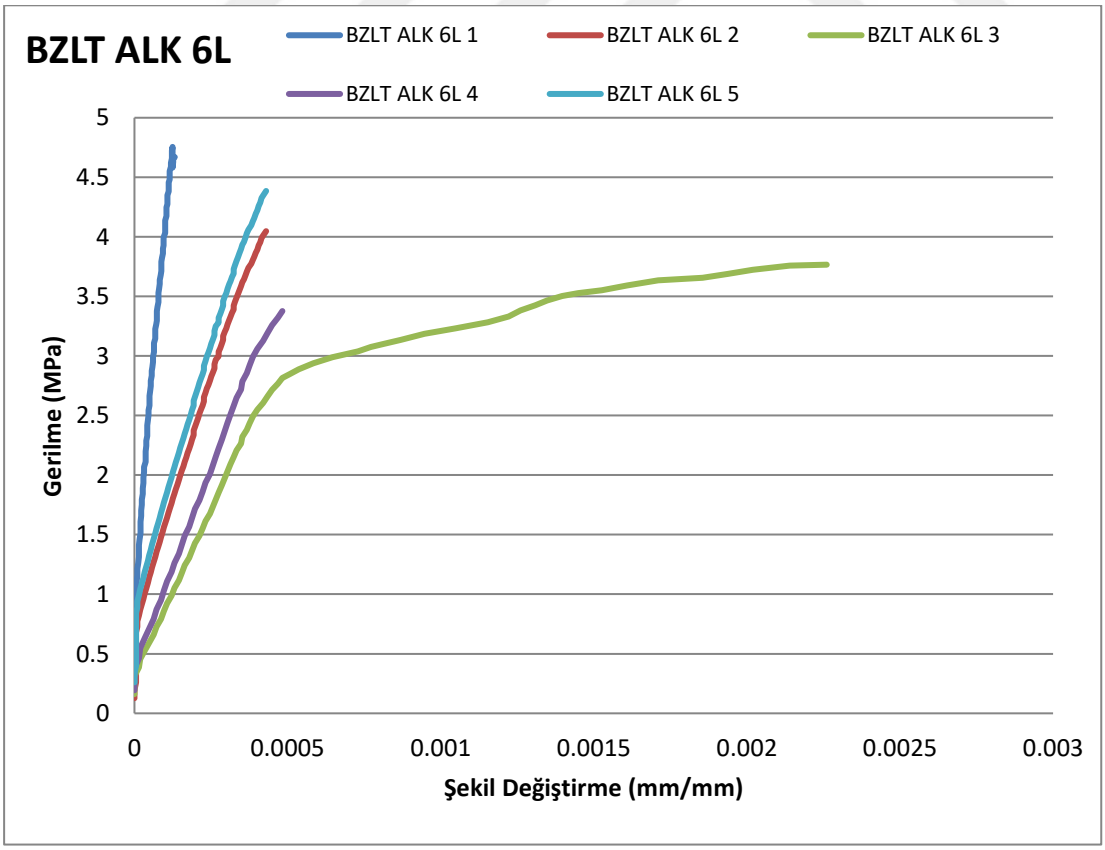
Numune Kodu	İlk Çatlak Dayanımı (MPa)	İlk Çatlak Şekil Değiştirme (%)	Maksimum Gerilme (MPa)	Maksimum Şekil değiştirme (%)
BZLT ALK 4L 1	4.96	0.02	6.05	0.21
BZLT ALK 4L 2	4.93	0.02	5.31	0.03
BZLT ALK 4L 3	3.97	0.01	4.93	0.04
BZLT ALK 4L 4	3.73	0.01	3.73	0.01
BZLT ALK 4L 5	3.67	0.02	3.84	0.05
Ortalama	**4.25**	**0.02**	**4.77**	**0.07**
BZLT ALK 6L 1	4.76	0.01	4.76	0.01
BZLT ALK 6L 2	4.04	0.04	4.04	0.04
BZLT ALK 6L 3	2.50	0.01	3.76	0.2
BZLT ALK 6L 4	2.72	0.02	3.38	0.04
BZLT ALK 6L 5	4.06	0.03	4.39	0.05
Ortalama	**3.62**	**0.02**	**4.07**	**0.06**
BZLT ALK 8L 1	3.06	0.008	3.15	0.01
BZLT ALK 8L 2	2.02	0.007	3.63	0.01
BZLT ALK 8L 3	2.96	0.004	3.43	0.01
BZLT ALK 8L 4	3.10	0.008	3.27	0.01
BZLT ALK 8L 5	3.63	0.007	4.32	0.01
Ortalama	**2.95**	**0.007**	**3.56**	**0.01**

Eksenel çekme deneyine ait Gerilme-Şekil değiştirme eğrileri çizilmiştir. Bazalt TRCC elemanlar tabaka sayısı göz önüne alınarak tabaka sayısı aynı olan elemanlara ait sonuçlar aynı grafik üzerinde gösterilmiştir.

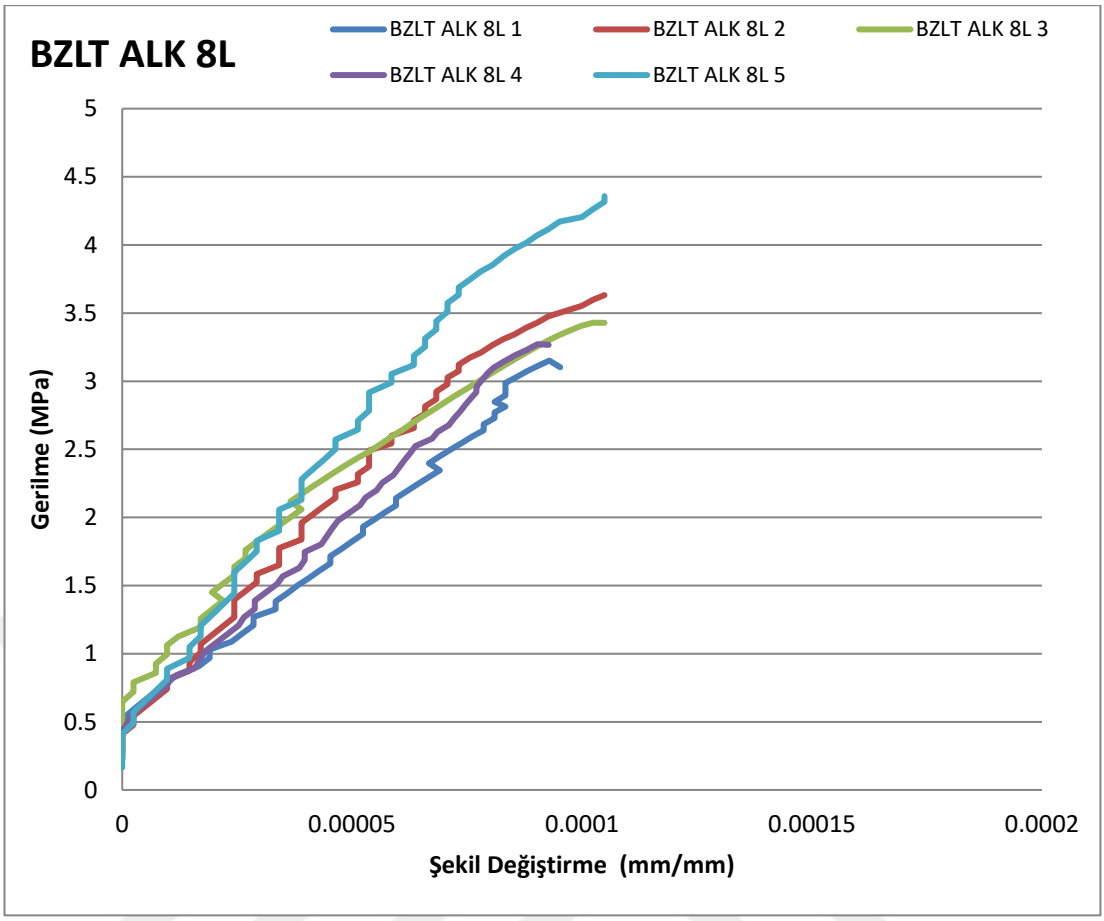
Şekil 5.47, 5.48, 5.49'da Bazalt TRCC elemanlara ait 4 katlı, 6 katlı ve 8 katlı numunelere ait grafikler verilmiştir.



Şekil 5.47 : Bazalt ALK 4L serisine ait eksenel çekme grafiği.



Şekil 5.48 : Bazalt ALK 6L serisine ait eksenel çekme grafiği.



Şekil 5.49 : Bazalt ALK 8L serisine ait eksenel çekme grafiği.

5.5.3 PVA TRCC numunelerin eksenel çekme deneyi sonuçları

PVA tekstiller kullanılarak üretilen alkaliye direnç testi geçirmiş TRCC elemanlara eksenel çekme deneyi uygulanmıştır. Numunelerin genişikleri 60 mm ve uzunlukları 500 mm olacak şekilde kesilerek hazırlanmıştır.

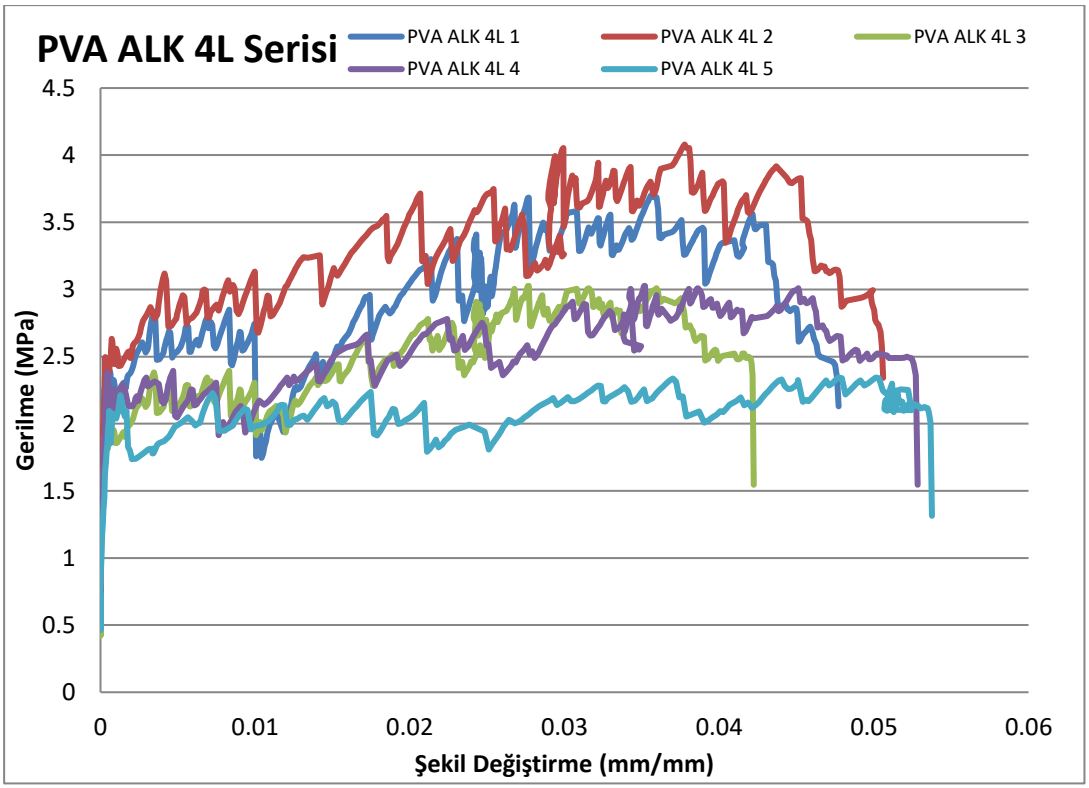
Numunelerin kalınlıkları elemanların içine yerleştirilen tekstil tabaka sayısına göre değişmektedir ve sabit değildir. Her bir seride 5 adet numune eksenel çekme testine tabi tutulmuştur. Numune deneyleri 50 kN kapasiteli MTS cihazında yapılmış ve deplasman kontrollü olarak sonuçlar elde edilmiştir. Şekil değiştirme ölçümleri için LVDT ölçüm cihazları kullanılmıştır.

Çizelge 5.17'de deney sonuçları verilmiştir. Şekil 5.50, 5.51, 5.52'de PVA ALK serilerine ait numuneler gösterilmiştir.

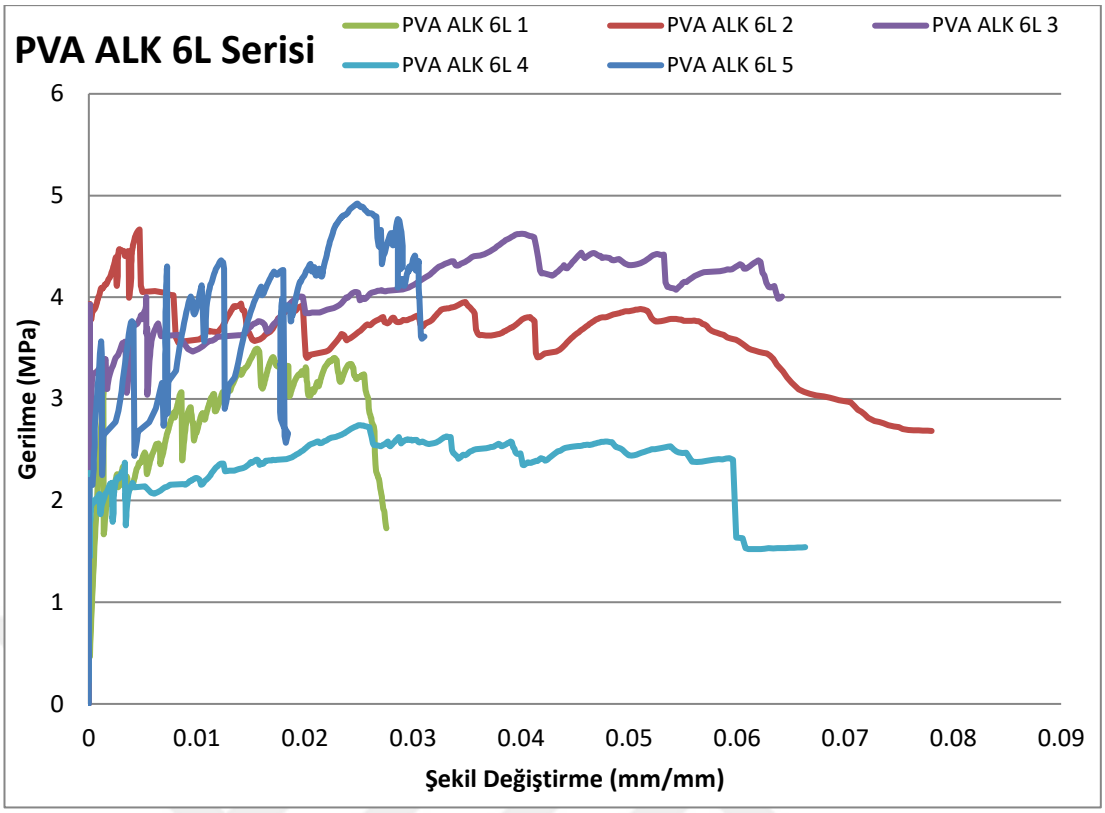
Eksenel çekme deneyine ait Gerilme-Şekil değiştirme eğrileri çizilmiştir. PVA TRCC elemanlar tabaka sayısı göz önüne alınarak tabaka sayısı aynı olan elamanlara ait sonuçlar aynı grafik üzerinde gösterilmiştir.

Çizelge 5.17 : PVA ALK TRCC numunelere ait deney sonuçları.

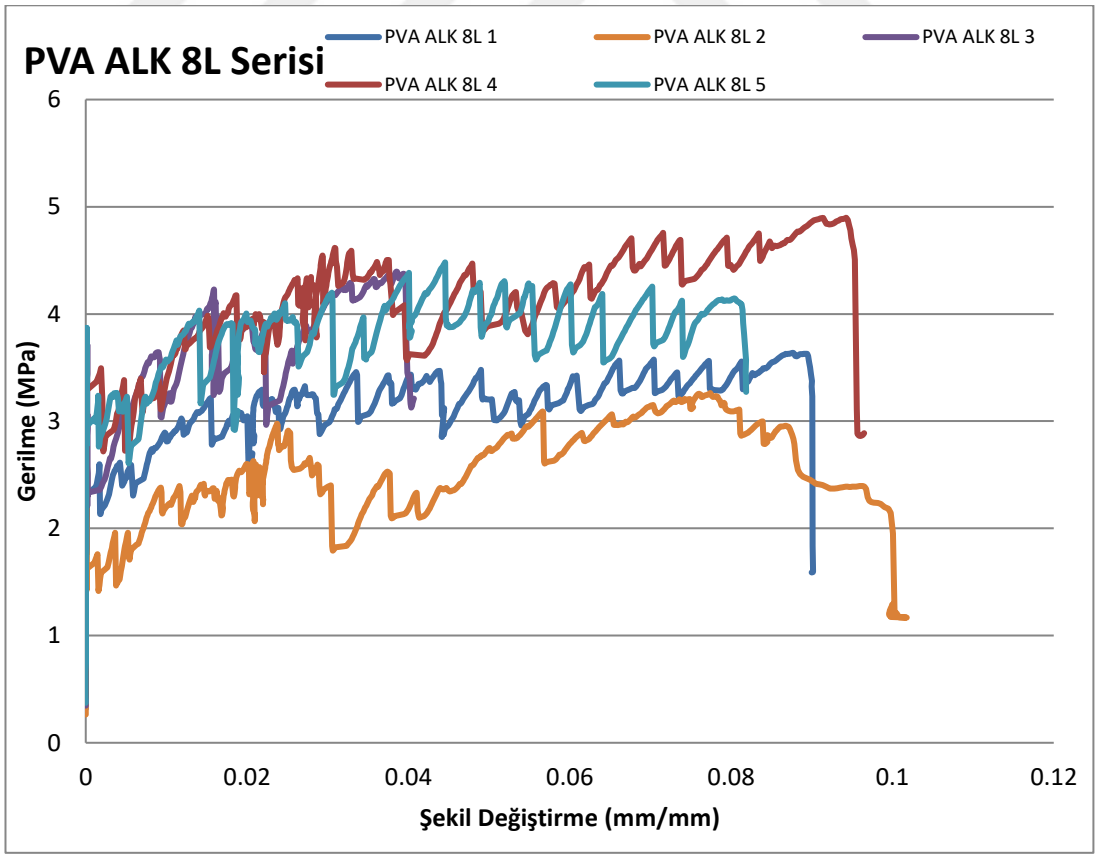
Numune Kodu	İlk Çatlak Dayanımı (MPa)	İlk Çatlak Şekil Değiştirme (%)	Maksimum Gerilme (MPa)	Maksimum Yükte Şekil değiştirme (%)	Maksimum Şekil Değiştirme (%)
PVA ALK 4L 1	2.39	0.006	3.70	3.5	4.7
PVA ALK 4L 2	2.45	0.01	4.00	3.8	4.8
PVA ALK 4L 3	1.95	0.004	2.90	1.9	4.2
PVA ALK 4L 4	2.38	0.005	3.00	3.5	5.2
PVA ALK 4L 5	2.09	0.07	2.30	3.7	5.3
Ortalama	**2.25**	**0.02**	**3.18**	**3.3**	**4.8**
PVA ALK 6L 1	3.08	0.13	3.49	1.6	2.6
PVA ALK 6L 2	3.50	0.01	4.67	0.5	7.7
PVA ALK 6L 3	3.92	0.01	4.62	4.0	6.4
PVA ALK 6L 4	2.27	0.01	2.74	2.5	6.0
PVA ALK 6L 5	3.56	0.01	4.90	2.5	3.1
Ortalama	**3.27**	**0.03**	**4.08**	**2.2**	**5.2**
PVA ALK 8L 1	2.79	0.01	3.59	8.50	9.0
PVA ALK 8L 2	2.29	0.01	3.26	7.74	10.0
PVA ALK 8L 3	3.71	0.02	4.39	3.86	4.0
PVA ALK 8L 4	3.73	0.01	4.87	9.5	9.4
PVA ALK 8L 5	3.87	0.01	4.47	4.44	8.1
Ortalama	**3.28**	**0.01**	**4.12**	**6.7**	**8.1**



Şekil 5.50 : PVA ALK 4L serisine ait eksenel çekme grafiği.



Şekil 5.51 : PVA ALK 6L serisine ait eksenel çekme grafiği.



Şekil 5.52 : PVA ALK 8L serisine ait eksenel çekme grafiği.

5.6 TRCC Islanma Kuruma Deneyi Sonuçları

Tez çalışması kapsamında üretilen tekstil donatılı çimento esaslı kompozitler ıslanma-kuruma çevrimine tabi tutulmuştur. Hazırlanan numuneler 25x25 cm boyutunda kesilerek plaka haline getirilmiştir. Burada amaç şekil stabilitesinin bozulup bozulmayacağını gözlemektir. Literatürde üretilen bazı TRCC elemanlarda şekil stabilitesi bozulmuştur ve warping (eğrilme veya çarpılma) gözlenmiştir. TRCC plakaların dış cephede kaplama olarak kullanılabileceği göz önüne alınarak çevrimsel dış ortam yağmurlu ardından sıcak ve güneşli olarak belirlenmiştir. En elverişsiz çevresel etki olması göz önüne alınarak suya doygun numuneler 17 saat 50°C'de etüvde 1 saat 20°C'de laboratuvar ortamında, 6 saat 20°C'de suda bekletilmiştir. 28 çevrim yapılmıştır. Literatürde kullanılan farklı çevrimlerden en elverişsiz olanının seçilmesinin sebebi tekstil donatılı çimento esaslı kompozitlerde ıslanma – kuruma çevrimi yapılmadığından referans numunelerle karşılaştırma ihtiyacı hissedilmesindendir. Islanma-kuruma çevrimi uygulanmış plakalara da yapışma (aderans) deneyi uygulanmıştır.

5.6.1 TRCC numunelerin ıslanma kuruma deneyi ağırlık kaybı sonuçları

Her bir seride 3 adet plaka üzerinde çevrim uygulanmıştır. Sonuçlar ağırlık kaybı olarak elde edilmiştir ve aşağıdaki Çizelge 5.18, 5.19 ve 5.20'de gösterilmiştir. Islanma kuruma geçiren elemanlar çevrimin 1. Günü ve 28. Günü fotoğraflanmıştır ve Şekil 5.53, 5.54 ve 5.55 te gösterilmiştir.

Çizelge 5.18 : AR Glass numunelerde ağırlık kaybı sonuçları.

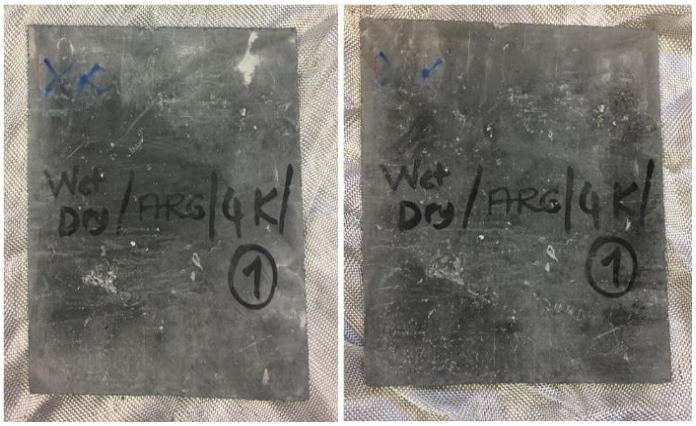
Numune	**Ağırlık Kaybı (%)**		
Çevrim	1. Çevrim	10. Çevrim	28. Çevrim
ARG 4L 1	0.010	1.05	1.12
ARG 4L 2	0.018	0.94	1.82
ARG 4L 3	0.010	0.62	1.44
Ortalama	**0.010**	**0.77**	**1.21**
ARG 6L 1	0.015	0.43	0.94
ARG 6L 2	0.011	0.65	0.86
ARG 6L 3	0.013	1.00	0.94
Ortalama	**0.013**	**0.69**	**0.92**
ARG 8L 1	0.010	0.62	1.29
ARG 8L 2	0.008	0.28	0.95
ARG 8L 3	0.006	0.21	0.61
Ortalama	**0.008**	**0.37**	**0.60**

Çizelge 5.19 : Bazalt numunelerde ağırlık kaybı sonuçları.

Numune	**Ağırlık Kaybı (%)**		
Çevrim	1. Çevrim	10. Çevrim	28. Çevrim
BZLT 4L 1	0.011	0.76	1.37
BZLT 4L 2	0.010	1.11	1.44
BZLT 4L 3	0.010	0.43	0.84
Ortalama	**0.010**	**0.77**	**1.22**
BZLT 6L 1	0.005	0.74	1.21
BZLT 6L 2	0.006	0.75	1.33
BZLT 6L 3	0.009	0.99	1.83
Ortalama	**0.006**	**0.83**	**1.46**
BZLT 8L 1	0.005	0.86	1.68
BZLT 8L 2	0.005	0.40	1.17
BZLT 8L 3	0.006	0.70	1.07
Ortalama	**0.006**	**0.66**	**1.31**

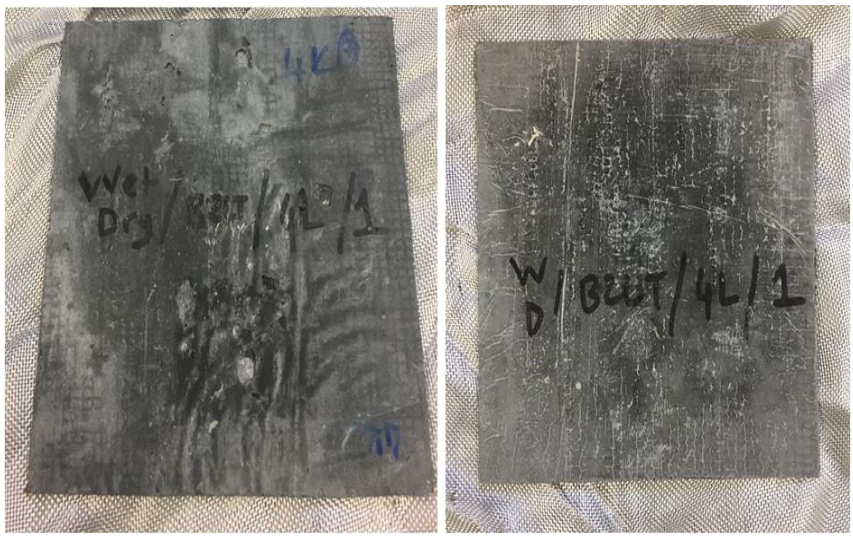
Çizelge 5.20 : PVA numunelerde ağırlık kaybı sonuçları.

Numune	**Ağırlık Kaybı (%)**		
Çevrim	1. Çevrim	10. Çevrim	28. Çevrim
PVA 4L 1	0.006	1.00	2.00
PVA 4L 2	0.007	1.37	1.82
PVA 4L 3	0.005	1.21	0.92
Ortalama	**0.006**	**1.19**	**1.58**
PVA 6L 1	0.009	0.60	1.65
PVA 6L 2	0.007	0.48	1.08
PVA 6L 3	0.009	1.51	1.49
Ortalama	**0.008**	**0.86**	**1.41**
PVA 8L 1	0.007	1.56	1.22
PVA 8L 2	0.008	1.16	0.99
PVA 8L 3	0.005	0.62	0.99
Ortalama	**0.007**	**1.11**	**1.07**



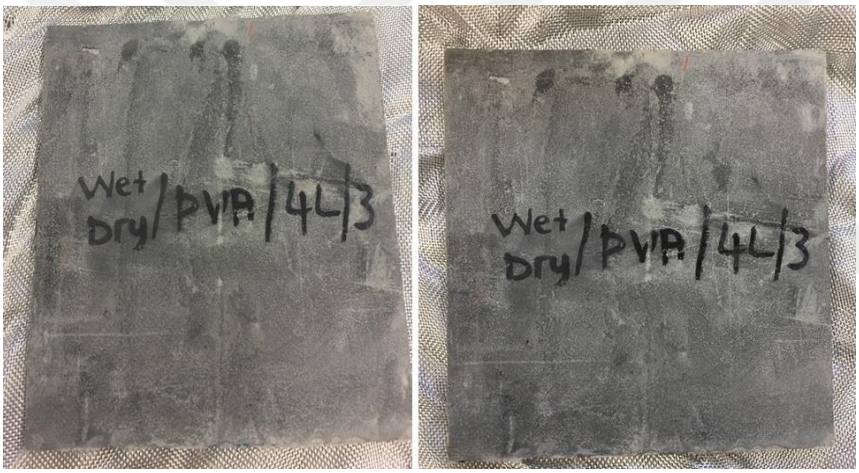
(a) **(b)**

Şekil 5.53 : a) 1. Çevrim sonu b) 28. Çevrim sonu AR Glass TRCC elemanlar.



(a) **(b)**

Şekil 5.54 : a) 1. Çevrim sonu b) 28. Çevrim sonu Bazalt TRCC elemanlar.



(a) **(b)**

Şekil 5.55 : a) 1. Çevrim sonu b) 28. Çevrim sonu PVA TRCC elemanlar.

Plaka yüzeylerinde bazı yüzey bozunmaları ve girinti çıkıntılar gözlenmiştir. Hiç bir numunede warping (eğrilme veya çarpılma) gözlenmemiştir.

5.6.2 Islanma kuruma çevrimi geçirmiş plakalara uygulanan yapışma deneyi

Islanma-kuruma çevrimi uygulanmış plakalara pull – off deneyi uygulanmıştır. 25 x 25 cm plaka halinde kesildikten sonra ıslanma – kuruma çevrimini tamamlayan numuneler harç kullanılarak taban betonuna yapıştırılmıştır.

Bu plakalar üzerinde karot bıçağıyla iz açılarak açılan izlerin üzerine metal diskler yapıştırılmıştır. Yapışma test cihazı kullanılarak numuneye dik bir şekilde çekme yükü uygulanmıştır ve yapışma (aderans) mukavemeti elde edilmiştir.

Çizelgede 5.21, 5.22 ve 5.23'te TRCC elemanlara ait yapışma mukavemeti ve kırılma şekilleri verilmiştir. Her bir plakada açılan 4 adet izde yapışma testi uygulanmıştır.

Çizelge 5.21 : AR Glass plaka numunelere ait yapışma deneyi sonuçları.

Numune Kodu	Kalınlık (mm)	Yapışma Yükü (kN)	Yapışma Mukavemeti (MPa)	Kırılma Şekli
ARG IK 4L 1	7.6	0.20	0.10	II
ARG IK 4L 2	8.2	4.91	2.50	II
ARG IK 4L 3	9.3	4.32	2.20	II
ARG IK 4L 4	8.6	3.67	1.87	II
Ortalama	**8.4**	**3.28**	**1.67**	
ARG IK 6L 1	12.3	3.53	1.80	II
ARG IK 6L 2	10.0	3.34	1.70	II
ARG IK 6L 3	10.5	4.42	2.25	II
ARG IK 6L 4	10.0	0.59	0.30	II
Ortalama	**10.7**	**2.97**	**1.51**	
ARG IK 8L 1	11.0	0.45	0.23	II
ARG IK 8L 2	11.2	5.30	2.70	II
ARG IK 8L 3	12.5	2.95	1.50	II
ARG IK 8L 4	11.0	4.38	2.23	II
Ortalama	**11.4**	**3.27**	**1.67**	

Çizelge 5.22 : Bazalt plaka numunelere ait yapışma deneyi sonuçları.

