

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

Yüksek Lisans Tezi

**YANAL DEFORMASYONLARI CAM ELYAF VE ARAMİD
ELYAF KUMAŞ İLE SINIRLANDIRILMIŞ BETONLARIN
EKSENEL BASINÇ ALTINDA DAVRANIŞI**

Muhammed VARIŞLI

Tez Danışmanı
Dr. Öğretim Üyesi Handan ADIBELLİ

Yozgat 2018

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

Yüksek Lisans Tezi

**YANAL DEFORMASYONLARI CAM ELYAF VE ARAMİD
ELYAF KUMAŞ İLE SINIRLANDIRILMIŞ BETONLARIN
EKSENEL BASINÇ ALTINDA DAVRANIŞI**

Muhammed VARIŞLI

Tez Danışmanı
Dr. Öğretim Üyesi Handan ADIBELLİ

Yozgat 2018

T.C.
BOZOK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

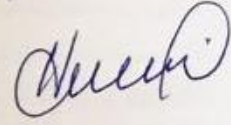
TEZ ONAYI

Enstitümüzün İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Tezli Yüksek Lisans/Doktora Programı 70110713001 numaralı öğrencisi Muhammed VARİŞLİ 'nin hazırladığı "Yanal Deformasyonları Cam Elyaf ve Aramid Elyaf Kumaş İle Sınırlandırılmış Betonların Eksenel Basınç Altında Davranışı" başlıklı tezi ile ilgili tez savunma sınavı, Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin ilgili maddeleri gereğince 19.04.2018 Perşembe günü saat 10.30'da yapılmış, tezin onayına oy birliği/oy çokluğu ile karar verilmiştir.

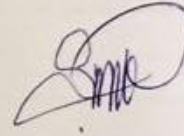
Başkan : Prof. Dr. Fuat KÖKSAL



Jüri Üyesi : Doktor Öğretim Üyesi Handan ADIBELLİ
(Danışman)



Jüri Üyesi : Doç. Dr. Burçin Şenol ŞEKER



ONAY:

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulu'nun .04../.05../2018 tarih ve 18-2 sayılı Enstitü Yönetim Kurulu Kararı ile onaylanmıştır.

.04../.05../2018


Prof. Dr. Fuat KÖKSAL
Müdür



İÇİNDEKİLER

Sayfa

İÇİNDEKİLER	i
ÖZET.....	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	v
TABLolar LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
KISALTMALAR LİSTESİ.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER.....	2
2.1. Fiber Takviyeli Polimerler	2
2.2. Fiberlerin Güçlendirilmesi	3
2.2.1. Tek sonlu ve çok sonlu serbest fiberler.....	3
2.2.2. Kumaşlar	4
2.3. Fiber Çeşitleri ve Özellikleri	5
2.3.1. Karbon Fiber	6
2.3.1.1.Oksidasyon.....	7
2.3.1.2. Karbonizasyon	7
2.3.1.3. Yüzey iyileştirmesi	7
2.3.1.4. Kaplama	7
2.3.2. Cam Fiberler.....	7
2.3.3. Aramid Fiberler	10
2.4. Fiber Takviyeli Polimerlerin Üretim Metotları	12
2.4.1. Profil Çekme Metodu	12
2.4.2. Fiber Sarma Metodu.....	13
2.4.3. Vakum Metodu	14
2.5. Betonarme Yapılarda Onarım Ve Güçlendirme	14
2.5.1. Onarım ve Güçlendirme Genel Kriterler.....	15
2.5.2. Fiber Takviyeli Kompozit Malzeme ile Güçlendirilme	15

3. LİTERATÜR ÇALIŞMASI.....	18
4. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	28
4.1. Malzeme	28
4.1.1. Cam Fiber Kumaş	28
4.1.2. Aramid Fiber Kumaş	29
4.1.3. Epoksi	30
4.1.4. Çimento.....	31
4.1.5. Agrega.....	32
4.1.6. Silis Dumanı	33
4.1.7. Akışkanlaştırıcı	34
4.1.8. Karışım Suyu	35
4.2. Metot	35
4.2.1. Beton Karışımların Hazırlanması	35
4.2.2. FRP'lerin Hazırlanması.....	37
4.2.3. Beton Numunelerin.....	42
5. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRMESİ.....	44
5.1. Referans Numunelerinin Basınç Deneyi Sonuçları	44
5.2. Tek Kat GFRP Numunelerinin Basınç Deneyi Sonuçları	49
5.3. Çift Kat GFRP Numunelerinin Basınç Deneyi Sonuçları	54
5.4. Tek Kat AFRP Numunelerinin Basınç Deneyi Sonuçları	59
5.5. Çift Kat AFRP Numunelerinin Basınç Deneyi Sonuçları	64
6. BULGULAR.....	75
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	77
KAYNAKLAR	79
ÖZGEÇMİŞ.....	83

YANAL DEFORMASYONLARI CAM ELYAF VE ARAMİD ELYAF KUMAŞ İLE SINIRLANDIRILMIŞ BETONLARIN EKSENEL BASINÇ ALTINDA DAVRANIŞI

Muhammed VARIŞLI

**Bozok Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

2018; Sayfa: 83

Tez Danışmanı: Dr. Öğretim Üyesi Handan ADIBELLİ

ÖZET

Bu çalışmada yanal deformasyonları FRP ile sınırlandırılmış betonların aksenal basınç altında davranışı incelenmiştir. C20, C50, C75 olmak üzere üç farklı beton sınıfı, tek kat ve iki kat olmak üzere iki farklı sargı kalınlığı ve AFRP (Aramid Lifleriyle Güçlendirilmiş Polimer) ve GFRP (Cam Lifleriyle Güçlendirilmiş Polimer) olmak üzere iki farklı sargı malzemesi kullanılmıştır. FRP ile sınırlandırılmış betonların mekanik davranışını belirlemek için deneysel bir çalışma yürütülmüştür. Test sonucu olarak gerilme şekil değiştirme ilişkisi grafik olarak sunulmuştur.

Deneyler sonucunda sargılı Betonun dayanım ve düktilitesi önemli ölçüde artmıştır. Bu artış beton dayanımının azalmasıyla artmıştır.

Anahtar Kelimeler: Aramid, Güçlendirme, Cam

Behavior of Axial Loading Concrete Confined Lateral Deformations by Glass Fiber and Aramid Fiber Jacket

Muhammed VARIŞLI

**Bozok University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering
Master of Science Thesis**

2018; Page: 83

Thesis Supervisor: Assist. Prof. Dr. Handan ADIBELLİ

ABSTRACT

In this study, the behavior of lateral deformation of concrete confined by FRP (Fiber Reinforced Polymer) under axial compression was investigated. Three different concrete grades of C20, C50, C75 and two different Jacket thickness of single layer, double layer and two different jacket materials of AFRP (Aramid Fiber Reinforced Polymer), GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymer) were used as the variables.

An experimental study was conducted to determine mechanical behavior of concrete confined by FRP sheets. As an experimental test results, axial stress-strain relationship were given graphically. The strength and ductility of concrete were significantly increased by wrapping FRP sheets. This increase was decreases with concrete strength increase.

Keywords: Aramid, Reinforcing, Fiberglass,

TEŞEKKÜR

Tez konumu bana öneren, bu tezi yöneten, bilgi ve tecrübeleriyle tezimle ilgili her konuda yardımcı olan değerli hocam Sayın Dr. Öğretim Üyesi Handan ADIBELLİ 'ye en içten dileklerle teşekkür ederim

Tez çalışmam süresince yardımlarını esirgemeyen hocalarım Sayın Prof. Dr. Fuat KÖKSAL 'a ve Sayın Dr. Öğretim Üyesi Yuşa ŞAHİN' e teşekkür ederim

Yüksek lisans eğitimimin süresi boyunca bana yakınlık gösteren ve çok rahat bir ortamda çalışmamı sağlayan emeği geçen Bozok Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde görev yapan değerli hocalarıma teşekkür ederim.

Bu hayatta desteklerini asla esirgemeyen, bana olan güvenlerini asla kaybetmeyen kıymetli eşime ve çok değerli aileme teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasının benzer çalışmalara kaynak ve örnek teşkil etmesini ve Ülkemize yararlı olmasını içtenlikle dilerim.

Muhammed Varışlı

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1.1. Fiber Tiplerinin Özellikleri [9]	6
Tablo 2.2. Fiberlerin Teknolojik Özellikleri [12].	9
Tablo 4.1. Cam Fiber Kumaşın Fiziksel ve Mekanik Özellikleri	29
Tablo 4.2. Aramid Kumaşın Fiziksel ve Mekanik Özellikleri	30
Tablo 4.3. Epoksinin Teknik Özellikleri.....	31
Tablo 4.4. CEM I Çimentosunun Kimyasal Analizi	31
Tablo 4.5. CEM I Çimentosunun Fiziksel Analizi.....	32
Tablo 4.6. Agregaların Fiziksel Özellikleri.....	32
Tablo 4.7. Silis Dumanın Kimyasal Analizi	33
Tablo 4.8. Silis Dumanın Fiziksel Özellikleri.....	34
Tablo 4.9. Akışkanlaştırıcının Teknik Özellikleri.....	35
Tablo 4.10. 1 m ³ Beton Materyaller	35
Tablo 5.1. C20 Referans Numunelerinin Basınç Dayanımı Sonuçları	44
Tablo 5.2. C50 Referans Numunelerinin Basınç Dayanımı Sonuçları	46
Tablo 5.3. C75 Referans Numunelerinin Basınç Dayanımı Sonuçları	47
Tablo 5.4. C20-GFRP Tek Kat Numunelerinin Basınç Dayanımı Sonuçları	49
Tablo 5.5. C50-GFRP Tek Kat Numunelerinin Basınç Dayanımı Sonuçları	50
Tablo 5.6. C75-GFRP Tek Kat Numunelerinin Basınç Dayanımı Sonuçları	52
Tablo 5.7. C20-GFRP Çift Kat Numunelerinin Basınç Dayanımı Sonuçları	54
Tablo 5.8. C50-GFRP Çift Kat Numunelerinin Basınç Dayanımı Sonuçları	55
Tablo 5.9. C75-GFRP Çift Kat Numunelerinin Basınç Dayanımı Sonuçları	57
Tablo 5.10. GFRP Numunelerin Basınç Dayanımlarının Karşılaştırılması	58
Tablo 5.11. GFRP Numunelerin Düşey Doğrultuda Sünekliliğinin Karşılaştırılması .	59
Tablo 5.12. C20-AFRP Tek Kat Numunelerinin Sonuçları.....	59
Tablo 5.13. C50-AFRP Tek Kat Numunelerinin Sonuçları.....	61
Tablo 5.14. C75-AFRP Tek Kat Numunelerinin Sonuçları.....	62
Tablo 5.15. C20-AFRP Çift Kat Numunelerinin Sonuçları.....	64
Tablo 5.16. C50-AFRP Çift Kat Numunelerinin Sonuçları.....	65
Tablo 5.17. C75-AFRP Çift Kat Numunelerinin basınç dayanımları Sonuçları.....	67
Tablo 5.18. Tek ve Çift Kat AFRP Numunelerinin Karşılaştırılması.....	72
Tablo 5.19. AFRP Numunelerinin Sünekliliğinin Karşılaştırılması	72
Tablo 5.20. AFRP ve GFRP Numunelerin Basınç Dayanımlarının Karşılaştırılması	73
Tablo 5.21. Beton Numunelerin ACI 318-95 ve TS 500'e Göre Elastisite Modülü..	74

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. İki Eksenli Örülmüş Kumaş[8]	4
Şekil 2.2. Üç ve Dört Doğrultuda Dikilmiş Kumaşlar[8]	5
Şekil 2.3. Karbon Fiber	6
Şekil 2.4. Fiberlerin Bobinlere Sarılması [11]	8
Şekil 2.5. Cam Fiber Kumaş	9
Şekil 2.6. Aramid Kumaş	11
Şekil 2.7. Kevlar 49 Fiberinin Moleküler Yapısı [7]	11
Şekil 2.8. Sistemin Çalışma Şeması [11]	13
Şekil 2.9. Sarım Makinesinin Çalışma Şeması [11]	14
Şekil 2.10. FRP'nin Kolon Yüzeyine Uygulanması [20]	16
Şekil 2.11. Kolonda Bitmiş FRP Uygulaması [20]	16
Şekil 2.12. Kolonda Bitmiş FRP Uygulaması [22]	17
Şekil 4.1. Twill Cam Fiber Kumaş	28
Şekil 4.2. Aramid Fiber Kumaş	29
Şekil 4.3. Çift Bileşenli Epoksi	30
Şekil 4.4. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Agregalar	32
Şekil 4.5. Agreganın Granülometri Eğrisi	33
Şekil 4.6. Silis Dumanı	34
Şekil 4.7. Akışkanlaştırıcı	34
Şekil 4.8. Beton Numuneleri	36
Şekil 4.9. Slamp Deneyi	36
Şekil 4.10. Kür Havuzu	37
Şekil 4.11. Cam Fiber Kumaşın Kesilip Hazırlanması	38
Şekil 4.12. Aramid Fiber Kumaşın Kesilip Hazırlanması	38
Şekil 4.13. Beton Numuneleri	39
Şekil 4.14. Çift Bileşenli Epoksinin Hazırlanması	40
Şekil 4.15. Cam Elyaf ve Aramid Elyaf Kumaşların Betona Sarılması	40
Şekil 4.16. Tamamlanan FRP Numuneler	41
Şekil 4.17. Basınç Dayanım Testi	42
Şekil 4.18. Eksantrometre Yerleştirilen Numune	43
Şekil 5.1. C20 Numunelerinin Düşey Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği	45
Şekil 5.2. C20 Numunelerinin Yatay Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği	45
Şekil 5.3. C50 Numunelerinin Düşey Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği	46
Şekil 5.4. C50 Numunelerinin Yatay Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği	47
Şekil 5.5. C75 Numunelerinin Düşey Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği	48
Şekil 5.6. C75 Numunelerinin Yatay Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği	48
Şekil 5.7. C20-GFRP Tek Kat Numunelerinin Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği ...	49
Şekil 5.8. C20-GFRP Tek Kat Numunelerinin Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği ...	50
Şekil 5.9. C50-GFRP Tek Kat Numunelerinin Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği ...	51

Şekil 5.10. C50-GFRP Tek Kat Numunelerinin Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği .	51
Şekil 5.11. C75-GFRP Tek Kat Numunelerinin Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği .	52
Şekil 5.12. C75-GFRP Tek Kat Numunelerinin Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği .	53
Şekil 5.13. Basınç Deneyinde Kırılmış GFRP Sargılı Beton Numune	53
Şekil 5.14. C20-GFRP Çift Kat Numunelerinin Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği .	54
Şekil 5.15. C20-GFRP Çift Kat Numunelerinin Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği .	55
Şekil 5.16. C50-GFRP Çift Kat Numunelerinin Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği .	56
Şekil 5.17. C50-GFRP Çift Kat Numunelerinin Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği .	56
Şekil 5.18. C75-GFRP Çift Kat Numunelerinin Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği .	57
Şekil 5.19. C75-GFRP Çift Kat Numunelerinin Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği .	58
Şekil 5.20. C20-AFRP Tek Kat Numunelerinin Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği .	60
Şekil 5.21. C20-AFRP Tek Kat Numunelerinin Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği .	60
Şekil 5.22. C50-AFRP Tek Kat Numunelerinin Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği .	61
Şekil 5.23. C50-AFRP Tek Kat Numunelerinin Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği .	62
Şekil 5.24. C75-AFRP Tek Kat Numunelerinin Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği .	63
Şekil 5.25. C75-AFRP Tek Kat Numunelerinin Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği .	63
Şekil 5.26. C20-AFRP Çift Kat Numunelerinin Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği .	64
Şekil 5.27. C20-AFRP Çift Kat Numunelerinin Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği .	65
Şekil 5.28. C50-AFRP Çift Kat Numunelerinin Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği .	66
Şekil 5.29. C50-AFRP Çift Kat Numunelerinin Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği .	66
Şekil 5.30. C75-AFRP Çift Kat Numunelerinin Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği .	67
Şekil 5.31. C75-AFRP Çift Kat Numunelerinin Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği .	68
Şekil 5.32. Basınç Deneyinde Kırılmış AFRP Sargılı Beton Numune	68
Şekil 5.33. C20 Grubu Betonların Düşey Gerilme-Şekil Değişme Grafiği	69
Şekil 5.34. C20 Grubu Betonların Yatay Gerilme-Şekil Değişme Grafiği.....	69
Şekil 5.35. C50 Grubu Betonların Düşey Gerilme-Şekil Değişme Grafiği	70
Şekil 5.36. C50 Grubu Betonların Yatay Gerilme-Şekil Değişme Grafiği.....	70
Şekil 5.37. C75 Grubu Betonların Düşey Gerilme-Şekil Değişme Grafiği	71
Şekil 5.38. C75 Grubu Betonların Yatay Gerilme-Şekil Değişme Grafiği.....	71

KISALTMALAR LİSTESİ

FRP	: Fiber Reinforced Polymers
LP	: Lifli Polimer
AFRP	: Aramid Fiber Reinforced Polymers
GFRP	: Glass Fiber Reinforced Polymers
GPa	: Giga Pascal
MPa	: Mega Pascal



1. GİRİŞ

Depremeler can ve mal kayıpları yönünden doğal afetler içerisinde en yıkıcı olanıdır. Dünya üzerinde gerçekleşen depremlerde gözlemlenen hasar ve kayıpların, mevcut tasarım yöntemlerinin ve kullanılan malzemelerin kalitesinin yetersizliğinden, bilgi eksikliğinden, işçilik hatalarından ya da standartlara yeterince uyulmamasından kaynaklandığı görülmektedir. Meydana gelen depremler yapılarda kullanılan metotları ve bilgi seviyesini artırırken, hasara uğrayan yapılar, onarım ve güçlendirme ihtiyacı doğurmaktadır [1].

Ülkemizde, betonarme yapılar incelendiğinde, büyük bir kısmının ne mevcut deprem ne de önceki yönetmeliğe uygun olarak yapılmadığı görülmektedir [2]. Zamana ve dış etkilere bağlı olarak mukavemetini kaybeden yapı sistemlerinin veya yapı elemanlarının performanslarını iyileştirmek amacıyla yapılan işlemlere güçlendirme denir. Yapısal olarak güçlendirmenin tarihi betonarme yapıların tarihi kadar eskiye dayanmaktadır [3].