Numune Kodu	Kalınlık (mm)	Yapışma Yükü (kN)	Yapışma Mukavemeti (MPa)	Kırılma Şekli
BZLT IK 4L 1	8.0	5.26	2.68	II
BZLT IK 4L 2	8.3	4.12	2.10	II
BZLT IK 4L 3	7.8	0.83	0.42	II
BZLT IK 4L 4	8.4	2.45	1.25	II
Ortalama	**8.1**	**3.17**	**1.61**	
BZLT IK 6L 1	15.1	2.65	1.35	II
BZLT IK 6L 2	14.8	5.40	2.75	II
BZLT IK 6L 3	14.7	0.88	0.45	II
BZLT IK 6L 4	14.3	2.95	1.50	II
Ortalama	**14.7**	**2.97**	**1.51**	
BZLT IK 8L 1	14.0	0.41	0.21	II
BZLT IK 8L 2	14.3	3.24	1.65	II
BZLT IK 8L 3	14.9	3.97	2.02	II
BZLT IK 8L 4	15.3	4.52	2.30	II
Ortalama	**14.6**	**3.04**	**1.55**	

Çizelge 5.23 : PVA plaka numunelere ait yapışma deneyi sonuçları.

Numune Kodu	Kalınlık (mm)	Yapışma Yükü (kN)	Yapışma Mukavemeti (MPa)	Kırılma Şekli
PVA IK 4L 1	17.5	0.53	0.27	III
PVA IK 4L 2	16.2	0.69	0.35	III
PVA IK 4L 3	14.3	0.47	0.24	III
PVA IK 4L 4	16.0	0.59	0.30	III
Ortalama	**16.0**	**0.57**	**0.29**	
PVA IK 6L 1	16.7	0.94	0.48	III
PVA IK 6L 2	18.2	0.55	0.28	III
PVA IK 6L 3	17.6	0.92	0.47	III
PVA IK 6L 4	17.9	0.83	0.42	III
Ortalama	**17.6**	**0.81**	**0.41**	
PVA IK 8L 1	20.6	1.28	0.65	III
PVA IK 8L 2	21.2	1.04	0.53	III
PVA IK 8L 3	23.3	1.02	0.52	III
PVA IK 8L 4	22.0	1.00	0.51	III
Ortalama	**21.8**	**1.09**	**0.55**	

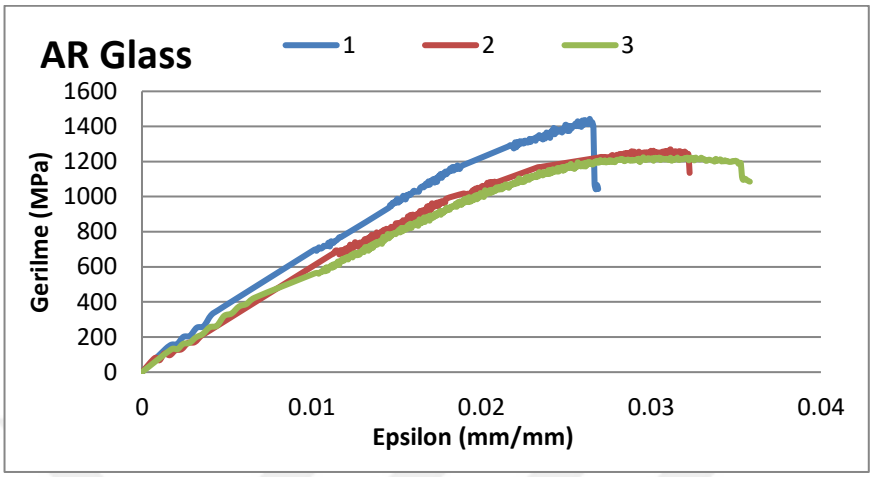
5.7 Tekstil Çekme Deneyi Sonuçları

Tekstil çekme deneyleri BS EN ISO 13934-1 standardına uygun olarak uygulanmıştır [121]. Çekme deneyleri sabit hızda uzama oranı 20 mm/dak olacak şekilde yapılmıştır. Her bir farklı tekstil için 3 farklı numunede deney uygulanmıştır. Tekstil numunelerin fiziksel özellikleri Çizelge 5.24'te ve mekanik özelliklere ait deney sonuçları Çizelge 5.25'te verilmiştir.

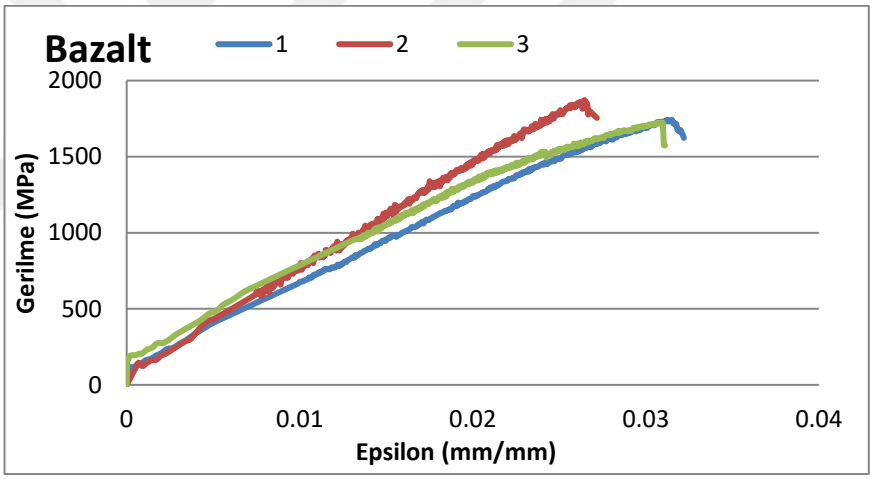
Çizelge 5.24 : Tekstil numunelerin fiziksel özellikleri.

Numune Kodu	En (mm)	Boy (mm)	Ölçüm Boyu (mm)	İplik sayısı (tane)
AR Glass 1	45	17.5	241	11
AR Glass 2	45	17.5	235	11
AR Glass 3	46	17.5	236	11
Ortalama	45	17.5	237	11
Bazalt 1	48	17.5	240	9
Bazalt 2	49	17.5	260	9
Bazalt 3	48	17.5	267	9
Ortalama	48	17.5	256	9
PVA 1	43	17.5	278	Dokuma
PVA 2	55	17.5	287	
PVA 3	55	17.5	300	
Ortalama	51	17.5	288	

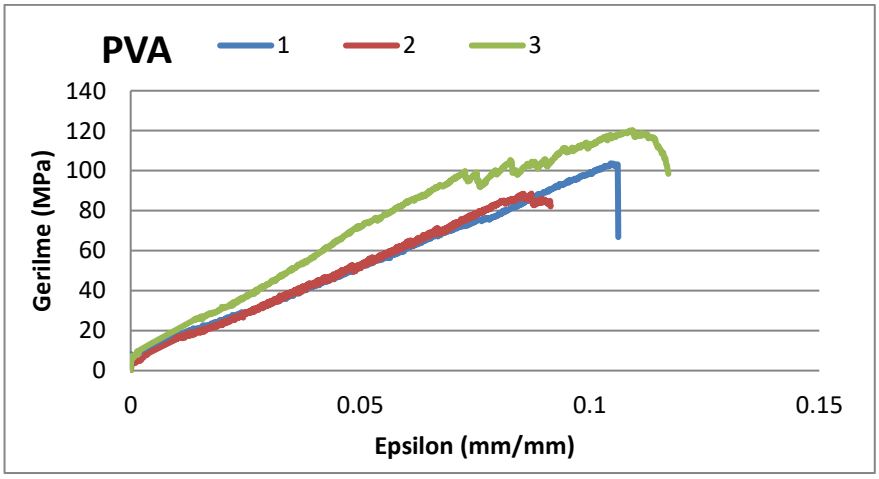
AR Glass , Bazalt ve PVA tekstillerin Gerilme-Şekil değiştirme diyagramları Şekil 5.56, 5.57 ve 5.58 de verilmiştir. Bu tekstillerin eksenel çekme numunelerine ait fotoğraflar Şekil 5.59, 5.60 ve 5.61'de verilmiştir.



Şekil 5.56 : AR Glass tekstile ait çekme grafiği.



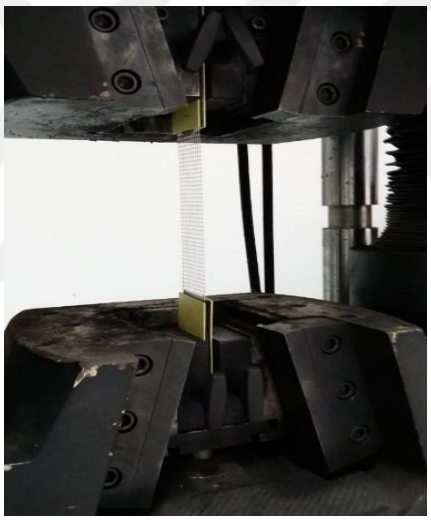
Şekil 5.57 : Bazalt tekstile ait çekme grafiği.



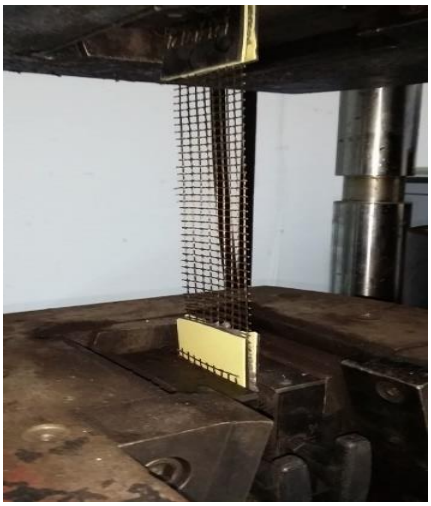
Şekil 5.58 : PVA tekstile ait çekme grafiği.

Çizelge 5.25 : Tekstil numunelerin mekanik özellikleri

Numune Kodu	Çekme Dayanımı (MPa)	Maksimum Uzama (%)	Elastisite Modülü (MPa)
AR Glass 1	1436.4	2.7	63798
AR Glass 2	1260.1	3.2	57472
AR Glass 3	1212.8	3.5	55010
Ortalama	**1303.1**	**3.1**	**58760**
Bazalt 1	1742.7	2.7	66576
Bazalt 2	1865.7	3.1	68258
Bazalt 3	1722.7	3.2	64095
Ortalama	**1777.0**	**3.0**	**66309**
PVA 1	103.6	9.1	907.8
PVA 2	88.5	10.6	914.2
PVA 3	119.8	11.7	1336.5
Ortalama	**104.0**	**10.5**	**1052.8**



Şekil 5.59 : AR Glass eksenel çekme deneyi numunesi.



Şekil 5.60 : Bazalt eksenel çekme deneyi numunesi.



Şekil 5.61 : PVA eksenel çekme deneyi numunesi.

6. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

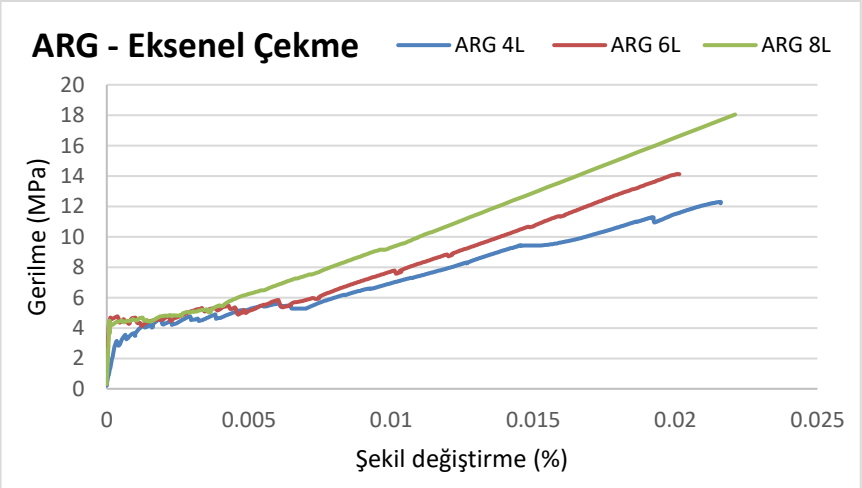
Üretimi yapılan TRCC elemanlara mekanik deneyler uygulanmıştır. Bunlar; eksenel çekme, dört noktalı eğilme, charpy çarpma, yapışma (aderans) dayanımı deneyleridir. Ayrıca TRCC elemanlara dürabilite etkisi de uygulanmıştır. Alkaliye direnç ve ıslanma kuruma deneyleri uygulanarak üretilen TRCC elemanların dayanıklılık performansları teste tabi turulmuştur. Bu bölümde elde edilen sonuçların yorumlanması ve karşılaştırması yapılacaktır.

6.1 TRCC Eksenel Çekme Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Bu bölümde TRCC numunelere uygulanan eksenel çekme deneyi sonuçlarının grafik haline getirilerek yorumlanması amaçlanmıştır. Bu sebeple aynı kat sayısına sahip farklı tekstillerle üretilmiş TRCC elemanlara ait deney sonuçları yorumlanmıştır. Aynı şekilde dürabilite etkisi geçirmiş numuneler de normal şartlarda kürlenmiş elemanlarla karşılaştırılmış ve sonuçlar aşağıda yorumlanmıştır.

6.1.1 AR Glass serileri

AR Glass tekstil kullanılarak üretilen TRCC numunelere uygulanan eksenel çekme deneyi sonuçlarının grafikleri idealize edilerek karşılaştırma yapılmıştır. Eksenel çekme deneyine ait grafikler Şekil 6.1'de gösterilmiştir.



Şekil 6.1 : ARG TRCC numunelerin eksenel çekme deneyi sonuçları.

4 kat tekstil içeren numuneler 12.3 MPa ile en düşük maksimum çekme dayanımına sahip olmuştur. Bu numuneler aynı zamanda 3.2 MPa en düşük ilk çatlama dayanımına sahiptir. 4 kat tekstil ile üretilen numuneler diğer numunelere kıyasla %2.2 şekil değiştirme oranına sahiptir ve en yüksek şekil değiştirme oranı gösteren numunelerdir.

6 kat AR Glass tekstil içeren numuneler 14.1 MPa çekme dayanımına sahip olup 4 kat tekstil içeren numunelerden daha yüksek eksenel çekme dayanımı değerine ulaşmıştır. Bunun yanında 6L serilerine ait numuneler 18.0 MPa eksenel çekme dayanımına sahip 8L serilerine ait numunelerden daha düşük çekme dayanımına sahiptir.

İlk çatlama dayanımları karşılaştırıldığında 6L serilerine ait numunelerin ilk çatlama dayanımı 4.6 MPa olup ilk çatlama dayanımı 3.2 MPa olan 4L serilerinden yüksek ve 4.6 MPa olan 8L olan serisiyle aynıdır. 6L serilerinin eksenel çekme deneyinde elde edilen maksimum şekil değiştirme oranı %2.0 olup 4L serilerine ait numunelerden ve maksimum şekil değiştirme oranı %2.2 olan 8L serilerinden küçüktür.

8 kat tekstil içeren numuneler 18.0 MPa en yüksek eksenel çekme dayanımına sahip olmuştur. Bu numuneler aynı zamanda 4.6 MPa ilk çatlama dayanımınaa sahiptir.

İlk çatlama dayanımına ulaşan numunelerin eksenel çekme grafiklerinde görüldüğü üzere kompozit numune matris çatladıktan sonra II. bölgeye, daha sonra tekstilin etkinliğinin görüldüğü III. bölgeye geçmiştir.

Yapılan bir çalışmada 2 kat ve 6 kat cam mat tekstil kullanılarak el yatırması yöntemiyle çimento esaslı kompozitler üretilmiştir. 2 kat tekstil içeren kompozitler ortalama %4 ve 6 kat tekstil içeren kompozitler ise %4.5 lif oranına sahiptir. Üretilen kompozitler 500x50x3-8 mm (Uzunluk x genişlik x kalınlık) boyutlarına sahiptir. Cam mat tekstil içeren kompozitlere eksenel çekme deneyi uygulanmıştır. 6 kat tekstil içeren numunelerin maksimum çekme dayanımı 2 kat tekstil içeren kompozitlere göre daha yüksektir. İlk çatlama dayanımı 6 kat tekstil ile üretilen numunelerde %30 artmıştır [50]. Tez çalışması kapsamında üretilen kompozitlere ait eksenel çekme deneyi sonuçları literatürde elde edilen sonuçlarla tutarlılık göstermektedir.

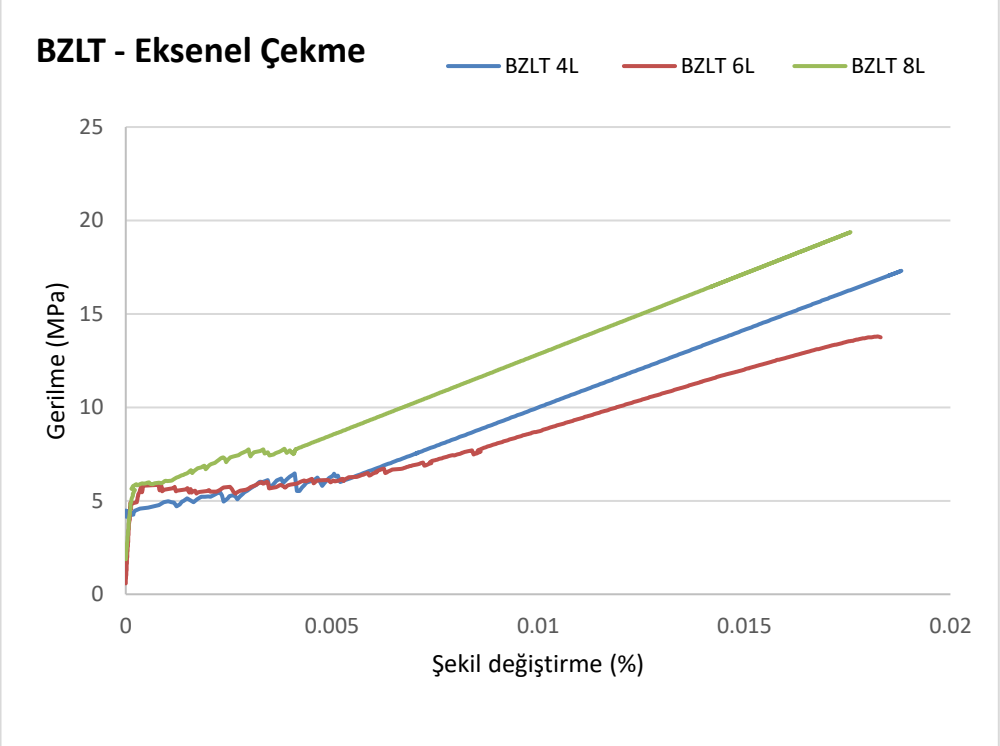
Bir diğer çalışmada 1 kat, 2 kat ve 3 kat AR Glass tekstil kullanılarak üretilmiş çimento esaslı kompozitlerin eksenel çekme davranışı araştırılmıştır. Üretilen kompozitlerin boyutları 10x100x500 mm dir. Çekme yönünde bulunan tekstiller göz önüne alınarak kompozitlerin içerdiği V_f miktarı hesaplanmıştır. 1 kat tekstil içeren kompozitler %7.3, 2 kat tekstil içerenler %14.5 ve 3 kat tekstil içerenler %21.8 oranında lif içermektedir.

Elde edilen sonuçlara göre kompozitin içerdiği V_f oranı arttıkça çekme dayanımı artmıştır. Maksimum dayanıma sahip 3 kat tekstil içeren numuneler 15 MPa maksimum çekme dayanımına sahiptir [122].

Araştırmacılar 4, 6 ve 8 kat AR Glass tekstil kullanarak çimento esaslı kompozit elemanlar üretmiştir. Bu elemanlara yapılan yükleme deneylerinde maksimum yük taşıma kapasitesi 8 kat tekstil içeren numunelere aittir. 6 kat tekstille üretilen kompozitler 8 kat tekstil içeren kompozitlerden daha düşük dayanım elde etmiştir. 4 kat tekstille üretilen kompozit elemanlar en düşük dayanıma sahiptir. En yüksek sehim 4 kat tekstil içeren numunelere aittir. En düşük sehim ise 8 kat tekstil içeren numunelere aittir [123].

6.1.2 Bazalt serileri

Bazalt tekstil kullanılarak üretilen TRCC numunelere uygulanan numunelere ait eksenel çekme deneyi sonuçlarının grafikleri idealize edilerek karşılaştırma yapılmıştır. Eksenel çekme deneyine ait grafikler Şekil 6.2'de gösterilmiştir.



Şekil 6.2 : Bazalt TRCC numunelerin eksenel çekme deneyi sonuçları.

4 kat Bazalt tekstil içeren numuneler 17.3 MPa çekme dayanımına sahip olmuştur. Bu numuneler aynı zamanda 4.7 MPa ilk çatlama dayanımına sahiptir. 4 kat tekstil ile üretilen numuneler diğer numunelere kıyasla %1.9 şekil değiştirme oranına sahiptir.

6 kat Bazalt tekstil içeren numuneler 13.8 MPa çekme dayanımına sahip olup 4 kat tekstil içeren numunelerden daha düşük eksenel çekme dayanımı değerine ulaşmıştır. Bunun yanında 6L serilerine ait numuneler 19.4 MPa eksenel çekme dayanımına sahip 8L serilerine ait numunelerden daha düşük çekme dayanımına sahiptir.

İlk çatlama dayanımları karşılaştırıldığında 6L serilerine ait numunelerin ilk çatlama dayanımı 4.9 MPa olup ilk çatlama dayanımı 4.7 MPa olan 4L serilerinden yüksek ve dayanımı 5.8 MPa olan 8L serilerinden de düşüktür. 6L serilerinin eksenel çekme deneyinde elde edilen maksimum şekil değiştirme oranı %1.8 olup, şekil değiştirme oranı %1.7 8L serilerinden büyüktür. 4L serilerine göre daha düşüktür.

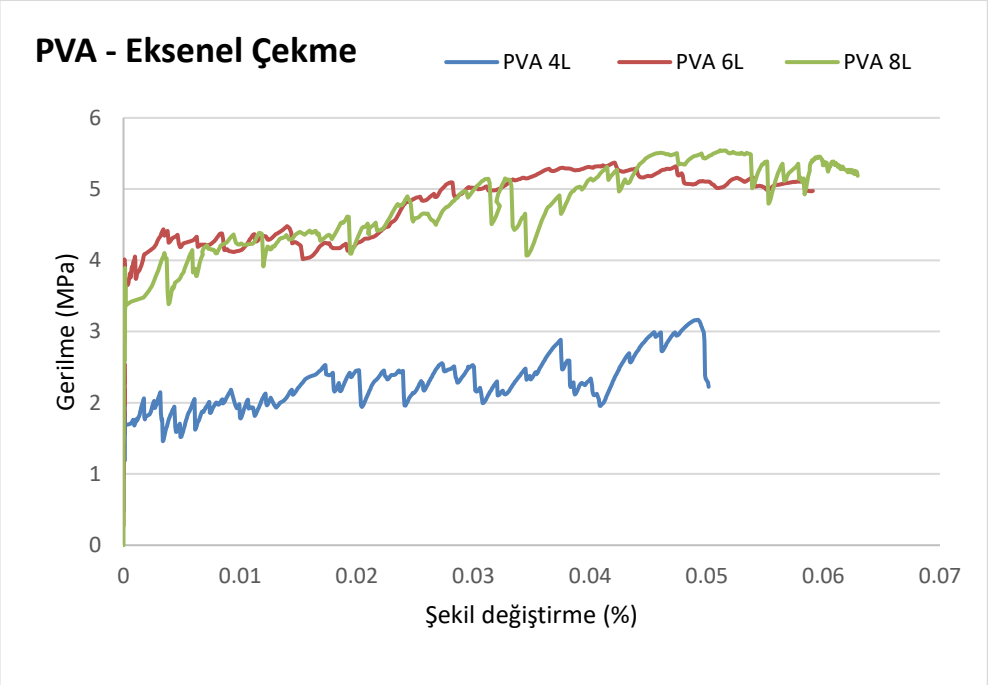
8 kat tekstil içeren numuneler 19.4 MPa en yüksek eksenel çekme dayanımına sahip olmuştur. Bu numuneler aynı zamanda 5.8 MPa ilk çatlama yükü ile en yüksek dayanıma sahiptir.

Elde edilen sonuçlar ışığında Bazalt tekstil kullanılarak üretilen farklı tekstil kat sayısına sahip numunelerin çekme deneyinde farklı performans gösterdiği anlaşılmıştır. Sonuçlar karşılaştırıldığında 4L serilerinin eksenel çekme dayanımının 6L serilerinden yüksek olduğu ancak maksimum çekme yükü verileri karılaştırıldığında 4L serilerinin 6L serilerinden daha düşük çekme yüküne sahip olduğu görülmüştür. TRCC numunenin içerdiği tekstil kat sayısı arttıkça eksenel çekme altında maksimum çekme yükü değerlerinin yükseldiği görülmüştür. Kat sayısı arttıkça çekme dayanımının sürekli artmamasının sebebi şu şekilde açıklanabilir: Çekme dayanımı hesaplanırken enkesit alanı dikkate alınır ve bu tez kapsamında üretilen TRCC numunelerin bünyesindeki tekstil kat sayısı arttıkça numunenin kalınlığı artmıştır. 4L serilerden 6L serilere geçerken ortalama numune kalınlıkları 9.1mm den 17.7 mm e yükselmiştir. Bu numuneler arasında çekme yükü açısından ciddi fark vardır ancak kalınlığın bu denli artması dayanım artışında düzensizlik yaratmış 4L seriler dayanım olarak 6L serilerden daha yüksek çıkmıştır. Çekme dayanımında daha homojen sonuçlar elde edebilmek için tüm numunelerin aynı kalınlıkta üretilmesi önerilebilir. PPR tekniğinde makine kullanıldığı için kalınlık aynı değerde sabit tutulmamaktadır.

İlk çatlama dayanımına ulaşan numunelerin eksenel çekme grafiklerinde görüldüğü üzere kompozit numune matris çatladıktan sonra II. bölgeye, daha sonra tekstilin etkinliğinin görüldüğü III. bölgeye geçmiştir.

6.1.3 PVA serileri

PVA tekstil kullanılarak üretilen TRCC numunelere uygulanan numunelere ait eksenel çekme deneyi sonuçlarının grafikleri idealize edilerek karşılaştırma yapılmıştır. Eksenel çekme deneyine ait grafikler Şekil 6.3'te gösterilmiştir.



Şekil 6.3 : PVA TRCC numunelerin eksenel çekme deneyi sonuçları.

4 kat PVA tekstil içeren numuneler 3.1 MPa ile en düşük maksimum çekme dayanımına sahip olmuştur. Bu numuneler aynı zamanda 2.9 MPa en düşük ilk çatlama dayanımına sahiptir. 4 kat tekstil ile üretilen numuneler diğer numunelere kıyasla % 4.9 toplam şekil değiştirme oranına sahiptir.

6 kat PVA tekstil içeren numuneler 5.4 MPa çekme dayanımına sahip olup ve 4 kat tekstil içeren serilerden daha yüksek eksenel çekme dayanımı değerine ulaşmıştır. Bunun yanında 6L serilerine ait numuneler 5.5 MPa eksenel çekme dayanımına sahip 8L serilerine ait numunelerden daha düşük çekme dayanımına sahiptir.

İlk çatlama dayanımları karşılaştırıldığında 6L serilerine ait numunelerin ilk çatlama dayanımı 4.0 MPa olup ilk çatlama dayanımı 2.9 MPa olan 4L serilerinden ve 3.8 MPa olan 8L serilerinden yüksektir. 6L serilerinin eksenel çekme deneyinde elde edilen maksimum şekil değiştirmesi %5.9 olup, %5.0 şekil değiştirmeye sahip 4L serilerine ait numunelerden büyük ve maksimum şekil değiştirmesi %6.3 olan 8L serilerine ait numunelerden küçüktür.

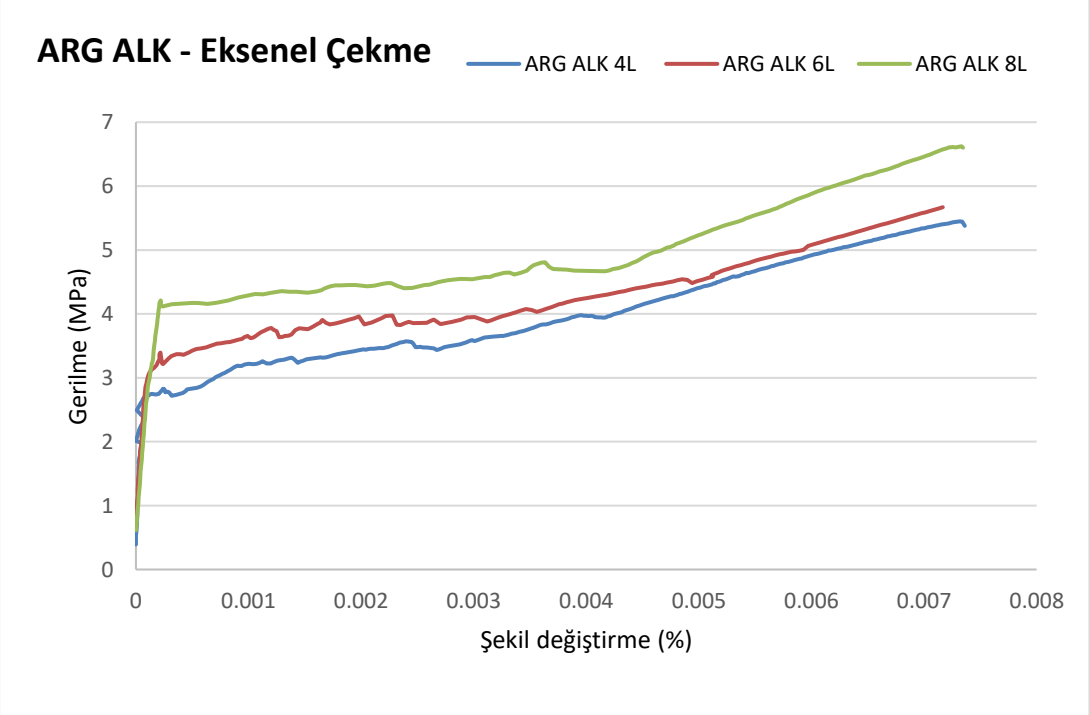
İlk çatlama dayanımına ulaşan numunelerin eksenel çekme grafiklerinde görüldüğü üzere kompozit numune matris çatladıktan sonra grafik III. bölgeye geçmiştir. Ar Glass ve Bazalt testillerden bağımsız olarak II. Bölge davranışı gözlenmemiştir. Dokuma şeklinde üretilen PVA TRCC numunelerin eksenel çekme deneyinde elde edilen sonuçlar eğilme deneyinde elde edilen sonuçlarla benzeşmektedir.