Depreme dayanıklı olmayan yapılarda onarım ve güçlendirme yapılması gerekir. Birçok onarım ve güçlendirme yöntemi bulunmaktadır. Bunlar; taşıyıcı sistem elemanlarının boyutlarının büyütülmesi (mantolama), çelik elemanlarla takviye ve perde duvar ilavesi, lifli polimer gibi yöntemlerdir [4]. Bunlardan lifli polimerler, düşük ağırlık, hızlı ve kolay uygulanma, yüksek durabilite ve çekme dayanımı, uygulanacak alanda yer kaplamaması gibi birçok avantajlı özelliklerinden dolayı yaygın olarak tercih edilmektedir. Ayrıca bu özelliklerinden dolayı onarım ve güçlendirmede çelik gibi geleneksel malzemelerin yerine lifli polimerin giderek daha fazla tercih edilmektedir. Bu polimerler şerit veya kumaş olarak güçlendirilecek olan elemanların yüzeylerine epoksi türü yapıştırıcılarla sarılarak uygulanır. Lifli polimerler, arzu edilen özelliklere göre değişik boyut, geometri ve uzunluklara sahiptir [5].

Altı bölümden oluşan bu tez çalışmasında 1. Bölümde Giriş, 2. Bölümde Genel Bilgiler 3. Bölümde Literatür Çalışması, 4. bölümde ise Deneysel çalışmadan bahsedilmiştir. 5. bölümde Deney sonuçları değerlendirilmiş 6. Bölümde ise tez sonuçları genel olarak değerlendirilip önerilerde bulunulmuştur.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Fiber Takviyeli Polimerler

İlk modern sentetik polimerler 20. yüzyılın ilk yıllarından itibaren geliştirilmeye başlanmıştır. Kolay şekillendirilmesi, hafiflik, pürüzsüz yüzey ve korozyondan koruma özellikleri sayesinde diğer yapı malzemeleri ile rekabet etmeye başlamıştır. 20. yüzyılın ortalarına gelindiğinde Polimer takviyeli malzemeler geliştirilmiştir. Lifli Polimer ismini alan bu malzemeler üstün özellikleri sayesinde çok geniş uygulama alanına sahip olmuştur [6].

Kullanılan fiberlerin fiziksel özellikleri, yeni malzemenin tasarım ve çalışma mukavemetini etkileyen en önemli unsurdur. Çoğu fiberlerin çapları çok küçüktür ve birkaç mikrometreyi geçmemektedir. Fiberler enine doğrultuya nazaran boyuna doğrultuda en iyi mekanik özelliklerini gösterirler. Kompozit olmaları anizotrop özellik göstermelerine sebep olur. Bu sebeple tasarım aşamasında fiberlerin reçinedeki dağılımına ve geometrilerine dikkat edilmesi çok önemlidir. Bazı durumlarda malzemenin mukavemetini artırmak, tüm doğrultularda eşit mukavemet sağlamak için fiberler kumaş formunda dokunurlar.

Fiber kompozitlerin çalışmasını etkileyen ana faktörler şunlardır;

- Fiber doğrultusu
- Fiberin uzunluğu
- Fiberin mekanik ve fiziksel özellikleri
- Reçinenin teknik özellikleri
- Reçine ve fiber arasındaki yapışma kuvveti

Polimerler Hem matris olarak hem de lif üretiminde de kullanılmaktadır. Bu lifler kompozit malzemelerde kullanılmakta olup, başlıca fiber türleri; cam, karbon, aramid, bor, poliamid, polyester ve doğal organik fiberlerdir. Bu fiberlerin arasında

karbon, cam ve aramid fiberler yaygın kullanılmaktadır. Bu üç lif türü de yüksek mukavemetli, rijit ve tek parça olarak üretilmektedir

Cam fiber en çok tercih edilen fiberler olmasına rağmen, takviyeli kompozitlerde yaygın olarak karbon fiber kullanılmaktadır. Karbon fiber, cam fibere kıyasla yüksek mukavemet özelliklerine ve hafifliğe sahip olmakla birlikte ekonomi yönünden Cam fiber daha uygundur. Metal malzemeler yerine, bu fiber malzemelerden yapılmış parçalar uçak ve spor araçlarda kullanılmaktadır. Farklı bir fiber çeşidi olan Bor fiber ise diğer fiberlere göre mukavemetli ancak daha maliyetlidir. Üstün mukavemet ve rijitlik özellikleri ile tercih edilen diğer bir fiber ise polimer fiberlerden Aramid fiberdir. Aramid üstün mekanik özellikleri ve hafif olması nedeniyle tercih edilir [6].

2.2. Fiberlerin Güçlendirilmesi

Fiberle güçlendirilmiş bir kompozit malzemedeki ana bileşenler, fiberler ve fiberler için bağlayıcı görevi gören bir matristir. Ayrıca diğer bileşenler bağlayıcı maddeler, kaplamalar ve dolgu maddeleridir. Matris fazda daha fazla homojenlik için ıslanmayı sağlamak ve lif – matris ara yüzeyinin yapışmasını artırmak amacıyla bağlayıcı ve kaplama malzemeler kullanılır. Bunlar lif ve matris arasında daha iyi bir yük transferi sağlanmasına yardımcı olurlar. Dolgu maddeleri ise boyutsal stabiliteyi sağlamak ve maliyeti düşürmek için kullanılır

Kompozit bir yapının üretilmesi, çok sayıda elyafın ince bir levha oluşturmak üzere ince bir matris tabakasına katılmasıyla başlamaktadır. Bu ince levha kalınlığı genellikle 0.1-1 mm aralığında olmaktadır. İnce levhanın yapımında sürekli lifler kullanılırsa, tek yönlü, iki yönlü veya çok yönlü olarak üretilmektedir. Liflerin iki ya da daha fazla yöne uygulanması ile dokuma endüstrisinde ihtiyaca göre farklı dokumalar elde edilir [7].

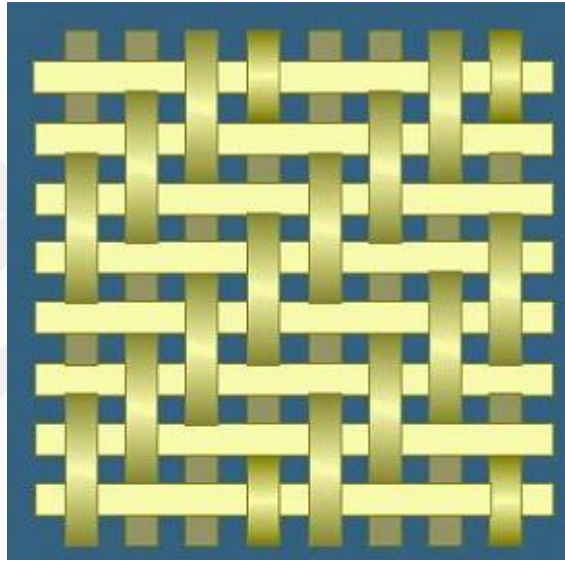
2.2.1. Tek sonlu ve çok sonlu serbest fiberler

Tek yönlü lifler içeren malzeme, liflerin uzun doğrultu boyunca yerleştiği durum için en yüksek mukavemete ve elastisite modülüne sahiptir. Enine yönde ise mukavemet ve modül değerleri çok düşüktür. Her iki doğrultuda lif içeren malzemedede ise mekanik özellikler her iki yönde de aynıdır.

Lifin sürekli veya süreksiz lif olması tabakaların mukavemet değerlerinde değişiklik gösterir. Sürekli lif kullanılan tabakalar daha iyi mekanik özelliklerle ortaya çıkar [7].

2.2.2. Kumaşlar

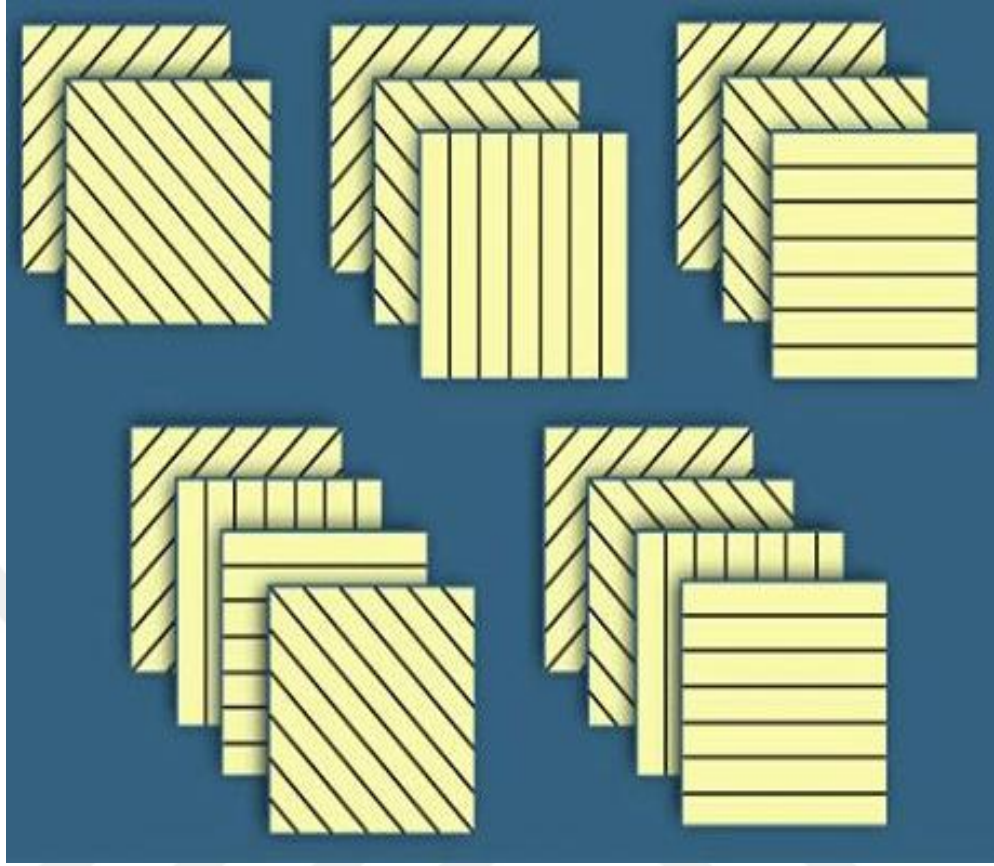
Kumaşlar, lifleri sürekli, iki boyutlu, iki yönlü veya çok yöne sahip olabilen liflerin dokunarak ya da dokunmadan birbirine geçirilerek elde edilir. Atkı ve yönleri sırası ile 0° ve 90° olarak verilen kumaş örneği Şekil 2.1’ de verilmiştir.



Şekil 2.1. İki Eksenli Örölmüş Kumaş[8]

Atkı ve çözgü yönlerinde elyaf ipliklerinin sayısı değıştirilerek, bu iki yön için çeşitli özellikler elde edilebilir. Fiber ipliklerinin sayısı, hem çözgü hem de atkı yönlerinde aynı ise, özellikler her iki yönde de aynı olmaktadır. Ancak diğer yönlerdeki özellikleri düşüktür.

Örölmüş kumaşlar, birbirine yakın bir dizi iğnenin iplikleri çekip ilmekleri oluşturduğu endüstriyel örgü makinalarında üretilir. Örölmüş kumaşlar, dokuma kumaşlardan daha esnektir. Çift yönlü örölmüş kumaşlar, biri sürekli olarak +0 yönünde ve diğeri de örgü eksenine göre -0 yönünde olan iki sürekli iplik kümesini iç içe geçirerek üretilir. Kumaşlar üç veya daha fazla doğrultuda da üretilebilir (Şekil 2.2) [7].



Şekil 2.2. Üç ve Dört Doğrultuda Dikilmiş Kumaşlar[8]

2.3. Fiber Çeşitleri ve Özellikleri

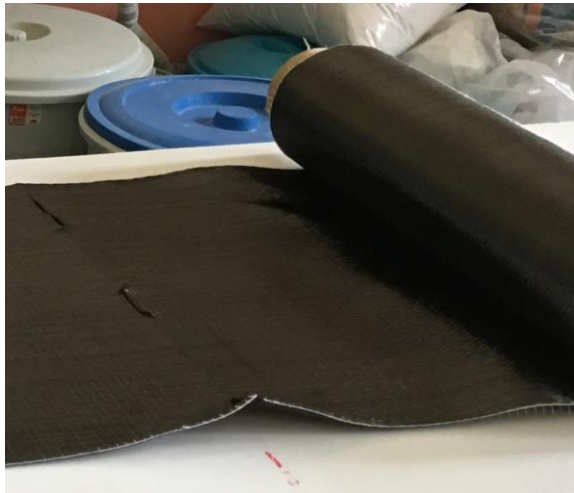
Fiber kompozitler reçine matrisi içerisinde istiflenmiş, yüksek mukavemetli fiberlerden oluşmaktadır. Fiber kompozitler yaygın olarak yapı ve yapı elemanlarında güçlendirme amacıyla kullanılırlar. Çelik malzemeye göre daha yüksek gerilme kapasiteleri olup, davranışları kopma noktasına kadar lineer elastiktir. Fiber çeşitleri, çekme dayanımları ve elastisite modülü Tablo 1.1’de verilmiştir [9].

Tablo 1.1. Fiber Tiplerinin Özellikleri [9]

Malzeme Türü	E. Modülü (kg/cm²)	Çekme Dayanımı (kg/cm²)
Cam	350-510	4830-16000
Karbon	1200-5800	6000-36900
Aramid	410-1250	17200-25400
Çelik(St37)	2000	4830-6900

2.3.1. Karbon Fiber

Karbon fiber kullanımı 19. yüzyılın sonlarına kadar uzanır (Şekil 2.3) Karbon fiber çoğunlukla Pan ve Zift denen iki malzemeden elde edilir; Zift ile elde edilen karbon fiberler kısmen daha az mukavemete sahiptir. Bundan dolayı güçlendirmede daha az kullanılırlar. Pan (Poli, Akrilo, Nitril) ile elde edilen karbon fiber kompozit malzemeler daha hafif ve daha dayanımlı olmalarından dolayı tercih edilirler [10].



Şekil 2.3. Karbon Fiber

Pan malzemesi karbon fibere dönüşmesi için dört farklı aşama ile gerçekleşmektedir. Bunlar, oksidasyon, karbonizasyon, yüzey iyileştirmesi ve kaplama aşamalarıdır. [10].

2.3.1.1.Oksidasyon

Fiberler stabilizasyonu sağlamak için açık havada 300° C'ye kadar ısıtılır. Bu işlem, fiberden hidrojenin ayrılması ve oksijenin eklenmesi ile sağlanır. Daha sonra karbonizasyon aşaması için fiberler kesilerek grafit teknelerine konur. Bu işlemde fiberin rengi beyazdan kahverengiye, ardından siyaha döner.

2.3.1.2. Karbonizasyon

Fiberlerin kapalı ortamda 3000° C'ye kadar ısıtılmasıyla, yüzde yüz karbonlaşma işlemidir.

2.3.1.3. Yüzey iyileştirmesi

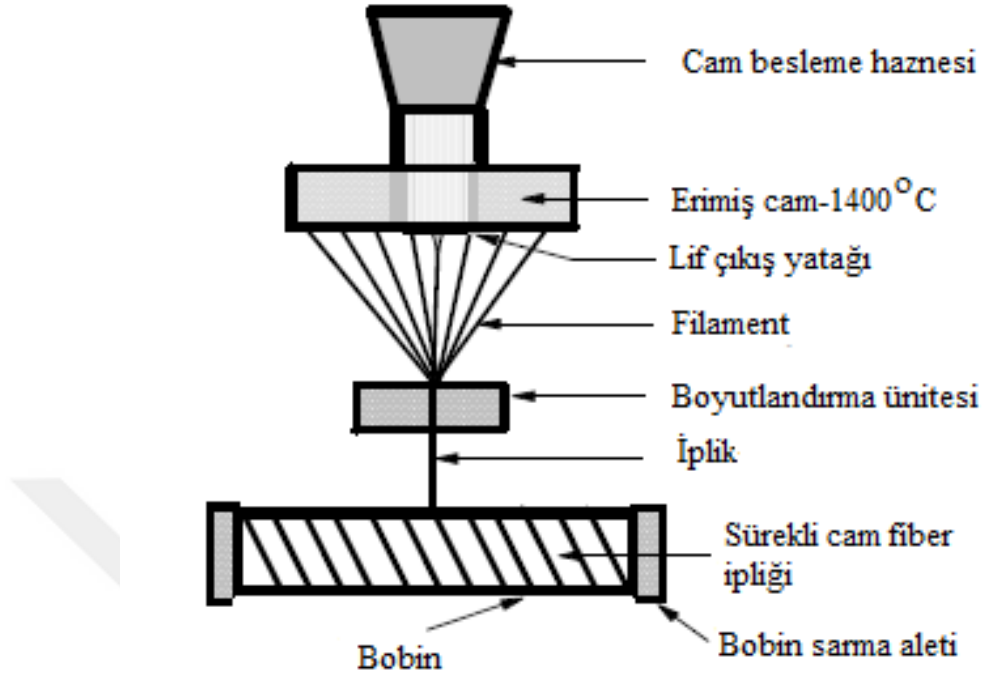
Karbon fiberin reçine ile daha iyi kaynaşması sağlamak için, fiberlere yüzey temizleme işlemi ve elektrolitik banyo yapılır.

2.3.1.4. Kaplama

Karbon fiberi bazı işlemlerden korumak için nötürleme yapılır. Bunun için reçine kullanılır. Kullanılan reçine genellikle epoksi olup reçine, fiberde ara faz yüzey için kullanılır [10].

2.3.2. Cam Fiberler

Cam fiber, silika, alümin, kolemanit gibi hammaddelerinden üretilir. Hammadde çok ince bir şekilde öğütülerek karıştırılıp, karışımın homojenliği sağlanır. Genel olarak eriyik halde üretilen cam fiberler 3-24 mikron çapında ince iplikler halinde oluşur. Her biri 200 ayrı iplikten oluşan lifler üretilir ve lifler kordonlar halinde toplanıp bir tambur üzerine sarılmadan önce bir yüzey işlemi veya boyutlandırma uygulanır. Cam elyafın üretim süreci Şekil 2.4'te verilmiştir.



Şekil 2.4. Fiberlerin Bobinlere Sarılması [11]

İplikler daha sonra tek yönlü lifler haline getirilmekte, rastgele yönlendirilmiş liflerden oluşan bir kumaş imalatında kullanmak veya çeşitli dokuma kumaşlara dokunmak için 50 mm'lik kısa uzunluklarda kesilerek hazırlanmaktadır [11].

Birleşimlerine bağlı olarak, değişik çeşitleri olan cam fiberlerin mekanik özellikleri ve kimyasal bileşimleri Tablo 2.2.' de ve görüntüsü Şekil 2.5'te verilmektedir.

Tablo 2.2. Fiberlerin Teknolojik Özellikleri [12].