6.1.4 Dürabilite etkisi geçirmiş ve geçirmemiş TRCC lerin karşılaştırması

AR- Glass, PVA, Bazalt tekstil kullanılarak üretilen TRCC numunelere alkaliye direnç testi uygulanmış, numuneler 80 °C deki suda 28 gün bekletilmiştir. Kompozit içinde bulunan tekstiller çimento esaslı bir matris içinde alkali ortamda bulunmaktadır. Bu kompozitler hızlandırılmış bir yaşlandırmaya tabi tutularak tekstillerde gerçekleşebilecek alkali reaksiyonlar sonucunda dayanımda yaşanabilecek kayıplar araştırılmıştır. Yaşlandırmaya tabi tutulan bu numunelere eksenel çekme deneyi uygulanmış ve elde edilen sonuçların üzerinde karşılaştırma yapılmıştır.

6.1.4.1 AR Glass ALK serileri

AR Glass tekstil kullanılarak üretilen numunelere alkaliye direnç testi yapılmış ve daha sonra eksenel çekme deneyi uygulanmıştır. Eksenel çekme deneyine ait grafikler Şekil 6.4'te gösterilmiştir.



Şekil 6.4 : ARG ALK serilerine ait eksenel çekme deneyi sonuçları.

4 kat tekstil içeren alkali geçirmiş numuneler 5.45 MPa çekme dayanımına sahip olmuştur. Bu numuneler aynı zamanda 2.80 MPa en düşük ilk çatlama dayanımına sahiptir. 4 kat tekstil ile üretilen numuneler diğer numunelere kıyasla %0.73 şekil değiştirme oranına sahiptir. Alkali geçirmemiş serilerle kıyaslandığında 4 kat tekstil içeren alkaliye direnç testi geçirmiş numuneler maksimum çekme dayanımının %56 sini kaybetmiştir. İlk çatlama dayanımları karşılaştırıldığında alkali geçiren numuneler ilk çatlama dayanımının alkali geçirmeyen numunelere göre %12 isini kaybetmiştir.

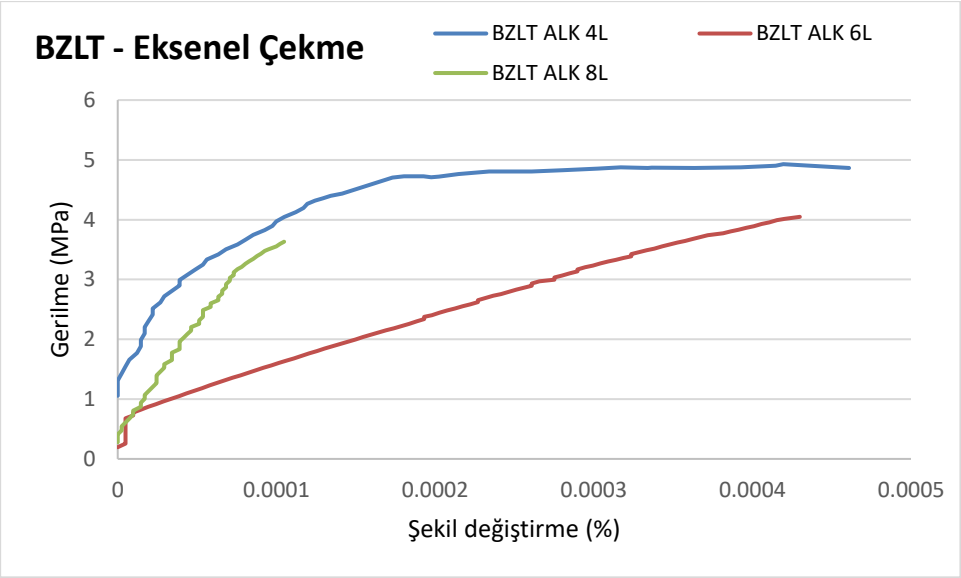
6 kat AR- Glass tekstil içeren numuneler 5.90 MPa çekme dayanımına sahiptir. Bu numuneler aynı zamanda 4.0 MPa ilk çatlama dayanımına sahiptir. Alkali geçirmemiş serilerle kıyaslandığında 6 kat tekstil içeren alkaliye direnç testi geçirmiş numuneler maksimum çekme dayanımının %58 ini kaybetmiştir. İlk çatlama dayanımları karşılaştırıldığında alkali geçiren numuneler ilk çatlama dayanımının alkali geçirmeyen numunelere göre %13 ünü kaybetmiştir.

8 kat tekstil içeren numuneler 6.61 MPa eksenel çekme dayanımına sahip olup, ilk çatlama dayanımı 4.21 MPa dır. Tüm alkali geçirmiş seriler kendi arasında karşılaştırıldığında birbirine yakın eksenel çekme dayanımı elde edildiği görülmüştür. Alkali geçirmemiş serilerle kıyaslandığında 8 kat tekstil içeren alkaliye direnç testi geçirmiş numuneler maksimum çekme dayanımının %63 ünü kaybetmiştir. İlk çatlama dayanımları karşılaştırıldığında alkali geçiren numuneler ilk çatlama dayanımının alkali geçirmeyen numunelere göre %9 unu kaybetmiştir.

Tüm alkaliye direnç testi serileri karşılaştırıldığında maksimum çekme çekme dayanımında görülen kayıplar, ilk çatlak dayanımı ve ilk çatlak yükünde görülen kayıpların yaklaşık 4 ila 5 katıdır. Bunun sebebi büyük miktarda bozunmanın tekstilde meydana geldiği gerçeğidir. Matris çatlama dayanımında görülen kayıp polimer içerikli matris harcının yüksek sıcaklıklarda bir miktar dayanım kaybetmesinden kaynaklanmaktadır. Tekstil donatılı çimento esaslı kompozitlerde yıllar içinde içinde bulunduğu alkali ortam sebebiyle bozulmaya uğrayacak asıl malzeme tekstillerdir.

6.1.4.2 Bazalt ALK serileri

Bazalt tekstil kullanılarak üretilen numunelere alkaliye direnç testi yapılmış ve daha sonra eksenel çekme deneyi uygulanmıştır. Eksenel çekme deneyine ait grafikler Şekil 6.5'te gösterilmiştir.



Şekil 6.5 : Bazalt ALK serilerine ait eksenel çekme deneyi sonuçları.

4 kat tekstil içeren alkali geçirmiş numuneler 4.93 MPa çekme dayanımına sahip olmuştur. Bu numuneler aynı zamanda 3.97 MPa ilk çatlama dayanımına sahiptir. 4 kat tekstil ile üretilen numuneler diğer numunelere kıyasla %0.04 şekil değiştirme oranına sahiptir. Alkali geçirmemiş serilerle kıyaslandığında 4 kat tekstil içeren alkaliye direnç testi geçirmiş numuneler maksimum çekme dayanımının %71.5 ini kaybetmiştir. İlk çatlama dayanımları karşılaştırıldığında alkali geçiren numuneler ilk çatlama dayanımının alkali geçirmeyen numunelere göre %15 ini kaybetmiştir. 4 kat tekstille üretilen seriler eksenel çekme grafiğinin I. bölgesi olan matris çatlama bölgesinin ardından II. Bölgeye geçmiş ve II. Bölgenin hemen başında kırılmıştır.

6 kat Bazalt tekstil içeren numuneler 4.04 MPa çekme dayanımına sahiptir. Bu numuneler aynı zamanda 4.04 MPa en düşük ilk çatlama dayanımına sahiptir. Alkali geçirmemiş serilerle kıyaslandığında 6 kat tekstil içeren alkaliye direnç testi geçirmiş numuneler maksimum çekme dayanımının %70.7 sini kaybetmiştir. İlk çatlama dayanımları karşılaştırıldığında alkali geçiren numuneler ilk çatlama dayanımının alkali geçirmeyen numunelere göre %17.6 sını kaybetmiştir.

8 kat tekstil içeren numuneler 3.63 MPa eksenel çekme dayanımına sahip olup tüm alkali geçirmiş seriler kendi arasında karşılaştırıldığında birbirine yakın eksenel çekme dayanımı elde edildiği görülmüştür. İlk çatlama daynımları 3.1 dir. Alkali geçirmemiş serilerle kıyaslandığında 8 kat tekstil içeren alkaliye direnç testi geçirmiş numuneler maksimum çekme dayanımının %81 ini kaybetmiştir. İlk çatlama dayanımları

karşılaştırıldığında alkali geçiren numuneler ilk çatlama dayanımının alkali geçirmeyen numunelere göre %47 sini kaybetmiştir.

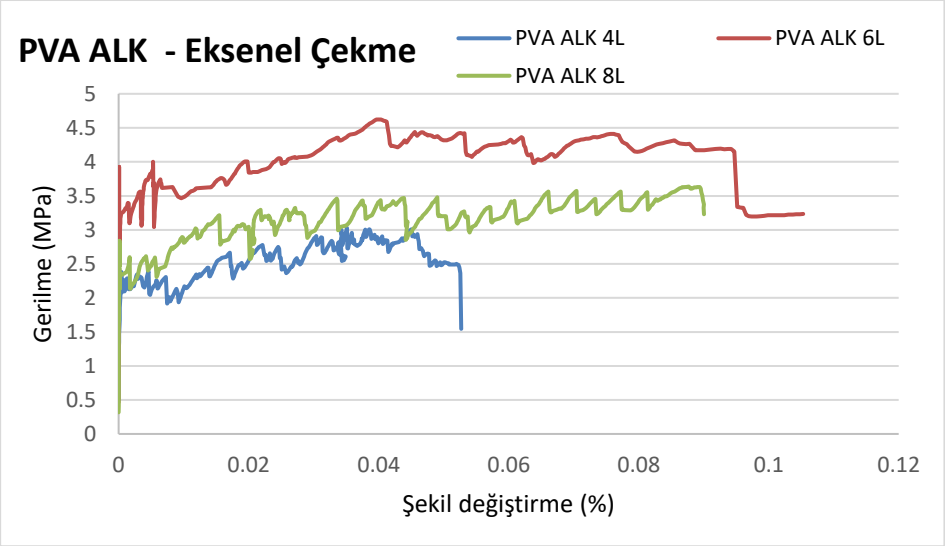
Bazalt tekstil kullanılarak farklı tekstil kat sayısına sahip olacak şekilde üretilen alkaliye direnç testi geçirmiş numuneler ile alkaliye direnç testi geçirmemiş numunelerin eksenel çekme deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Maksimum çekme dayanımı sonuçları karşılaştırıldığında en yüksek maksimum çekme dayanımı kaybına uğrayan seriler %81 kayıpla BZLT ALK 8L serileridir. Bu serilerden daha düşük olarak BZLT ALK 6L serileri ve BZLT ALK 4L serileri %70.7 ve %71.5 dayanım kaybına uğramıştır. Bu dayanım kayıplarının sebebi bazalt tekstillerin alkaliye direnç testinde bozunmaya uğramasıdır. Eksenel çekme grafiğinde kompozit içinde bulunan tekstilin etkin olduğu III. bölge yok olmuştur. 4L ve 6L seriler II. Bölgenin hemen başında kırılmaya uğramıştır. Daha çok tekstil içeren 8L serileri en büyük dayanım kaybını yaşamış ve II. Bölge dahi görülmeden I. bölgede kopma yaşanmıştır. Bunun sebebi ise daha fazla tekstil içermeleri ve etkilenen tekstil yüzeyinin ve miktarının büyük olmasıdır. Bu da alkali geçirmiş ve geçirmemiş numunelerin dayanımları arasındaki farkı büyümektedir.

İlk çatlak dayanımı sonuçları karşılaştırıldığında alkaliye direnç testi geçirmiş serilerde en yüksek ilk çatlak dayanımı kaybı 8L serilerine aittir ve bu değer %47 dir. 6L serilerinin ilk çatlak dayanımı kaybı %17.6 , 4L serilerine ait ilk çatlak dayanımı kaybı %15 olmuştur.

Tüm alkaliye direnç testi serileri karşılaştırıldığında maksimum çekme dayanımında görülen kayıplar, ilk çatlak dayanımında görülen kayıpların 4L serilerinde yaklaşık 5 katıdır. 6L serilerinde bu miktar 4 kat olmuş, 8L serilerinde ise 1.7 kata kadar düşmüştür Bunun sebebi büyük miktarda bozunmanın tekstilde meydana geldiği gerçeğidir. Matris çatlama dayanımında görülen kayıp polimer içerikli matris harcının yüksek sıcaklıklarda bir miktar dayanım kaybetmesinden kaynaklanmaktadır. 4L ve 6L serilerinde matris çatlama dayanımlarında önemli düşüş yaşanmadığı için dayanım kayıpları arasındaki oran çok büyüktür. 8L serilerde bu oran birbirine yaklaşmaktadır çünkü matris malzemesinde de önemli dayanım kayıpları görülmüştür. Bunun sebebi bozunan tekstilin tekstil matris arayüzünde taşıyıcı olmayan ürünler üreterek boşluk yaratmasıdır. Tekstil donatılı çimento esaslı kompozitlerde yıllar içinde içinde bulunduğu alkali ortam sebebiyle bozulmaya uğrayacak asıl malzeme tekstillerdir. Matris çatlama dayanımları da düşüşe uğramaktadır.

6.1.4.3 PVA ALK serileri

PVA tekstil kullanılarak üretilen numunelere alkaliye direnç testi yapılmış ve daha sonra eksenel çekme deneyi uygulanmıştır. Eksenel çekme deneyine ait grafikler Şekil 6.6'da gösterilmiştir.



Şekil 6.6 : PVA ALK serilerine ait eksenel çekme deneyi sonuçları.

4 kat tekstil içeren alkali geçirmiş numuneler 3.00 MPa çekme dayanımına sahip olmuştur. Bu numuneler aynı zamanda 2.38 MPa en düşük ilk çatlama dayanımına sahiptir. 4 kat tekstil ile üretilen numuneler diğer numunelere kıyasla %5.2 şekil değiştirme oranına sahiptir Alkali geçirmemiş serilerle kıyaslandığında 4 kat tekstil içeren alkaliye direnç testi geçirmiş numuneler maksimum çekme dayanımının %3.2 sini kaybetmiştir. İlk çatlama dayanımları karşılaştırıldığında alkali geçiren numuneler ilk çatlama dayanımının alkali geçirmeyen numunelere göre %18 ini kaybetmiştir.

6 kat tekstil içeren numuneler 4.62 MPa çekme dayanımına sahiptir. Bu numuneler aynı zamanda 3.92 MPa ilk çatlama dayanımına sahiptir. Alkali geçirmemiş serilerle kıyaslandığında 6 kat tekstil içeren alkaliye direnç testi geçirmiş numuneler maksimum çekme dayanımının %14 ünü kaybetmiştir. İlk çatlama dayanımları karşılaştırıldığında alkali geçiren numuneler ilk çatlama dayanımının alkali geçirmeyen numunelere göre %2 sini kaybetmiştir.

8 kat tekstil içeren numuneler 3.59 MPa eksenel çekme dayanımına sahiptir Alkali geçirmemiş serilerle kıyaslandığında 8 kat tekstil içeren alkaliye direnç testi geçirmiş numuneler maksimum çekme dayanımının %35 ini kaybetmiştir. İlk çatlama

dayanımları karşılaştırıldığında alkali geçiren numuneler ilk çatlama dayanımının alkali geçirmeyen numunelere göre %21 ini kaybetmiştir.

PVA tekstil kullanılarak farklı tekstil kat sayısına sahip olacak şekilde üretilen alkaliye direnç testi geçirmiş numuneler ile alkaliye direnç testi geçirmemiş numunelerin eksenel çekme deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Maksimum çekme dayanımı sonuçları karşılaştırıldığında en yüksek maksimum çekme dayanımı kaybına uğrayan seriler %35 kayıpla PVA ALK 8L serileridir. Bu serilerden daha düşük olarak PVA ALK 4L serileri %3.2 dayanım kaybı yaşamıştır. PVA ALK 6L serilerinin dayanım kaybına %14'e uğramıştır. Daha çok tekstil içeren 8L serileri en düşük dayanım kaybını yaşamıştır.

İlk çatlak dayanımı sonuçları karşılaştırıldığında alkaliye direnç testi geçirmiş serilerde en yüksek ilk çatlak dayanımı kaybı 8L serilerine aittir. En düşük ilk çatlak dayanım kaybı 6L serilerinde gözlenmiş ve %21 olmuştur.

Bunun sebebi bozunmanın büyük oranda tekstilde meydana gelmesindendir. Bazalt tekstillerin AR-Glass tekstillere göre daha fazla daynım kaybına uğramasının sebebi Bazalt tekstillerin yüzeyinde polimer kaplama olmamasıdır. Ar-Glass tekstiller epoksi kaplamalı olduğundan alkaliye daha yüksek direnç göstermiş ve dayanım düşüşleri arasındaki oran büyük olmamıştır.

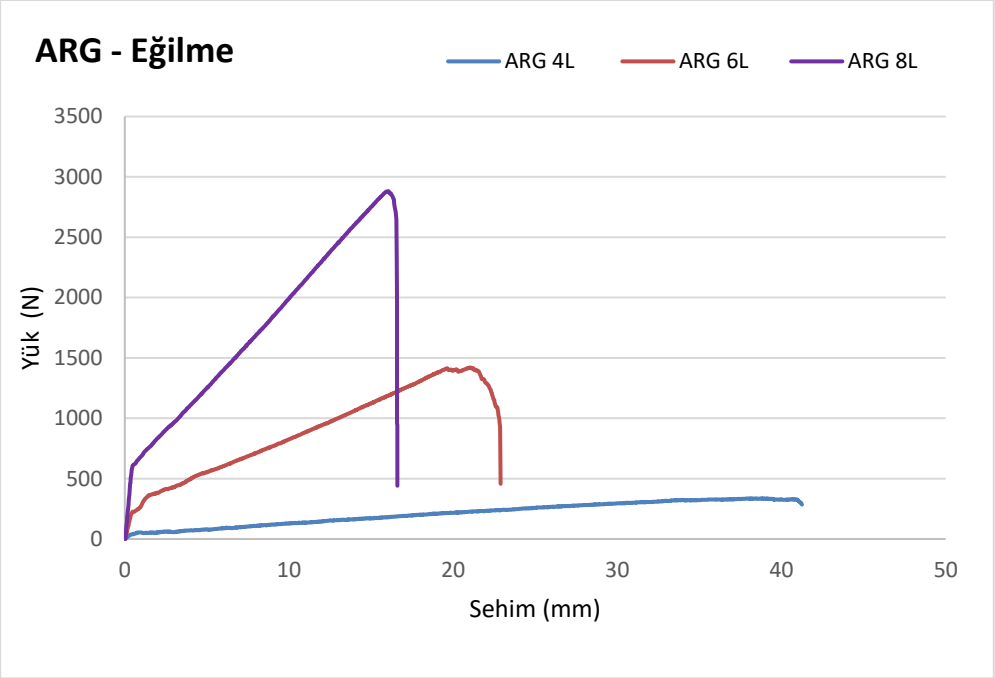
Matris çatlama dayanımında görülen kayıp polimer içerikli matris harcının yüksek sıcaklıklarda bir miktar dayanım kaybetmesinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca tekstil ve matris arayüzünde alkaliye direnç testi sonucu oluşan yeni ürünlerle kenetlenme azalmış bu da dayanım kayıplarına yol açmıştır. Tekstil donatılı çimento esaslı kompozitlerde yıllar içinde içinde bulunduğu alkali ortam sebebiyle bozulmaya uğrayacak asıl malzeme tekstillerdir.

6.2 TRCC Eğilme Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Bu bölümde TRCC numunelere uygulanan dört noktalı eğilme deneyi sonuçlarının grafik haline getirilerek yorumlanması amaçlanmıştır. Bu sebeple aynı kat sayısına sahip farklı tekstillerle üretilmiş TRCC elemanlara ait deney sonuçları ve aynı tekstille farklı kat sayısında üretilmiş TRCC elemanlara ait deney sonuçları yorumlanmıştır.

6.2.1 AR Glass serileri

AR Glass tekstil kullanılarak üretilen TRCC numunelere uygulanan numunelere ait eğilme grafikleri kullanılarak karşılaştırma yapılmıştır. Eğilme deneyine ait grafikler Şekil 6.7'de gösterilmiştir.



Şekil 6.7 : ARG tekstille üretilen numunelerin eğilme deneyi sonuçları.

4 kat tekstil içeren numuneler 335.7 N ile en düşük maksimum eğilme yüküne sahip olmuştur. Bu numuneler aynı zamanda 54.1 N ile en düşük ilk çatlama yüküne sahiptir. 4 kat tekstil ile üretilen numuneler diğer numunelere kıyasla 41.2 mm sehim yaparak en yüksek sehim yapan numuneler olmuştur.

6 kat AR- Glass tekstil içeren numuneler 1218.5 N eğilme yüküne sahiptir ve 4 kat tekstil içeren numunelerden daha yüksek maksimum eğilme dayanımı değerine ulaşmıştır. Bunun yanında 6L serilerine ait numuneler 2813 N maksimum eğilme yüküne sahip 8L serilerine ait numunelerden daha düşük maksimum eğilme yüküne sahiptir. İlk çatlama dayanımları karşılaştırıldığında 6L serilerine ait numunelerin ilk çatlama yükü 249.5 N olmuş ve ilk çatlama dayanımı 35.8 olan 4L serilerinden yüksek ve 588 N olan 8L serilerinden düşüktür. 6L serilerinin eğilme deneyinde yaptıkları maksimum sehim 23.1 mm olup 4L serilerine ait numunelerden küçük, maksimum sehim değeri 17.5 mm olan 8L serilerine ait numunelerden daha büyüktür.

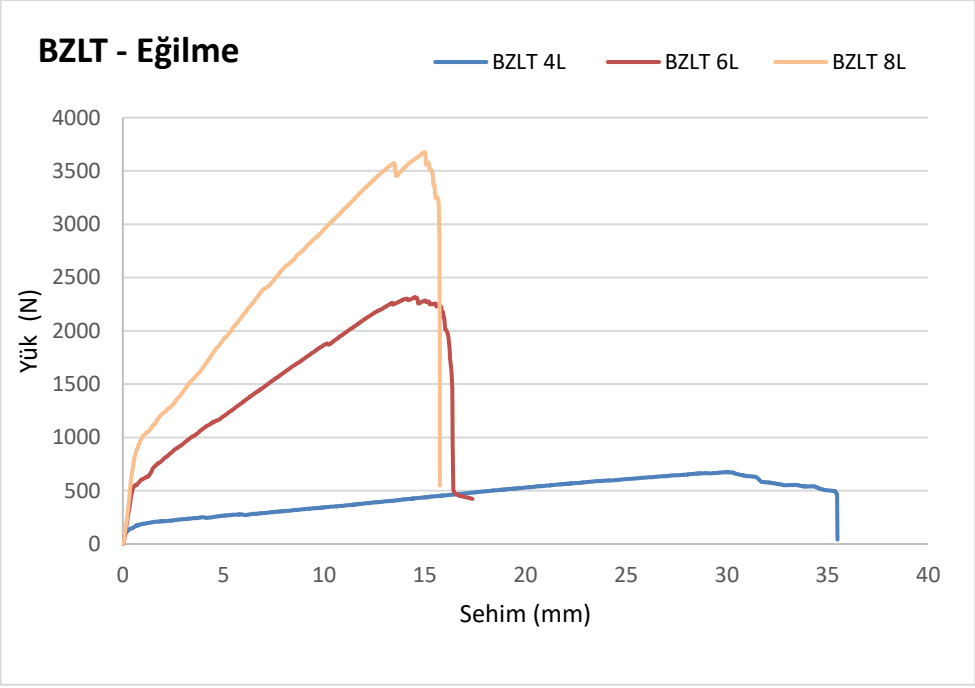
8 kat tekstil içeren numuneler 2813 N ile en yüksek maksimum eğilme yükü değerine sahip olmuştur. Bu numuneler aynı zamanda 588 N ilk çatlama yükü ile en yüksek dayanıma sahiptir. 8L serilerine ait numuneler toplamda 17.5 mm sehim yaparak, 41.2 mm ve 23.1 mm toplam sehim yapan 4L ve 6L serilerine kıyasla en düşük sehim yapan numuneler olmuştur.

Elde edilen sonuçlar ışığında AR-Glass tekstil kullanılarak üretilen farklı tekstil kat sayısına sahip numunelerin farklı eğilme performansı gösterdiği anlaşılmıştır. Sonuçlar karşılaştırıldığında TRCC numunenin içerdiği tekstil kat sayısı arttıkça eğilme dayanımının yükseldiği görülmüştür. Eğilme deneyinde numunenin içerdiği tekstil kat sayısı arttıkça numunenin yaptığı sehim azalmıştır. İlk çatlama dayanımları göz önüne alındığında numunenin içerdiği tekstil kat sayısı arttıkça ilk çatlama dayanımları artmıştır.

İlk çatlama dayanımına ulaşan numuneler matris çatladıktan sonra III. bölgeye geçmiştir. Grafiklerin III. bölgedeki eğimleri karşılaştırıldığında TRCC malzemenin içerdiği tekstil kat sayısı arttıkça numunenin rijitliği artmıştır.

6.2.2 Bazalt serileri

Bazalt tekstil kullanılarak üretilen TRCC numunelere ait eğilme grafikleri kullanılarak karşılaştırma yapılmıştır. Eğilme deneyine ait grafikler Şekil 6.8'de gösterilmiştir.



Şekil 6.8 : Bazalt tekstille üretilen numunelerin eğilme deneyi sonuçları.

4 kat Bazalt tekstil içeren numuneler 658 N ile en düşük maksimum eğilme yükü değerine sahip olmuştur. Bu numuneler aynı zamanda 129.1 N ile en düşük ilk çatlama yüküne sahiptir. 4 kat tekstil ile üretilen numuneler diğer numunelere kıyasla ortalama 36.0 mm sehim yaparak en yüksek sehim yapan numuneler olmuştur.

6 kat Bazalt tekstil içeren numuneler 2318.2 N eğilme yüküne sahiptir ve 4 kat tekstil içeren numunelerden daha yüksek maksimum eğilme yüküne ulaşmıştır. Bunun yanında 6L serilerine ait numuneler 3673.8 N maksimum eğilme yüküne sahip 8L serilerine ait numunelerden daha düşük maksimum eğilme yüküne sahiptir. İlk çatlama yükleri karşılaştırıldığında 6L serilerine ait numunelerin ilk çatlama dayanımları 538.3 N dur ve ilk çatlama dayanımı 129.1 N olan 4L serilerinden yüksek ve 881.5 olan 8L serilerinden düşüktür. 6L serilerinin eğilme deneyinde yaptıkları maksimum sehim 16.5 mm olup maksimum sehim miktarı 36 mm olan 4L serilerine ait numunelerden küçük, maksimum sehim değeri 15.6 mm olan 8L serilerine ait numunelerden daha büyüktür.

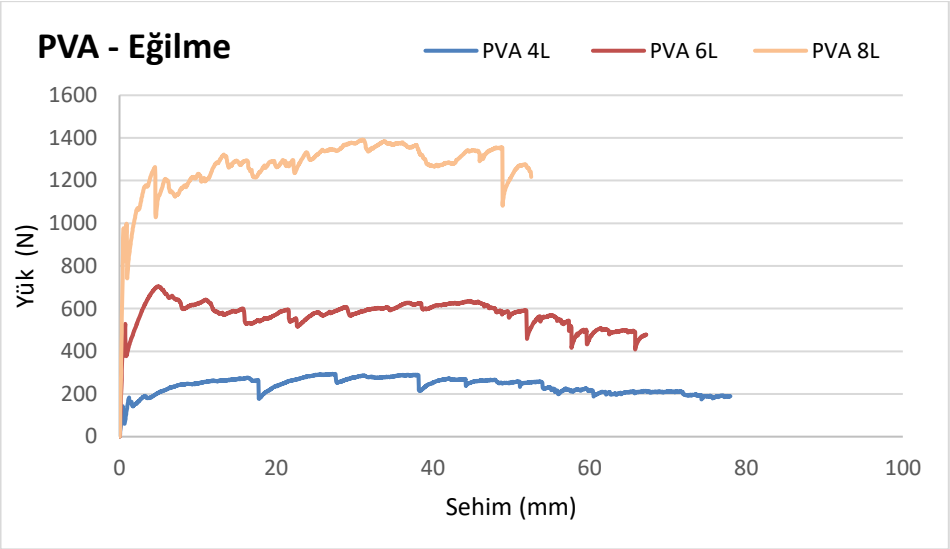
8 kat tekstil içeren numuneler en yüksek maksimum eğilme yükü değerine sahip olmuştur. Bu numuneler aynı zamanda en yüksek ilk çatlama daynımına sahiptir. 8L serilerine ait numuneler, 4L ve 6L serilerine ait numuneler diğer numunelere kıyasla en düşük sehim yapan numuneler olmuştur.

Elde edilen sonuçlar Bazalt tekstil kullanılarak üretilen farklı tekstil kat sayısına sahip numunelerin farklı eğilme performansı gösterdiği anlaşılmıştır. Sonuçlar karşılaştırıldığında TRCC numunenin içerdiği tekstil kat sayısı arttıkça numunenin taşıdığı eğilme yükünün arttığı görülmüştür. Eğilme deneyinde numunenin içerdiği tekstil kat sayısı arttıkça numunenin yaptığı maksimum sehim azalmıştır. İlk çatlama yükleri göz önüne alındığında numunenin içerdiği tekstil kat sayısı arttıkça ilk çatlama yükleri artmıştır.

İlk çatlama dayanımına ulaşan numuneler matris çatladıktan sonra II. bölgeye geçmiştir. Grafiklerin II. Bölgedeki eğimleri karşılaştırıldığında TRCC malzemenin içerdiği tekstil kat sayısı arttıkça numunenin rijitliği artmıştır.

6.2.3 PVA Serileri

PVA tekstil kullanılarak üretilen TRCC numunelere uygulanan numunelere ait eğilme deneyine ait grafikler kullanılarak karşılaştırma yapılmıştır. Eğilme deneyine ait grafikler Şekil 6.9'da gösterilmiştir.



Şekil 6.9 : PVA tekstille üretilen numunelerin eğilme deneyi sonuçları.

4 kat PVA tekstil içeren numuneler 294.3 N ile en düşük maksimum eğilme yükü değerine sahip olmuştur. Bu numuneler aynı zamanda 143.2 N ile en düşük ilk çatlama yüküne sahiptir. 4 kat tekstil ile üretilen numuneler diğer numunelere kıyasla 78 mm sehim yaparak en yüksek sehim yapan numuneler olmuştur.

6 kat PVA tekstil içeren numuneler 704.2 eğilme yüküne sahiptir ve 4 kat tekstil içeren numunelerden daha yüksek maksimum eğilme yüküne ulaşmıştır. Bunun yanında 6L serilerine ait numuneler 1392 N maksimum eğilme yüküne sahip 8L serilerine ait numunelerden daha düşük maksimum eğilme yüküne sahiptir. İlk çatlama yükleri karşılaştırıldığında 6L serilerine ait numunelerin ilk çatlama dayanımları 529 N dur ve ilk çatlama dayanımı 143.2 N olan 4L serilerinden yüksek ve 977 olan 8L serilerinden düşüktür. 6L serilerinin eğilme deneyinde yaptıkları maksimum sehim 67.2 mm olup maksimum sehim miktarı 78 mm olan 4L serilerine ait numunelerden küçük, maksimum sehim değeri 52.6 mm olan 8L serilerine ait numunelerden daha büyüktür.

8 kat tekstil içeren numuneler en yüksek maksimum eğilme dayanımı değerine sahip olmuştur. Bu numuneler aynı zamanda en yüksek ilk çatlama daynımına sahiptir. 8L serilerine ait numuneler, 4L ve 6L serilerine ait numuneler diğer numunelere kıyasla en düşük sehim yapan numuneler olmuştur.

Elde edilen sonuçlar PVA tekstil kullanılarak üretilen farklı tekstil kat sayısına sahip numunelerin farklı eğilme performansı gösterdiği anlaşılmıştır. Sonuçlar karşılaştırıldığında TRCC numunenin içerdiği tekstil kat sayısı arttıkça eğilme dayanımının yükseldiği görülmüştür. Eğilme deneyinde numunenin içerdiği tekstil kat

sayısı arttıkça numunenin yaptığı sehim azalmıştır. İlk çatlama dayanımları göz önüne alındığında numunenin içerdiği tekstil kat sayısı arttıkça ilk çatlama dayanımları artmıştır.

İlk çatlama dayanımına ulaşan numuneler matris çatladıktan sonra II. bölgeye geçmiştir. Maksimum yüke ulaştıktan sonra yükte düşüş yaşanmış ama sehim artmıştır. Kırılma anına kadar deney sürdürülürken nihai yükte düşüş yaşanmıştır.

PVA tekstiller dokuma tekstillerdir ve örgü yapıları mesh tekstillerden farklıdır. PVA ile üretilmiş tüm serilere ait numuneler, mesh yapıya sahip AR-Glass ve Bazalt tekstillerle üretilmiş numunelerden daha yüksek ilk çatlama dayanımına sahiptir. Bunun yanında PVA tekstiller Ar-Glass ve Bazalt tekstillerden daha düşük çekme dayanımına sahipir. Bu da PVA tekstilin dayanımının düşük olmasına ragmen ilk çatlama dayanımı olan matris dayanımına katkısının diğer tekstillere oranla daha yüksek olduğunu göstermiştir. Burada fark yaratan tekstilin dokuma şeklinde örülmüş olmasıdır. Tekstilin geometrisinin çimento esaslı kompozitlerin mekanik özellikleri üzerinde önemli bir etkisi olduğu yapılan çalışmalarda görülmüştür Düşük elastisite modüllü tekstillerin sahip olduğu geometri ve örgü biçimi değiştirilerek daha avantajlı ve etkili kullanımı sağlanabilir [53].

Yapılan bir çalışmada mat tekstil donatılı çimento esaslı kompozitlerin eğilme performansları araştırılmıştır. Söz konusu çalışmada kompozitler 2 kat ve 6 kat mat tekstil kullanılarak üretilmiştir. Sonuçlar eğilme deneylerinde elde edilen grafiklerin eksenel çekme deneylerinde elde edilen grafiklerden farklı davranışta olduğunu göstermiştir. Çekme deneylerinde elde edilen grafiklerde görülen I. II. ve III. bölge davranışından farklı olarak eğilme deneyi uygulanan numunelerde grafikte II. bölge davranışı gözlenmemiştir. I. bölge ve şekil değiştirme sertleşmesinin yaşandığı III. bölgenin var olduğu görülmüş II. Bölgenin ise yok olduğu tespit edilmiştir [50]. 6 kat mat tekstil içeren numunelerin eğilmede taşıdığı maksimum yük 2 kat tekstil içeren numunelerin yaklaşık 2 katı olmuştur. Eğilmede sehim değerleri karşılaştırıldığıda ise 6 kat tekstil içeren numunenin yaptığı sehim 2 kat tekstil içeren numuneden 4 mm daha küçüktür ve yaklaşık %72 sine denk gelmektedir [50]. Kompozitin içerdiği tekstil kat sayısı arttıkça dayanım artarken, numunenin şekil değiştirme kapasitesi azalmıştır.

Başka bir çalışmada araştırmacılar 3. 4 ve 5 kat çelik mesh ve farklı oranlarda kırpık lif kullanarak çimento esaslı kompozit üretmişlerdir. Yapılan bu araştırmada

numunelere eğilme testi uygulanmıştır. Sonuçlar göz önüne alındığında kompozitin içerdiği tekstil kat sayısı arttıkça kompozitin ilk çatlama dayanımı yükselmiştir. Maksimum eğilme yükü tekstil kat sayısı arttıkça yükselmiştir. Kompozitlerin içerdiği kırpık lif miktarı arttıkça eğilme deneyi uygulanan numunelerin ilk çatlama dayanımı ve maksimum eğilme dayanımı düzenli olarak artmıştır [124]

Araştırmacılar el yatırması yöntemiyle 3, 4, 5 ve 6 kat jute tekstil kullanarak çimento esaslı kompozit üretmişlerdir. Bu kompozitlerin içerdikleri V_f oranları sırayla %5.5 , %7.5, %9.3 ve %11 olarak hesaplanmıştır. Üretilen numunelere 4 noktalı eğilme deneyi uygulanmıştır. Eğilme dayanımları karşılaştırıldığında en yüksek dayanım 5 katlı numunelerden elde edilmiştir. 5 kat jute tekstil ile üretilen kompozitler en yüksek toughness değerine sahip olmuştur. 6 kat jute tekstil ile üretilen numuneler daha düşük dayanıma sahip olmasına ragmen toplamda bu numunede oluşan çatlakların sayısı daha yüksektir. El yatırması yöntemi özellikle yüksek tekstil kat sayısına sahip kompozitlerde homojen bir üretime elverişli olmayabilir bu sebeple 6 kat tekstille üretilen kompozitler 5 kat ile üretilenlerden daha düşük dayanım göstermiştir. 3, 4 ve 5 kat tekstille üretilen numuneler karşılaştırıldığında tekstil kat sayısı arttıkça numunenin dayanımı artmıştır [97].

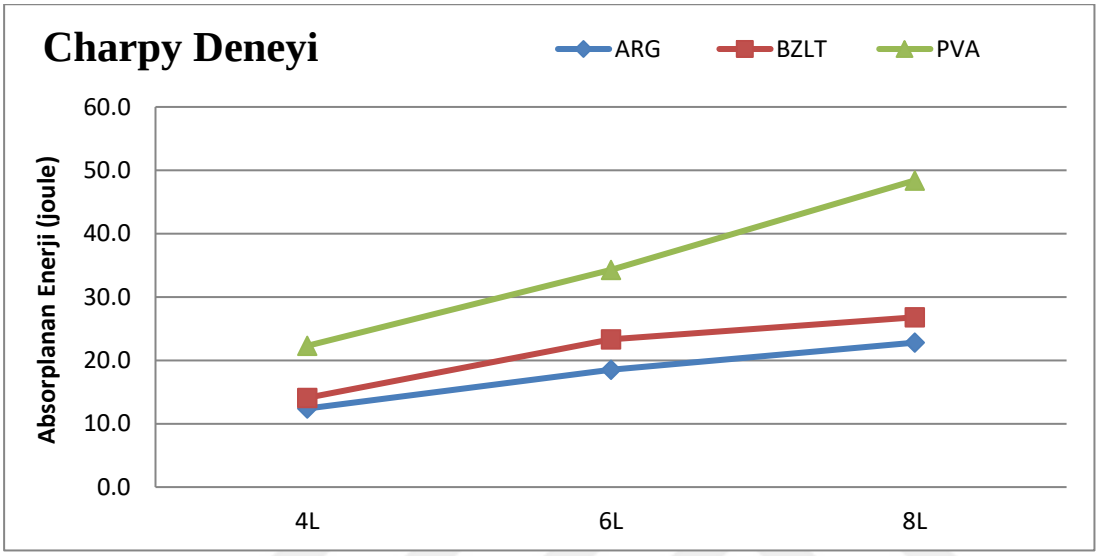
Araştırmacılar üç farklı tekstil kullanarak tek katlı olarak ürettikleri çimento esaslı kompozitlerde eğilme deneyi uygulamışlardır. PE, PP ve HDPE kullanılarak üretilen numunelerden elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında en yüksek eğilme dayanımı HDPE tekstil ile üretilen numunelerden elde edilmiş olup 26 MPa dır. PP ile üretilen numuneler 19 MPa ve PE ile üretilen numuneler 11 MPa dayanım göstermiştir. Tekstil dayanımları karşılaştırıldığında PE tekstilin çekme dayanımı 260 MPa, PP tekstilin 500 MPa ve HDPE tekstilin ise 1960 MPa olduğu çalışmada belirtilmiştir. Kompozitin bünyesinde kullanılan tekstilin dayanımı arttıkça, çimento esaslı kompozitin dayanımı artmaktadır [53].

6.3 TRCC Charpy Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Bu bölümde TRCC numunelere uygulanan charpy çarpma deneyi sonuçlarının grafik haline getirilerek yorumlanması amaçlanmıştır. Bu sebeple aynı kat sayısına sahip farklı tekstillerle üretilmiş TRCC elemanlara ait deney sonuçları ve aynı tekstille farklı kat sayısında üretilmiş TRCC elemanlara ait deney sonuçları yorumlanmıştır.

6.3.1 Absorplanan enerjilerin karşılaştırması

AR Glass, Bazalt ve PVA tekstillerin farklı katlarda üretilmesiyle elde edilen kompozitlere uygulanan Charpy deneyi sonucu absorplanan enerji hesaplanmıştır. Her bir seride elde edilen verilerin ortalaması alınarak grafik haline getirilmiş ve Şekil 6.10'da gösterilmiştir.



Şekil 6.10 : Absorplanan enerjinin karşılaştırması.

Sonuçlar karşılaştırıldığında AR Glass serilerine ait numunelerde 4L serileri 12.4 joule ile en düşük enerjiye sahiptir. 6L serilerine ait numuneler Charpy çarpma deneyinde 4L serilerinden daha yüksek enerji absorplamış ve bu değer 18.5 joule dir. 8L serileri ise en yüksek enerjiye ulaşmış ve bu değer 22.8 jouledur. AR Glass tekstil kullanılarak üretilen serilerde tekstil kat sayısı arttıkça absorplanan enerji miktarı da yükselmiştir.

Bazalt serilerine ait kompozitlerden elde edilen Charpy deneyi sonuçları karşılaştırıldığında 4L serileri en düşük enerjiye sahiptir ve değeri 14.2 joule dur. 6L serilerine ait numuneler Charpy deneyinde 4L serilerinden daha yüksek enerji absorplamış ve bu değer 23.3 joule dür. 8L serileri ise en yüksek enerjiye ulaşmış ve bu değer 26.8 joule dur. Bazalt tekstil kullanılarak üretilen serilerde tekstil kat sayısı arttıkça absorplanan enerji miktarı da yükselmiştir.

PVA serilerine ait kompozitlerden elde edilen Charpy deneyi sonuçları karşılaştırıldığında 4L serileri en düşük enerjiye sahiptir ve değeri 22.3 joule dur. 6L serilerine ait numuneler Charpy deneyinde 4L serilerinden daha yüksek enerji absorplamış ve bu değer 34.3 joule dür. 8L serileri ise en yüksek enerjiye ulaşmış ve

bu değer 48.4 joule dur. PVA tekstil kullanılarak üretilen serilerde tekstil kat sayısı arttıkça absorplanan enerji miktarı da yükselmiştir.

Şekil 6.10'da görüldüğü üzere aynı kat sayısına sahip farklı tekstillerle üretilmiş kompozitlerin Charpy deneyinde absopladıkları enerji karşılaştırılabilir. 4 Kat tekstil içeren seriler arasında PVA 4L serileri 22.3 joule ile en yüksek enerji değerine ulaşmıştır. Bazalt 4L serileri 14.1 joule absorplanan enerji değeriyle PVA 4L serilerinden düşük, enerji miktarı 12.4 joule olan ARG 4L serilerinden yüksektir.

6 Kat tekstil içeren seriler arasında PVA 6L serileri 34.3 joule ile en yüksek enerji değerine ulaşmıştır. Bazalt 6L serileri 23.3 joule absorplanan enerji değeriyle PVA 6L serilerinden düşük, enerji miktarı 18.5 joule olan ARG 6L serilerinden yüksektir.

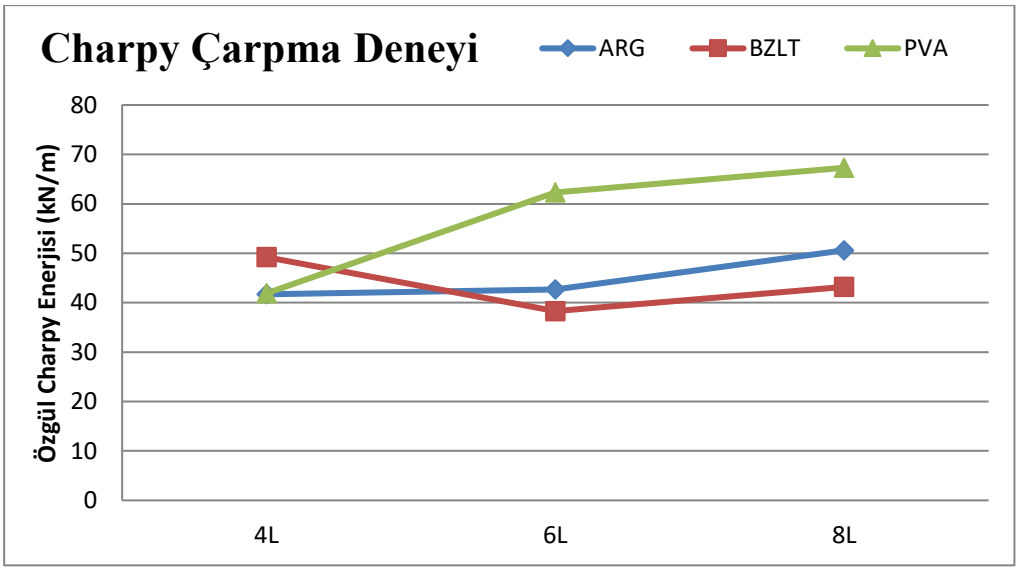
8 Kat tekstil içeren seriler arasında PVA 8L serileri 48.4 joule ile en yüksek enerji değerine ulaşmıştır. Bazalt 8L serileri 26.8 joule absorplanan enerji değeriyle PVA 4L serilerinden düşük, enerji miktarı 23.3 joule olan ARG 8L serilerinden yüksektir.

Aynı kat sayısına sahip farklı tekstillerin absorplanan enerji miktarları karşılaştırıldığında PVA serileri en yüksek enerji miktarına sahiptir. Bunun sebebi ise PVA tekstillerin dokuma örgü şeklinde olmasıdır. Bazalt ve AR Glass serileri mesh(ızgara) tekstillerdir. Bu tekstillerin PVA tekstile nazaran daha gevrek (dayanımları daha yüksek ve deformasyon kapasitesi daha az) tekstiller olduğundan Charpy çarpma deneyinde daha düşük performans göstermişlerdir. PVA tekstiller ise dayanımı daha düşük olmasına rağmen şekil değiştirme kabiliyeti ve maksimum deformasyon miktarı daha yüksektir. Bu da Charpy çarpma deneyinde daha iyi performans göstermesine sebep olmuştur.

Kompozit numunelerin bünyesinde kullanılan tekstillerin kat sayısı arttıkça Charpy çarpma deneyinde absorplanan enerji de sürekli artmıştır. Tekstillerin kompozite gelecek Charpy çarpma etkilerini karşılamadaki etkinliği böylece kanıtlanmıştır.

6.3.2 Özgül Charpy çarpma enerjilerinin karşılaştırması

AR Glass, Bazalt ve PVA tekstillerin farklı katlarda üretilmesiyle elde edilen kompozitlere uygulanan Charpy çarpma deneyi sonucu özgül Charpy çarpma enerjileri hesaplanmıştır. Absorplanan enerjiden farklı olarak özgül Charpy çarpma enerjileri hesaplanırken numunelerin boyutları önem kazanmaktadır. Her bir seride elde edilen verilerin ortalaması alınarak grafik haline getirilmiş ve Şekil 6.11'de gösterilmiştir.



Şekil 6.11 : Özgül Charpy çarpma enerjisinin karşılaştırması.

Sonuçlar karşılaştırıldığında AR Glass serilerine ait numunelerde 4L serileri 41.7 kN/m ile en düşük özgül Charpy çarpma enerjisine sahiptir. 6L serilerine ait numuneler Charpy çarpma deneyinde 4L serilerinden daha yüksek özgül enerjiye sahiptir ve bu değer 42.7 kN/m dir. 8L serileri ise en yüksek Charpy çarpma enerjisine ulaşmış ve bu değer 50.6 kN/m dir. AR Glass tekstil kullanılarak üretilen serilerde tekstil kat sayısı arttıkça az da olsa özgül Charpy çarpma enerjisi yükselmiştir.

Bazalt serilerine ait kompozitlerden elde edilen Charpy çarpma deneyi sonuçları karşılaştırıldığında 4L serileri en düşük özgül Charpy çarpma enerjisine sahiptir ve değeri 49.2 kN/m dur. 6L serilerine ait numuneler Charpy çarpma deneyinde 4L serilerinden daha düşük özgül enerji değerine sahiptir ve bu değer 38.3 kN/m dir. 8L serileri ise en 6L serilerinden daha yüksek 4L serilerinden daha düşük özgül Charpy çarpma enerjisine ulaşmış ve bu değer 43.2 kN/m dir. Burada sürekli artan bir trend görememizin sebebi bazalt tekstille üretilen 6L ve 8L serilerinin kalınlık ölçüsüdür. 4L serilerine ait kompozitlerin kalınlığı 8.43 mm, 6L serileri 12.6 mm, 8L serileri 16.8 mm ve kalınlıklarında üretilmiştir. 4L serileri 8L serilerinin neredeyse yarısı kadar inceliktedir bu da absorplanan enerji miktarı düşük olmasına rağmen özgül Charpy çarpma enerjisi değerini arttırmaktadır. 4L serileri çok daha ince olarak üretilmiştir bu sebeple özgül enerji değeri daha yüksek olmuştur.

PVA serilerine ait kompozitlerden elde edilen Charpy çarpma deneyi sonuçları karşılaştırıldığında 4L serileri en düşük Charpy çarpma enerjisine sahiptir ve değeri 41.9 kN/m dur. 6L serilerine ait numuneler Charpy çarpma deneyinde 4L serilerinden

daha yüksek enerji absorplamış ve bu değer 62.3 kN/mdir. 8L serileri ise en yüksek enerjiye ulaşmış ve bu değer 67.kN/m dir. PVA tekstil kullanılarak üretilen serilerde tekstil kat sayısı arttıkça absorplanan enerji miktarı da yükselmiştir.

Şekil 6.11'de görüldüğü üzere aynı kat sayısına sahip farklı tekstillerle üretilmiş kompozitlerin Charpy deneyinde absopladıkları enerji karşılaştırılabilir. 4 Kat tekstil içeren seriler arasında Bazalt 4L serileri 49.2 kN/m en yüksek enerji değerine ulaşmıştır. PVA 4L serileri 41.9 kN/m absorplanan enerji değeriyle Bazalt 4L serilerinden düşük, enerji miktarı 41.7 kN/m olan ARG 4L serilerinden az da olsa yüksektir.

6 Kat tekstil içeren seriler arasında PVA 6L serileri 62.3 kN/m ile en yüksek enerji değerine ulaşmıştır. ARG 6L serileri 42.7 kN/m absorplanan enerji değeriyle PVA 6L serilerinden düşük, enerji miktarı 38.3 kN/m olan Bazalt 6L serilerinden yüksektir.

8 Kat tekstil içeren seriler arasında PVA 8L serileri 67.3 kN/m en yüksek enerji değerine ulaşmıştır. ARG 8L serileri 50.6 kN/m absorplanan enerji değeriyle PVA 8L serilerinden düşük, enerji miktarı 43.2 kN/m olan Bazalt 8L serileri nden yüksektir.

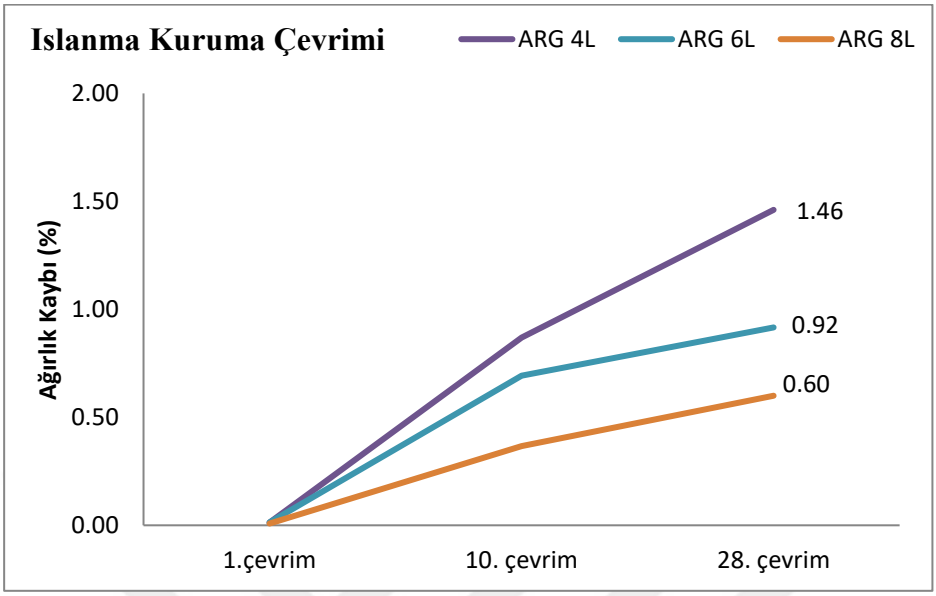
Aynı kat sayısına sahip farklı tekstillerin absorplanan enerji miktarları karşılaştırıldığında PVA serileri en yüksek enerji miktarına sahiptir. Bunun sebebi ise PVA tekstillerin dokuma örgü şeklinde olmasıdır. Bazalt ve AR Glass serileri mesh tekstillerdir. Bu tekstillerin PVA tekstile nazaran daha gevrek tekstiller (dayanımları daha yüksek ve deformasyon kapasitesi daha az) olduğundan Charpy çarpma deneyinde daha düşük performans göstermişlerdir. PVA tekstiller ise dayanımı daha düşük olmasına rağmen şekil değiştirme kabiliyeti ve maksimum deformasyon miktarı daha yüksektir. Bu da Charpy çarpma deneyinde daha iyi performans göstermesine sebep olmuştur.

Kompozit numunelerin bünyesinde kullanılan tekstillerin kat sayısı arttıkça Charpy çarpma deneyinde absorplanan enerji de sürekli artmıştır. Tekstillerin kompozite gelecek Charpy çarpma etkilerini karşılamadaki etkinliği böylece kanıtlanmıştır.

6.4 TRCC Islanma Kuruma Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

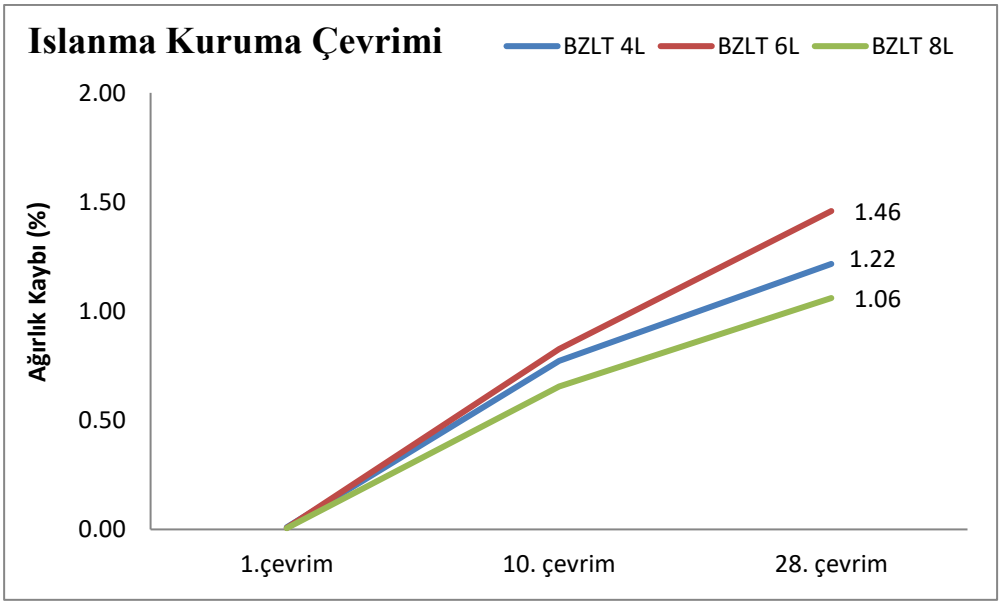
Bu bölümde TRCC numunelere uygulanan ıslanma kuruma etkisi geçirmiş elemanlarda elde edilen sonuçlarının yorumlanması amaçlanmıştır. Bu sebeple aynı kat sayısına sahip farklı tekstillerle üretilmiş TRCC elemanlara ait deney sonuçları

Şekil 6.12 , 6.13 ve 6.14 da gösterilmiştir. Aynı tekstille farklı kat sayısında üretilmiş TRCC elemanlara ait deney sonuçları yorumlanmıştır.



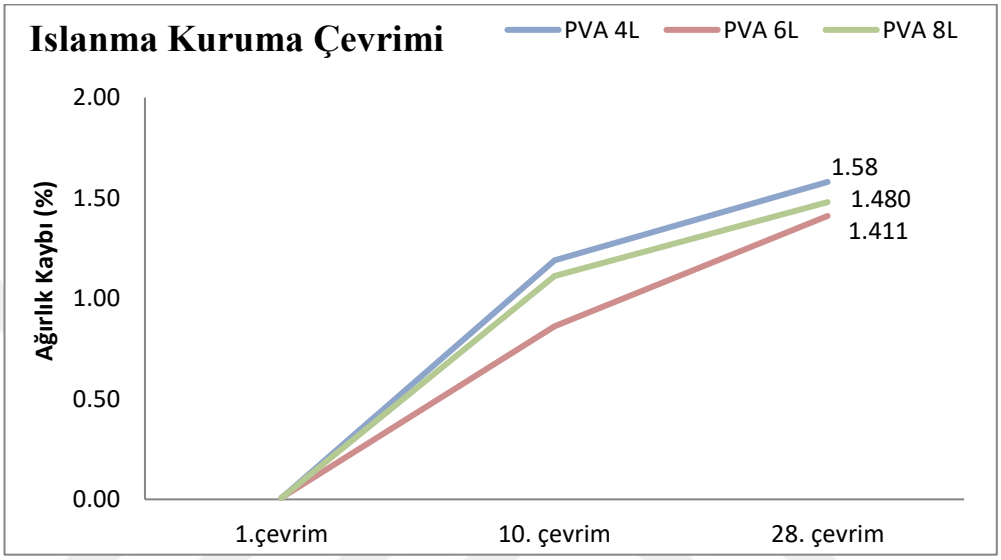
Şekil 6.12 : AR Glass serilerinde ıslanma kuruma deneyi sonuçları.

Sonuçlar karşılaştırldığında ıslanma kuruma çevrimi sonucunda en büyük ağırlık kaybı %1.46 ile ARG 4L serilerine aittir. ARG 6L serileri %0.92 ağırlık kaybı yapmıştır. ARG 8L serileri %0.60 ağırlık kaybına sahiptir. Ağırlık kayıpları ıslanma kuruma çevrimine giren plakaların tekstil kat sayısı ya da eleman kalınlığı arttıkça azalmıştır. Tüm bu serilerin ağırlık kayıpları çimento esaslı malzemelere göre çok düşük seviyede kalmıştır. Bu da kompozitin geçirimsiz bir yapısı olduğu hakkında bilgi vermektedir.



Şekil 6.13 : BZLT serilerinde ıslanma kuruma deneyi sonuçları.

Sonuçlar karşılaştırldığında ıslanma kuruma çevrimi sonucunda en büyük ağırlık kaybı %1.46 ile BZLT 6L serilerine aittir. BZLT 4L serileri %1.22 ağırlık kaybı yapmıştır. BZLT 8L serileri %1.06 ağırlık kaybına sahiptir. Ağırlık kaybı değerleri birbirine oldukça yakın sonuçlar vermiştir. Tüm Bazalt serilerinin ağırlık kayıpları çimento esaslı malzemelere göre çok düşük seviyede kalmıştır. Bu da kompozitin geçirimsiz bir yapısı olduğu hakkında bilgi vermektedir.



Şekil 6.14 : PVA serilerinde ıslanma kuruma deneyi sonuçları.

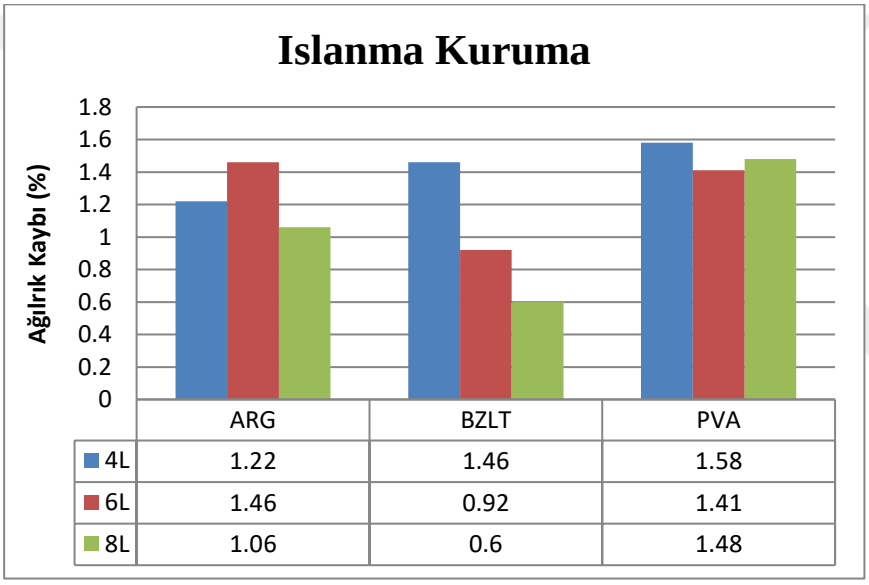
Sonuçlar karşılaştırldığında ıslanma kuruma çevrimi sonucunda en büyük ağırlık kaybı %1.58 ile PVA 4L serilerine aittir. PVA 8L serileri %1.48 ağırlık kaybı yapmıştır. PVA 6L serileri %1.41 ağırlık kaybına sahiptir. Ağırlık kaybı değerleri birbirine oldukça yakın sonuçlar vermiştir. Tüm PVA serilerinin ağırlık kayıpları çimento esaslı malzemelere göre çok düşük seviyede kalmıştır. Bu da kompozitin geçirimsiz bir yapısı olduğu hakkında bilgi vermektedir.

Islanma kuruma deneyi sonuçları tüm tekstiller ve tüm kat sayıları göz önüne alınarak Şekil 6.15'te gösterilmiştir. Tüm elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında en yüksek ağırlık kaybını PVA serilerin yaptığı görülmektedir. Tüm seriler karşılaştırıldığında ağırlık kayıpları birbirine çok yakın sonuçlar vermiştir.

Yapılan bir çalışmada beton, tamir harcı, beton+tamir harcı, beton+epoksi+beton, beton+epoksi+tamir harcı numunelerine ıslanma-kuruma deneyi uygulanmıştır. Islanma kuruma prosedürü şu şekildedir: Suya doygun örnekler 17 saat +50 °C etüvde, 1 saat laboratuvar ortamında, 6 saat 20°C suda bekletilmiş ve toplam 25 çevrim uygulanmıştır. 25 gün sonundaki ağırlık kayıpları betonda %1, tamir harcında %2.33,

beton+epoksi+beton numunelerde %1.02, beton+epoksi+tamir harcı numunelerde %3.14, beton+tamir harcı numunelerde %3.07 olmuştur. Yapılan aynı çalışmada donma-çözülme etkisine maruz bırakılan bu numunelerin daha az ağırlık kaybı yaşadığı görülmüştür. Islanma kuruma etkisinin donma çözülme etkisinden daha çok hasara neden olduğu belirtilmiştir [125].