Özellikler	Cam Türü			
	A	C	E	S
1.Çekme mukavemeti,(MPa)	3310	3310	3445	4890
2.E. modülü (MPa)	68900	68900	72300	86900
3.Genleşme ısıl katsayısı (m/m/°Cx10 ⁻⁷)	73	63	54	16
4.Sıcaklık yumuşama noktası (°C)	705	750	846	1056
5.Özgül gravite (t/m ³)	2.44-2.58			
Bileşenler	A	C	E	S
Silisyum dioksit	67.5	64.6	55	65
Kalsiyum oksit	6.5	13.4	22	*
Magnezyum oksit	4.5	3.3	1	10
Alüminyum oksit, demir oksit	3.5/0	4.1/0	14/0	25/0
Soda ve potas	13.5/3	9.6/0.5	0.5/0.3	-
Bor oksit	1.5	5	7	-
Titanyum oksit	-	-	0.2	-



Şekil 2.5. Cam Fiber Kumaş

Elyaf malzemesi nispeten düşük maliyetli bir malzemedir. En önemli cam çeşitleri;

A Camı- Yüksek oranda alkali içerir. Bu sebeple elektriksel yalıtkanlığı kötüdür. Kimyasallara karşı dayanımı yüksektir. Şişelerde ve pencerelerde yaygın olarak kullanılır. Kompozit malzemelerde fazla tercih edilmez.

C Camı- Kimyasallara karşı dayanımı çok yüksektir genellikle depolama tanklarında kullanılır.

E Camı- Düşük oranda alkali içermesi sebebiyle elektriksel yalıtkanlığı farklı türleri arasında en iyidir. En çok tercih edilen cam fiber türüdür. Sudan etkilenmez ve direnci çok yüksektir. Bu özelliğinden dolayı çok sık sulu ortamlarda kullanılır.

S + R Camı- Yüksek dayanımlı ve yüksek maliyetli bir camdır. E camına kıyasla çekme dayanımı %33 daha yüksektir. Yorulma dayanımı ise yüksek sıcaklıklarda iyi bir performansa sahiptir. Uçak ve uzay sanayisinde bu özelliklere sahip olması sebebi ile kullanılır [10].

2.3.3. Aramid Fiberler

Aromatik poliamid'e kısaca Aramid denilmektedir [13]. Aramid fiberler, düşük yoğunluklu ancak yüksek çekme mukavemeti-ağırlık oranına sahip olan fiberlerdir. 1965 yılında DuPont tarafından ilk defa geliştirilip Kevlar ticari ismi ile patentlenmiştir. Aramid fiberler hafiflik, yüksek çekme mukavemeti ve darbe dayanımı gerektiren birçok uzay ve deniz aracında kullanılmıştır. 1980'lerde Avrupa ve Japonya'da lifli polimer öngermeli tendonlarda aramid fiberler kullanılmıştır. Karbon fiberler gibi boyuna doğrultuda negatif termal uzama katsayısına sahiptir. Düşük termal uzamalı kompozit panellerin imalatında kullanım için uygundur.. Aramid kumaşlar azda olsa lifli polimer güçlendirme uygulama çalışmalarında kullanılmıştır [14].

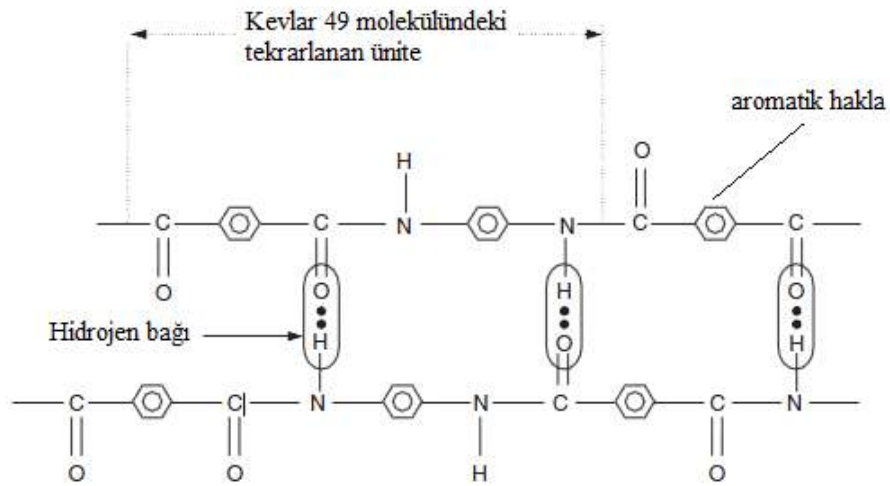
Aramid kumaşlar sarı renktedir (Şekil 2.6.). Kumaşları oluşturan aramid liflerinin yapısı anizotropiktir ve enine yönüne göre boyuna yönünde daha yüksek mukavemet ve elastisite modülü değerleri verirler. Lifler ısı ve kesilmeye karşı dayanıklıdır. Mekanik özelliklerini 400 °C' ye kadar korurlar. Statik ve dinamik yorulmaya

dayanıklıdırlar. Gerilmede elastik özellikler gösterirler [11]. Aramid lifler, farklı çeşitli formlarda mevcuttur. Kevlar 29, en düşük modüle ve en yüksek tokluğa sahiptir. Bu lifler çoğunlukla balistik ve diğer yumuşak kompozit sistemlerde kullanılır [13].



Şekil 2.6. Aramid Kumaş

Diğer bir aramid lifi, Kevlar 49'un moleküler yapısı Şekil 2.7'de gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Kevlar 49 Fiberinin Moleküler Yapısı [7]

Kevlar 49'un çekme gerilme-deformasyon davranışı lineer olsa da, fiber göçmesi kademeli olur. Eğilme halinde, Kevlar 49 fiberleri basınç tarafında yüksek dereceli bir akma davranışı gösterirler. Bu tür sünek göçme davranışı karbon ve cam fiberlerinde gözlenmez, bu davranış Kevlar 49 kompozitlerine darbe ve diğer

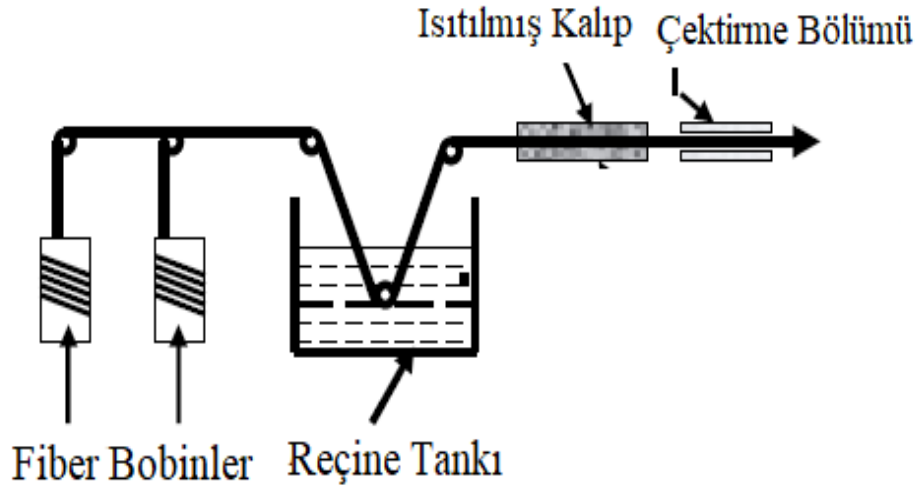
dinamik yüklere karşı mükemmel hasar toleransı özelliği kazandırır. Kevlar 49 fiberlerinin bu özelliğinden yararlanılarak yumuşak ve hafif kurşun geçirmez yelek ve miğferler üretilir [7].

Kevlar 49 fiberi erimez ya da yanmaz fakat 427 °C sıcaklıkta bozunur. Uzun vadede Çok düşük termal iletkenliğe sahipken, titreşim sönümleme katsayıları çok yüksektir. Bazı güçlü asit ve alkaliler haricinde kimyasallara karşı dayanımı iyidir. Ancak polimer olduğundan ultraviyole ışınlar karşı hassastırlar. Uzun süre güneş ışığına maruz kalması halinde rengi solar ve önemli derecede çekme dayanımı kaybı olur [7].

2.4. Fiber Takviyeli Polimerlerin Üretim Metotları

2.4.1. Profil Çekme Metodu

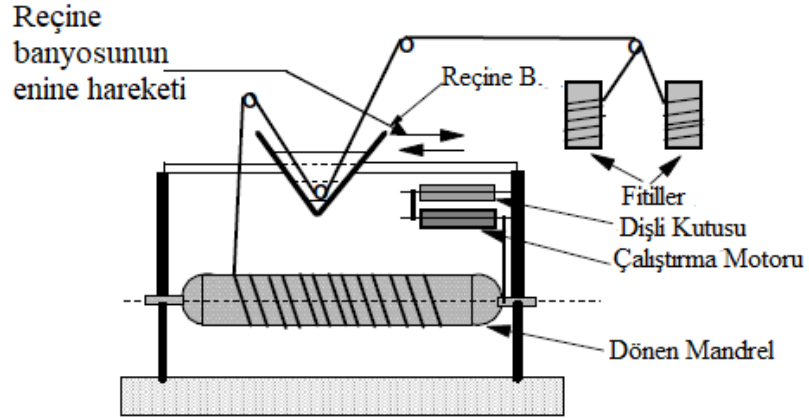
Profil çekme inşaat mühendisleri tarafından yaygın olarak kullanılan üretim tekniğidir. Bu metot reçine banyosu, ısıtılmış kalıp ve çektirmelerden oluşmaktadır (Şekil 2.8.) Bu metotta, sürekli lif takviyeli fitil, hasır fiber veya farklı fiberler, reçine banyosuna daldırılmakta ardından sıcaklığı genellikle 120 °C ve 135 °C arasında olan ısıtılmış bir kalıp içinden çekilmektedir. Ürünün tasarımı sırasında oluşturulan önemli tasarım parametreleri, fiber yerleştirme, reçine formülasyonları, katalizör seviyesi, kalıp sıcaklığı ve çekme hızıdır. Sertleşen profil kalıptan çıktığında, belirli çektirme hızı olan bir testere ile istenilen uzunluğa kesilir [11].



Şekil 2.8. Sistemin Çalışma Şeması [11]

2.4.2. Fiber Sarma Metodu

Fiber sarım tekniği, soğuk sertleştirme reçinesi banyosundan geçirilen sürekli liflerden veya kuru liflerden oluşur. Sertleştirici malzeme, sabit bir hızda dönen mandrelin uzunluğu boyunca hareketli bir şaryo üzerine monte edilmiştir. Fital lif verme sistemi, mandrelin uzunluğu boyunca karşılıklı olarak hareket eder ve gerekli lif oryantasyonunu sağlamak için mandrelin dönüşüne göre kontrol edilir. Kompozit ürün ilk polimerizasyonun tamamlanmasından sonra mandrelden çıkarılır ve ardından sekiz saat boyunca 600 °C'deki bir fırın muhafazasına yerleştirilerek tamamen kürlenir. Fiber sarımının şematik olarak Şekil 2.9'da verilmektedir [11].



Şekil 2.9. Sarım Makinesinin Çalışma Şeması [11]

2.4.3. Vakum Metodu

Bu metot hava boşluğu istenmediği durumda kullanılır. Fiber tabakalarına reçine emdirilir ve kalıba konur. Vakum yöntemi, düşük maliyetli bir imalat yöntemidir ve kısa üretim çalışmaları için düşük maliyetli takım kullanır [13].

2.5. Betonarme Yapılarda Onarım Ve Güçlendirme

Türkiye deprem ülkesi olması ve betonarme yapılarda, projelendirile, uygulama ve nihayet kullanım aşamalarında yapılan bazı hatalar nedeniyle taşıyıcı elemanlar ve kullanılan malzeme bakımından önlem alınması veya gerekliyse değişiklik yapılması oldukça önemlidir. Betonarme taşıyıcı sistemde ihtiyaç duyulan değişiklik veya düzeltmeler, duruma göre onarım, güçlendirme veya iyileştirme başlıkları adı altında uygulanmaktadır. Betonarme yapılarda farklı değişikliklerden sonra, kısıtlı alanda oluşan hasarın düzeltilmesine ya da depremden kaynaklı hasar sonucu taşıma gücü azalmış taşıyıcı elemanların deprem öncesindeki eski durumuna getirilmesine “onarım” denir [3,15].

Hasar oluşmuş ya da herhangi bir hasar oluşmayan, betonarme sistemin bazı taşıyıcı elemanları veya tamamının taşıma kapasitesini artırmak ya da servis süresince meydana gelebilecek depremlerden hasar oluşmaması için, eski durumundan daha dayanıklı hale getirilmesine “güçlendirme” denir [3,15,16].

Yapılarda onarım ve güçlendirmeyle;

- Betonarme sisteminin sınır gerilme kapasitesi emniyet sınırlarına yükseltilmesi,
- Uygulamadan sonra elde edilen verilerin ortam ve zaman şartlarından etkilenmeden korunabilmesi sağlanır.

Onarım ve güçlendirme, servis süresi içerisinde olan bir yapıda uygulanabilecek basit işlem adımlarına sahiptir. Uygulama yapıldıktan sonra kısa zamanda istenilen taşıma kapasitesine ulaşarak yapı kullanılabilir [3,17].

2.5.1. Onarım ve Güçlendirme Genel Kriterler

Onarım ve güçlendirme kriterleri hasarın sebebi ile bağlantılıdır. Amaç hasarın sebeplerini giderecek önlemlerin tespit edilmesi ve hasarın meydana getirdiği dayanım kaybının giderilmesi ve bir daha oluşmaması için gerekli güçlendirme tedbirlerinin belirlenmesidir. Değişik hasar sebepleri, uygulamada farklı onarım kriterlerini getirmesine rağmen genel olarak yapı ağırlığının azaltılması, yapının taşıma kapasitesini artırılması, burulma etkisinin azaltılması ve yeni taşıyıcı elemanlar yerleştirilmesi seçenekleri uygulanabilir [3,17].

2.5.2. Fiber Takviyeli Kompozit Malzeme ile Güçlendirilme

Fiber takviyeli polimer kompozit (FRP) sargı, beton yapıların onarım ve güçlendirilmesi için etkili bir yöntem olarak kullanılmaktadır. Fiber kompozitler, geleneksel malzemelerin yetersiz kaldığı alanlarda, birçok inşaat mühendisliği problemini çözmek için eşsiz avantajlar sunmaktadır. Fiber kompozitler hafif ve yüksek mukavemetli olması sebebi ile güçlendirme için en elverişli malzemelerdir [18].

Beton kolonlarda, FRP'nin kullanılması ile basınç dayanımı ve süneklik artmıştır [19].

FRP sargı kolona uygulanırken, ilk önce kolon yüzeyi temizlenir. Daha sonra temizlenen yüzeye epoksi sürülür ardından daha önce belirli boyutlarda kesilmiş olan elyaf kumaş epoksi kurumadan kolona yapıştırılır. FRP kolon uygulama resimleri Şekil 2.10 ve Şekil 2.11'de verilmiştir [20].



Şekil 2.10. FRP'nin Kolon Yüzeyine Uygulanması [20]



Şekil 2.11. Kolonda Bitmiş FRP Uygulaması [20]

Yapılan çalışmalarda, betonarme kiriş-kolon birleşim noktaları için, birkaç eksiklik tespit edilmiştir. Birleşim bölgelerinde enine donatı eksikliği, kiriş alt takviyesinin

yetersiz olması ve kirişlerde pilye donatısının az veya hiç olmaması bu eksiklerden bazılarıdır.

Dıştan sargılanan betonarme yapı elemanlarında elyaf sargılar, sargının yüksek mukavemet, yüksek korozyon direnci, kolay uygulanabilir ve hafiflik gibi özelliklerinden dolayı tercih edilmektedir [21]. Kolon-kiriş birleşim yerine uygulanmış FRP örneği Şekil 2.12’de verilmiştir.



Şekil 2.12. Kolonda Bitmiş FRP Uygulaması [22]

Son yıllarda, FRP’nin betonarme kirişler üzerinde eğilme performansını incelemek için çeşitli araştırmalar yapılmıştır. FRP’nin betonarme kirişlerde uygulanması ile kirişlerin moment kapasitesi artmıştır[23]

Yetersiz bakım, aşırı yükleme, kullanımda değişiklik veya uygulama kurallarında ve olumsuz çevre koşullarına maruz kalmadan dolayı betonarme yapıların güçlendirilmesine sıklıkla ihtiyaç duyulmaktadır. Mantolama ve çelik takviye çoğu zaman korozyon sebebi ile başarısız olmuştur. [24]. Uygulama kolaylığı, yüksek dayanım gibi özelliklerin yanı sıra FRP ile güçlendirme korozyona karşı da etkilidir.

3. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Cam ve Aramid elyaf kumaşlar ile ilgili daha önceden yapılmış literatür araştırmaları aşağıda verilmiştir.

Nanni ve Norris (1995), aramid şerit veya cam-aramid elyaf kumaş ile sarılmış kolonların davranışını araştırmışlardır. Kolonlar dikdörtgen ve daire kesitli üretilmiş, basınç ve eğilme etkisinde ya da sadece eğilme etkisinde iki farklı grup oluşturacak şekilde incelenmiştir. Farklı kalınlıklarda ve farklı genişliklerde bulunan aramid şeritler silindirik beton numuneler üzerine uygulanmıştır. İki grupta incelenmiş uygulama aralıkları değiştirilerek ilk grup oluşturulmuştur. İkinci grupta ise cam-aramid kumaş ile silindirik ve dikdörtgen biçimli kolonlar sarılmıştır. Aramid şeridin, betonun ezilmesi ve kayma göçmesini engellediği tespit edilmiştir [25].

Mirmiran ve Shahawy (1997), E tipi cam elyaf kumaş ile sarılmış dairesel kolon davranışını araştırmışlardır. Bu amaçla 24 adet silindirik numune üretilmiş ve bu numuneler basınç deneyine tabi tutulmuştur. Aynı zamanda numunelerde üç ayrı sargılama kalınlığı (6, 10, 14) kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda; sargılama kalınlığına bağlı olarak önemli oranda basınç dayanım, deformasyon kapasitesi ve süneklik artışı görülmüştür. Aynı zamanda betonu cam kumaş ile sargılamanın, çelikten farklı olarak eşsiz bir özelliğini tespit edilmiştir. Bu özellik, fiber kumaş ile sargılanmış beton çekirdeğin uzamaya bağlı olarak genleşme hızını azaltmaktadır. Ek olarak, çelik ile sınırlandırılmış modellerin kullanılmasının, elyaf sargılı veya fiber tüple doldurulmuş betonların davranışını anlatacak uygun bir model olmadığını vurgulanmıştır [26].