Üretilen matris harcı tamir harcına benzer bileşenlere sahip olduğundan elde edilen değerler karşılaştırıldığında en yüksek ağırlık kaybına sahip PVA 4L serisine ait numuneler %1.58 ağırlık kaybı ile belirtilen çalışmada yapılan harç numunelerinin ağırlık kaybına %2.33 e ulaşmamıştır. Bu da matris harcının daha geçirimsiz bir yapıda olduğunu göstermektedir.



Şekil 6.15 : Tüm serilerde 28 günlük ağırlık kaybı sonuçları.

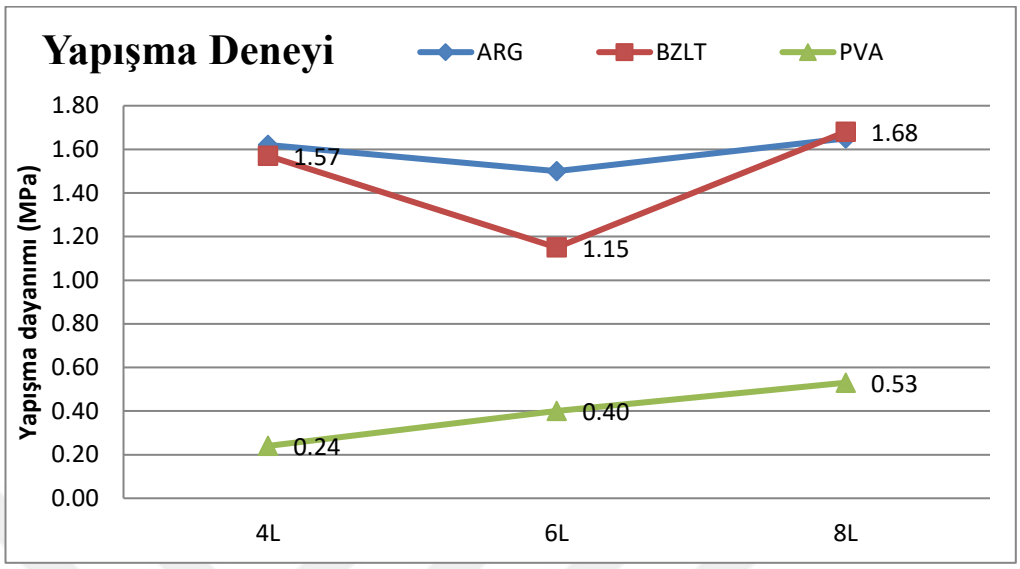
6.5 TRCC Yapışma Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Bu bölümde TRCC numunelere uygulanan yapışma dayanımı deneyi sonuçlarının yorumlanması amaçlanmıştır. Bu sebeple aynı kat sayısına sahip farklı tekstillerle üretilmiş TRCC elemanlara ait deney sonuçları ve aynı tekstille farklı kat sayısında üretilmiş TRCC elemanlara ait deney sonuçları yorumlanmıştır.

6.5.1 Normal koşullarda kürlenmiş plakalarda yapışma (aderans) deneyi

AR Glass, Bazalt ve PVA tekstiller kullanılarak üretilen kompozitler, üretimde kullanılan matris harcı kullanılarak C30 sınıfı bir taban betonuna yapıştırılmıştır. Yapışma (aderans) deney sonuçları grafiklerde karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.

Her bir seride elde edilen verilerin ortalaması alınarak grafik haline getirilmiş ve Şekil 6.16'da gösterilmiştir.



Şekil 6.16 : Yapışma deneyi sonuçlarının karşılaştırması.

Sonuçlar karşılaştırıldığında AR Glass serilerine ait numunelerde 4L serileri 1.62 MPa, 6L serilerine ait numuneler 1.50 MPa ve 8L serileri ise en yüksek Yapışma mukavemeti olan 1.65 MPa değerine ulaşmıştır. AR Glass tekstil kullanılarak üretilen serilerde tekstil kat sayısı arttıkça Yapışma mukavemetinde önemli bir değişim gözlenmemiştir. Numuneler genellikle kompozitin harçla birleştiği bölümden ayrılarak kırılmıştır.

Bazalt serilerine ait numunelerde 4L serileri 1.57 MPa, 6L serilerine ait numuneler 1.15 MPa ve 8L serileri ise en yüksek Yapışma mukavemeti olan 1.68 MPa değerine ulaşmıştır. Bazalt tekstil kullanılarak üretilen serilerde tekstil kat sayısı arttıkça Yapışma mukavemetinde önemli bir değişim gözlenmemiştir. Numuneler genellikle kompozitin harçla birleştiği bölümden ayrılarak kırılmıştır. Bazalt 8L serilerinde bazı numuneler taban betonundan kırılarak göçmeye uğramıştır. Her ne kadar dayanım olarak seriler arasında önemli bir fark tespit edilmemişse de kırılma şekilleri arasında görülen fark tekstil kat sayısının ve tekstil dayanımının önemini ortaya koymaktadır.

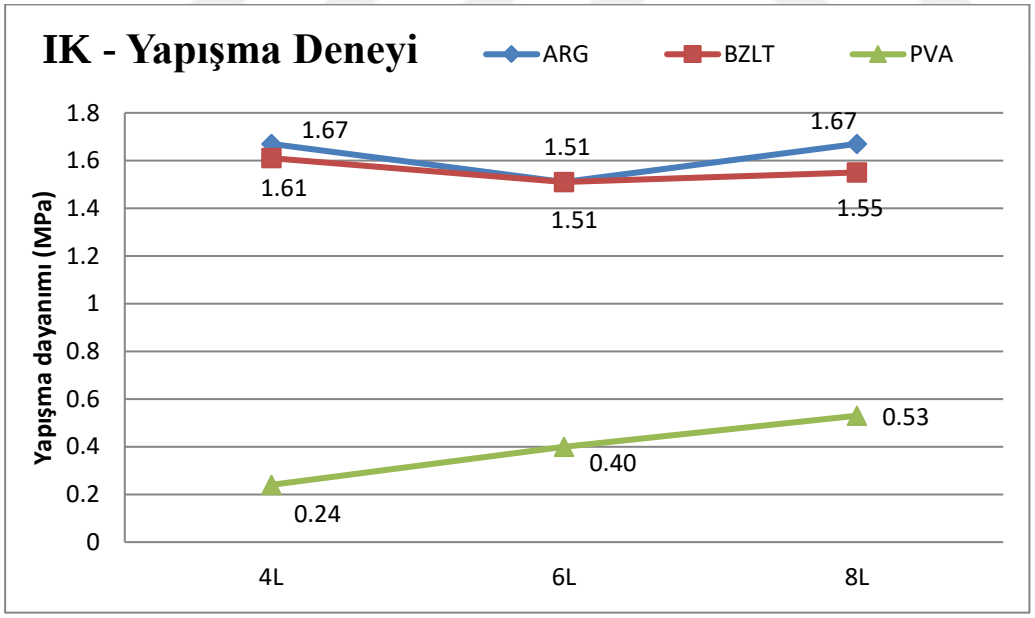
PVA serilerine ait numunelerde 4L serileri 0.24 MPa, 6L serilerine ait numuneler 0.40 MPa ve 8L serileri ise en yüksek Yapışma mukavemeti olan 0.53 MPa değerine ulaşmıştır. PVA tekstil kullanılarak üretilen serilerde tekstil kat sayısı arttıkça Yapışma mukavemetinde artış gözlenmiştir ama mertebe olarak önemli bir değişim

olmamıştır. Numuneler genellikle kompozitin tekstil tabakaları arasından ayrılarak (delamination) kırılmıştır.

Tüm seriler arasında en yüksek Pull – Off dayanımına sahip numuneler Bazalt 8L serisidir. PVA serileri AR Glass ve Bazalt serilerinin sahip olduğu dayanımın ortalama olarak %30 una karşılık gelen bir dayanım elde etmiştir. PVA tekstilin bir dokuma tekstil olması sebebiyle bu tekstil kullanılarak üretilen kompozitlerde yük altında tabakalar kolaylıkla ayrılmıştır. Böylece PVA ile üretilmiş kompozit numunelerde yapışma dayanımı düşük seviyelerde kalmıştır.

6.5.2 Islanma kuruma çevrimi geçirmiş plakalarda yapışma (aderans) deneyi

AR Glass, Bazalt ve PVA tekstiller kullanılarak üretilen kompozit plakalar 28 gün ıslanma kuruma çevrimine tabi tutulmuştur. Bu ıslanma kuruma etkisi geçirmiş elemanlar aynı matris harcı kullanılarak C30 sınıfı bir taban betonuna yapıştırılmıştır. Yapışma (aderans) deney sonuçları grafiklerde karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Her bir seride elde edilen verilerin ortalaması alınarak grafik haline getirilmiş ve Şekil 6.17'de gösterilmiştir.



Şekil 6.17 : Islanma kuruma etkisi geçirmiş plakalarda yapışma deneyi sonuçları.

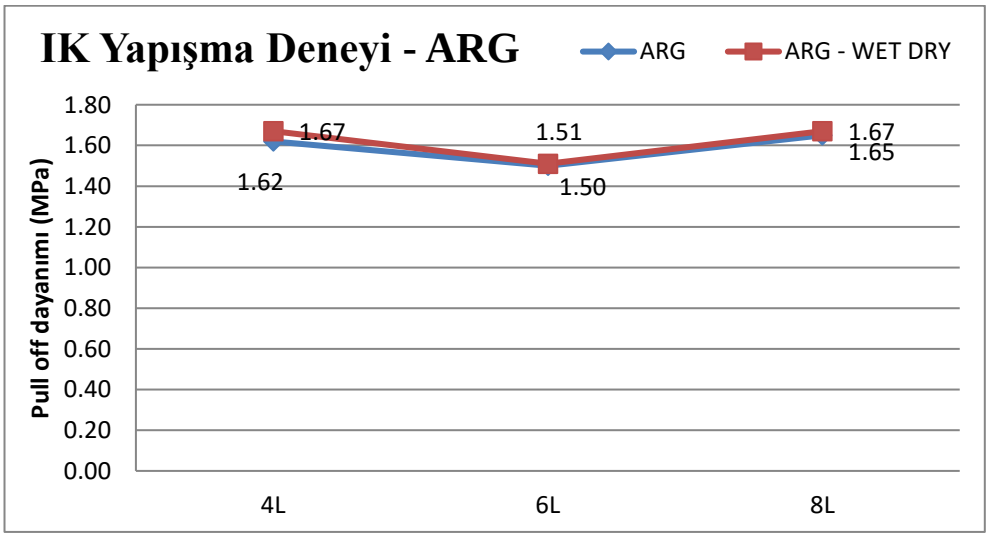
Sonuçlar karşılaştırıldığında ıslanma kuruma çevrimi geçirmiş AR Glass serilerine ait numunelerde 4L serileri 1.67 MPa, 6L serilerine ait numuneler 1.51 MPa ve 8L serileri ise en yüksek Yapışma mukavemeti olan 1.67 MPa değerine ulaşmıştır. AR Glass tekstil kullanılarak üretilen serilerde tekstil kat sayısı arttıkça Yapışma

mukavemetinde önemli bir değişim gözlenmemiştir. Numuneler genellikle kompozitin harçla birleştiği bölümden ayrılarak kırılmıştır.

Bazalt serilerine ait numunelerde 4L serileri 1.61 MPa, 6L serilerine ait numuneler 1.51 MPa ve 8L serileri ise en yüksek Yapışma mukavemeti olan 1.55 MPa değerine ulaşmıştır. Bazalt tekstil kullanılarak üretilen serilerde tekstil kat sayısı arttıkça Yapışma mukavemetinde önemli bir değişim gözlenmemiştir. Numuneler genellikle kompozitin harçla birleştiği bölümden ayrılarak kırılmıştır.

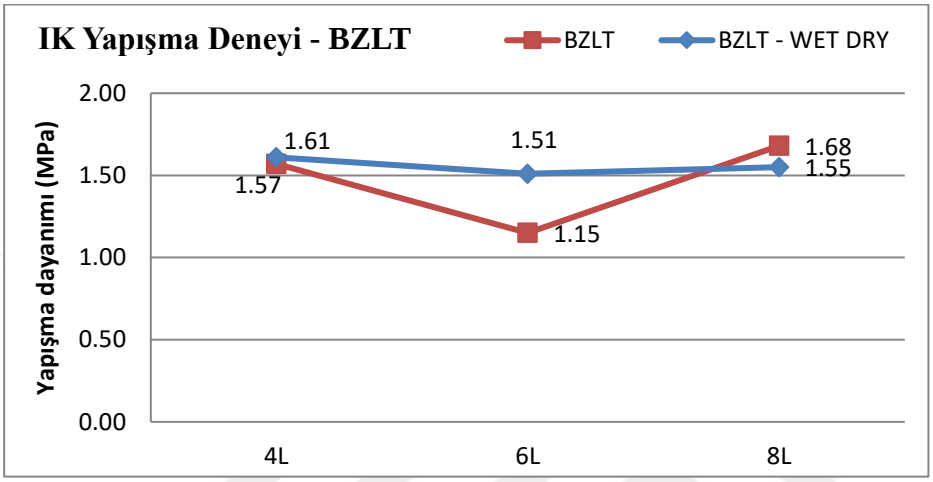
PVA serilerine ait numunelerde 4L serileri 0.29 MPa, 6L serilerine ait numuneler 0.41 MPa ve 8L serileri ise en yüksek Yapışma mukavemeti olan 0.55 MPa değerine ulaşmıştır. PVA tekstil kullanılarak üretilen serilerde tekstil kat sayısı arttıkça Yapışma mukavemetinde artış gözlenmiştir ancak bu değişim önemli bir ölçüde olmamıştır. Numuneler genellikle kompozitin tekstil tabakaları arasından ayrılarak (delamination) kırılmıştır.

Tüm seriler arasında en yüksek Pull – Off dayanımına sahip numuneler AR Glass 8L serisidir. PVA serileri AR Glass ve Bazalt serilerinin sahip olduğu dayanımın ortalama olarak %30 ına karşılık gelen bir dayanım elde etmiştir. PVA ile üretilmiş kompozit numunelerde Yapışma dayanımı çok düşük seviyelerde kalmıştır. Aynı tekstil kullanılarak farklı katlarda teksil içeren serilerin ıslanma kuruma geçirmiş ve geçirmemiş numunelerinde yapışma mukavemeti karşılaştırılmıştır. AR Glass, Bazalt ve PVA tekstil içeren 4L , 6L ve 8L serilerine ait sonuçlar grafik halinde Şekil 6.18, 6.19 ve 6.20'de verilmiştir.



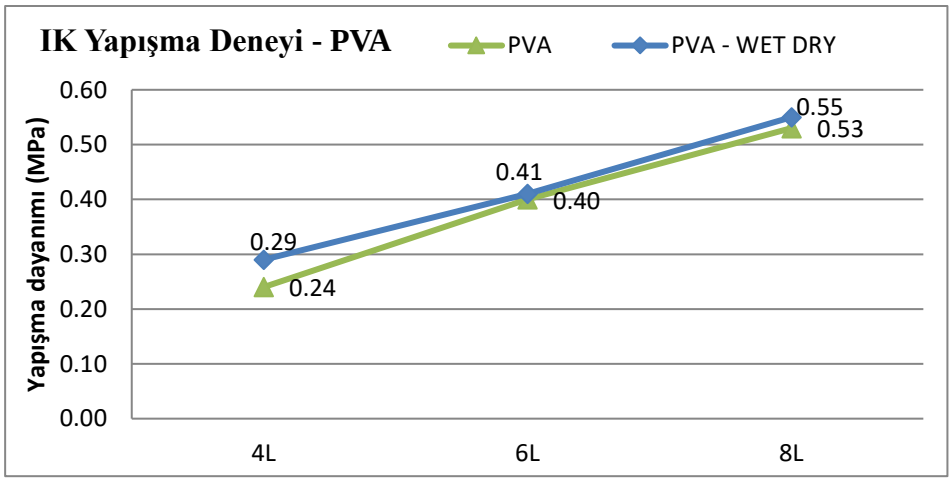
Şekil 6.18 : ARG plakalarda yapışma deneyi sonuçları.

Şekil 6.33'te elde edilen sonuçlar göz önüne alındığında ıslanma kuruma çevrimi geçiren AR Glass tekstil ile üretilmiş plakalarda Yapışma mukavemetinde herhangi bir düşüş yaşanmamıştır. Aksine 4l , 6L ve 8L serilerinde ıslanma kuruma etkisi geçirmeyen elemanlara çok yakın sonuçlar elde edilmiştir. Bu da ıslanma kuruma çevrimi geçiren elemanların herhangi bir dayanım kaybına uğramadığını göstermektedir.



Şekil 6.19 : BZLT plakalarda yapışma deneyi sonuçları.

Şekil 6.19'da elde edilen sonuçlar göz önüne alındığında ıslanma kuruma çevrimi geçiren Bazalt tekstil ile üretilmiş plakalarda Yapışma mukavemetinde herhangi bir düşüş yaşanmamıştır. Aksine 4L, 6L, 8L serilerinde ıslanma kuruma etkisi geçirmeyen elemanlara göre az miktar daha yüksek elde edilmiştir. Bazalt 8L serilerinde ıslanma kuruma etkisi geçirmiş elemanlar geçirmemiş elemanlara göre biraz daha yüksek dayanım göstermiştir. Elde edilen sonuçlar ıslanma kuruma çevrimi geçiren elemanların herhangi bir dayanım kaybına uğramadığını göstermektedir.



Şekil 6.20 : PVA plakalarda yapışma deneyi sonuçları.

Şekil 6.20'de verilen grafikte elde edilen sonuçlar göz önüne alındığında ıslanma kuruma çevrimi geçiren PVA tekstil ile üretilmiş plakalarda Yapışma mukavemetinde herhangi bir düşüş yaşanmamıştır. Aksine 4L , 6L ve 8L serilerinde ıslanma kuruma etkisi geçirmeyen elemanlara çok yakın sonuçlar elde edilmiştir.

ECC adı verilen çimento esaslı kırpık lif içeren numunelere ıslanma kuruma çevrimleri uygulanan bir çalışmada deney prosedürü şöyledir: 20°C suda 24 saat, 55°C suda 22 saat, 2 saat laboratuvar koşullarında bekletme. Bu prosedür tekrarlı dış ortam hava koşullarını (güneşli ve yüksek sıcaklıkta) simule etmek için belirlenmiştir. Çalışmada ıslanma kuruma çevrimi uygulanmış ECC numunelere eksenel çekme deneyi uygulanmıştır. Bu numunelerin eksenel çekme mukavemetinde ıslanma kuruma geçirmeyen numunelere göre %30 kayıp görülmüştür. Islanma kuruma etkisi geçiren numuneler geçirmeyen numunelerin dayanımının %70 ine ulaşmıştır [126].

Yapışma deneyi sonuçları ıslanma kuruma çevrimi geçiren elemanların herhangi bir dayanım kaybına uğramadığını göstermektedir.

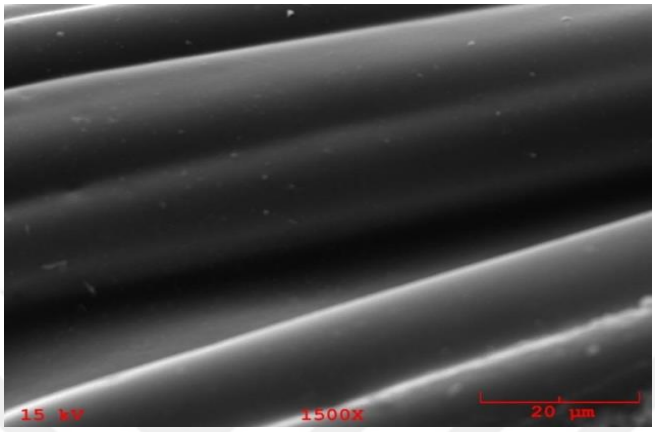
6.6 SEM Görüntülerinin Değerlendirilmesi

Taramali elektron mikroskopu (SEM) görüntüsü yüksek voltaj ile hızlandırılmış elektronların numune üzerine odaklanması, bu elektron demetinin numune yüzeyinde taratılması, taratma sırasında elektron numune ve atomları arasında oluşan girişimler sonucunda meydana gelen etkilerin uygun algılayıcılarda toplanması, bu bilgilerin sinyal güçlendiricileriden geçirildikten sonra bir katot ışınları tüpünün ekranına yansıtılmasıyla elde edilir **[**127].

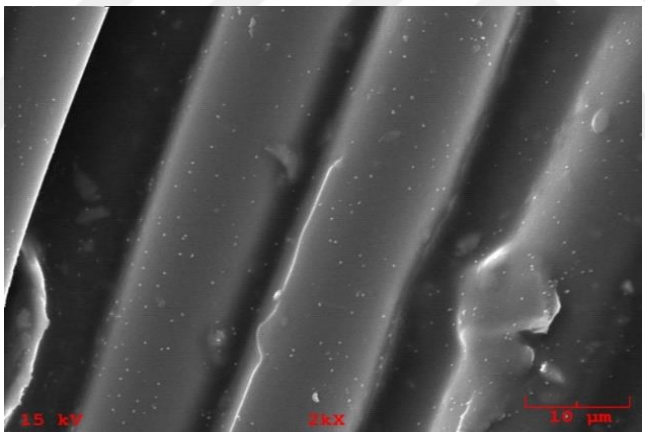
Elektron mikroskobuna yerleştirilecek numuneler temiz olmalıdır, numune büyüklüğü tutucuya uygun olmalıdır. İletken olmayan numuneler elektriksel iletken bir malzemeyle kaplanmalıdır. Bu çalışmada numuneler platin ile kaplanmıştır. Numune SEM içindeki yüksek vakuma dayanabilecek dirence sahip olmalıdır. Şekil değiştirmemeli ve numuneden fazla gaz çıkışı olmamalıdır. Tutucuya iyi yerleştirilmeli hareket etmemelidir. Bu işlem adımları uygulanarak TRCC numunelerden ve matris malzemesinden SEM görüntüleri elde edilmiştir. Elde edilen görüntüler bir sonraki bölümde yorumlanmıştır.

6.6.1 Tekstillerin görüntüleri

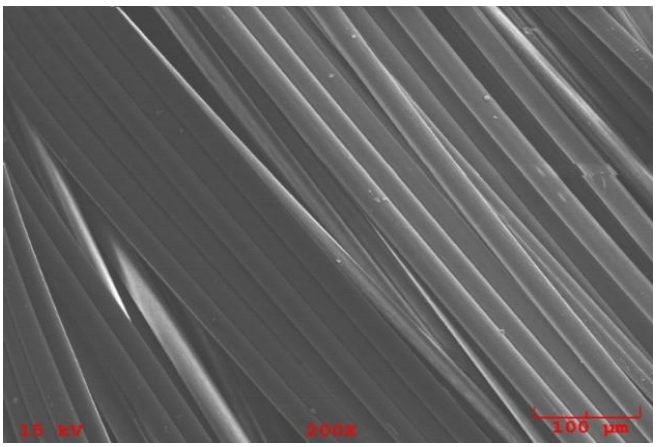
Çalışmada kullanılan 3 adet tekstil olan AR Glass , Bazalt ve PVA tekstillerin mikroskop altında görüntüleri incelenmiş ve SEM fotoğrafları çekilmiştir. Şekil 6.21'de AR Glass Tekstile ait SEM görüntüleri, Şekil 6.22'de Bazalt, Şekil 6.23'te PVA tekstil numunelere ait SEM görüntüleri görülmektedir.



Şekil 6.21 : AR Glass tekstilin SEM görüntüsü.



Şekil 6.22 : Bazalt tekstilin SEM görüntüsü.



Şekil 6.23 : PVA tekstilin SEM görüntüsü.

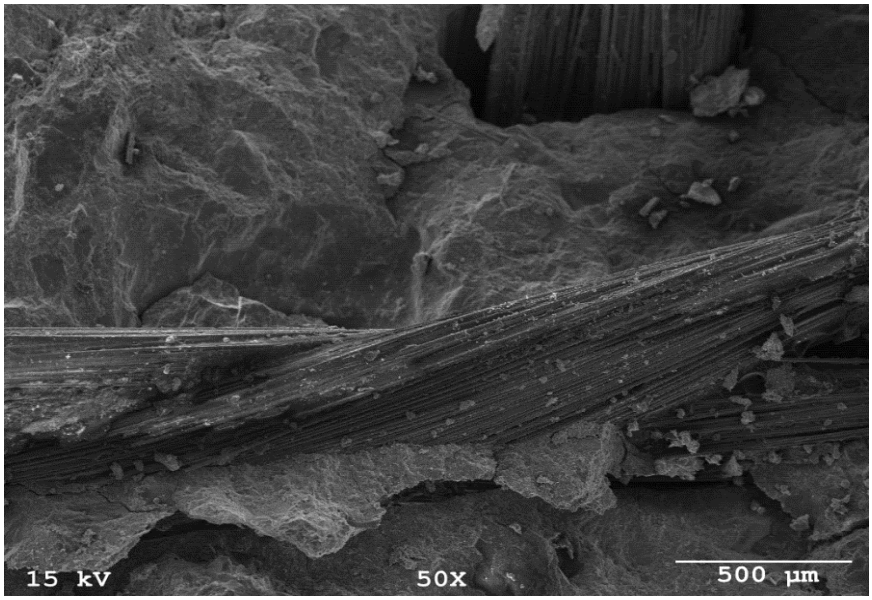
6.6.2 TRCC elemanların görüntüleri

Çalışmada 3 farklı tekstille TRCC üretilmiştir. İç yapıda tekstille matris arasındaki aderans, matrisin tekstil filamentleriyle olan bağı veya penatrasyonu incelenmek istenmiştir. Şekil 6.24'te AR Glass tekstille üretilen TRCC elemanlara ait SEM görüntüleri, Şekil 6.25'te Bazalt ile üretilen, Şekil 6.26'da PVA tekstil ile üretilen TRCC elemanlara ait SEM görüntüleri görülmektedir.

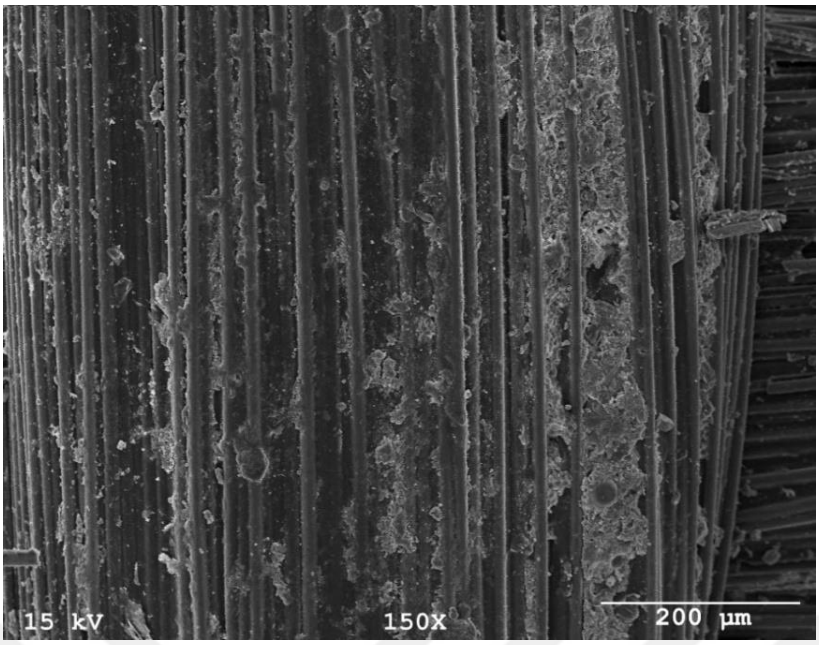
Fotoğraflarda matrisin AR Glass tekstil kullanılarak üretilen kompozitlerde tekstil üzerine iyi penetre olduğu görülmüştür. Matris malzemesi bir çok filamentten oluşmuş multifilament ipliklerin arasına girerek aderansı iyileştirmiştir.

Bazalt tekstille üretilen TRCC elemanlara ait iç yapı incelemeleri şunu göstermektedir. Bazalt filamentlerin arasına matris malzemesi iyice penetre olmuş ve hidratasyon ürünleriyle bu tekstiller kaplanmıştır. Bu da aderans kuvvetini arttırak iyi bir yapışmaya sebebiyet verir. Böylece daha iyi mekanik performans elde edilmesine fırsat sağlar.

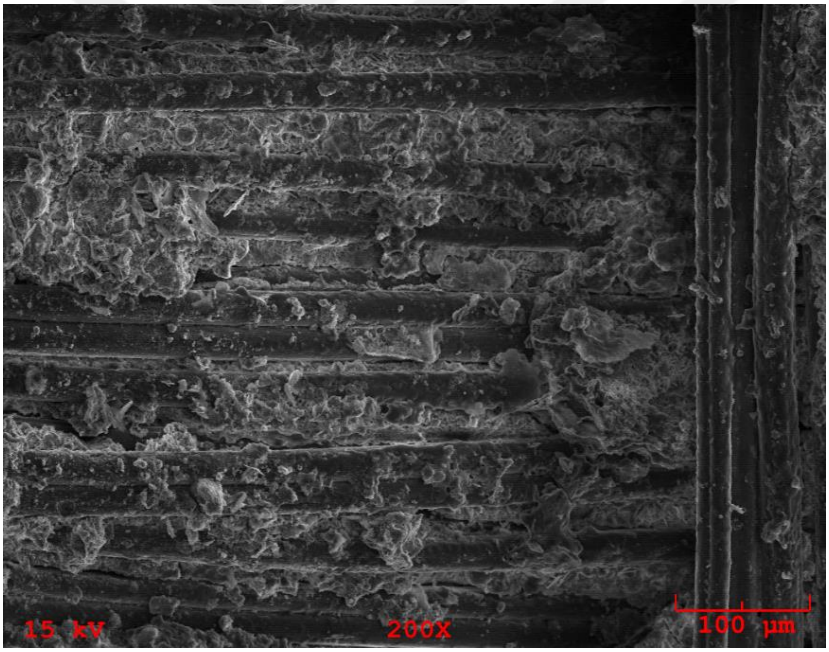
PVA tekstillerle üretilen TRCC elemanlarda iç yapı incelemeleri yapıldığında matris malzemesinin monofilamentler arasına çok iyi penetre olduğu görülmektedir. Burada penetrasyonun iyi olmasının bir sebebi de kalıba sarma işlemi sonrasında dış kalıpla yapılan basınç verme işlemidir. Uygulanan dış basınç sayesinde iplikler arasına matris girer ve aderansı arttırır. Oluşan hidratasyon ürünleri tekstil yüzeyine yapışmış haldedir, böylece aradaki bağ çok kuvvetli olur ve aderans çok iyidir.



Şekil 6.24 : AR Glass tekstille üretilen TRCC elemanların görüntüsü.



Şekil 6.25 : Bazalt tekstille üretilen TRCC elemanların görüntüsü.