Toutanji ve Balaguru (1998), iki farklı tip karbon fiber ve cam elyaf kumaş ile sarılmış olan beton kolonların ıslanma-kuruma (300 çevrim) ve donma-çözülme (300 çevrim) çevrimlerinin oluşturdukları olumsuz etkileri incelemişlerdir. Sonuçlara göre, ıslanma- kuruma çevrimlerinde karbon fiber ile sarılan numunelerde basınç ve süneklikte azalma olmazken cam fiber ile sarılan numunelerde hem basınç hem de süneklikte azalma olmuştur. Donma-çözülme çevriminde ise hem karbon hem de cam fiber ile sarılan numunelerde belirgin şekilde basınç ve süneklik azalması olmuştur. Donma- çözülme çevriminde, ıslanma-kuruma çevrimine nazaran numuneler daha

gevrek kırılma sergilemiştir. Yazarlar bu durumun, yapıştırıcı malzemenin donma-çözülme döngülerinden etkilenmesi ve böylece kesme dayanımının azalmasından kaynaklanabileceğini ifade etmiştir [27].

Demers ve Neale (1999) tarafından, cam fiber kumaş ile sargılanan beton numunelerin özellikleri incelenmiştir. Sargının enine veya boyuna olması durumunun, sargının davranışa etkileri de araştırılmıştır. Bu amaçla farklı donatı detayına sahip 16 adet dairesel en kesitli numune üretilmiş ve basınç deneyi yapılmıştır. Beton dayanımı sargının cinsi, sargı kalınlığı davranış üzerinde etkili olmuştur. Sargılama ile süneklik ve basınç dayanımı kapasitesinde önemli oranda artış elde edilmiştir. Yazarlar önceden hasara uğratıp sargılanan numunelerde hasarsız olarak sargılanan numunelere paralel sonuçlar verdiğini tespit etmişlerdir [28].

Saafi ve arkadaşları (1999) tarafından yapılan çalışmada, 30 adet beton dolu cam fiber kompozit tüp kolonun basınç dayanımı incelenmiştir. Numunelerde üç farklı sargı katmanı kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda; FRP tüp ile sınırlandırmanın beton kolonların hem dayanım hem de sünekliğini arttırdığı, artış oranının kalınlığa ve FRP'nin özelliklerine bağlı olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, sargılı FRP betonların gerilme-deformasyon eğrisi iki doğrusal bölgeye sahiptir. Bunun sebebi birinci doğrusal bölge beton göbeğin davranışından, ikincisi ise FRP tüpten kaynaklanmıştır. Böylece FRP tüpler tarafından sınırlandırılan beton dayanımının, geleneksel sınırlandırılmayan beton dayanımından daha fazla olduğu gözlenmiştir [29].

Deniaud ve Cheng (2001), betonarme kirişlerde kesme kuvvetinin taşınmasında beton, kesme donatısı ve dıştan sarılan FRP kompozitler arasındaki etkileşimi deneysel olarak incelemiştir. Bu amaca yönelik olarak üretilen 8 adet T-kiriş test edilmiştir. T-kirişler; cam lifli polimerler ve karbon lifli polimerler ile güçlendirilmiştir. Deneysel çalışma sonucunda FRP kompozitler ile güçlendirilmiş kirişlerin kesme dayanımlarında, güçlendirme uygulanmamış kirişlere göre %77,4 ile %117,3 arasında değişen oranlarda, bir artışın olduğu belirlenmiştir. Kesme kapasitesindeki artış oranının sadece kullanılan FRP kompozit tipine bağlı olmadığı, kesme donatısı miktarı ile de yakından ilgili olduğu belirtilmiştir [30].

Wang ve Restrepo (2001), cam fiber kumaş ile sargılanan betonlarının özelliklerini incelemişlerdir. Bu amaçla, iki farklı yönde sargılanmış 3 adet kare, 3 adet de dikdörtgen biçimli numune üretilmiştir. Bu numuneler basınç deneyine tabi tutmuş ve bulunan sonuçlar doğrultusunda bir sargılama modeli önerilmiştir. Test sonuçlarına göre fiber kumaş etkisi ile basınç dayanımlarında olumlu artış ve deformasyon kapasitelerinde önemli artış olduğunu vurgulamıştır. Buna ek olarak enine doğrultuda yapılan sargılama ile boyuna donatılarda oluşan burkulma hasarını önlediğini tespit edilmiştir [31].

Yau ve Sheikh (2002), cam fiber sargılı betonarme kolon numunelerine farklı eksenel yükler uygulamışlar ve numunelerdeki şekil değiştirmelerin artan yüklerle birlikte arttığı, bu artışın karşılanması için, fiber polimer miktarının artırılması gerektiğini görmüşlerdir. Sık etriye aralığı ve etriye oranındaki artışların kolondaki sünekliği arttırdığı ve boy donatısının burkulmasını geciktirdiği gözlenmiştir. Ayrıca fiber polimer miktarının azaltılmasının daha yüksek mukavemet özelliklerine sahip fiber polimerlerin kullanılmasıyla olabildiği görülmüştür [32].

Tan (2002), 3 farklı cam fiber ve 3 farklı karbon fiber kumaşın sargı etkisini araştırmıştır. Bu amaçla 11,5x42 cm boyutunda betonarme kolon üretmiş ve üretilen kolonların eksenel yükler altındaki deformasyon, gerilme, son yükü ve kırılma davranışını incelemiştir. Çalışma sonucunda; enine fiber tabakaların betona sarılması ile kolonun eksenel yük kapasitesinde artış elde edilmiştir. Boyuna fiber yerleşimli tabakaların, kolonun dışından yeterince sarılmamışsa eksenel yük kapasitesini düşürdüğü görülmüştür. Yük altında fiber tabakaların ayrılması cam fiber için daha fazla gözlenmiştir. Ayrıca farklı sargı şekillerinin eksenel yük taşıma kapasitesini ve sünekliğini fiber çeşidine bağlı olarak artırdığı ifade edilmiştir [33].

Toutanji ve Deng (2002), aramid fiber kompozit ile sarılmış olan beton kolonların dayanım ve durabilite etkilerini araştırmışlardır. Silindir numunelerin tuzlu suda 300 kez ıslanma- kuruma, donma- çözülme çevrimi, eksenel yük gerilme-şekil değiştirme davranışı, nihai dayanımı, sertliği ve sünekliği ölçülmüştür. Sonuçlara göre, fiber takviyeli kompozit tabakalar tarafından dıştan betonu sarmanın, süneklik ve enerji emme kapasitesini önemli ölçüde artırabildiğini vurgulamıştır. Aramid elyaflarla sarılmış numuneler için, ıslanma- kurumaya maruz kalma nedeniyle mukavemette

azalma görülmemiştir. Ancak donma- çözölmeye maruz kalma nedeniyle bir miktar mukavemet azalması gözlemlenmiştir [34].

Xiao ve Wu (2003), tarafından dokuz farklı çeşit FRP sargılama sistemi araştırılmıştır. E-cam/epoksi fiber takviyeli polimer kompozit sargılama incelenmiştir. Çapı 152 mm ve boyu 300 mm olan 243 adet silindir numune üretilmiş ve bu numuneler basınç deneyine tabi tutulmuştur. Çalışmanın sonucunda; FRP kompozit ile sargı sayesinde betonun mukavemet ve sünekliğinde önemli oranda artış elde edilmiştir. Sargılama sisteminin verimliliğini fiber kompozitin özellikleri belirlemiştir [35].

Shao ve Mirmiran (2004) tarafından sismik bölgelerdeki beton yapılar için FRP'nin esas ve tek takviye olarak kullanılması incelenmiştir. Betonla doldurulmuş iki farklı lamine camdan yapılmış FRP tüp numuneler deneysel ve analitik olarak incelenmiştir. Deneysel çalışmada kolonların aksel yükler altındaki deformasyon, gerilme ve kırılma davranışı incelenmiştir. İki farklı fiber tüp için iki farklı yöntem belirlenmiştir. Gevrek basınç kırılması için çoğunluğu boyuna doğrultulu kalın fiber tüpler için ve sünek basınç kırılması ise eknesel olmayan ince fiber tüpler için gerçekleşmiştir. Çalışmanın sonucunda; betonla doldurulmuş FRP tüplerde doğrusal olmayan kırılma olacağı görölmüştür. Fiber tüpler için bir model geliştirilmiş yapılan analiz ve deneysel çalışma birbirine çok benzer sonuçlar vermiştir [36].

Berthet ve arkadaşları (2005), 2 farklı E-cam ve karbon fiber takviyeli kompozit malzemenin kolonlara dıştan sarılması ile aksel basınç altında davranışı deneysel olarak araştırmışlardır. C20, C40, C50, C100 ve C200 beton sınıfında toplam 63 adet silindir numune üretilmiş ve basınç dayanım testine tabi tutulmuştur. Çalışmanın sonucunda; FRP ile sargılamanın beton kolonların hem dayanım hem de sünekliğini önemli ölçüde arttırdığını tespit etmişlerdir. Kompozitlerin kalınlığı arttıkça bu oranda artmaktadır. Ayrıca, sargılı FRP betonların gerilme-deformasyon eğrisinde iki doğrusal kısım bulunmaktadır. Birinci doğrusal kısım betonun doğrusal elastik davranışı ikincisi ise FRP sargılı davranışı göstermektedir. Betonun mukavemeti arttıkça sargılamanın mekanik verimi hafifçe azalır. Sıradan bir beton ile karşılaştırıldığında, C 100 için % 15 ve C 200 için % 25 oranında verimliliğin azaldığı tespit edilmiştir [37].

Li (2006), E-cam/vinyl ester ile sargılı 2 farklı grup beton silindir numunenin basınç davranışını deneysel olarak araştırmıştır. Birinci grup FRP sargılı beton numunelerken, diğer grup ise beton dolu FRP boru numunelerden oluşturulmuştur. Üretilen betonların basınç dayanımı 31-82 MPa arasında değişen, 24 adet FRP sargılı silindir numune ve 15 adet FRP tüp numune hazırlanmıştır. Dıştan sargılanmış silindirler için, altı fiber yönü ve iki FRP kalınlığı kullanılmıştır. FRP tüp iki farklı mukavemete sahip E- cam fiberden hazırlanmıştır. Çalışmanın sonucunda; FRP tüp ile FRP'nin dıştan sargılamasının benzer davranışa neden olduğu tespit edilmiştir. FRP'nin daha yüksek enine poisson oranı ve daha düşük eksenel rijitliği nedeni ile betonun ilk çatlak yüküne kadar beton çekirdeği sınırlayamadığı gözlenmiştir. Eksenel fiberler içeren FRP malzeme farklı açılı malzemeye (liflerin eksenel yönde 30°, 45° ve 60°) kıyasla biraz daha yüksek bir sargılama etkinliği göstermiştir. FRP tüp ile üretilen silindirlerin daha yüksek ara yüz yapışma gücü, daha yüksek silindir basınç dayanımı ve süneklik artırımına sebep olduğunu vurgulamıştır. Dıştan sargılanmış silindirlerde ise, daha düşük eksenel gerilme nedeniyle ara yüzeylerde yapışma gücünün daha az etkiye sahip olmuştur. Sargılamanın etkinliği artış hızı sargılama kalınlığı arttıkça doğrusal olmayan bir şekilde azalmıştır. Bu durumda mevcut tasarım odaklı sargılama modelleri ve test sonuçları ile tahminler arasında önemli bir sapma bulunabileceği belirtilmiştir [38].

Almusallam (2007), E-cam/epoksi fiber takviyeli polimer (GFRP) ile sarılı beton numunelerin tek eksenli basınç davranışını deneysel olarak araştırmıştır. 40 ile 100 MPa arasında değişen farklı beton basınç dayanımına sahip toplam 54 adet silindir numune üretilmiş ve basınç dayanım testine tabi tutulmuştur. Her bir basınç dayanımı için tek ve üç katlı olarak FRP ile sarılmıştır. Çalışmanın sonucunda; FRP ile sargılamanın betonarme silindirlerin basınç dayanımını ve sünekliğini önemli ölçüde arttırdığını tespit etmiştir. Kompozitin kalınlığı arttıkça basınç dayanımını ve sünekliği artmıştır. Sargılama etkisinin, normal mukavemetli beton için çok önemli ve yüksek mukavemetli beton için daha az öneme sahip olduğu vurgulanmıştır. GFRP sargılı beton silindirlerin gerilme-gerinme ilişkisini tahmin etmek için yarı ampirik teorik model kullanılmış ve deneysel çalışma sonuçları ile mükemmel bir benzerlik gösterdiğini belirtmiştir [39].

Kumutha ve diğerkleri (2007), cam fiber takviyeli polimer (GFRP) sargısı ile güçlendirilmiş dikdörtgen kolonların tek eksenli basınç dayanımı etkilerini araştırmak için 27.45 MPa basınç dayanımında 9 adet beton numune üretilmiştir. Fiber sargı sayısı tek ve çift tabaka olarak kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda; GFRP kompozit ile sargılama basınç dayanımını yükseltmiştir. GFRP tabaka kalınlığı arttıkça dayanım, yük kapasitesinde artış ve süneklik artmıştır. En-boy oranı 1.0 olan kolonlar için sırayla bir ve iki GFRP tabaka için, eksenel yükte artış% 4.05 ve % 16.22 olmuştur. En-boy oranı 1.25 için, eksenel yükteki artış, sırasıyla bir ve iki GFRP tabakası için yaklaşık% 2.93 ve% 22.67 olmuştur. FRP ile sargılanmış betonun mukavemeti ile yanal sargılama basıncı arasında net bir doğrusal ilişki olduğunu göstermektedir. Deney sonuçlarının analizine dayanarak, FRP sargılı kolonlarda nihai yükün tahmini için basit bir model önerilmiştir. Deneysel ve analitik sonuçlar arasında iyi bir korelasyon elde edilmiştir [40].

Özbakkaloğlu ve diğerkleri (2008), aramid ve karbon fiber takviyeli polimer sargısı ile güçlendirilmiş silindirik numunelerin periyodik tek eksenli basınç dayanımı etkilerini incelemiştir. 45 ve 105 MPa basınç dayanımı olan 18 adet beton numunesi üretilmiştir. Yüksek dayanımlı betonlar (ortalama 105 MPa) için sargı kalınlığı dört ve altı kat ve normal dayanımlı betonlar(ortalama 45 MPa) için ise sargı kalınlığı iki ve üç kat olarak kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda; kompozitin kalınlığı arttıkça basınç dayanımını ve sünekliği artmıştır. Periyodik olarak yüklenmiş FRP ile sargılanmış betonun gerilme-şekil değiştirme eğrileri, aynı betonun monoton yük altında gerilme-şekil değiştirme eğrilerine benzer olarak elde edilmiştir. Bu durum, hem normal dayanımlı hem de yüksek dayanımlı beton için, hem CFRP hem de AFRP sargılama durumunda geçerli olmuştur. Periyodik ve monoton yükleme döngüleri, FRP ile sarılmış betonun nihai eksenel gerilmesinde bir artışa neden olmuştur. Bu etki AFRP ile sarılan numunelerde CFRP ile sarılan örneklerden daha belirgin elde edilmiştir [41].

Wu ve diğerkleri (2009) tarafından, aramid fiber takviyeli polimer (AFRP) sargı ile güçlendirilmiş normal ve yüksek dayanımlı dairesel kolonların tek eksenli basınç dayanımına etkileri incelenmiştir. 46.43, 78.50 ve 101.18 MPa basınç dayanımı olan 60 adet beton numunesi üretilmiş. AFRP katmanlarının sayısı bir, iki ve üç kat AFRP

ve sarma biçimi; sürekli ve süreksiz olmak üzere iki farklı şekilde kullanılmıştır. Buna ek olarak, deney sonuçlarına dayanarak gerilme-şekil değiştirme eğrilerini öngörmek için analitik bir model önerilmiştir. Ayrıca beton çekirdek için Drucker-Prager plastisite modeli ve AFRP için elastik bir modeli olan üç boyutlu doğrusal olmayan sonlu elemanlar modeli ANSYS kullanılarak geliştirilmiştir. Çalışmanın sonucunda; AFRP kalınlığı arttıkça basınç dayanımı ve sünekliği artmıştır. Sürekli AFRP sarımlı kolonların mukavemet ve sünekliği büyük ölçüde artmıştır. Süreksiz AFRP sarma ile kolonların mukavemeti de artmış ancak sünekliği her zaman artmamıştır. Düşük beton dayanımı olduğunda AFRP sargının betonun basınç dayanımı üzerindeki etkisinin daha fazla olduğu vurgulanmıştır.. Sürekli AFRP sargı ile sargılanmış yüksek dayanımlı beton için, gerilme-şekil değiştirme eğrileri lineer olarak artmaktadır ve gerilme belirgin bir artış sergilemekte, yani süneklik büyük ölçüde artmıştır. Çalışma için önerilen analitik model ve sonlu elemanlar modeli deney sonuçlarına göre birbirine benzer sonuçlar vermiştir [42].

Sangeetha ve Sumathi (2010), cam fiber takviyeli polimer (GFRP) sargı ile güçlendirilmiş dairesel kolonların tek eksenli basınç dayanıma etkilerini araştırmıştır. Dayanımı 19.81 MPa olan toplamda 42 adet beton numunesi üretilmiştir. GFRP kompozitlerin farklı türleri kullanılmıştır. Bunlar; düz GFRP, kırılmış iplikli GFRP ve silindirden geçirilmiş dokumalı GFRP türüdür. Ayrıca sargı kalınlığı tek ve üç kat olarak kullanılmıştır. GFRP kalınlığı arttıkça basınç dayanımı ve sünekliği artmıştır. Tek kat sarımlı betonların 7 günlük basınç dayanım artışı düz GFRP için % 3.6, kırılmış iplikli için % 21.46 ve silindirden geçirilmiş dokuma için % 28.97 olmuştur. Tek kat sarımlı betonların 28 günlük basınç dayanım artışı düz GFRP için % 10, kırılmış iplikli için % 27.47 ve silindirden geçirilmiş dokuma için % 31.46 olmuştur. Üç kat sarımlı betonların 7 günlük basınç dayanım artışı düz GFRP için % 50, kırılmış iplikli için % 135.79 ve silindirden geçirilmiş dokuma için % 167.93 olmuştur. Tek kat sarımlı betonların 28 günlük basınç dayanım artışı düz GFRP için % 46, kırılmış iplikli için % 99.9 ve silindirden geçirilmiş dokuma için % 128 olmuştur [43].

Luca ve diğerleri (2011) farklı cam fiber polimer ile sarılmış gerçek boyutta, kare ve dikdörtgen kesitli betonarme kolonlar için tek eksenli basınç etkilerini araştırmıştır.

Tam ölçekli bina kolonlarını temsil eden örnekler yalnızca düşey yükleri dikkate alarak ACI-318 yönetmeliğine göre hazırlanmıştır. Numunelerin beton basınç dayanımı 34.7 ve 37.3 MPa'dır. İki farklı tür cam, FRP ve bazalt-cam (cam-bazalt fiber oranı 2:1)hibrid fiber kullanılmış ve fiber sargı sayısı 2, 5 ve 8 kat olarak alınmıştır. Söz konusu güçlendirme yöntemin, nihai dayanım ve maksimum deformasyonu nasıl etkilediğini incelemek amacıyla yaptıkları çalışma sonucuna göre yazarlar, FRP sargının betonun eksenel basınç dayanım değerini artırdığını, FRP kalınlığı artışının basınç dayanımını ve sünekliği artırdığını, ancak elemanın nihai birim deformasyon kabiliyetini daha etkili olarak geliştirdiğini ifade etmişlerdir [44].

Farklı tip fiber sargılama davranışı ile ultra ve normal dayanımlı betonların kırılma etkileri Mirmiran ve Zohrevand (2011) tarafından araştırılmıştır. Yüksek dayanım elde etmek için hacimce % 2 çelik tel kullanılmıştır. Ürettikleri betonlarda 189 MPa basınç dayanımını elde edilmiştir. Cam ve karbon fiber kumaşlar kullanılarak farklı sargı kalınlıkları için hazırlanan 16 adet silindir numune basınç dayanımı testine tabi tutulmuştur. Çalışmanın sonucunda; fiberler ile sarılı numunelerin kırılması ve buna bağlı olarak kumaşların yırtılmasının beton numunelerinin orta kısımlarında olduğunu tespit etmişler.% 98 oranında maksimum dayanım artışı ve % 195 oranında maksimum deformasyon kapasitesi artışı elde etmişlerdir. Deneysel sonuçları literatürde bulunan sargılama yöntemleri ile karşılaştırmış fiber kumaş kalınlığı artmasına bağlı olarak beklenen performanslarının azaldığı vurgulanmıştır [45].

Saravanan ve diğerleri (2012), üç farklı tür cam fiber takviyeli polimer (GFRP) sargı ile güçlendirilmiş dairesel kolonların davranışını tek eksenli basınç etkisi altında araştırmıştır. Basınç dayanımı 63.64 MPa olan toplamda 21 adet beton numunesi üretilmiştir. GFRP kompozitlerin farklı türleri kullanılmıştır. Bunlar; tek yönlü kumaş GFRP, kırılmış iplikli GFRP ve silindirden geçirilmiş dokumalı GFRP türüdür. Ayrıca sargı kalınlığı üç ve beş kat olarak kullanılmıştır. Kolonlar kırılıncaya kadar tek eksenli yük altında test edilmiştir. Her yük artışı için gerekli ölçüm yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda; GFRP, betonun nihai gerilme, nihai eksenel yük, eğilme sünekliği ve enerji kapasitesi önemli ölçüde geliştirmiştir. GFRP kalınlığı arttıkça basınç dayanımını ve süneklik artmıştır. Maksimum nihai gerilme,

referans numuneye kıyasla 5mm kalınlıkta tek yönlü kumaş GFRP sargılama için % 27.38 artmıştır. Referans numuneye kıyasla maksimum eksenel yük, eğilme sünekliği, enerji sünekliği ve enerji kapasitesi sırasıyla 5mm kalınlıkta tek yönlü kumaş GFRP sargılama için % 64.12, %169.93, % 214.46 ve %138.64 oranında artmıştır [46].

Vincent ve Özbakkaloğlu (2013), Aramid fiber takviyeli polimer (ARRP) ile sargılı beton numunelerde fiber açısı ve eksenel yük davranışının etkisi üzerine deneysel bir çalışma yapmıştır. 50 ve 180 MPa basınç dayanımı olan 24 adet beton numunesi üretilmiştir. Bu numunelerden 18'ini beton dolu FRP tüp ve 6'sını FRP kumaş ile dıştan sargılama yaparak üretmiştir. Ayrıca elyaf doğrultusu, düşey eksene göre 45, 60 veya 75 derecelerde hizalanmış fiberlerle üretilen bir grup AFRP tüp numunesinin özellikleri incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda; yeterli miktarda sargılanan yüksek mukavemetli betonun yüksek sünek davranışa sahip olduğu görülmüştür. Bununla birlikte, eksenel basınç davranışının lif yönüne karşı oldukça duyarlı olup,. FRP sargılama için kullanılan liflerin, çember yönünde hizalandığında betonun basınç dayanımında en etkili artışın sağlanacağını belirtmiştir. Elyaf verimliliği, çember yönüne göre fiber hizalamasında bir artış ile önemli ölçüde azalmıştır. Tüp ya da dıştan sargılama yönteminin betonun eksenel gerilme-şekil değiştirme davranışı üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı, aynı zamanda, dıştan sarılan kumaş ile tüp dayanım performansının yakın olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte, FRP ile dıştan sarılmış örneklerin, FRP tüp ile üretilen numunelerden biraz daha yüksek nihai şekil değiştirme ve biraz daha düşük tepe gerilmesi geliştirdiği gözlenmiştir. Ayrıca, FRP ile dıştan sarılmış betonun gerilme azaltma faktörünü önemli ölçüde etkilemediği vurgulanmıştır [47].

Zhang ve diğerleri (2014), cam fiber takviyeli polimer sargı ile güçlendirilmiş silindirik numunelerin periyodik ve monoton tek eksenli basınç dayanımı etkilerini araştırmıştır. 3 farklı beton karışımında toplam 45 adet beton numune üretilmiştir. FRP tüp sargılama kalınlığı 2.2, 4.7 ve 9.5 mm olarak 3 farklı kalınlık kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda; kompozitin kalınlığının artmasıyla basınç dayanımı ve sünekliğinin arttığı görülmüştür. Periyodik olarak yüklenmiş FRP ile sargılanmış betonun gerilme-şekil değiştirme eğrileri, aynı betonun monoton yük altında gerilme-

şekil değiştirme eğrilerine benzer olarak elde edilmiştir. FRP boru ile sargılamada elyafın en dış katından başlayarak kopması, betonun göçmesinden farklı ilerleyen bir süreç olduğu belirtilmiştir [48].

Huang ve diğerleri (2015), cam fiber takviyeli polimer (GFRP) boru içerisine doldurulmuş betondan oluşan silindirlerin eksenel basınç davranışını deneysel olarak incelemiştir. Beton basınç dayanımı 30 MPa olan, toplamda 21 adet beton numune üretilmiştir. GFRP kalınlığı arttıkça basınç dayanımı ve sünekliği artmıştır. Yazarlar, GFRP tüp ile sargılamanın nihai basınç dayanımı, enerji boşalma kapasitesini ve betonun sünekliğini belirgin bir şekilde artırdığını göstermiştir. Kullandıkları analitik model ve deney sonuçları birbirine benzer sonuçlar vermiştir [49].

Karthikraja ve diğerleri (2016), cam elyaf takviyeli polimer (GFRP) güçlendirilmiş kısa kolonun eksenel basınç davranışını ve kırılma özelliklerini deneysel olarak araştırmıştır. Toplamda 13 adet beton numune üretilmiştir. Fiber sargı kalınlığı olarak çift ve dört kat kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda; GFRP kalınlığı arttıkça basınç dayanımı ve süneklik artmıştır. Referans beton numuneye göre, çift kat GFRP nihai basınç dayanımı %3.63, dört kat GFRP nihai basınç dayanımı %6 oranında artmıştır. Nihai eksenel birim şekil değiştirme çift kat GFRP için %10 ve dört kat GFRP için %25.9 oranında artmıştır. Nihai yanal birim şekil değiştirme çift kat GFRP için %12 ve dört kat GFRP için %30.28 oranında artmıştır [50].

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

Çalışmada kullanılan malzemeler ve özellikleri, kullanılan test yöntemleri ve uygulama aşamaları bu bölümde anlatılmaktadır.

4.1. Malzeme

4.1.1. Cam Fiber Kumaş

Cam fiber takviyeli polimer, cam liflerden meydana gelen metre karesi 315 gr olan twill, 1 m eninde ve 25 m boyunda rulo halinde temin edilmiştir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Twill Cam Fiber Kumaş

Twill cam fiber takviyeli polimer kumaşın özellikleri Tablo 4.1’ de verilmiştir.

Tablo 4.1. Cam Fiber Kumaşın Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

Özellikler	Cam fiber takviyeli polimer
Fiber Tipi	Cam fiber
Fiber doğrultusu	90°C (çift yönlü)
En (m)	1 m
Boy (m)	25 m
Ağırlığı (gr/m ²)	315 gr/m ²
Dokuma Kalınlığı	0,39 mm
Çekme Kopma Sınırı (MPa)	3000-4200 MPa
Kopma Uzaması (%)	0,048

4.1.2. Aramid Fiber Kumaş

Aramid fiber takviyeli polimer, aramid liflerinin kullanıldığı metre karesi 360 gr olan twill, 1 m eninde ve 25 m boyunda rulo halinde temin edilmiştir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Aramid Fiber Kumaş

Aramid fiber takviyeli polimer kumaşın özellikleri Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.2. Aramid Kumaşın Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

Özellikler	Aramid fiber takviyeli polimer
Fiber Tipi	Aramid fiber
Fiber doğrultusu	90°C (çift yönlü)
En (m)	1 m
Boy (m)	25 m
Ağırlığı (gr/m ²)	360 gr/m ²
Dokuma Kalınlığı	0,40 mm
Çekme Kopma Sınırı (MPa)	4200-5400 MPa
Kopma Uzaması (%)	0,042

4.1.3. Epoksi

Cam ve aramid fiber kumaşların beton numunelerine yapıştırılmasında iki bileşenli epoksi yapıştırıcı kullanılmıştır (Şekil 4.3). İki bileşenli solventsiz, tiksotropik epoksi esaslı doyurma reçinesi ve yapıştırıcısıdır.



Şekil 4.3. Çift Bileşenli Epoksi

Epoksinin teknik özellikleri aşağıdaki Tablo 4.3.'te verilmiştir.

Tablo 4.3. Epoksinin Teknik Özellikleri

Özellikler	Epoksi Reçine
Birim ağırlık	1.31 kg/l (+ 23°C)
Viskozite	6000 MPas (+ 23°C)
Termal Genleşme Katsayısı	45×10^{-6} 1/°C (-10 ile +40°C arası)
Çekme Dayanımı (MPa)	30 MPa (+ 23°C' de 7 günlük)
Elastisite Modülü (MPa)	Eğilme: 3800 MPa (+ 23°C' de 7 günlük) Çekme: 4500 MPa (+ 23°C' de 7 günlük)
Kopma Uzaması	% 0.9 (+ 23°C' de 7 günlük)

4.1.4. Çimento

Deneysel çalışmalarda, CEM I tipi saf Portland Çimentosu seçilmiştir. Bu çimentonun erken dayanımı yüksek ve basınç dayanımı 42,5 MPa olan tipi kullanılmıştır. Cem I tipi çimentonun özellikleri Tablo 4.4 ve Tablo 4.5'te verilmektedir.

Tablo 4.4. CEM I Çimentosunun Kimyasal Analizi

Bileşenler (%)	Çimento
SiO ₂	20,36
Al ₂ O ₃	4,56
Fe ₂ O ₃	3,5
CaO	64,77
MgO	1,06
SO ₃	2,79
Na ₂ O+ K ₂ O	0,56
Klorür	0,0079
Çözünmeyen Kalıntı	0,64
Kızdırma Kaybı	1,89
Serbest CAO	1,00

Tablo 4.5. CEM I Çimentosunun Fiziksel Analizi

Çimento Tipi	Özgöl Ağırlık (kg/cm ³)	Özgöl Yüzey (cm ² /g)	200 µ Elek Üzerinde Alan (%)	90 µ Elek Üzerinde Kalan (%)
CEM I 42,5	3,14	3122	0	0,2

4.1.5. Agregas

Deney çalışmalarında 0-4 mm, 4-12 mm ve 12-22 mm kırma taş çakıl kullanılmıştır (Şekil 4.4). Agregas en büyük tane boyutu 22 mm seçilmiştir. Agregaların fiziksel özelliklerini belirlemek amacıyla ince agregas için piknometre ve iri agregalarda Arşimet terazisi metoduna göre yapılmıştır. Agregaların fiziksel özellikleri Tablo 4.6’ da verilmiştir.

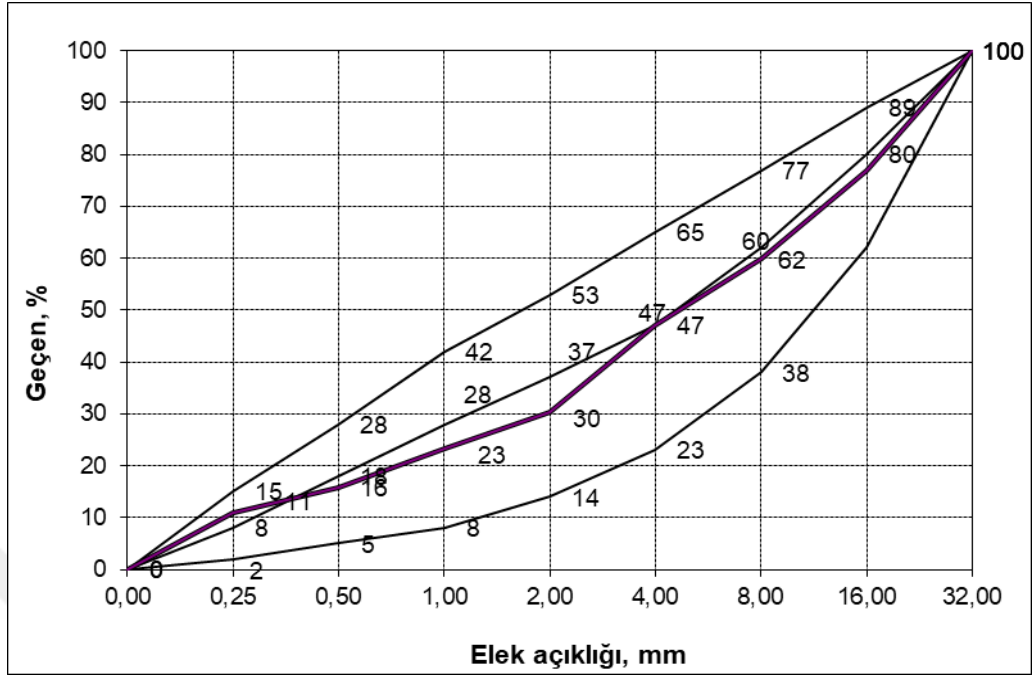
Tablo 4.6. Agregaların Fiziksel Özellikleri

Özellik	İnce Agregas (0-4 mm)	Orta Agregas (4-12 mm)	İri Agregas (12-22 mm)
Tane Birim Ağırlığı (Kg/m ³)	2478	2535	2568
Birim Ağırlık (Kg/m ³)	1698	1704	1556
Su Emme Kapasitesi (%)	2,98	2,75	2,57



Şekil 4.4. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Agregalar

Elek analizi TS 3530 EN 933-1’e uygun olarak yapılmış ve karışımın granülometrisi eğrisi Şekil 4.5’ de verilmiştir. Agregas elek analizleri TS 706 EN 12620uygundur.



Şekil 4.5. Agrega Granülometri Eğrisi

4.1.6. Silis Dumanı

Çalışmada ASTM C-1240 standartlarına uygun silis dumanı kullanılmıştır. Silis dumanına ait kimyasal ve fiziksel özellikler Tablo 4.7 ve Tablo 4.8’de, silis dumanı ise Şekil 4.6’da gösterilmiştir.

Tablo 4.7. Silis Dumanın Kimyasal Analizi

Bileşenler (%)	Silis Dumanı
Fe ₂ O ₃	2,37
Al ₂ O ₃	4,49
SiO ₂	85,38
CaO	0,81
Na ₂ O	-
MgO	1,45
K ₂ O	-
SO ₃	1,34
Kızdırma Kaybı	3,4
Çözünmeyen Kalıntı	-

Tablo 4.8. Silis Dumanının Fiziksel Özellikleri

Özgöl Gravitesi (t/m ³)	Bet (cm ² /g)	45 mikron Elek Üstü (%)Tipi	Hacim Yoğunluğu (kg/cm ³)	Nem (H ₂ O) (%)
2,23	23,36	0,58	0,55-0,65	0,19



Şekil 4.6. Silis Dumanı

4.1.7. Akışkanlaştırıcı

Betonun işlenebilirliğinin sağlanması ve karışım sırasında topaklanmanın önlenmesi için polikarboksilik eter esaslı akışkanlaştırıcı kimyasal katkı kullanılmıştır(Şekil 4.7). Kullanılan süper akışkanlaştırıcı teknik özellikleri Tablo 4.9’da verilmiştir.



Şekil 4.7. Akışkanlaştırıcı

Tablo 4.9. Akışkanlaştırıcının Teknik Özellikleri

Teknik Özellikler	Akışkanlaştırıcı
Malzemenin Yapısı	Polikarboksilik Eter Esaslı
Görünüm	Opak
Özgül Ağırlığı	1.074-1.134 kg/lt
Ph	5-7
Alkali içeriği (%)	≤ 3,00
Klor iyon içeriği (%)	≤ 0,10
Korozyon Davranışı	Sadece EN 934-1:2008,EK A,1 standardına uygun bileşenlerini içerir

4.1.8. Karışım Suyu

Bu çalışmada karışım suyu olarak ortalama sıcaklığı +20 °C olan şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

4.2.Metot

4. 2. 1. Beton Karışımların Hazırlanması

TS 802 beton karışım standardından yararlanılarak C20, C50, C75 olmak üzere üç farklı beton karışım hesabı yapılmıştır. 150x300mm ölçülerinde 45 adet silindir beton numune Bozok Üniversitesi Yapı malzeme laboratuvarında hazırlanmıştır. Numunelerin adlandırılması ve deneysel çalışmada kullanılan malzemeler Tablo 4.10’da verilmiştir.

Tablo 4.10. 1 m³ Beton Materyaller

Beton Sınıfı	Beton Materyalleri							Taze Beton Özellikleri	
	Çimento (kg)	Su (kg)	Kum (kg)	Orta Çakıl (kg)	İri Çakıl (kg)	Silis Dumanı (kg)	Kimyasal Katkı (kg)	Slamp (mm)	Birim Ağırlık (kg/m ³)
C20	330	191	872	451	487	-	2,6	125	2334
C50	420	189	814	421	454	42	3,4	132	2344
C75	540	189	758	392	423	54	4,3	147	2348

Hazırlanan malzemeler betoniyerde uygun şekilde karıştırılarak taze beton hazırlanmış ve taze beton numune resimleri Şekil 4.8’de verilmiştir.