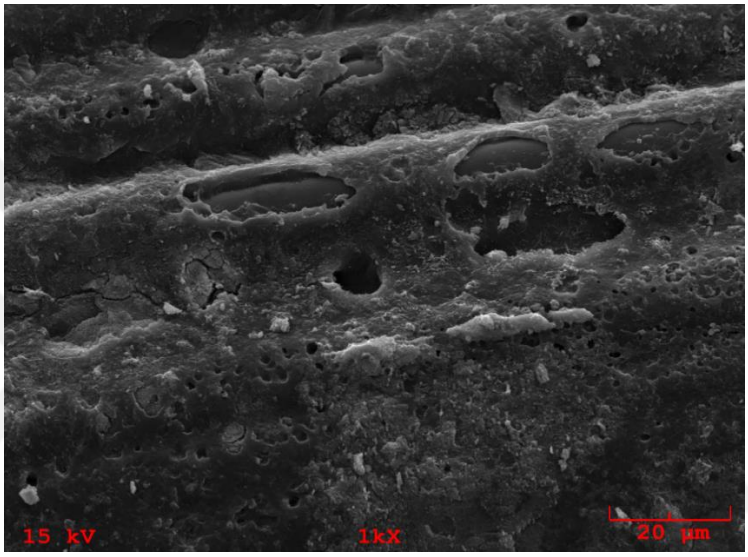


Şekil 6.26 : PVA tekstille üretilen TRCC elemanların görüntüsü.

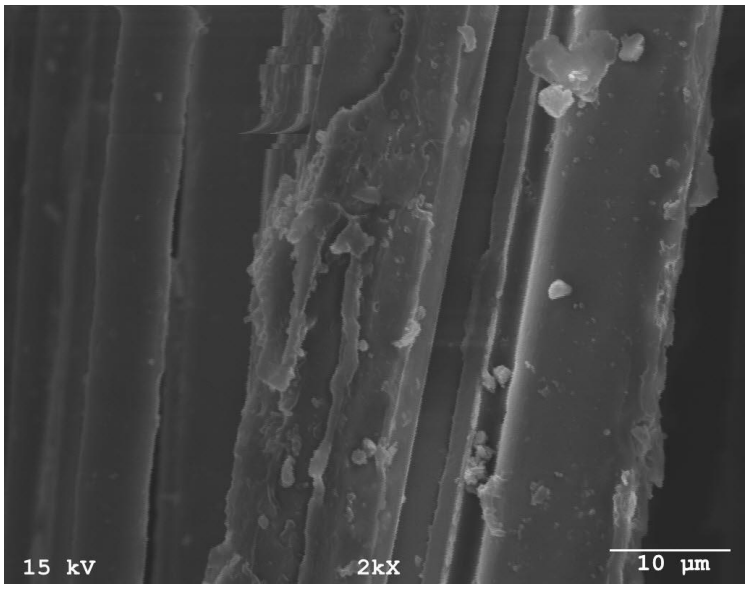
6.6.3 Alkaliye direnç testi geçirmiş tekstillerin görüntüleri

Çalışmada kullanılan 3 adet tekstil olan AR Glass, Bazalt ve PVA tekstillerle üretilmiş ve alkaliye direnç testine tabi tutulmuş TRCC numuneler mikroskop altında incelenmiş ve SEM görüntüleri çekilmiştir. Şekil 6.27'de AR Glass Tekstile ait SEM görüntüleri, Şekil 6.28'de Bazalt, Şekil 6.29'da PVA tekstil numunelere ait SEM görüntüleri görülmektedir.

Alkaliye direnç testi geçirmiş AR Glass tekstillerin iç yapı görüntülerine bakıldığında daha önceki bölümlerde anlatıldığı gibi tekstil üzerinde bulunan kabuki oluşumlar rahatlıkla gözlenmektedir. Bunlar alkaliye direnç testi sonucu olmuş ürünlerdir. Burada tekstilin çapı azalmıştır ve altta tertemiz lif yüzeyi görülebilmektedir. Oluşan yapıda tekstil üzerinde bulunan kabuki yapı ile lif arasında aderans yoktur ve kuvvet uygulandığında kolaylıkla birbirlerinden ayrılarak yük taşıma kapasitesini düşürürler. Alkaliye direnç testi sonucu AR Glass tekstiller ciddi bir bozunma yaşamıştır. Bu da dayanım düşüşü olarak kompozit davranışına yansımıştır.

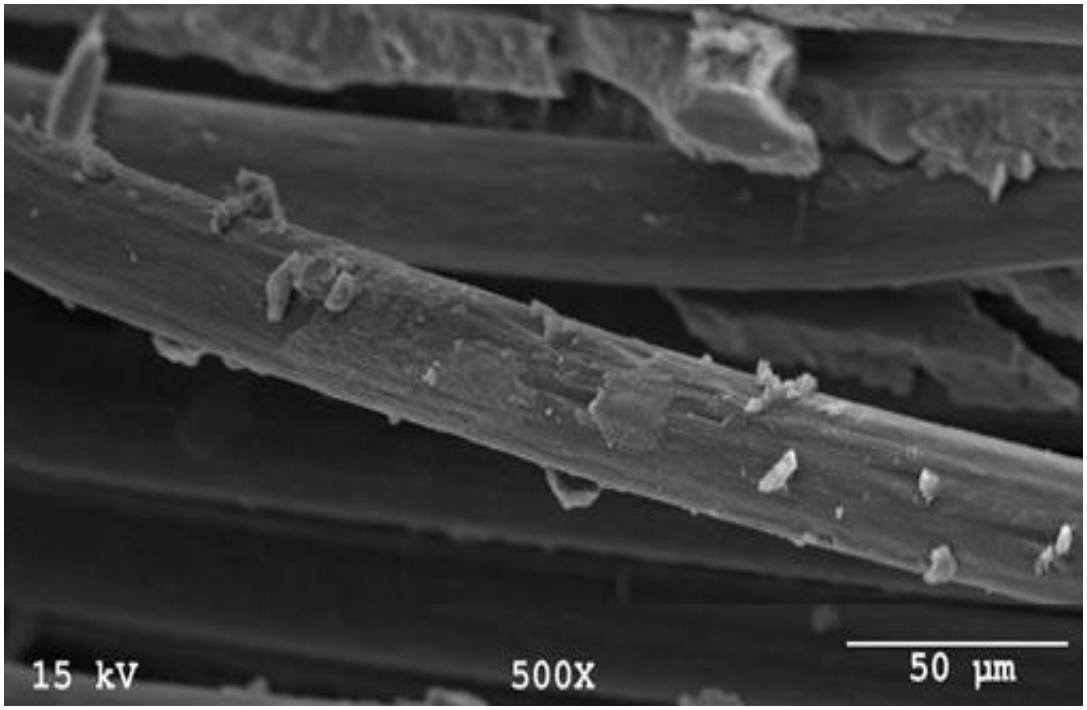


Şekil 6.27 : Alkaliye direnç testi gerçirmiş TRCC numune içerisine gömülü haldeki AR Glass tekstilin görüntüsü.



Şekil 6.28 : Alkaliye direnç testi gerçirmiş TRCC numune içerisine gömülü haldeki Bazalt tekstilin görüntüsü.

Alkaliye direnç testi geçirmiş Bazalt tekstillerle üretilmiş TRCC elemanlara ait iç yapı görüntülerine bakıldığında tekstil ürünlerin üzerinde dıştan içe doğru korozyon ürünlerinin oluştuğu görülmektedir. Aynı kabuki yapı burada da bulunmaktadır. Dıştan içe doğru oluşan bu yapıların lifin etkili kesitini azalttığı yorumlanabilir. Lif ciddi oranda alkaliye direnç testi sonucu bozunmaya uğramıştır. Oluşan ürünler dayanım kaybına sebep olmuştur.



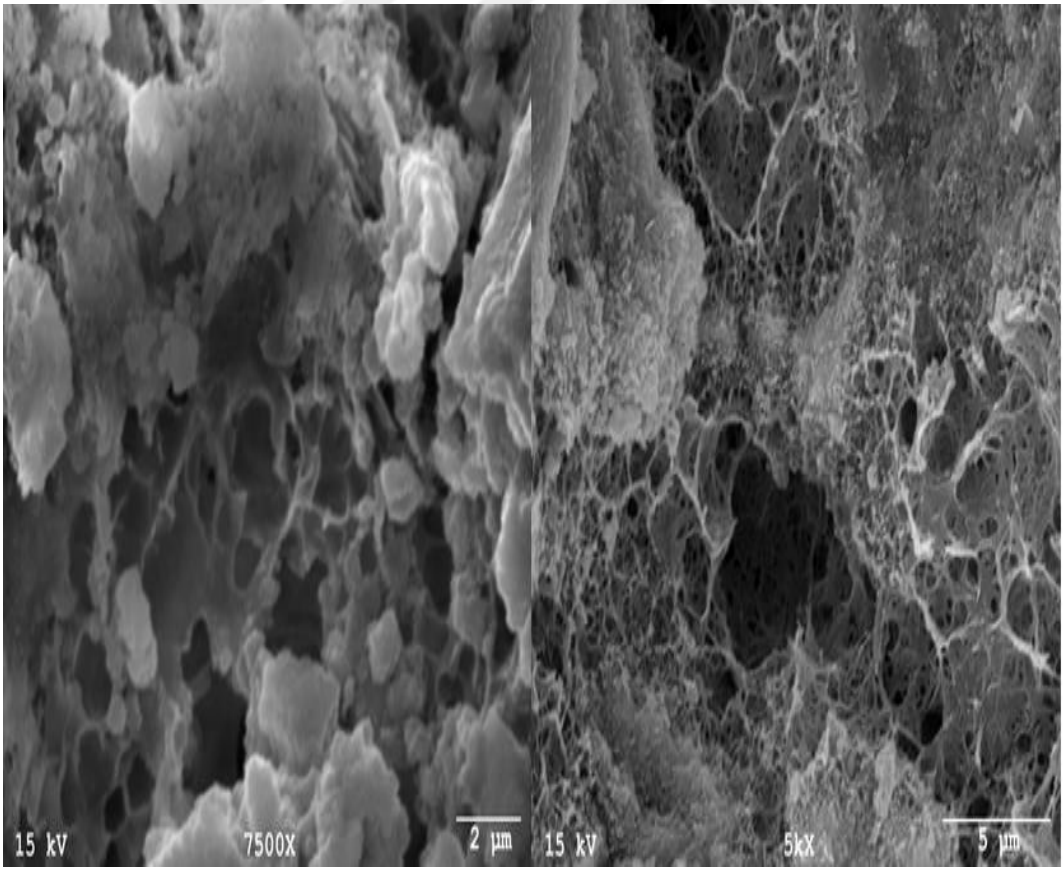
Şekil 6.29 : Alkaliye direnç testi gerçirmiş TRCC numune içerisine gömülü haldeki PVA tekstilin görüntüsü.

Alkaliye direnç testi geçirmiş PVA tekstillerle üretilen TRCC elemanlara ait iç yapı görüntülerine bakıldığında tekstillerin çok önemli bir bozunma yaşamadığı görülmektedir. AR Glass ve Bazalt numunelerde oluşan kabuki yapı burada görülmemektedir. Hidratasyon ürünü olarak bazı yapılar üzerine yapışmış halde bulunmaktadır. Tekstil üzerinde bazı zone (bölge) ler diğer bölgelere göre farklı yapılarda geçişler içermektedir. Bu da tekstilin yaşadığı renk değişimini açıklamaktadır. Beyaz renkteki PVA tekstiller deney sonrası turuncumsu sarı renge çalan bir renge bürünmüştür. Tekstil yüzeyindeki renk değişimi iç yapıdaki tekstil yüzeylerinin değişimiyle açıklanabilir. Önemli bir bozunma yaşamayan PVA tekstillerin alkaliye direnç testi sonrası mekanik özelliklerinde de önemli bir düşüş yaşanmamıştır. Alkaliye dirençli olarak bilinen PVA malzemeler bu özelliğini doğrulamıştır.

6.6.4 Alkaliye direnç testi geçirmiş ve geçirmemiş matrisin görüntüleri

Alkaliye direnç testi geçirmiş numunelerde görülen dayanım kayıplarının sebeplerinin anlaşılması için tekstil malzemelerden görüntü alınmış ve incelenmiştir. Aynı durumu matris için de uygulamak gereklidir. Matriste gerçekleşen bozunmadan kaynaklı dayanım düşüşleri yaşandığı ve bunun nedenleri incelenmiştir. Şekil 6.30'da alkaliye direnç testi geçirmiş ve geçirmemiş matris elemanları karşılaştırılmıştır.

Soldaki görüntüde normal şartlarda kürlenmiş polimer modifiyeli matriste iç yapıda polimer filmi oluşumu gözlenmiştir. Polimer modifiyeli harçlar kurudukça yani zaman geçtikçe iç yapıda film oluşturarak dayanımı arttırırlar. Sağdaki resimde ise alkaliye direnç testi geçirmiş polimer modifiyeli harçların iç yapı fotoğrafları görülmektedir. Sağdaki fotoğrafta iç yapıda oluşan filmlerin açıkça bozunduğu görülmektedir. 80 °C yapılan çalışmalar polimer filmlerinin erime sıcaklıklarının üstüne çıkmıştır. Filmler bulundukları ve yayıldıkları alanda eriyerek küçülmüş ve hacim kaybetmişlerdir.



Şekil 6.30 : Alkaliye direnç testi geçirmemiş matris (sol), alkaliye direnç testi geçirmiş matris (sağ).

6.7 Maliyet Optimizasyonu ve Optimizasyon Sonuçlarının Yorumlanması

Sistem analizi biliminde geliştirilen bazı matematik yöntemler belirli koşullara uyan sistemlerin optimal çözümlerinin verilen bir algoritma ile kesin bir şekilde belirlenmesine olanak verir. Matematik yöntemler deterministik ya da olasılık, statik, dinamik, doğrusal ya da doğrusal olmayan, sürekli veya ayrık (tam sayı) karakterleri bakımından sınıflandırılabilir. Problemin değişkenleri, amaç fonksiyonu ve kısıtlar belirlendikten sonra bunların yapılarına göre kullanılacak optimizasyon yöntemi seçilir. Gerekirse sistem alt sistemlere ayrılarak bunların optimizasyonu yapılır. Elde edilecek optimal çözümün yapılan kabullere karşı duyarlılığın incelenmesi (duyarlılık analizi) önemlidir. Son yıllarda bilgisayarların gelişmesi çeşitli matematik optimizasyon yöntemlerinin gittikçe daha yaygın kullanılmaya başlamasını sağlamıştır [128]. Bu tez kapsamında kullanılacak optimizasyon yöntemi doğrusal (lineer) programlama yöntemidir. Doğrusal programlama yöntemi kısıtları da doğrusal olan bir amaç fonksiyonunun optimum çözümünü verir. Bu amaçla Minitab 18 optimizasyon programı kullanılmıştır. Programa tanıtılması gerekenler temel değişkenler ve amaç fonksiyonudur. Burada temel değişkenler tekstil cinsi, tekstil kat sayısı ve maliyet olarak belirlenmiştir. Amaç fonksiyonu ise dayanımdır. Üç farklı test için temel değişkenler ve amaç fonksiyonu belirlenerek programa very girişleri yapılmıştır. Bu testler eksenel çekme, dört noktalı eğilme ve charpy çarpma deneyleridir. Programa tanıtılan girdiler Çizelge 6.1'de özetlenmiştir.

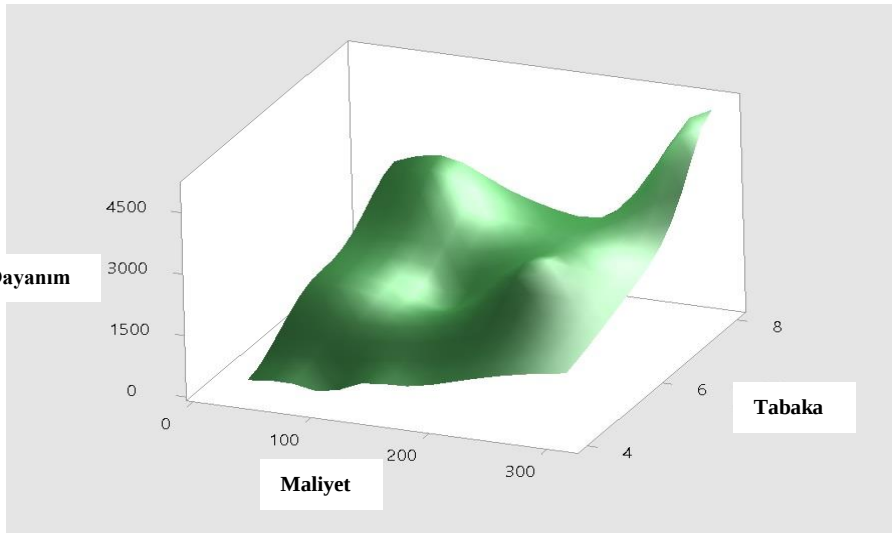
Çizelge 6.1 : Temel değişkenler ve amaç fonksiyonu.

Temel Değişkenler			**Amaç Fonksiyonu**
Tekstil Cinsi	**Tabaka Sayısı**	**Maliyet (TL/m^2)**	
ARG	4 6 8	3	Maksimum Dayanım
BZLT	4 6 8	7.5	
PVA	4 6 8	12	

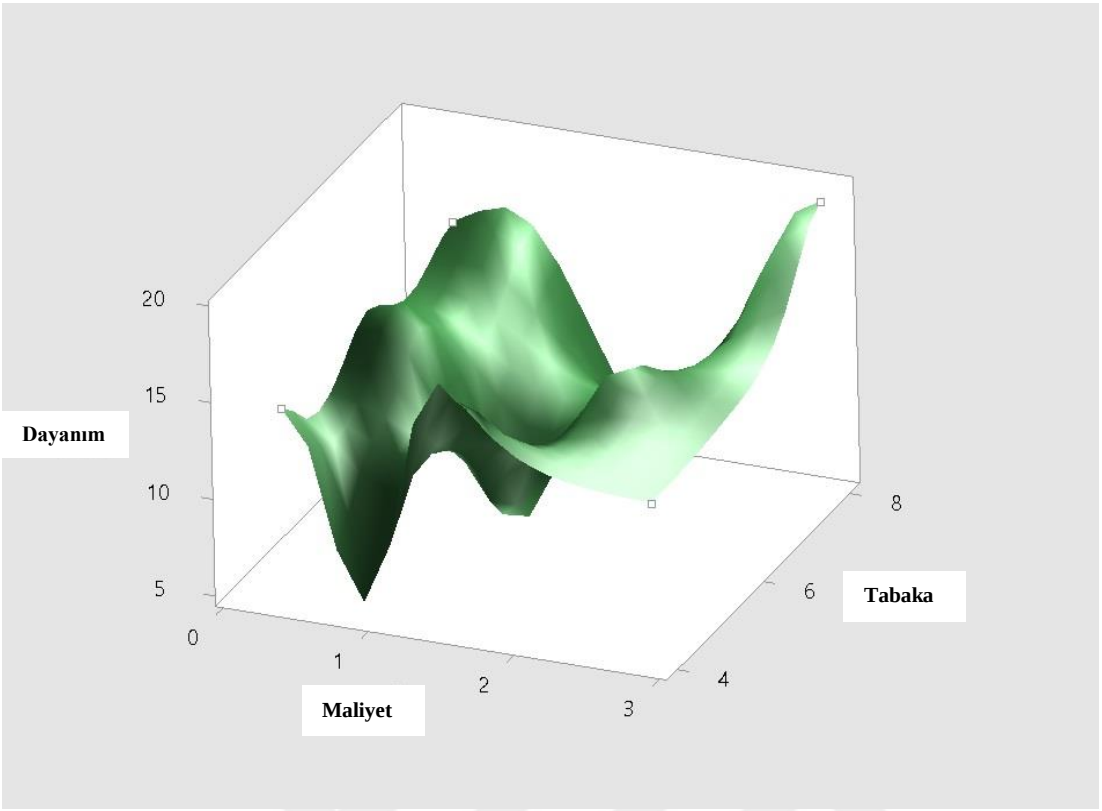
Mekanik deneylerden elde edilen veriler ve kompozit elemanların maliyetleri hesaplanmıştır. Maliyetler hesaplanırken sadece tekstiller göz önüne alınmıştır. Kompozit elemanların maliyetlerinde en önemli girdi tekstil maliyetidir, harç maliyeti önemli bir değişim göstermediği için dikkate alınmamıştır. Hesaplanan maliyetler, tekstil cinsi, kat sayısı ve dayanım verileri Minitab 18.0 programına girilmiştir [129]. Maksimum eksenel çekme dayanımı, eğilme dayanımı ve charpy çarpma dayanımı elde etmek için kullanılması gereken tekstilin cinsi, kat sayısı ve maliyeti aşağıdaki Çizelge'de gösterilmiştir. Tabaka sayısı, maliyet ve dayanım arasındaki ilişki 3 boyutlu yüzey grafik olarak Şekil 6.31, 6.32 ve 6.33'te gösterilmiştir.

Çizelge 6.2 : Maksimum dayanım elde etmek için gerekli değişkenler.

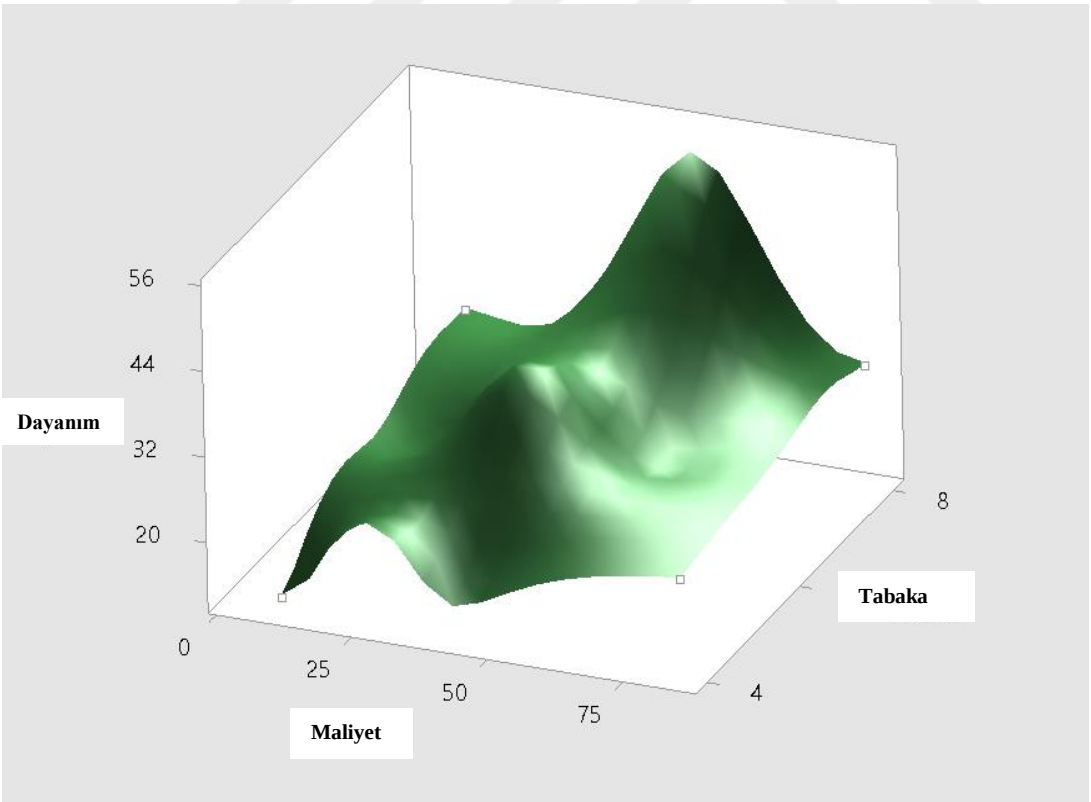
	Temel Değişkenler			**Amaç Fonksiyonu**
Deney	**Tekstil Cinsi**	**Tabaka Sayısı**	**Maliyet (TL)**	**Maksimum Dayanım (MPa)**
Eksenel Çekme	AR Glass	4	0.41	14.8
Deney	**Tekstil Cinsi**	**Tabaka Sayısı**	**Maliyet (kuruş)**	**Maksimum Dayanım (kN)**
Eğilme	Bazalt	6	210	4009.1 kN
Deney	**Tekstil Cinsi**	**Tabaka Sayısı**	**Maliyet (kuruş)**	**Maksimum Dayanım (Joule)**
Charpy	PVA	6	22	36.8



Şekil 6.31 : Eğilme deneyinde dayanım optimizasyonu.



Şekil 6.32 : Eksenel çekme deneyinde dayanım optimizasyonu.



Şekil 6.33 : Charpy çarpma deneyinde dayanım optimizasyonu.

7. TRCC'LERİN YAPISAL ELEMAN OLARAK KULLANIMI

Bu tez kapsamında önerilen yeni yöntem (PPR – Pull Pour Roll) ve makine kullanılarak, tekstil malzemeler ve geliştirilen harç karışımlarından üretilen TRCC elemanlar kolonlarda kalıcı kalıp ve duvarlarda güçlendirme plakası olarak farklı tez çalışmalarında kullanılmıştır.

İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü bünyesinde tamamlanan ‘‘Çimento Esaslı Kompozitlerden Üretilen Yapı Elemanlarının Mekanik Davranışlarının Deneysel Olarak İncelenmesi’’ başlıklı doktora tezinde PPR makinesinde üretilen TRCC içi boş dairesel ve dikdörtgen elemanlar kalıcı kalıp olarak kullanılarak kolon elemanlar üretilmiştir [130].

İTÜ Deprem Mühendisliği ve Afet Yönetimi Enstitüsü bünyesinde tamamlanan ‘‘Çimento Esaslı Kompozit Plakalarla Güçlendirilmiş Bölme Duvarlarının Kayma Dayanımının Belirlenmesi’’ başlıklı yüksek lisans tezinde PPR makinesinde üretilen TRCC plakalar tuğla duvarların güçlendirilmesinde kullanılmıştır [131].

7.1 TRCC'lerin Kalıcı Kalıp Kolon Elemanlar Olarak Kullanımı

Ülkemizde yeni bir malzeme olan tekstil takviyeli çimento esaslı kompozit elemanlar kolonlarda taşıyıcı kalıcı kalıp sistemi olarak uygulanabilir. Böylelikle betonarme taşıyıcı elemanları kuşatarak sargı etkisi oluşturulur ve yapısal elemanın süneklik kapasitesi arttırılır. Bu elemanların kullanımında yetersiz enine donatıya sahip ve deprem sırasında en çok zorlanan taşıyıcı yapısal eleman olan kolonlarda dayanım, rijitlik ve süneklik kapasiteleri artacaktır. Aynı zamanda sözü edilen kalıcı kalıp kompozitlerin kullanımı ile kalıp işçiliği ve enine donatı (etriye) tasarrufu sağlayarak inşaat maliyetlerinde azalmalara sebep olacaktır.

Bahsedilen tez çalışması kapsamında, yeni nesil kompozit taşıyıcı elemanlar üretilmiş ve betonarme kolonlarda kalıcı kalıp olarak kullanılmıştır. Kompozit taşıyıcı elemanların üretilmesi için PPR (Pull-Pour-Roll) yöntemi kullanılmıştır. Kompozit taşıyıcı ürünleri oluşturmak için yeni nesil polimer takviyeli matris harçları

kullanılmıştır. Çalışma kapsamında üç farklı tekstil (AR Glass, Bazalt ve PVA), iki farklı matris harcı kullanılarak dairesel ve dikdörtgen kesitli içi boş, narin ve üç boyutlu taşıyıcı kompozit elemanlar üretilmiştir. Üretilen kompozitler ile kalıcı kalıpla sargılanmış kolonlar oluşturularak 5 adet dairesel, 4 adet dikdörtgen tam ölçekli betonarme kolon imal edilmiştir. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmeliğe (2007) uygun ve uygun olmayan dört adet referans numunesiyle beraber toplamda 13 adet kolon üretilmiştir [132]. Üretilen betonarme kolonlar laboratuvar ortamında sabit eksenel yük ve tersinir performansları incelenmiştir. Deneysel sonuçlarla elde edilen dayanım, rijitlik, süneklik, enerji tüketim kapasitesi, yapısal sönüm ve göçme hasarları değerlendirilerek kalıcı kalıp kompozit kolon numunelerin referans numunelere göre performansları belirlenmiştir. Bahsedilen tez kapsamında üretilen içi boş dairesel ve dikdörtgen kalıcı kalıplar Şekil 7.1'de gösterilmiştir.



Şekil 7.1 : Dairesel ve dikdörtgen kalıcı kalıplar.

Bahsedilen doktora tezi kapsamında üretilen içi boş TRCC elemanlar içine donatı yerleştirilmiştir. Kolon numunelerin hazırlık aşamaları Şekil 7.2' de gösterilmiştir. Bu şekilde üretilen geleneksel dikdörtgen kolon kalıbı (solda), TRCC elemanlardan üretilen dikdörtgen kalıcı kalıp (ortada), hem geleneksel hem TRCC elemanlarla üretilen dairesel kolonlar (sağda) görülmektedir.



Şekil 7.2 : Geleneksel ve kalıcı kalıplar.

Kalıbı ve donatısı hazırlanan bu elemanların içine beton yerleştirilirek kolon elemanlar üretilmiştir. 1 gün sonra beton sertleştiğinde geleneksel kalıplar sökülmüştür. Kalıcı kalıp elemanlar numune üzerinde kalmıştır. Üretilen kolon elemanlar Şekil 7.3'te gösterilmiştir.



Şekil 7.3 : Kalıcı kalıplı kolon elemanlar.

Yapılan tez çalışmasında kompozit kalıcı kalıpların kullanılması suretiyle, beton sargı etkisini tüm kolon boyunca sağlayarak kolonların düşey ve yatay yük taşıma kapasitelerini artırmak, daha sünek taşıyıcı sistemler elde etmekle birlikte, inşaat süresini kısaltmak ve inşaat kalitesini iyileştirmek hedeflenmiştir.

Kalıcı kalıp kompozitlerin üretiminde kullanılan yüksek performanslı polimer takviyeli harç karışımına bağlı olarak, tüm kompozit numunelerde ilk çatlak oluşumunun geciktiği ve oluşan çatlakların genişliğinin ise referans numunelerine göre daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Kompozit kalıcı kalıplarla üretilen numunelerin yük taşıma kapasitelerinin referans numunelerin yük taşıma kapasitelerine göre yüksek değerlere ulaştığı görülmüştür. Bazalt tekstil kullanılarak üretilen 4 katlı kompozit kalıcı kalıpların kullanıldığı hem dairesel hem de dikdörtgen enkesitli kolonların yatay yük taşıma kapasitesi, diğer tekstil türleri (AR Glass ve PVA) ile üretilen kompozitlerin kullanıldığı kolonların yük taşıma kapasitelerinden oldukça yüksek mertebededir. Dairesel kolonlarda süneklik değerleri referans numunelere göre, itme ve çekme yüklemesinde önemli derecede artmıştır. Taşıyıcı sistem, tekstil tabaka sayısı arttıkça daha sünek davranmıştır. Dairesel kolonlarda kompozit numunelerin tersinir tekrarlı yükler altında yaptıkları enerji yutma miktarlarının, referans numunelerin enerji yutma miktarlarının üzerinde olmasına bağlı olarak kompozit kalıcı kalıpların kullanıldığı kolonlarda deprem performanslarının iyileştirildiği de görülmüştür. Kalıcı kalıplı dikdörtgen kolonların çevrim yüklemeleri altında yaptıkları enerji tüketimi yönetmeliğe uygun olmayan referans numunesine göre önemli derecede artmıştır.