Şekil 4.8. Beton Numuneleri

Yaş betonun akıcılığı slump testi ile belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar Tablo 3.9’da verilmiştir. Deney anında görüntü Şekil 4.9’da gösterilmiştir.



Şekil 4.9. Slamp Deneyi

Üretilen silindir beton numuneler aynı koşullarda, çeşme suyu ile doldurulmuş kür havuzunda bekletilmiştir (Şekil 4.10).



Şekil 4.10. Kür Havuzu

4.2.2. FRP'lerin Hazırlanması

Silindir numunelerin yüzeyine sarılan Aramid cam fiberlerin basınç altında davranış özelliklerini tespit edebilmek için tek ve çift sarım uygulanmıştır. 15 adet C20 beton sınıflı numunenin 3 adedi referans numunesi, 3 adet tek kat cam fiber, 3 adedi çift kat cam fiber, 3 adedi tek kat aramid fiber, 3 adedi çift kat aramid fiber sarılması planlanmıştır. 15 adet C50 beton sınıflı numunenin 3 adedi referans numunesi, 3 adedi tek kat cam fiber, 3 adedi çift kat cam fiber, 3 adedi tek kat aramid fiber, 3 adedi çift kat aramid fiber sarılması planlanmıştır. 15 adet C75 beton sınıflı numunenin 3 adedi referans numunesi, 3 adedi tek kat cam fiber, 3 adedi çift kat cam fiber, 3 adedi tek kat aramid fiber, 3 adedi çift kat aramid fiber sarılması planlanmıştır.

Sargılama için Cam Elyaf Polimer (GFRP) ve Aramid Polimer (AFRP) kumaşlar 300x600 mm ölçülerinde kumaşlarda 130 mm bindirme boyu bırakılacak şekilde şarjlı kevlar makası ile kesilerek hazırlanmıştır. (Şekil 4.11 ve Şekil 4.12).



Şekil 4.11. Cam Fiber Kumaşın Kesilip Hazırlanması



Şekil 4.12. Aramid Fiber Kumaşın Kesilip Hazırlanması

Beton karışım hesabı yapılmış ve dökülmüş 45 adet silindir numuneden, 12 adet C20, 12 adet C50 ve 12 adet C75 beton sınıflı numuneler fiber kompozit takviyeli polimer malzeme sarılmak için ayrılmıştır (Şekil 4.13).



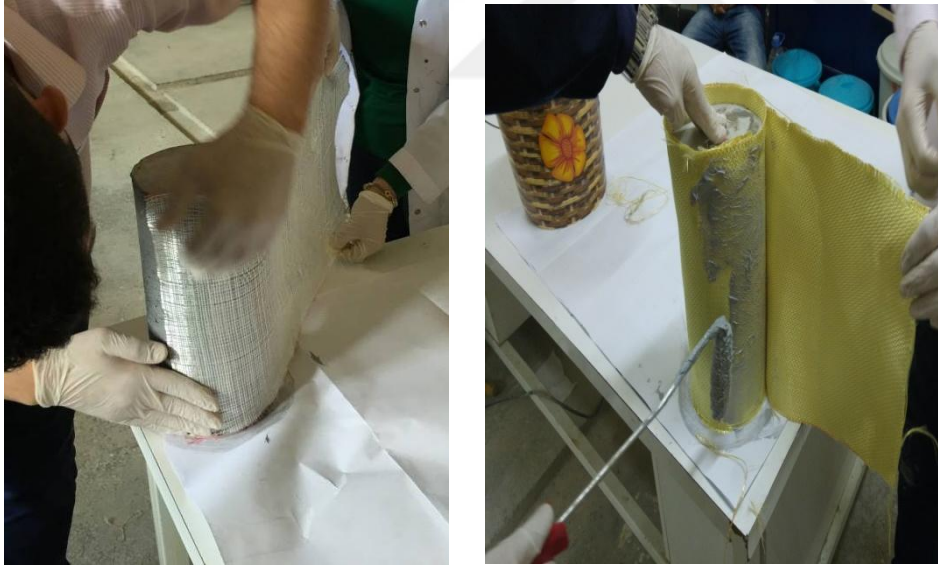
Şekil 4.13. Beton Numuneleri

Elyaf kumaşların betona sarılmasında Cam ve Aramid elyaf kumaşların beton numunelerine yapıştırılmasında epoksi reçine kullanılmıştır. Karışımında; yapıştırıcı olan epoksi malzemesi ve priz süresini düzenleyen sertleştirici bulunmaktadır. 4:1 oranında karışım düşük devirli matkap ile karıştırılarak hazırlanmıştır (Şekil 4.14).



Şekil 4.14. Çift Bileşenli Epoksinin Hazırlanması

Hazırlanan epoksi yapıştırıcısı kısa sürede reaksiyona girdiğinden bir seferde 2 numunelik epoksi karışımı hazırlanmıştır. Kullanılan epoksi karışımı betona ince bir tabaka halinde mala ve boyacı rulosu yardımıyla sürülerek yapıştırılmıştır (Şekil 4.15). Daha sonra rulo yardımıyla hava boşlukları giderilmiştir.



Şekil 4.15. Cam Elyaf ve Aramid Elyaf Kumaşların Betona Sarılması

Toplamda 36 adet beton numunesi tek ve çift kat fiber ile sarılmıştır (Şekil 4.16). 9 adet beton numune ise referans numunesi olarak ayrılmıştır.



Şekil 4.16. Tamamlanan FRP Numuneler

4.2.3. Beton Numunelerin Basınç Dayanımının Belirlenmesi

150x300 mm boyutlu silindir beton numuneler TS EN 12390-3 standartına uygun olarak basınç dayanımı testi yapılmıştır. Basınç deneylerinde C20, C50 ve C75 olmak üzere üç dayanım sınıfında betonlar üretilmiştir. Sargılı ve sargısız beton silindir numuneler her dayanım grubu için 3 adet numune üretilmiş ve 28 günlük basınç dayanımları belirlenmiştir. Silindir numunelere çimento harç başlık yapılmıştır. 500 tonluk cihazda eksenel basınç testi uygulanmıştır. Testler yapılırken yükleme hızı 0.05 mm/dk olacak şekilde ayarlanmıştır. Şekil 4.17’de deney aşaması görülmektedir.



Şekil 4.177. Basınç Dayanım Testi

Betonuna eksenel basınç testi uygulanırken LVDT’ler aracılığıyla yatay ve düşey yer değiştirmenin eksenel yük ile değişimi ve eksenel yük- zaman değişimi kaydedilmiştir. (Şekil 4.18).



Şekil 4.18. Eksantrometre Yerleştirilen Numune

5. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRMESİ

Bu bölümde deneysel çalışma sonuçları değerlendirilip, sonuçlar grafiksel olarak ifade edilmiş, malzeme kırılma tipleri incelenmiş ve yorumlanmıştır.

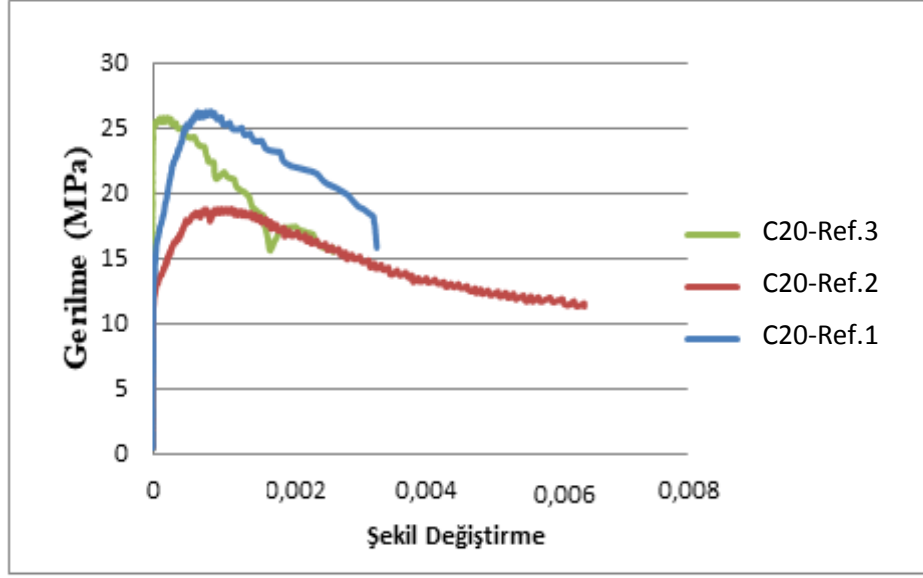
5.1. Referans Numunelerinin Basınç Deneyi Sonuçları

150x300 mm boyutlu silindir elemanlar üzerinde yapılan deneyler sonucu referans numunelerinin basınç dayanımı, düşey şekil değiştirme ve elastisite modülü değerleri bulunmuştur. C20 Referans numunelerinin basınç dayanımı ve elastisite modülü sonuçları Tablo 5.1’de verilmiştir.

Tablo 5.1. C20 Referans Numunelerinin Basınç Dayanımı Sonuçları

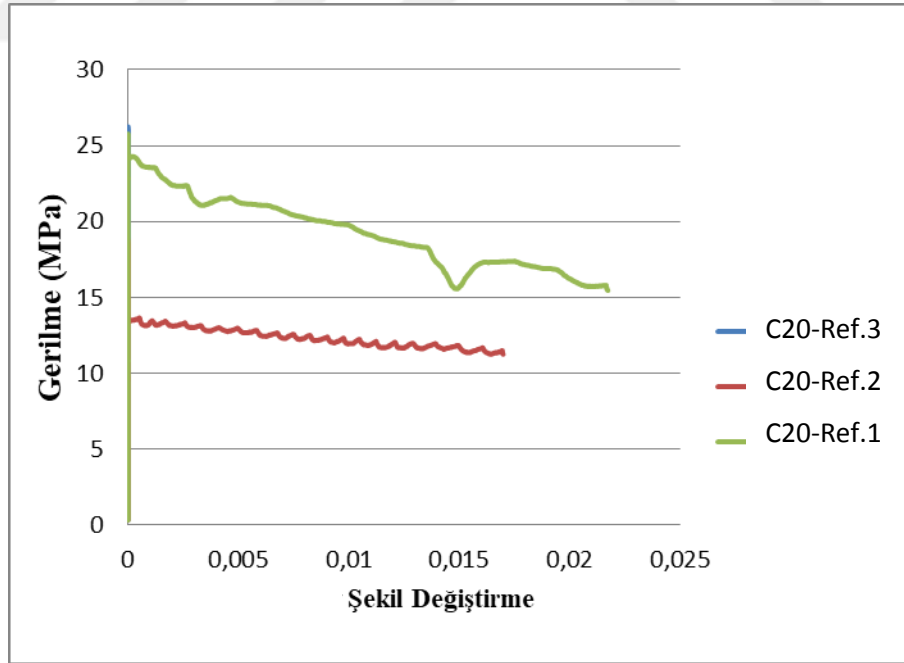
Sıra No	Kırılma Yüğü (kN)	Düşey Deplasman (mm)	Düşey Şekil Değiştirme	Basınç Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (MPa)
1	463.9	0,131	0,0008	26.3	32245
2	331.5	0,155	0,0010	18.8	19469
3	455.4	0,033	0,0002	25.8	125091
Ortalama			0,0007	23.6	58935

C20 referans numunelerinin düşey gerilme-şekil değiştirme grafiği Şekil 5.1’de verilmiştir.



Şekil 5.1. C20 Numunelerinin Düşey Gerilme-Şekil Değişirme Grafiği

C20 referans numunesinin yatay gerilme-şekil değişirme grafiği Şekil 5.2’de verilmiştir.



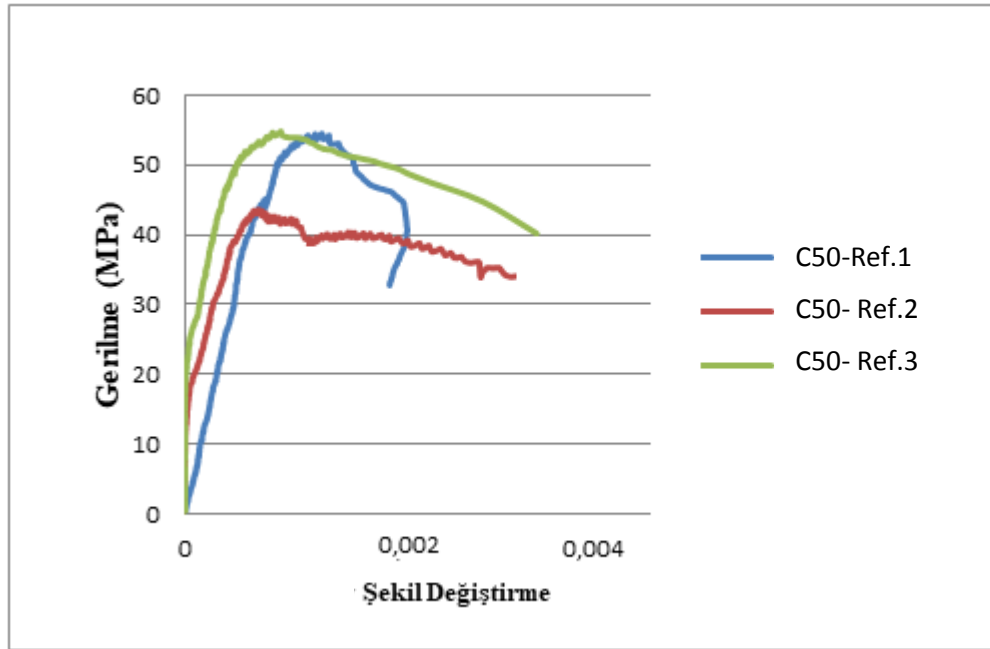
Şekil 5.2. C20 Numunelerinin Yatay Gerilme Şekil-Değişirme Grafiği

C50 Referans numunelerinin basınç dayanımı ve elastisite modülü sonuçları Tablo 5.2’de verilmiştir.

Tablo 5.2. C50 Referans Numunelerinin Basınç Dayanımı Sonuçları

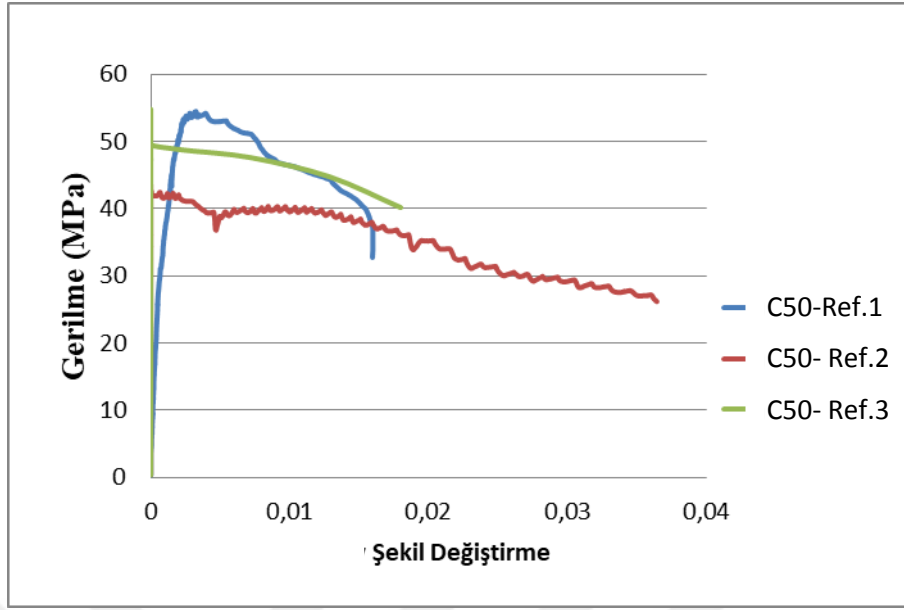
Sıra No	Kırılma Yüğü (kN)	Düşey Deplasman (mm)	Düşey Şekil Değişirme	Basınç Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (MPa)
1	963.0	0,221	0,0014	54.5	39457
2	770.2	0,119	0,0007	46.6	58869
3	968.9	0,155	0,0010	54.8	56568
Ortalama			0,0010	52.0	51631

C50 referans numunelerinin düşey gerilme-şekil değişirme grafiği Şekil 5.3’te verilmiştir.



Şekil 5.3. C50 Numunelerinin Düşey Gerilme-Şekil Değişirme Grafiği

C50 referans numunesinin yatay gerilme-şekil değişirme grafiği Şekil 5.4’te verilmiştir.



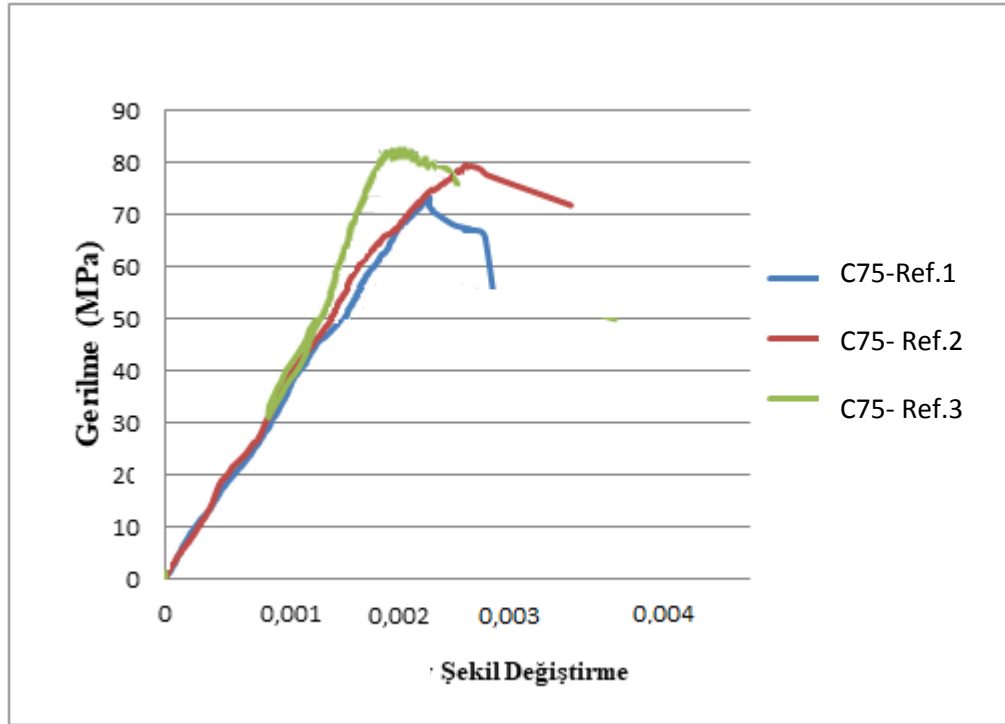
Şekil 5.4. C50 Numunelerinin Yatay Gerilme-Şekil Değişirme Grafiği

C75 Referans numunelerinin basınç dayanımları ve elastisite modülü sonuçları Tablo 5.3'te verilmiştir.

Tablo 5.3. C75 Referans Numunelerinin Basınç Dayanımı Sonuçları

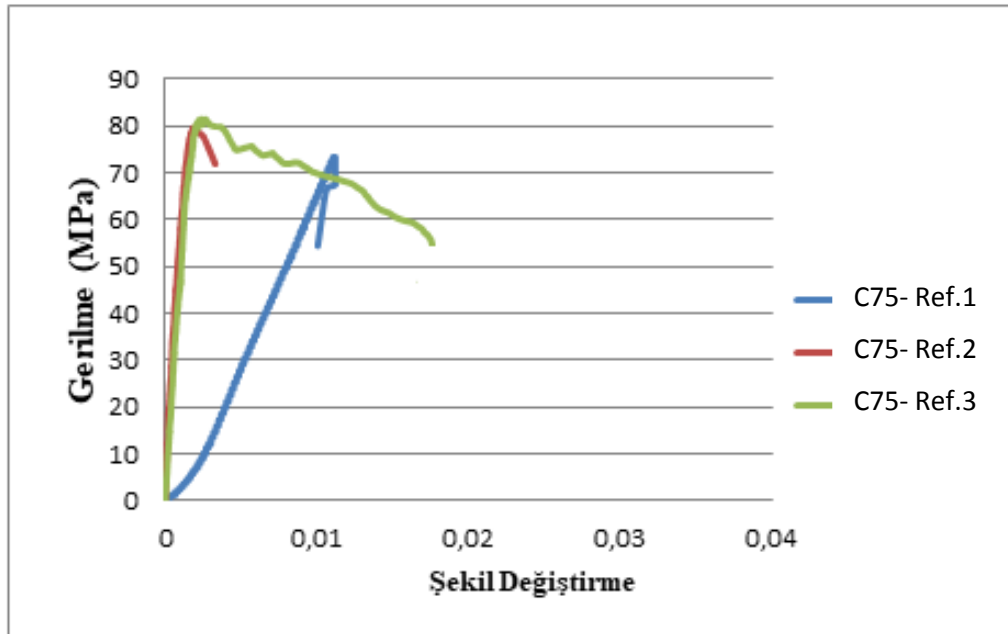
Sıra No	Kırılma Yüğü (kN)	Düşey Deplasman (mm)	Düşey Şekil Değişirme	Basınç Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (MPa)
1	1296.4	0,339	0,0021	73.4	34694
2	1406.9	0,386	0,0024	79.6	33038
3	1440.6	0,397	0,0025	81.5	32715
Ortalama			0,0023	78.2	33482

C75 referans numunelerinin düşey gerilme-şekil değiştirme grafiği Şekil 5.5'te verilmiştir.



Şekil 5.5. C75 Numunelerinin Düşey Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği

C75 referans numunesinin yatay gerilme-şekil değiştirme grafiği Şekil 5.6'da verilmiştir.



Şekil 5.6. C75 Numunelerinin Yatay Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği

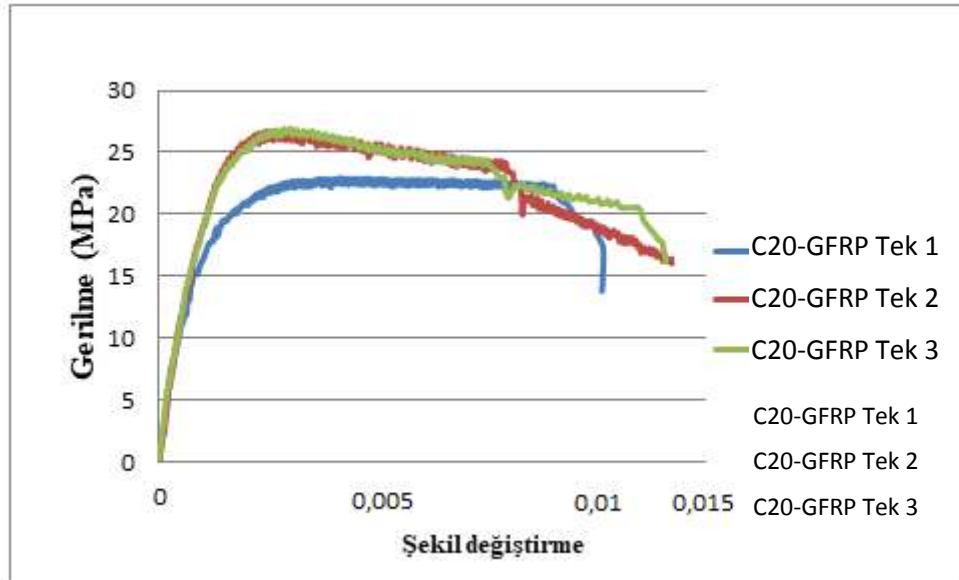
5.2. Tek Kat GFRP Numunelerinin Basınç Deneyi Sonuçları

C20-GFRP tek kat numunelerinin basınç dayanımı ve elastisite modülü sonuçları Tablo 5.4’te verilmiştir.

Tablo 5.4. C20-GFRP Tek Kat Numunelerinin Basınç Dayanımı Sonuçları

Sıra No	Kırılma Yüğü (kN)	Düşey Deplasman (mm)	Düşey Şekil Değiştirme	Basınç Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (MPa)
1	405.6	0,591	0,0037	23.0	6227
2	472.8	0,396	0,0025	26.8	10842
3	476.1	0,433	0,0027	26.9	9940
Ortalama			0,0030	25.6	9003

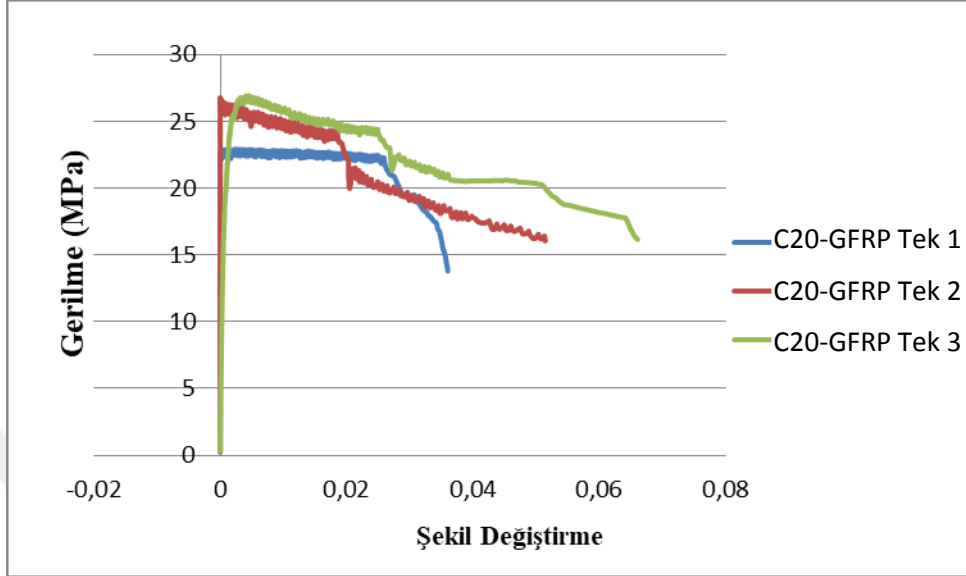
Referans C20 numunesi göre % 8 daha fazla basınç dayanımı elde edilmiştir. Bu durum cam fiber takviyesi ile güçlendirme etkisi ile ortaya çıkmıştır. C20-GFRP tek kat numunelerinin düşey gerilme-şekil değiştirme grafiği Şekil 5.7’de verilmiştir.



Şekil 5.7. C20-GFRP Tek Kat Numunelerinin Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği

C20 referans numuneye oranla düşey doğrultuda süneklik % 176 oranında artışı görülmektedir. Süneklik artışa bağlı olarak tokluk değerlerinin de artışı şekilde

görülmektedir. C20-GFRP tek kat numunelerinin yatay gerilme-şekil değiştirme grafiği Şekil 5.8’de verilmiştir.



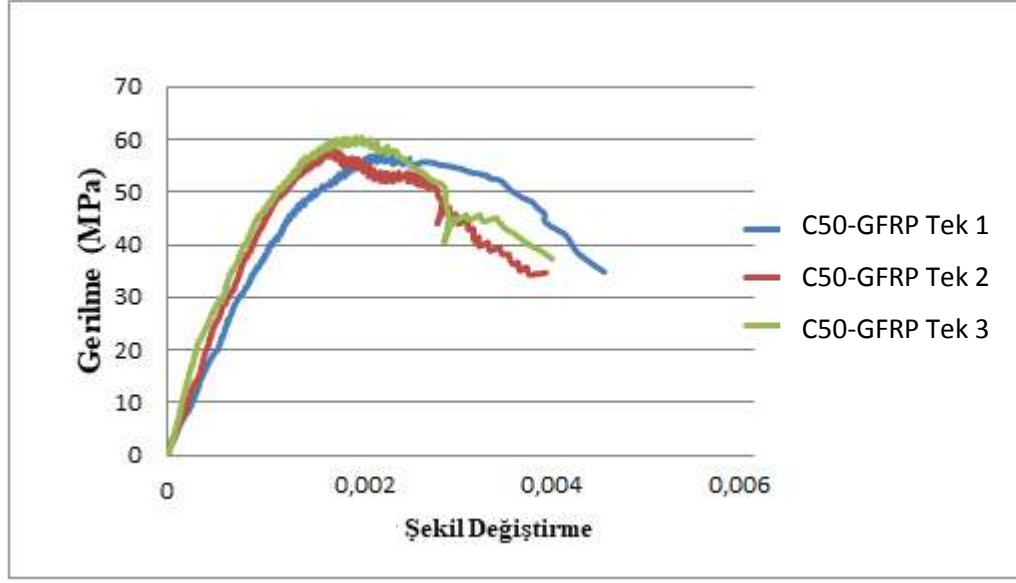
Şekil 5.8. C20-GFRP Tek Kat Numunelerinin Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği

C20 referans numuneye oranla yatay doğrultuda süneklik % 202 oranında artışı görülmektedir. C50-GFRP tek kat numunelerinin basınç dayanımı ve elastisite modülü sonuçları Tablo 5.5’te verilmiştir.

Tablo 5.5. C50-GFRP Tek Kat Numunelerinin Basınç Dayanımı Sonuçları

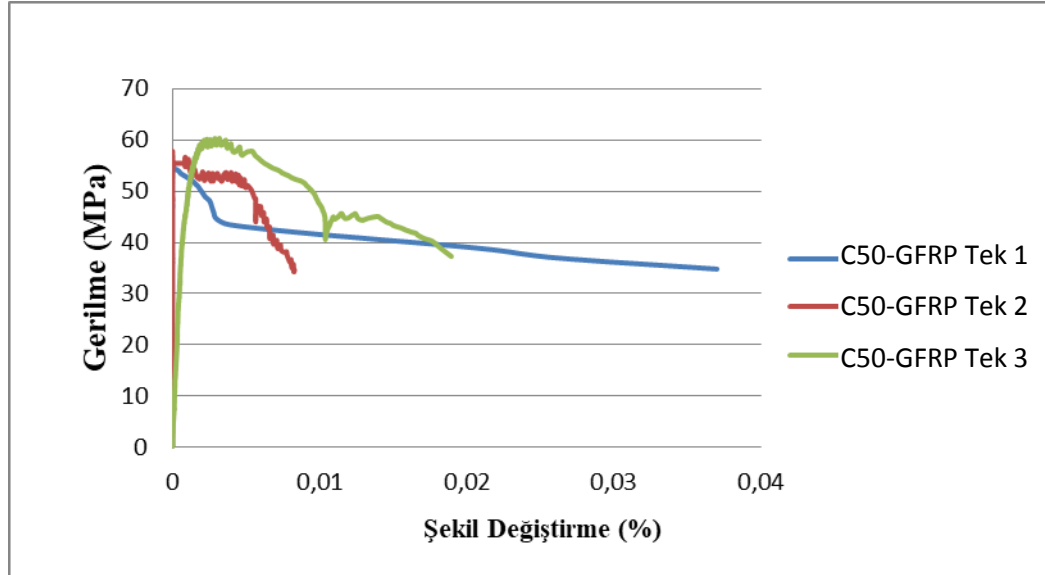
Sıra No	Kırılma Yüğü (kN)	Düşey Deplasman (mm)	Düşey Şekil Değiştirme	Basınç Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (MPa)
1	1006.8	0,444	0,0028	57.0	20541
2	1021.5	0,343	0,0021	57.8	27001
3	1066.3	0,398	0,0025	60.3	24241
Ortalama			0,0025	58.4	23928

Referans C50 numunesi göre % 12 daha fazla basınç dayanımı elde edilmiştir. C50-GFRP tek kat numunelerinin düşey gerilme-şekil değiştirme grafiği Şekil 5.9’da verilmiştir.



Şekil 5.9. C50-GFRP Tek Kat Numunelerinin Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği

C50 referans numuneye oranla düşey doğrultuda süneklik % 40 oranında artışı görülmektedir. Süneklik artışa bağlı olarak tokluk değerlerinin de artışı şeklinde görülmektedir. C50-GFRP tek kat numunelerinin yatay gerilme-şekil değiştirme grafiği Şekil 5.10’da verilmiştir.



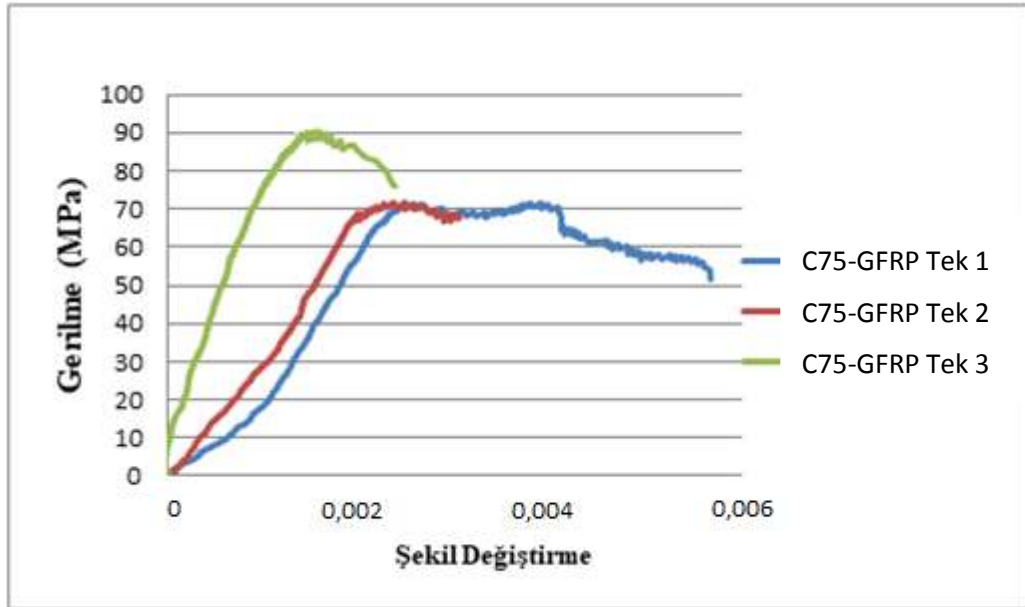
Şekil 5.10. C50-GFRP Tek Kat Numunelerinin Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği

C50 referans numuneye oranla yatay doğrultuda süneklik % 36 oranında artığı görülmektedir C75-GFRP tek kat numunelerinin basınç dayanımı ve elastisite modülü sonuçları Tablo 5.6’da verilmiştir.

Tablo 5.6. C75-GFRP Tek Kat Numunelerinin Basınç Dayanımı Sonuçları

Sıra No	Kırılma Yüğü (kN)	Düşey Deplasman (mm)	Düşey Şekil Değiştirme	Basınç Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (MPa)
1	1266.2	0,372	0,0023	71.7	30880
2	1266.7	0,354	0,0022	71.7	32407
3	1614.1	0,210	0,0013	91.4	69804
Ortalama			0,0019	78.3	44364

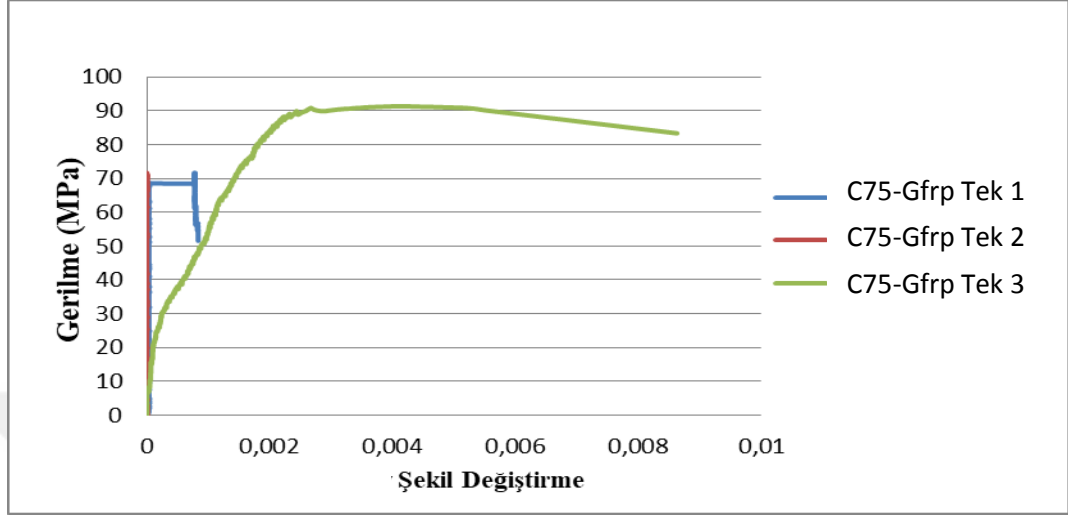
Referans C75 numunesi göre aynı basınç dayanımı elde edilmiştir.Bu durum belli basınç dayanımından sonra tek kat cam fiber kumaş sargının basınç dayanımını etkilemediğini göstermiştir. C75-GFRP tek kat numunelerinin düşey gerilme-şekil değiştirme grafiği Şekil 5.11’de verilmiştir.



Şekil 5.11. C75-GFRP Tek Kat Numunelerinin Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği

C75 referans numuneye oranla düşey doğrultuda süneklik % 2 oranında artığı görülmektedir. Süneklik artışa bağlı olarak tokluk değerlerinin de artığı şekilde

görülmektedir. C75-GFRP tek kat numunelerinin yatay gerilme-şekil değiştirme grafiği Şekil 5.12’de verilmiştir.