Kalıcı kalıp kompozitlerin inşaat endüstrisinde kullanımı ile kalıp işçiliği ortadan kaldırılmış ve enine donatıda tasarruf sağlanmıştır. Aynı zamanda yapısal kolon elemanlar hızlı ve kolaylıkla üretilmiştir. Bahsedilen tez kapsamında yapılan deneysel çalışmaların sonunda, geleneksel kalıpların yerine veya bu kalıplara alternatif olarak yeni ve yenilikçi kalıcı kalıp sistemleri kullanılarak yapısal elemanların performansları arttırılmıştır.

7.2 TRCC'lerin Duvar Güçlendirme Plakası Olarak Kullanımı

Tuğla örgülü bölme duvarlar, yapılar içerisinde yaşam alanı olarak kullanılan mekânları birbirinden ayıran, betonarme çerçeve sistemlerin mimari olarak ihtiyacını karşılayan birimlerdir. Bunun yanında bölme duvarların statik olarak yapı sistemlerine

yaptıkları dayanım ve rijitlik katkısı ihmal edilmektedir. Hâlbuki tuğla duvarların taşıyıcı sistemlere katkısı göz ardı edilemeyecek kadar önem arz etmektedir. Bununla beraber bölme duvarlar betonarme yapı elemanlarını rüzgâr, kar, yağmur gibi olumsuz çevre koşullarına karşı korumaktadır.

Depremlerin meydana getirdiği hasarlar üzerinde yapılan araştırmalar ve gözlemler, bölme duvarların da taşıyıcı sistem davranışı üzerinde etkisinin olduğunu ortaya çıkarmış, projelendirilme aşamasında bölme duvarların da etkisinin göz önüne alınması konusunda gelişmeler sağlanmıştır. Bahsedilen tez çalışması kapsamında, tekstil donatılı çimento esaslı kompozit plakalar üretilmiştir. Bu kompozit plakalar 360x360 mm boyutunda kesilmiştir. AR Glass ve PVA tekstil kullanılarak üretilen 4 ve 6 kat tekstil içeren plakalarla güçlendirme yapılmıştır. Üretilen güçlendirme plakalarının içerdiği tekstil cinsi ve kat sayısının maksimum kayma dayanımına katkısı araştırılmıştır. Duvar numunelerinin hazırlık aşamasına ait görseller Şekil 7.4'te verilmiştir.



Şekil 7.4 : TRCC plaka ile güçlendirilmiş tuğla duvar.

Güçlendirilen bölme duvarların mevcut betonarme yapıların deprem etkisi altındaki davranışına katkısının belirlenmesi araştırılmıştır. Güçlendirilmiş bölme duvarların kayma dayanımlarının belirlenmesi ve betonarme çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesine olan etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Bu kapsamda 9 adet 760 x 760 mm ebatlarında bölme duvar üretilmiş ve kayma dayanımı deneyleri

gerçekleştirilmiştir. Kayma dayanımı deney düzeneği Şekil 7.5'te verilmiştir. Bölme duvarların bir veya iki yüzü tekstil donatılı çimento esaslı kompozit plakalarla güçlendirilmiştir. Güçlendirilen numunelerde monotonik yükleme yapılmıştır. Kayma deneyi sonucunda elde edilen kayma dayanımı, kayma şekil değiştirmesi ve kayma modülü değerleri incelenmiş ve güçlendirilmemiş referans numuneyle karşılaştırılmıştır.



Şekil 7.5 : Tuğla duvar kayma deneyi.

Numunelerin göçme durumlarına ait görseller Şekil 7.6'da verilmiştir. Tekstil donatılı çimento esaslı kompozit plakalarla güçlendirilen duvarlarda göçme derz bölgelerinden ayrılma ya da tuğlaların kırılmasıyla oluşmuştur.



Şekil 7.6 : Tuğla duvar kayma deneyinde göçme durumu.

4 kat AR Glass içeren plakalarla bir yüzü güçlendirilen duvar numuneleri referans numunelerle karşılaştırıldığında maksimum kayma dayanımında %4 artış, maksimum

kayma şekil değiştirmesinde %15 artış gözlenmiştir. 4 kat AR Glass içeren plakalarla iki yüzü güçlendirilen duvar numuneleri referans numunelerle karşılaştırıldığında maksimum kayma dayanımında %90 artış, maksimum kayma şekil değiştirmesinde %114 artış gözlenmiştir. Güçlendirilmiş numuneler arasında maksimum kayma dayanımı en yüksek olan duvar numuneleri bu seriye aittir.

Tüm deney sonuçları karşılaştırıldığında AR Glass tekstil ile üretilen plakalarla güçlendirilen duvarların kayma etkisindeki performansı PVA ile üretilen plakalarla güçlendirilenlerden daha iyidir. İki yüzeyi güçlendirilen numuneler tek yüzeyi güçlendirilenler duvarlara göre daha iyi performans göstermiştir.

Bahsedilen tez kapsamında mevcut betonarme binalarda bulunan taşıyıcı olmayan tuğla duvarların güçlendirilmesi için yeni bir yöntem önerilmiştir. TRCC plakalarla duvar güçlendirme basit, pratik ve hızlı bir yöntem olup kayma dayanımı performansı açısından da başarılı sonuçlar göstermiştir.

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Dayanım ve dayanıklılık açısından yüksek performanslı çimento esaslı kompozitler üretmek bu tezin başlıca amacıdır. Bu amaca yönelik mekanik ve dürabilite deneyleri yapılmıştır. Mekanik deneyler; eksenel çekme deneyi, dört noktalı eğilme deneyi, Charpy çarpma deneyi ve yapışma (aderans) deneyidir. Dürabilite deneyleri ise alkaliye direnç testi ve ıslanma kuruma çevrimidir. Dürabilite etkisi geçirmiş elemanlarda dayanım kaybının belirlenebilmesi için alkaliye direnç testi yapılarak elemanlarda eksenel çekme deneyi tekrarlanmıştır. Bu deney sonuçları ile alkaliye direnç testi geçirmeyen kompozitlerin eksenel çekme dayanımları karşılaştırılmıştır. Ayrıca, alkaliye direnç testi geçirmiş numunelerde tekstil ve matris yapılarındaki bozunmalar iç yapı incelemeleriyle ortaya konmuştur. Islanma kuruma etkisi geçirmiş panellerde de yapışma deneyi tekrarlanmıştır. Deneysel çalışmalar kapsamında elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

1) Tez kapsamında üretilen TRCC kompozitler literatürde ve uygulamada mevcut olmayan PPR yöntemi ile oldukça pratik bir şekilde üretilmiştir. Bu yöntem sayesinde üretilen TRCC kompozitlerin mekanik ve durabilite özellikleri geliştirilmiştir.

2) Geliştirilen harçlardaki polimerlerin hava içeriği deneyleri sonucunda harç bünyesinde hava sürüklenmesine neden olduğu belirlenmiştir. Bu deneyler sonucunda, polimer cinslerine bağlı olarak lateks (sıvı) polimerle üretilen harçlardaki hava içeriği %6.5~14 arasında değişirken yeniden dağılabilir toz polimerlerle üretilen harçların hava içeriğinin ise %3.5~10 aralığında değiştiği görülmüştür.

3) TRCC'lerin dayanım ve dayanıklılık özellikleri üzerinde kompoziti oluşturan harçlardaki hava içeriğinin önemli bir faktör olduğu bilinmektedir. Bu kapsamda TRCC'lerin üretiminde kullanılan polimer katkılı harçlarda sürüklenmiş hava miktarını azaltmak amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, karışıma köpük kesici katkı eklenerek hava içeriği deneyleri tekrarlanmış ve köpük kesici katkıların hava içeriğine olan etkisi araştırılmıştır. Bu araştırmalar

sonucunda, üretilen tüm harçlarda köpük kesici katkıların hava içeriğini önemli bir ölçüde azalttığı görülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre polimer katkılı harçlardaki hava içeğini azaltmak için karışıma malzemenin özelliklerine bağlı olarak köpük kesici katkı ilave edilmesi önerilmektedir.

4) Polimer katkılı harçlardaki hava içeriğini azaltmak amacıyla kullanılan köpük kesici malzemenin köpük kesici katkı içermeyen harçlarla karşılaştırıldığında bu harçların işlenebilirliğini artırdığı ve akışkanlaştırıcı etki gösterdiği görülmüştür.

5) Polimer katkı kullanımının harçların basınç dayanımını azalttığı bilinmektedir. Bu kapsamda hem lateks hem de toz polimer kullanılarak üretilen harçların basınç dayanımları incelenmiştir. Elde edilen basınç dayanımları karşılaştırıldığında yeniden dağılabilir toz polimerlerle üretilen harçların lateks serilere göre daha yüksek basınç dayanımı gösterdiği görülmüştür. Bununla birlikte harçların polimer içeriği arttıkça basınç dayanımları azalmıştır.

6) Polimer katkı kullanımının harçların eğilme dayanımını artırdığı bilinmektedir. TRCC kompozitleri oluşturan harçların eğilme dayanımları üzerinde polimer katkı türlerinin etkisi araştırılmıştır. Bu kapsamda, harç karışımlarında kullanılan lateks ve toz polimerlerin harçların eğilme dayanımlarına olan etkileri incelenmiştir. Eğilme dayanımları karşılaştırıldığında yeniden dağılabilir toz ile üretilen harçların eğilme dayanımları latekslerle üretilen harçların eğilme dayanımlarından daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Aynı zamanda, harçlardaki polimer katkı içeriği arttıkça harçların eğilme dayanımlarında tedrici de olsa artışlar gözlenmiştir.

7) TRCC'lerde aynı tekstil tipleri esas alınmak üzere farklı tekstil tabaka sayısında üretilen kompozitlerin eksenel çekme dayanımları üzerindeki etkileri RILEM TC 232 standart koşulları dikkate alınarak araştırılmıştır. Bu deneysel çalışmalar sonucunda AR Glass tekstilerle üretilen TRCC elemanlarda kompozitin içerdiği tabaka sayısı arttıkça dayanım düzenli olarak artmıştır. Bazalt tekstillerle üretilen TRCC elemanlarda eksenel yük numunenin en kesit boyutlarındaki (kalınlık) artışla aynı paralelikte artmadığından eksenel çekme dayanımı tabaka sayısı arttıkça düzenli olarak artmamıştır ancak eksenel

çekme yükü kapasitesi düzenli olarak artmıştır. Aynı durum PVA tekstillerle üretilen TRCC elemanlarda da görülmüş numune kalınlığı artarken eksenel çekme yükü aynı oranda artmadığından dayanım düzenli olarak artmamış ancak eksenel çekme kapasitesi artmıştır.

8) Eğilme deneylerinde PVA TRCC elemanlar en yüksek sehime sahip numuneler olmuştur. AR Glass TRCC ve Bazalt TRCC elemanlarsa PVA TRCC elemanlara göre daha düşük sehim yapmıştır.

9) Eğilme deneylerinde aynı tekstille üretilen serilerde tekstil kat sayısı arttıkça eğilmede yük taşıma kapasitesi artmış, numunenin yaptığı sehim azalmıştır.

10) Charpy çarpma deneylerinde en yüksek peformans PVA dokuma tekstil ile üretilen TRCC kompozitlerde gözlemlenmiştir. Mesh (ızgara) şeklinde olan Bazalt ve AR Glass tekstillerle üretilen kompozitler, PVA dokuma tekstil ile üretilen kompozitlere göre daha düşük performans göstermiştir. Bu sonuçlara göre TRCC kompozitlerin Charpy çarpma dayanımları üzerinde tekstillerin örgü tiplerinin etkili olduğu ve dokuma mesh tekstillerden daha iyi performansa sahip olduğu belirlenmiştir.

11) Yapışma (aderans) deneyi sonucunda mesh tekstillerle üretilen kompozitlerin kırılma şekilleri ile dokuma tekstil ile üretilen kompozitlerin kırılma şekilleri birbirinden farklılaşmıştır. PVA tekstil ile üretilen TRCC elemanlar tabakalar arası ayrılma sonucunda kırılmıştır. AR Glass ve Bazalt plakalarda yapılan yapışma deneyinde ya birleşme yüzeyinde kırılma oluşmuştur.

12) Islanma kuruma çevrimleri sonucunda numunelerin köşelerinde herhangi bir kıvrılma (warping) meydana gelmemiştir. Ağırlık kaybı sonuçları çimento esaslı malzemelerin ağırlık kaybına yakın mertebelerdedir.

13) Alkaliye direnç etkisine maruz bırakılan numunelerin eksenel çekme deneylerinde dikkat çekici sonuçlar elde edilmiştir. En yüksek dayanım kaybı yüzey kaplamasız Bazalt tekstil ile üretilen serilerde görülmüştür. Bazalt serilerine ait numuneler matris çatlama dayanımına ulaşamadan kırılmıştır. AR Glass serilerine ait numuneler eksenel çekme grafiğinin çoklu çatlakların oluşumu aşamasında kırılırken daha az dayanım kaybı yaşamıştır. PVA seriler ise en düşük dayanım kaybı yaşayan TRCC serileri olmuştur.

14) Alkaliye direnç etkisine maruz bırakılmış kompozit numunelerin iç yapı incelemeleri ESEM cihazıyla yapılmıştır. Bu incelemeler sonucunda, AR Glass tekstillerin yüzeyinde bozulmalar (korozyon) oluştuğu ve tekstil kesitinin azaldığı gözlenmiştir. Bazalt tekstillerde de aynı bozulmaların ve değişikliklerin oluştuğu tespit edilmiştir. TRCC kompozitleri oluşturan tekstillerdeki bu bozulmalar kompozitlerin eksenel çekme dayanımlarında yüksek mertebelerde azalmalara neden olmuştur. Alkaliye direnç etkisine maruz kalmayan kompozitlerin eksenel çekme dayanımları esas alındığı zaman alkaliye direnç testi sonucunda AR Glass tekstillerle üretilen numunelerde %70, bazalt tekstille üretilen numunelerde %80 , PVA ile üretilen numunelerde ise %17 dayanım kaybı oluştuğu belirlenmiştir. Alkaliye direnç etkisi geçirmiş PVA tekstillerle üretilen numunelerde yapılan ESEM incelemeleri sonucunda diğer TRCC kompozit numunelerdeki tekstiller üzerinde oluşan bozulmalar ve tekstil kesitindeki azalmaların oluşmadığı görülmekle beraber PVA tekstillerin renginin beyazdan sarıya değiştiği gözlenmiştir. Bu deney sonuçlarına göre PVA tekstillerin alkali ortamlara dayanıklı olduğu tespit edilmiştir.

15) Doğrusal optimizasyon yöntemiyle tabaka sayısı ve kompozit maliyeti değişkenleri kullanılarak deneyler sonucunda elde edilen dayanım değerlerini maksimize etmek için kullanılması gereken tekstil tipi ve tabaka sayısı belirlenmiştir. Optimizasyon çalışmaları sonucunda eksenel çekme deneylerinde maliyet ve dayanım açısından en optimum performans gösteren seriler AR Glass tekstil ile üretilen 4 tabakalı TRCC elemanlardır. Dört noktalı eğilme deneylerinde en optimum performans sahibi olan seriler Bazalt tekstil ile üretilen 6 tabakalı TRCC elemalardır. Charpy çarpma deneylerinde en optimum sonuçlara sahip olan seriler PVA tekstil ile üretilen 6 tabakalı TRCC elemanlardır.

16) İleri çalışmalarda alkaliye direnç testinin farklı sıcaklıklarda uygulanması önerilir. Farklı dürabilite etkilerine (klorür, asit, sülfat etkisi, donma çözülme etkisi vb.) maruz bırakılacak TRCC kompozitlerde mekanik deneyler tekrarlanarak dayanım kayıplarının detaylı bir şekilde araştırılması da önerilir.

KAYNAKLAR

[1] **Hegger, J.** (2001). *SFB 532, SFB 528: Textilbeton*, TU Dresden, Aachen.

[2] **Curbach, M.** (2003). SFB 532 ; SFB 528: Textile Reinforced Structures. Proceedings of the 2nd Colloquium, Dresden, September 29-01.

[3] **Roye, A., Stüve, J., Gries, T.** (2005). Definition for the differentation of 2D- and 3D- textiles – Part 1: production in one-step-processes, *Technical Textiles, 48* (3), 15-18.

[4] **Triantafillou, T., C.** (2015). *Textile Fibre Composites in Civil Engineering*, Woodhead Publishing: No.60, edited by Thanasis Triantafillou, Greece.

[5] **Brameshuber, W.** (2006). *Textile Reinforced Concrete- State of the Art Report of RILEM TC 201*, Aachen.

[6] **Owens Corning** (2017). *CEMFIL fiber material technical data sheet*.

[7] **Owens Corning** (2017). *Composite Solutions Guide*, pp. 119-125.

[8] **Offerman, P., Abdkader, A., Engler, T., Schierz, M.** (2001). Basics of retrofitting with textile reinforcements. In: SFB 528, 25-74, Dresden.

[9] **Brameshuber, W., Brockmann, T.** (2001). Development and Optimization of Cementitious Matrices for Textile Reinforced Elements, Proceedings of the 12th International Congress of the International Glassfibre Reinforced Concrete Association, 237-249, 14-16 May, Dublin.

[10] **Ohama, Y.** (1984). *Polymer-Modified Mortars and Concretes, Concrete Admixtures Handbook: Properties, Science and Technology*, Noyes Publication, 337-429, New Jersey, USA.

[11] **Rottstegge, J., Arnold, M., Herschke, L., Glasser, G., Wilhelm, M., Spiess, H.W., Hergeth, W.D.** (2005). Solid state NMR and LVSEM studies on the hardening of latex modified tile mortar systems, *Cement and Concrete Research*, *35* (12), 2233-2243.

[12] **Afridi, M., Ohama, Y., Demura, K., Iqbal, M. Z.** (2003). Development of polymer films by the coalescence of polymer particles in powdered and aqueous polymer-modified mortars, *Cement and Concrete Research*, *33* (11), 1715–1721.

[13] **Ohama, Y.** (1998). Polymer-based Admixtures, *Cement and Concrete Composites*, 20, 189-212.

[14] **Özkan, Ş., Doğan, Ü. A.** (2003). Polimer katkılı betonların mekanik ve dürabilite özellikleri, 5. Ulusal Beton Kongresi, 163-174, İstanbul.

[15] **Beeldens A., Monteny J., Vincke E., De Belie N., Van Gemert D., Taerwe L., Verstraete W.** (2001). Resistance to biogenic sulphuric acid corrosion of polymer-modified mortars, *Cement and Concrete Composites*, 23, 47-56.

[16] **Ohama, Y.** (1997). Recent Progress in Concrete-Polymer Composites, *Advanced Cement Based Materials*, 5, 31-40.

[17] **Berluenga, G., Olivares F.H.,** (2004). SBR latex modified mortar rheology and mechanical behavior, *Cement and Concrete Research*, 34, 527-535.

[18] **Pascal, S., Alliche, A., Pilvin, Ph.** (2004). Mechanical behaviour of polymer modified mortars, *Materials Science and Engineering: A*, 380, 1-8.

[19] **Bureau, L., Alliche, A., Pilvin, Ph.,Pascal, Berluenga, G., Olivares F.H.** (2001). Mechanical characterization of a styrene-butadiene modified mortar, *Materials Science and Engineering: A*, 308, 233-240.

[20] **Çolak, Ö, U.** (2005). Modeling deformation behavior of polymers with viscoplasticity theory based on overstress, *International Journal of Plasticity*, *21*(1), 145-160.

[21] **Karagüler, M.E. (2003)** Onarım harçlarında performans kriterleri ve dürabilite sorunu, *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 151-155.

[22] **Wang, R., Wang, P-M., Li, X-G. (**2005). Physical and mechanical properties of styrene-butadiene rubber emulsion modified cement mortars, *Cement and Concrete Research*, 35, 900-906.

[23] **Özmen, H.E. (**2015). *Properties of Polymer Modified Mortars and Effects of Fly Ash and Slag Incorporation* (Master's Thesis), İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.

[24] **CTP Teknolojisi (**1985). *Cam Elyaf Sanayi A.Ş*, İstanbul.

[25] **Mobasher, B.** (2012). *Mechanics of Fiber and Textile Reinforced Cement Composites*, CRC PressTaylor & Francis Group: New York, NY**.**

[26] **Pachow, U.** (2003). *Textile reinforced concrete – new production technologies and applications*, 12th International Techtextil Symposium for Technical Textiles, Nonwovens and Textile Reinforced Materials, 4-17, April 7-10, Frankfurt.

[27] **Mobasher, B., Pivacek, A., ve Haupt, G. J.** (1997). Cement Based Cross-ply Laminates, *Journal of Advanced Cement Based Materials*, 6, 144–152.

[28] **Peled, A., Mobasher, B.** (2004). Pultruded Fabric–Cement Composites, *ACI Materials Journal*, *102*(1), 15–23.

[29] **Pahilajani, J.** (2004). *Fabric-reinforced, Cement-based Laminated Composites: An Experimental and Theoretical Study* (Master's Thesis), Arizona State University, U.S.A.

[30] **Peled, A., Mobasher, B.** (2005) Pultruded Fabric–Cement Composites, *ACI Materials Journal*, *104*(2), 16–27.

[31] **Haupt, G. J.** (1997). *Study of Cement Based Composites Manufactured by Extrusion, Compression Molding and Filament Winding* (Master's Thesis), Arizona State University, USA.

[32] **Pachow, U., Lind, D.** (2004) *Textile Reinforced Concrete – Basics, Methods, Applications*, 18-30.

[33] **Brockmann, T., Brameshuber, W.** (2004) Matrix Development for the Production Technology of Textile Reinforced Concrete (TRC)

Structural Elements, Composites in Constructions the Third International Conference, July 11 - 13, 1165-1172, Lyon, France.

[34] **Krüger, M.** (2004). *Prestressed textile reinforced concrete* (Doctoral Dissertation), University of Stuttgart, Germany.

[35] **Reinhardt, H. W., Krüger, M.** (2002). Fine grained concrete panels prestressed with a textile fabric, In: Proceedings of the JCI Intern. Workshop on Ductile Fiber Reinforced Cementitious Composites (DFRCC): Application and Evaluation, pp. 23-32.

[36] **Bentur, A., Mindess, S.** (2007). *Fibre Reinforced Cementitious Composites*, 14-15. Cromwell Press: Trowbridge,Wiltshire.

[37] **Balaguru, P. N., Shah, S. P.** (1992). *Fiber Reinforced Cement Composites*, McGraw Hills Inc., New York, NY.

[38] **Nemati, K. M.** (2007). *Progress in Concrete Technology, Fiber Reinforced Concrete (FRC)*, University of Washington.

[39] **Mutlu, M., ve Yazıcı, İ.** (2011). *Tekstil Donatılı Çimento Esaslı Kompozitlerin Eğilme Davranışlarının Belirlenmesi* (Lisans Tezi), İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İstanbul.

[40] **Kayrak, M. A.** (1999). *Havacılık Kompozitleri ve Mukavemet-Maliyet Analizleri*, Anadolu Üniversitesi Yayınları, No. 1101, Eskişehir.

[41] **Çelik, R.** (2011). *Farklı Türde Kumaş Donatılı Çimento Esaslı Kompozitlerin Eğilme Performanslarının Karşılaştırılması* (Yüksek Lisans Tezi), İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[42] **Pakravan, H. R., Jamshidi, M. ve Latifi, M.** (2010). Performance of Fibers Embedded in a Cementitious Matrix, *Journal of Applied Polymer Science*, 116, 1247–1253.

[43] **Barbero, E. J. (1999)**. *Introduction to Composite Material Design*, 21,22, Taylor & Francis: Philadelphia, PA.

[44] **Nakai, A., Masui M., ve Hamada, H.** (1997). Fabrication of large-scale braided composite with I-shaped structure, Proceedings of the 11*th* International Conference on Composite Materials (ICCM-11), Australian Composites Structures Society and Woodhead Publishing, 3830–3837, Queensland, Australia.

[45] **Hegger, J., Will, N.** (2004). Load-Bearing behaviour of TRC, *Beton- und Stahlbetonbau 99*, 6, 452-455.

[46] **Jesse, F., Will, N., Curbach, M., Hegger, J.** (2004) *Load bearing behaviour of textile reinforced concrete*, ACI Special Publication.

[47] **Hegger, J., Voss, S.** (2003). Load-bearing behaviour of textile-reinforced concrete under 2-axial loading, Textile Reinforced Structures, Proceedings of the 2nd Colloquium on textile Reinforced Structures (CTRS2), 313-324, Dresden, Germany.

[48] **Hegger, J., Voss, S.** (2004). Textile reinforced concrete under biaxial loading. 6th Rilem Symposium on Fibre Reinforced Concrete (FRC), BEFIB 2004, 1463-1472, September,Varenna (Italy).

[49] **Hegger, J., Voss, S., Bruckermann, O.** (2005). *AR-Glass and Carbon Fibers for Textile Reinforced Concrete - A comparison of Efficiency*, Concrete Soars, Spans and Supports, ACI-Convention, New York.

[50] **Kanhchana, K., Mesticou, Z, Michel, M, Larbi, A.S., Junes, A.** (2017). Comparative characterization of the durability behaviour of textile-reinforced concrete (TRC) under tension and bending, *Composite Structures*, 179, 107-123.

[51] **Stang, H.** (1996). Significance of shrinkage-induced clamping pressure in fiber–matrix bonding in cementitious composite materials, *Advanced Cement Based Materials*, 4, 106–115.

[52] **Peled, A., Bentur, A.** (2000). Geometrical characteristics and efficiency of textile fabrics for reinforcing composites, *Cement and Concrete Research*, 30, 781–790.

[53] **Peled, A., Bentur, A.** (2003). Fabric structure and its reinforcing efficiency in textile reinforced cement composites, *Composites Part A* , 34, 107-118.

[54] **Kruger, M., Ozbolt, J., Reinhardt, H.W.** (2003). A new 3D discrete bond model to study the influence of bond on the structural performance of thin reinforced and prestressed concreteplates, Forth International Workshop on High Performance Fiber Reinforced Cement Composites (HPFRCC-4), 49-63, Ann Arbor.

[55] **Gao, S.L., Mader, E., Plonka, R.** (2004). Coatings for glass fibers in a cementitious matrix, *Acta Materialia*, 52, 4745–4755.

[56] **Butler, M., Hempel, R., Schorn, H.** (2006). Bond behavior of polymer impregnated AR-glass textile reinforcement in concrete, Proceedings of the International Symposium – Polymers in Concrete (ISPIC), 173–183, University of Minho, Guimaraes.

[57] **Raupach, M., Orlowski, J., Buttner, T., Dilthey, U., Schleser, M.** (2006). Epoxy-impregnated textiles in concrete: load bearing capacity and durability, Proceedings of the 1st International RILEM Conference on Textile Reinforced Concrete, RILEM Publications, 77–88, Aachen, Germany.

[58] **Glowania, M., Gries, T.** (2010). Coating of high-performance fibers and textiles for textile reinforced concrete, 8th International FIB PhD Symposium in Civil Engineering, 79–89, Technical University of Denmark (DTU), Kongens Lyngby.

[59] **Weichold, O.** (2010). Preparation and properties of hybrid cement-in-polymer coatings used for the improvement of fiber–matrix adhesion in textile reinforced concrete, *Journal of Applied Polymer Science*, 116, 3303–3309.

[60] **Hartig, J., Jesse, F., Schicktanz, K., Haussler-Combe, U.** (2012). Influence of experimental setups on the apparent uniaxial tensile load-bearing capacity of textile reinforced concrete specimens, *Materials and Structures*, 45, 433–446.

[61] **Kruger, M., Ozbolt, J., Reinhardt, H.W.** (2002). A discrete bond model for 3D analysis of textile reinforced and prestressed concrete elements, *Otto-Graf Journal*, 13, 111–128.

[62] **Xu, S., Kruger, M., Reinhardt, H.W., Ozbolt, J.** (2004). Bond characteristics of carbon, alkali resistant glass and aramid textiles in mortar, *Journal of Materials in Civil Engineering*, *16* (4), 356–364.

[63] **Koeckritz, U., Cherif, C., Weiland, S., Curbach, M.** (2010). In situ polymer coating of open grid warp knitted fabrics for textile reinforced concrete application, *Journal of Industrial Textiles*, *40* (2), 157–169.

[64] **Vilkner, G. (2003*).*** *Glass concrete thin sheets reinforced with prestressed aramid fabrics* (Doctoral Dissertation), Columbia University, New York.

[65] **Reinhardt, H.W., Krueger, M.** (2004). Prestressed concrete plates with high strength fabrics, PRO 39: 6th International RILEM Symposium on Fibre-Reinforced Concretes, 187–196, Aachen, Germany

[66] **Peled, A., Mobasher, B.** (2006). Properties of fabric-cement composites made by pultrusion, *Materials and Structures*, 39, 787–797.

[67] **Peled, A., Mobasher, B.** (2007). Tensile behavior of fabric cement-based composites: pultruded and cast, *Journal of Materials in Civil Engineering*, *19* (4), 340–348

[68] **Peled, A., Sueki, S., Mobasher, B.** (2006). Bonding in fabric-cement systems: effects of fabrication methods, *Cement and Concrete Research*, *36* (9), 1661–1671.

[69] **Altmann, F., Sickert, J.-U., Mechtcherine, V., Kaliske, M.** (2012). A fuzzy-probabilistic durability concept for strain-hardening cement-based composites (SHCCs) exposed to chlorides: Part 1: Concept development, *Cement and Concrete Composites*, 34, 754–762.

[70] **Altmann, F., Mechtcherine, V.** (2013). Durability design strategies for new cementitious materials, *Cement and Concrete Research*, 54, 114–125.

[71] **Barhum, R., Mechtcherine, V.** (2013). Influence of short dispersed and short integral glass fibres on the mechanical behaviour of textile-reinforced concrete, *Materials and Structures*, 46, 557–572.

[72] **Yilmaz, V., Glasser, F.** (1991). Reaction of alkali-resistant glass fibres with cement, Part 2: Durability in cement matrices conditioned with silica fume, *Glass Technology*, *32* (4), 38–47.

[73] **Scheffler, C., Forster, C., Mader, E., Heinrich, G., Hempel, S., Mechtcherine, V.** (2009). Aging of alkali resistant glass and basalt fibres in alkaline solutions: evaluation of the failure stress by Weibull distribution function, *Journal of Non-Crystalline Solids*, *355* (52–54), 2588–2595.

[74] **Orlowsky, J., Raupach, M., Cuypers, H., Wastiels, J.** (2005). Durability Modelling of Glass Fibre Reinforcement in Cementitious Environment, *Materials and Structures*, 276, 155-162.

[75] **Jantzen, C.M., Brown, K.G., Pickett, J.B.** (2010). Durable glass for thousands of year, *International Journal of Applied Glass Science*, 1, 38–62.

[76] **Rybin, V.A., Utkin, A.V., Baklanova, N.I.** (2013). Alkali resistance, microstructural and mechanical performance of zirconia-coated basalt fibers, *Cement and Concrete Research*, 53, 1-8.

[77] **Wei, B., Cao, H., Song, S.** (2010). Environmental resistance and mechanical performance of basalt and glass fibers, *Materials Science and Engineering*, 527, 4708–5715.

[78] **Forster, T.** (2014). *Bazalt liflerin mekanik özelliklerine kimyasal bileşim ve yüzey değişiminin etkisi* (Doktora Tezi), TU Dresden, Almanya.

[79] **Sim, J., Park, Ch., Moon, D.Y.** (2005). Characteristics of basalt fiber as a strengthening material for concrete structures, *Composite Part B*, 26, 504–512.

[80] **Butler, M., Mechtcherine, V., Hempel, S.** (2010). Durability of textile-reinforced concrete made with AR Glass fibre: effect of the matrix composition, *Materials and Structures*, 43, 1351–1368.

[81] **Hempel, S., Butler, M., Mechtcherine, V.** (2015). Bond behaviour and durability of basalt fibres in cementitious matrices, International Symposium on Ferrocement and 3rd ICTRC International Conference on Textile Reinforced Concrete, June, Aachen, Germany, Proceedings of Ferrocement 11, 225-234.

[82] **Purnell, P., Short, N.R., Page, C.L., Majumdar, A.J., Walton, P.L.** (1999). Accelerated ageing characteristics of glass-fibre reinforced cement made with new cementitious matrices, *Composites Part A*, 30, 1073-1080.

[83] **ASTM C1260** (2014). Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method).

[84] **ASTM C185** (2015). Standard Test Method for Air Content of Hydraulic Cement Mortar

[85] **BS EN 1015-3** (1999). Methods of test for mortar for masonry. Determination of consistence of fresh mortar (by flow table).

[86] **BS EN 1015-7** (1999). Methods of test for mortar for masonry. Determination of air content of fresh mortar.

[87] **TS EN 196-1** (2016). Çimento Deney Metotları-Bölüm 1: Dayanım Tayini.

[88] **Emmons, P.H., Vaysburd, A.M., Poston, R.W., Mcdonald, J.E.** (1998). *Performance Criteria for Concrete Repair Materials, Phase II Field Studies*, Technical Report, 86,Vicksburg,USA.

[89] **Soranakom, C., Mobasher B. (2009)**. Flexural design of fiber-reinforced concrete, *ACI Materials Journal*, *106* (5), 461.

[90] **Ohama, Y.** (1995). *Handbook of Polymer-Modified Concrete and Mortars, Noyes Publication*, New Jersey, USA.

[91] **Negim, E.S., Kozhamzharova, L., Khatib, J., Bekbayeva, L., Williams,** C. (2014). Effects of Surfactants on the Properties of Mortar Containing Styrene/Methacrylate Superplasticizer, *The Scientific World Journal*, 10.

[92] **Höfer R., Jost F., Schwuger M. J., Scharf R., Geke J., Kresse J., Lingmann H., Veitenhansl R. and Erwied W.** (2000). *Foams and Foam Control*, Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry.

[93] **Ali, A.S., Jawad, H.S., Majeed, I.S.** (2012). Improvement of the properties of cement mortar by using styrene butadiene rubber polymer, *Journal of Engineering and Development, 16*(3),259-265 .

[94] **Daskiran, E.G., Daskiran, M.M., Gencoglu, M.** (2016). Development of fine grained concretes for textile reinforced cementitious composites, *Computers and Concrete, 18* (2), 279-295.

[95] **Morales, C.C., Gohil, U., Quadflieg, T., Raupach, M., Gries, T.** (2015). Improving the Bond Behavior of Textile Reinforcement and Mortar Through Surface Modification, 3rd ICTR International Conference on Textile Reinforced Concrete, RILEM, 215-223, Aachen, Germany.

[96] **RILEM TC 232** (2015). Recommendation of RILEM TC 232-TDT: test methods and design of textile reinforced concrete, *Materials and Structures, 49* (12), 4923-4927.

[97] **Almeida, A.L.F.S, Filho, R.D.T, Filho, J.A.M.** (2010). Bending Behaviour of Cement based composites reinforced with jute textile, International RILEM Conference on Material Science-MATSCI, ICTRC, 1, 177-184.

[98] **Gopalaratnam,V.S. , Shah, S.P., John, R.** (1984). A modified instrumented charpy test for cement-based composites, *Experimental Mechanics, 14* (2), 102-111.

[99] **ISO 179-1** (2000). Plastics – Determination of Charpy Impact Properties Part 1: Non instrumented test.

[100] **Ackeren, J.V., Blom, J., Kakogiannis, D., Wastiels, J., Hemelrijck, D.V, Palanivelu, S., Paepegem, W.V., Vantomme, J.** (2011). Applicability of composite charpy ımpact method for strain hardening textile reinforced cementitious composites, 2nd International RILEM Conference on Strain Hardening Cementitious Composites,13-18, December, Brazil.

[101] **TS EN 12390-3** (2010). Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 3: Deney numunelerinin basınç dayanımının tayini.

[102] **ASTM C1583** (2013). Standard Test Method for Tensile Strength of Concrete Surfaces and the Bond Strength or Tensile Strength of Concrete Repair and Overlay Materials by Direct Tension (Pull Off Method).

[103] **Raupach, M., Brockmann, J.** (2002), Development of a test method to investigate the durability of glass-filament-yarns embedded in concrete. SFB 532: Textile Reinforced Concrete – Basics of a New Technology, 5, Technical University of Aachen, February, Germany.

[104] **Proctor, B.A., Yale, B.** (1980). *Glass fibres for cement reinforcement*, 427-436. Philosophical Transactions of the Royal Society, London, England.

[105] **Proctor, B. A., Oakley, D. R., Litherland, K. L. (1982).** Developments in the assessment and performance of grc over 10 years, *Composites*, 13, 173-179.

[106] **Litherland, K. L., Oakley, D. R., Proctor, B. A.** (1981). The use of accelerated ageing procedures to predict the long-term strength of grc composites, *Cement and Concrete Research*, 11, 455-466.

[107] **Orlowsky, J., Raupach, M.** (2003). Long-term behaviour of textile reinforced concrete, in Proceedings of the 13th Congress of the International Glassfibre Reinforced Concrete Association, 15-26, October, Barcelona, Spain, Concrete Society,.

[108] **Hempel, R., Schorn, H., Schiekel, M., Butler, M.** (2003). Durability of textile reinforced concrete, Proceedings of the 13th Congress of the Glass Fibre Reinforced Concrete Association, 24-34, October, Barcelona, Spain, Concrete Society.

[109] **Brockmann, J., Raupach, M.** (2002). Durability investigations on textile Reinforced Concrete, 9th International Conference on Durability of Building Materials and Component, 111, Rotterdam, Netherlands.

[110] **Mobasher, B., Peled, A., Pahilajani, J.** (2004). Pultrusion of Fabric Reinforced High Fly ash Blended Cement Composites, Proceedings RILEM Technical Meeting, 1473-1482.

[111] **Singla, N.** (2004). *Experimental and theoretical study of fabric cement composites for retrofitting masonry structures* (Master's Thesis), Arizona State University, USA.

[112] **Aldea, C., Mobasher, B., Singla, N.** (2005). *Cement-Based Matrix-Grid System For Masonry Rehabilitation*, ACI Spring Convention, April, New York, USA.

[113] **Masthoff, A.** (1998). *Analysis using the SIC method and the H-test in alkali resistant glass fibers, E glass and C glass fibers*, Berlin, Germany.

[114] **Purnella, P., Shorta, N.R., Pagea, C.L., Majumdara, A.J., Waltonb, P.L**. (1999). Accelerated ageing characteristics of glass-fibre reinforced cement made with new cementitious matrices, *Composites:Part A*, 30, 1073-1080.

[115] **Hoshiro, H., Nishiyama M., Yamamoto, R.** (2006). Long-term Durability of Kuralon (PVA fiber) in alkaline condition, Proceedings of 10th International Inorganic-bonded Fiber Composite Conference, 120-135, November, Sao Paulo, Brazil.

[116] **Neville, A.M.** (2011) . *Properties of Concrete*, 5th edition, Pearson, England.

[117] **Akman, S.** (1992). *Deniz Yapılarında Beton Teknolojisi*, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İstanbul.

[118] **Lepech, M.D., Li, V.C** (2006). Long Term Durability Performance of Engineered Cementitious Composites, *Restoration of Buildings and Monuments*, *12*(2), 119-132.

[119] **Yang, Y., Lepech, M.D., Yang, E.H., Li, V.C** (2009). Autogenous healing of engineered cementitious composites under wet–dry cycles, *Cement and Concrete Research*, 39, 382-390.

[120] **Yang, Y., Yang, E.H., Li, V.C** (2011). Autogenous healing of engineered cementitious composites at early age, *Cement and Concrete Research*, 41, 176-183.

[121] **TS EN ISO 13934-1** (2013). Tekstil- Kumaşların gerilme özellikleri- Bölüm 1: En büyük kuvvetin ve en büyük kuvvet altında boyca uzamanın tayini- Şerit metodu.

[122] **Contamine, R., Larbi A.S., Hamelin P.** (2010). Tenstile identification of textile reinforcement concrete behaviour, International Rilem Conference on Material Science - MATSCI, 105-110, Aachen, Germany.

[123] **Lieboldt,M., Helbig, U, Engler, T.** (2006). Textile reinforced concrete multilayer composite pipes, 1st International conference on textile reinforced concrete, ICTRC, RILEM Pro 50, 369-378.

[124] **Sakthievel, P.B, Ravichandran, A., Alagumurthi, N.** (2015). Flexural Behavior Of Mesh-And-Fiber Reinforced Cementitious Composites, 11th International Symposium on Ferrocement and 3rd ICTRC-International Conference on Textile Reinforced Concrete, 79-90, Aachen, Germany.

[125] **Karagüler, M.E., Kuloğlu, Ş.F.** (2003). Beton Tamir Harçlarının Durabilitesi, 5. Ulusal Beton Kongresi, Betonun Dayanıklılığı (Durabilite), 303-312, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Ekim, İstanbul, Türkiye.

[126] **Li, V.C., Lepech, M.D.** (2014). Long Term Durability Performance of Engineered Cementitious Composites, *Restoration of Buildings and Monuments*, *12*(2), 119-132.

[127] **Özkan, T.O., Yörücü, H.** (1986). *Taramalı Elektron Mikroskobu Laboratuvar Çalışmaları*, TÜBİTAK-MAM.

[128] **Bayazıt, M.** (1994). *Su Kaynakları Sistemleri*, İTÜ İnşaat Fakültesi, İstanbul.

[129] **Minitab 18** (2018). Minitab 18.0 Statistical Software.

[130] **Daskiran, M.M.** (2018). *Çimento Esaslı Kompozitlerden Üretilen Yapı Elemanlarının Mekanik Davranışlarının Deneysel Olarak İncelenmesi*. (Doktora Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

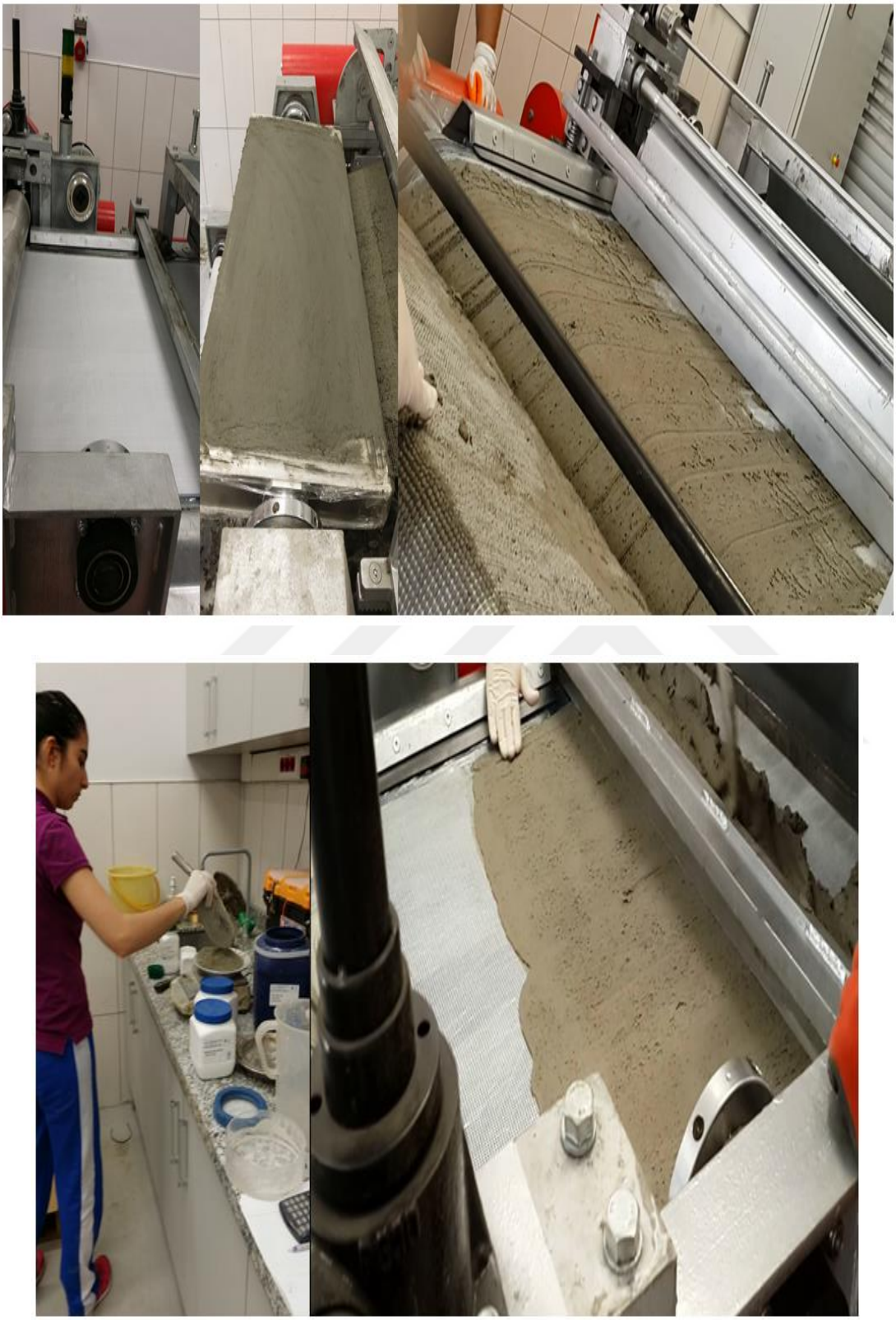
[131] **Gür, M** (2017). *Çimento esaslı kompozit plakalarla güçlendirilmiş bölme duvarlarının kayma dayanımının belirlenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Deprem Mühendisliği ve Afet Yönetimi Enstitüsü, İstanbul.

[132] **DBYBHY** (2009). *Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik.* II.baskı, İnşaat Mühendisleri Odası.

EKLER

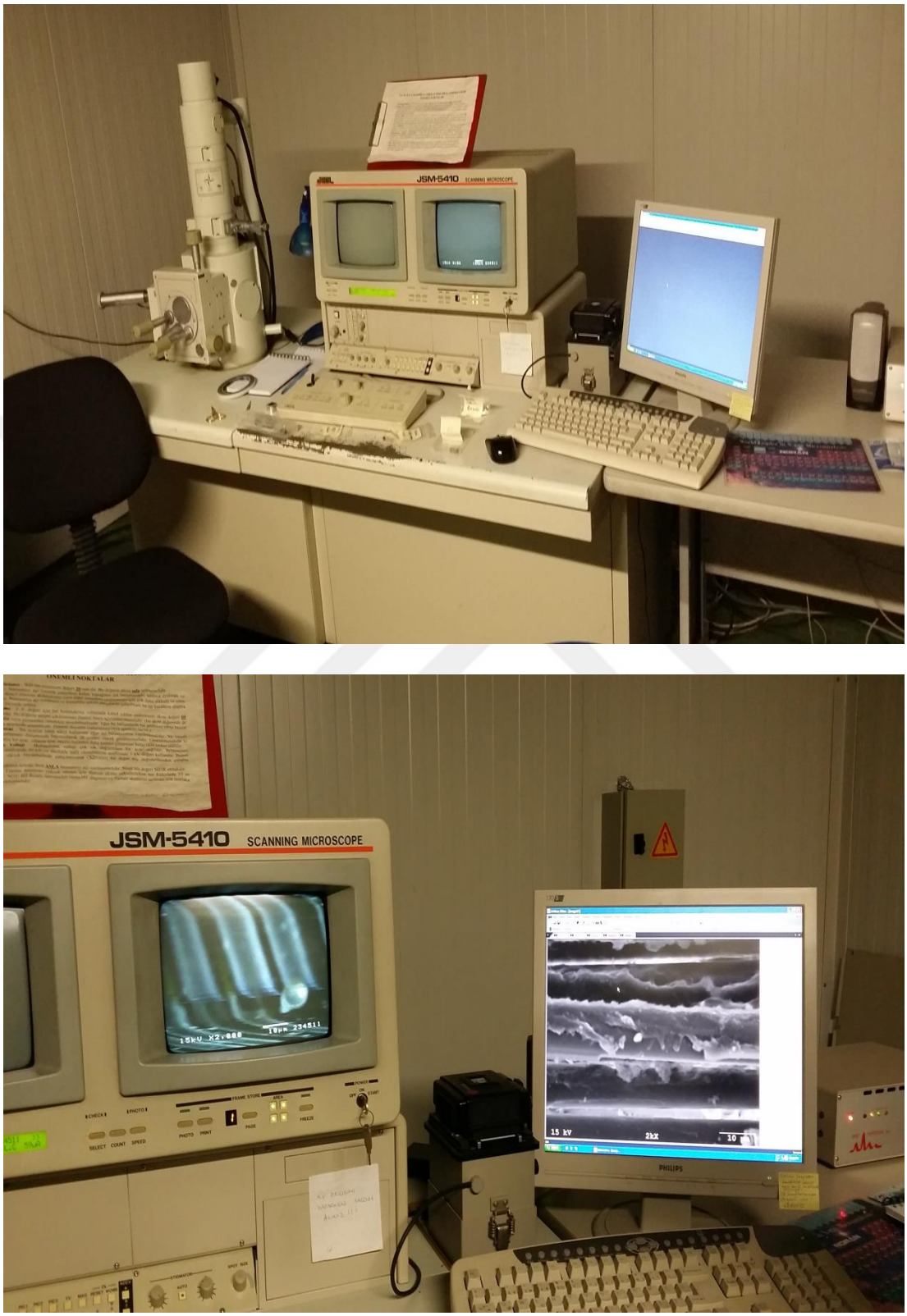
EK A : Üretim fotoğrafları
EK B : SEM cihazı
EK C : Polimerlerin fiziksel ve kimyasal özellikleri
EK D : PPR (Pull pour roll) makinesi
EK E : 28 gün suda bekletilmiş numuneler
EK F : Alkaliye direnç testi geçirmiş numunelerde eksenel çekme deneyi numuneleri

EK A



Şekil A.1 : TRCC numune üretimi.

EK B



Şekil B.1: SEM cihazı.

EK C

Çizelge C.1 : Lateks polimerlerin kimyasal özellikleri.

Kimyasal Özellikler	**L1**	**L2**	**L3**	**L4**	**L5**
MFFT	-	-	-	0	0
Tg	15	-10	-22	-8	-8
Kimyasal Köken	Saf Akrilik	Stren Akrilik	Butil akrilat ve stren		Akrilik asit esteri ve stren
Kimyasal Özellikler	**L6**	**L7**	**L8**	**L9**	**L10**
MFFT	0	-	0	0	1
Tg	-10	14	-23	-10	-7
Kimyasal Köken	Stren Akrilik	Stren butadiyen	Stren Akrilik		Stren butadiyen

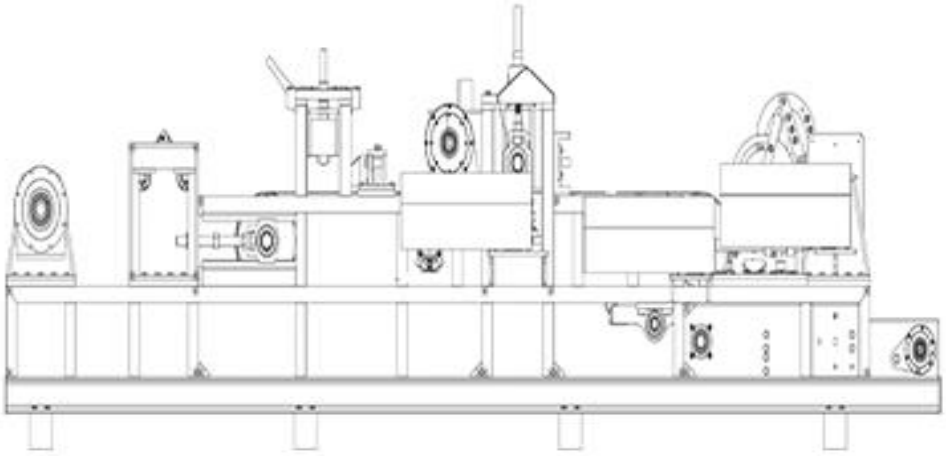
Çizelge C.2 : Lateks polimerlerin fiziksel özellikleri.

Fiziksel Özellikler	**L1**	**L2**	**L3**	**L4**	**L5**
Yoğunluk (gr/cm^3)	1.03	1.04	1.03	1.04	1.08
Katı Madde İçeriği (%)	47	57	49	56	57
Fiziksel Özellikler	**L6**	**L7**	**L8**	**L9**	**L10**
Yoğunluk (gr/cm^3)	1.0	1.01	1.05	1.08	1.03
Katı Madde İçeriği (%)	59	52	53	57	50

Çizelge C.3 : RDP polimerlerin kimyasal özellikleri

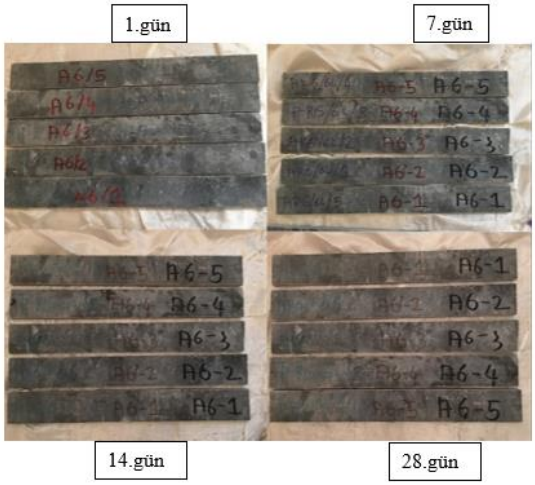
Kimyasal Özellikler	**R1**	**R2**	**R3**	**R4**	**R5**
MFFT	-	-	0	6	0
Tg	15	-10	-	-	-
Kimyasal Köken	Saf Akrilik	Stren Akrilik	Vinil asetat etilen	VAM/ VeoVa	VAE/ VeoVa
Kimyasal Özellikler	**R6**	**R7**	**R8**	**R9**	**R10**
MFFT	4	1	5	8	9
Tg	14	-15	-	-	-
Kimyasal Köken	Va/ VeoVa	Akrilik asit esteri ve stren	Va/Veo Va Akrilik	Va/Veo VV Akrilik	Va/ VV

EK D

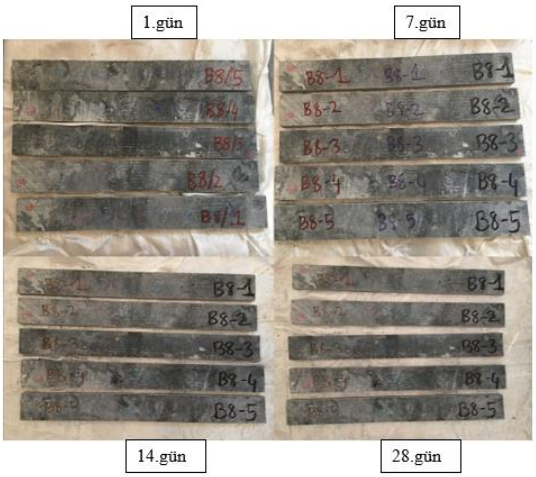


Şekil D.1: PPR makinesi.

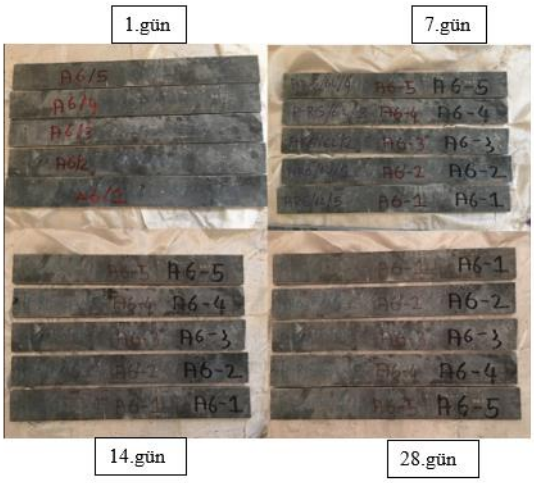
EK E



Şekil E.1 : Sıcak suda bekletilen AR Glass kompozit numuneler.



Şekil E.2 : Sıcak suda bekletilen Bazalt kompozit numuneler.



Şekil E.3 : Sıcak suda bekletilen PVA kompozit numuneler.

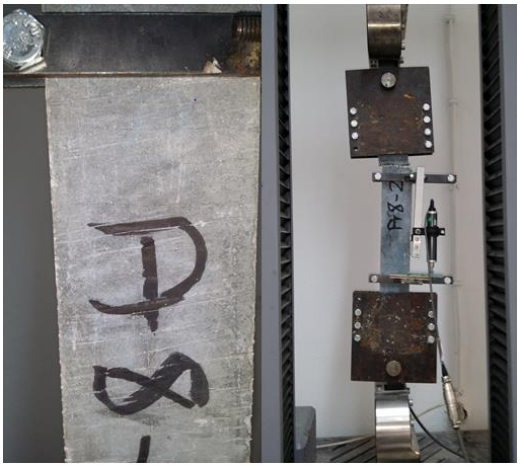
EK F



Şekil F.1 : AR Glass 4L serisine ait eksenel çekme numunesi.



Şekil F.2 : AR Glass 6L serisine ait eksenel çekme numunesi.



Şekil F.3 : AR Glass 8L serisine ait eksenel çekme numunesi.



Şekil F.4 : Bazalt 4L serisine ait eksenel çekme numunesi.



Şekil F.5 : Bazalt 6L serisine ait eksenel çekme numunesi.



Şekil F.6 : Bazalt 8L serisine ait eksenel çekme numunesi.



Şekil F.7 : PVA 4L serisine ait eksenel çekme numunesi.



Şekil F.8 : PVA 6L serisine ait eksenel çekme numunesi.



Şekil F.9 : PVA 8L serisine ait eksenel çekme numunesi.



Şekil F.10 : AR Glass ALK 4L serisine ait eksenel çekme numunesi.



Şekil F.11 : AR Glass ALK 6L serisine ait eksenel çekme numunesi.



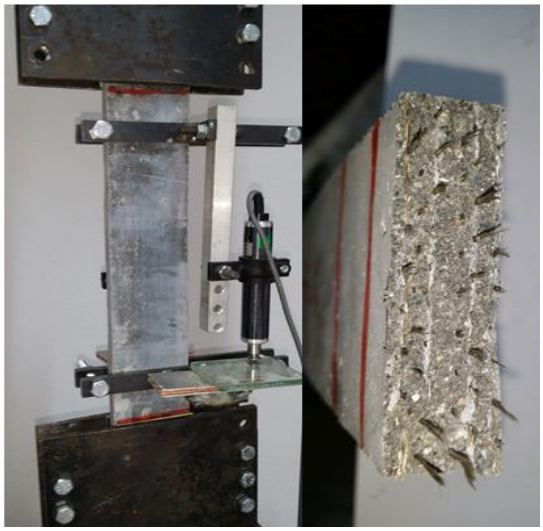
Şekil F.12 : AR Glass ALK 8L serisine ait eksenel çekme numunesi.



Şekil F.13 : Bazalt ALK 4L serisine ait eksenel çekme numunesi.



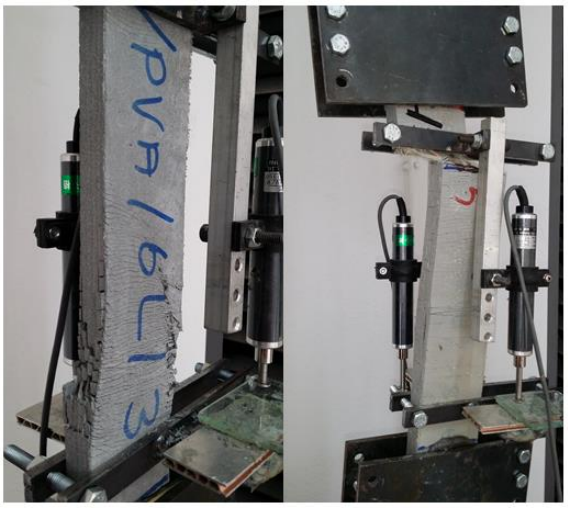
Şekil F.14 : Bazalt ALK 6L serisine ait eksenel çekme numunesi.



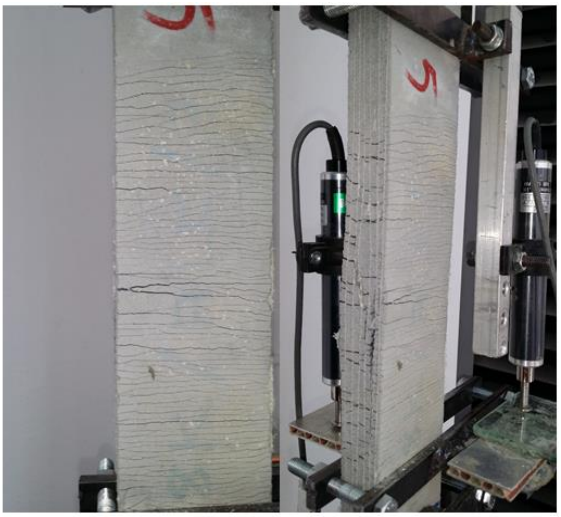
Şekil F.15 : Bazalt ALK 8L serisine ait eksenel çekme numunesi.



Şekil F.16 : PVA ALK 4L serisine ait eksenel çekme numunesi.



Şekil F.17 : PVA ALK 6L serisine ait eksenel çekme numunesi.



Şekil F.18 : PVA ALK 8L serisine ait eksenel çekme numunesi.

ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad **:** Esma Gizem DAŞKIRAN

Doğum Tarihi ve Yeri **:** 1988, SEYHAN

E-posta **:** esmagizemaydin@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** **:** 2010, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü
- **Yüksek lisans** **:** 2012, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği, Yapı Mühendisliği Programı

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2010-2012 yılları arasında İTÜ İnşaat Fakültesi Yapı Malzemesi Laboratuvarı'nda öğrenci asistanı olarak çalıştı.
- 2012-2018 yılları arasında araştırma görevlisi olarak İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünde çalıştı.

DOKTORA TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR

- **Daskiran, E. G.**, Daskiran M. M., Gencoglu M., 2017. Effect Of Polymer Addition On Air Void Content of Fine Grained Concretes Used in TRCC, *Computers & Concrete*, 20(2), 165-176.
- **Daskiran, E. G.**, Daskiran, M. M., Gencoglu, M., 2017. Polymer modification of fine grained concretes used in textile reinforced cementitious composites, *ICCE 2017: 19th International Conference on Civil Engineering*, Ekim 26-27, Istanbul, TURKEY.