Şekil 5.12. C75-GFRP Tek Kat Numunelerinin Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği

C75 referans numuneye oranla düşey doğrultuda süneklik % 14 oranında artığı görülmektedir. Basınç deneyi sonrası kırılmış bir numune Şekil 5.13’de verilmiştir.



Şekil 5.13. Basınç Deneyinde Kırılmış GFRP Sargılı Beton Numune

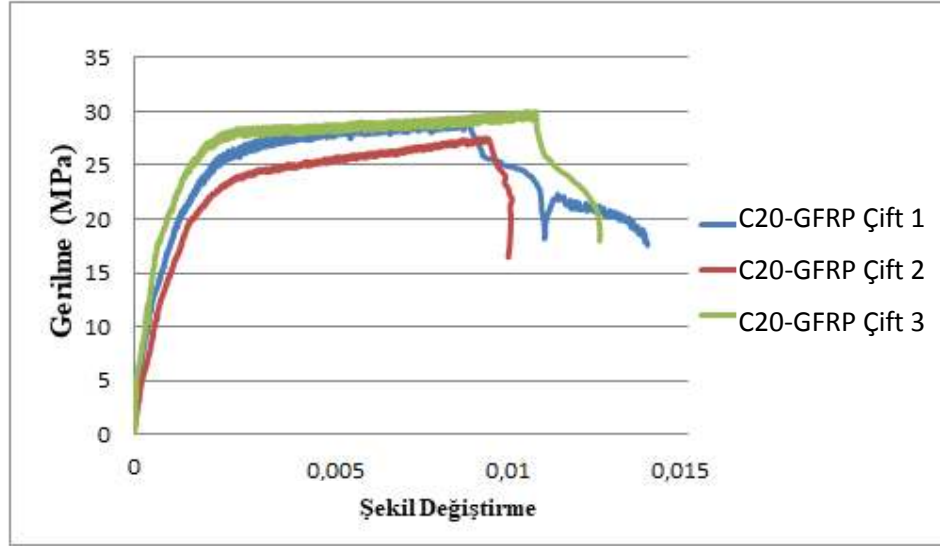
5.3. Çift Kat GFRP Numunelerinin Basınç Deneyi Sonuçları

C20-GFRP çift kat numunelerinin basınç dayanımı ve elastisite modülü sonuçları Tablo 5.7’de verilmiştir.

Tablo 5.7. C20-GFRP Çift Kat Numunelerinin Basınç Dayanımı Sonuçları

Sıra No	Kırılma Yüğü (kN)	Düşey Deplasman (mm)	Düşey Şekil Değişirme	Basınç Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (MPa)
1	518.3	1,409	0,0088	29.3	3328
2	486.4	1,530	0,0096	27.5	2876
3	529.6	1,696	0,0106	30.0	2830
Ortalama			0,0966	28.9	3011

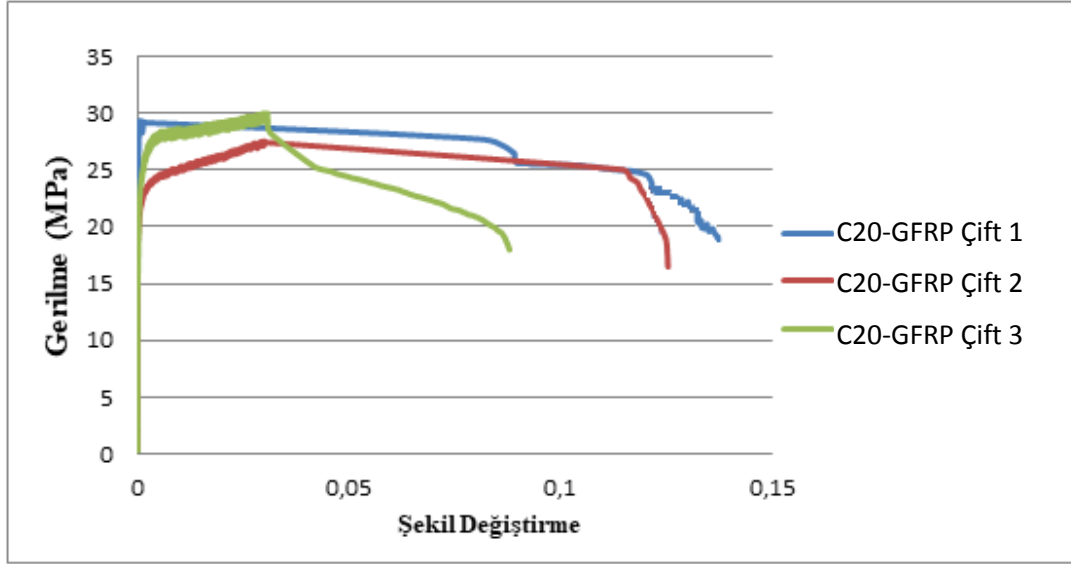
Referans C20 numunesi göre % 22 daha fazla basınç dayanımı elde edilmiştir. Bu durum 2 kat cam fiber takviyesi ile güçlendirme etkisi ile ortaya çıkmıştır. C20-GFRP çift kat numunelerinin düşey gerilme-şekil değişirme grafiği Şekil 5.14’de verilmiştir.



Şekil 5.14. C20-GFRP Çift Kat Numunelerinin Gerilme-Şekil Değişirme Grafiği

C20 referans numuneye oranla düşey doğrultuda süneklik % 240 oranında artışı görülmektedir. Süneklik artışa bağlı olarak tokluk değerlerinin de artışı şeklinde

görülmektedir. C20-GFRP çift kat numunelerinin yatay gerilme-şekil değiştirme grafiği Şekil 5.15'te verilmiştir.



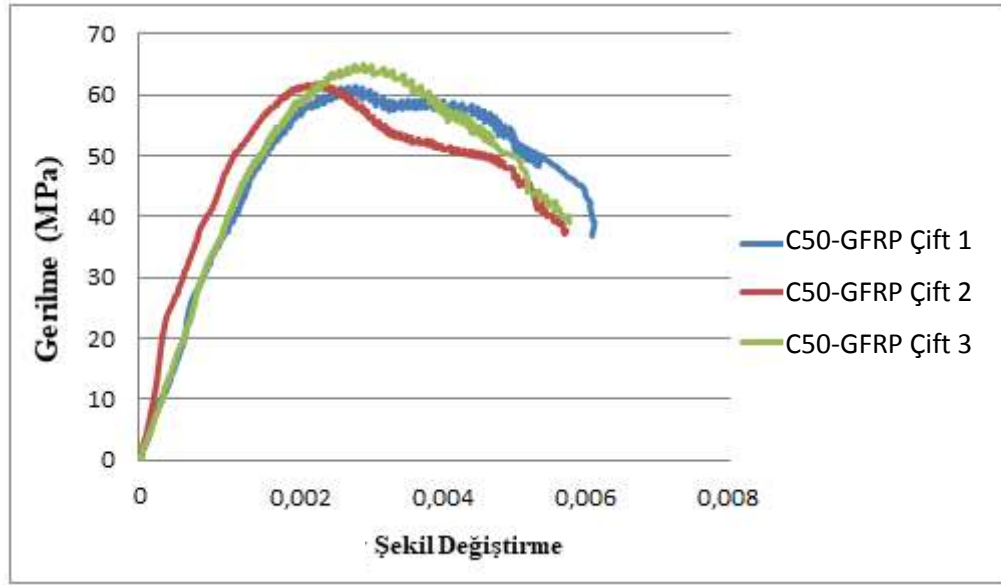
Şekil 5.15. C20-GFRP Çift Kat Numunelerinin Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği

C20 referans numuneye oranla yatay doğrultuda süneklik % 354 oranında artışı görülmektedir. Süneklik artışa bağlı olarak tokluk değerlerinin de artışı şeklinde görülmektedir. C50-GFRP çift kat numunelerinin basınç dayanımı ve elastisite modülü sonuçları Tablo 5.8'de verilmiştir.

Tablo 5.8. C50-GFRP Çift Kat Numunelerinin Basınç Dayanımı Sonuçları

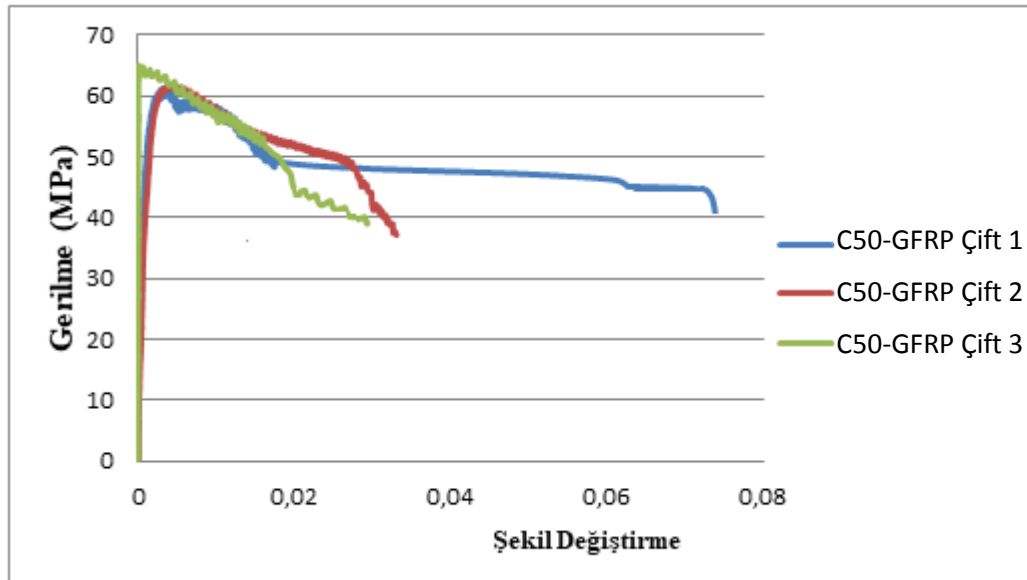
Sıra No	Kırılma Yüğü (kN)	Düşey Deplasman (mm)	Düşey Şekil Değiştirme	Basınç Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (MPa)
1	1085.6	0,439	0,0027	61.4	22378
2	1093.0	0,359	0,0022	61.9	27588
3	1148.8	0,456	0,0029	65.0	22807
Ortalama			0,0026	62.8	24258

Referans C50 numunesi göre % 21 daha fazla basınç dayanımı elde edilmiştir. C50-GFRP çift kat numunelerinin düşey gerilme-şekil değiştirme grafiği Şekil 5.16'da verilmiştir.



Şekil 5.16. C50-GFRP Çift Kat Numunelerinin Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği

C50 referans numuneye oranla düşey doğrultuda süneklik % 51 oranında artışı görülmektedir. Süneklik artışa bağlı olarak tokluk değerlerinin de artışı şeklinde görülmektedir. C50-GFRP çift kat numunelerinin yatay gerilme-şekil değiştirme grafiği Şekil 5.17’de verilmiştir.



Şekil 5.17. C50-GFRP Çift Kat Numunelerinin Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği

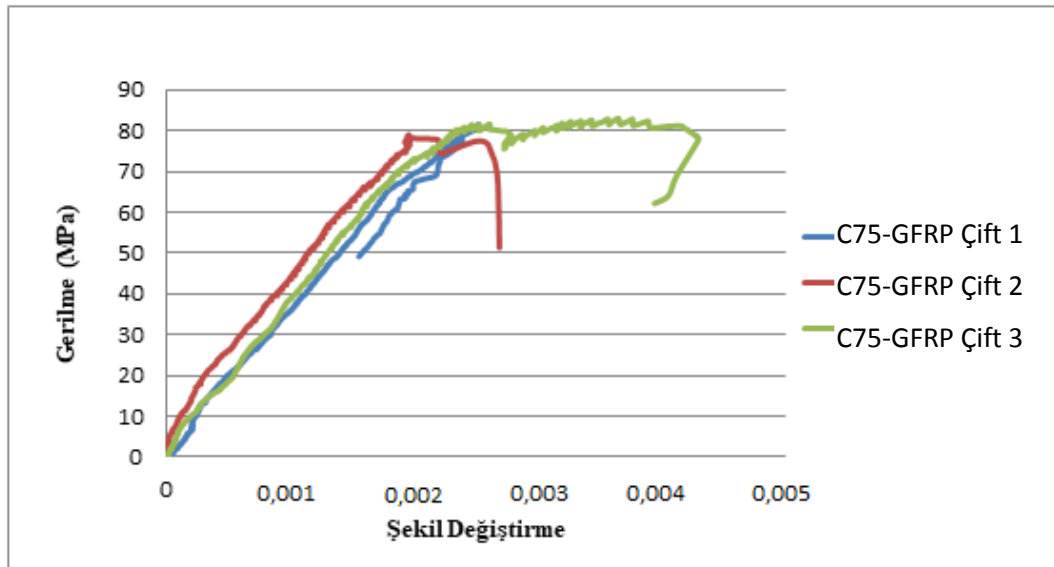
C50 referans numuneye oranla yatay doğrultuda süneklik % 72 oranında artışı görülmektedir.

C75-GFRP çift kat numunelerinin basınç dayanımı ve elastisite modülü sonuçları Tablo 5.9’da verilmiştir.

Tablo 5.9. C75-GFRP Çift Kat Numunelerinin Basınç Dayanımı Sonuçları

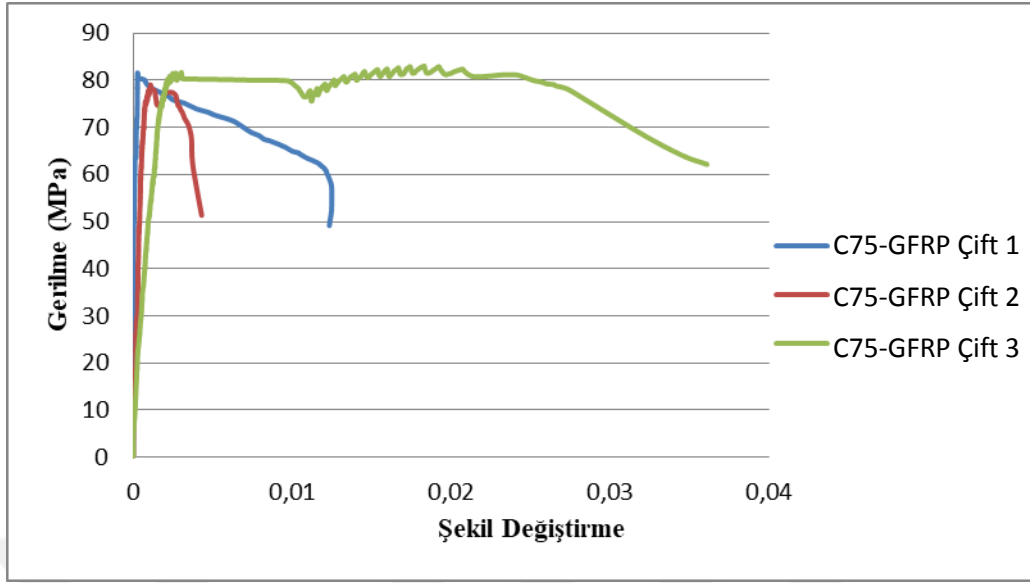
Sıra No	Kırılma Yüğü (kN)	Düşey Deplasman (mm)	Düşey Şekil Değişirme	Basınç Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (MPa)
1	1441.6	0,379	0,0024	81.6	34494
2	1396.4	0,295	0,0018	79.0	42920
3	1467.6	0,548	0,0034	83.1	24263
Ortalama			0,0025	81.2	69804

Referans C75 numunesi göre % 4 oranında daha fazla basınç dayanımı elde edilmiştir. C75-GFRP çift kat numunelerinin düşey gerilme-şekil değişirme grafiği Şekil 5.18’de verilmiştir.



Şekil 5.18. C75-GFRP Çift Kat Numunelerinin Gerilme-Şekil Değişirme Grafiği

C75 referans numuneye oranla düşey doğrultuda süneklik % 17 oranında artığı görülmektedir. Süneklik artışa bağlı olarak tokluk değerlerinin de arttığı şekilde görülmektedir. C75-GFRP çift kat numunelerinin yatay gerilme-şekil değişirme grafiği Şekil 5.19’da verilmiştir.



Şekil 5.19. C75-GFRP Çift Kat Numunelerinin Gerilme-Şekil Değişirme Grafiği

C75 referans numuneye oranla yatay doğrultuda süneklik % 50 oranında artışı görülmektedir. Tek ve çift kat GFRP numunelerin basınç dayanımlarının referans numunesine göre kıyaslanması Tablo 5.10’da verilmiştir.

Tablo 5.10. GFRP Numunelerin Basınç Dayanımlarının Karşılaştırılması

Numune İsmi	Basınç Dayanımı (MPa)	Basınç Dayanım Artışı (%)
Referans C20	23.63	-
C20-GFRP Tek Kat	25.57	8
C20-GFRP Çift Kat	28.93	22
Referans C50	51.97	-
C50-GFRP Tek Kat	58.37	12
C50-GFRP Çift Kat	62.77	21
Referans C75	78.17	-
C75-GFRP Tek Kat	78.27	0,1
C75-GFRP Çift Kat	81.23	4

Betonun basınç dayanımı arttıkça fiber ile sarmanın basınç dayanımına kazandırdığı artış azalmaktadır. En yüksek basınç dayanımı artışını % 22 oranında C20-GFRP çift kat beton numunesi vermiştir. AFRP numunelerinin süneklik artışı Tablo 5.11’de verilmiştir

Tablo 5.11. GFRP Numunelerin Düşey Doğrultuda Sünekliğinin Karşılaştırılması

Numune İsmi	Düşey Kısılma Oranı	Düşey Süneklik (%)	Yatay Kısılma Oranı	Yatay Süneklik (%)
Referans C20	0,004	-	0,019	-
C20-GFRP Tek Kat	0,011	176	0,058	202
C20-GFRP Çift Kat	0,013	240	0,088	354
Referans C50	0,004	-	0,027	-
C50-GFRP Tek Kat	0,005	40	0,037	36
C50-GFRP Çift Kat	0,006	51	0,047	72
Referans C75	0,003	-	0,016	-
C75-GFRP Tek Kat	0,003	2	0,018	14
C75-GFRP Çift Kat	0,004	17	0,024	50

Betonun basınç dayanımı arttıkça fiber ile sarmanın sünekliği azalmaktadır. En yüksek düşey süneklik artışını % 240 oranında C20-GFRP çift kat beton numunesi vermiştir. En yüksek yatay süneklik artışını % 354 oranında C20-GFRP çift kat beton numunesi vermiştir.

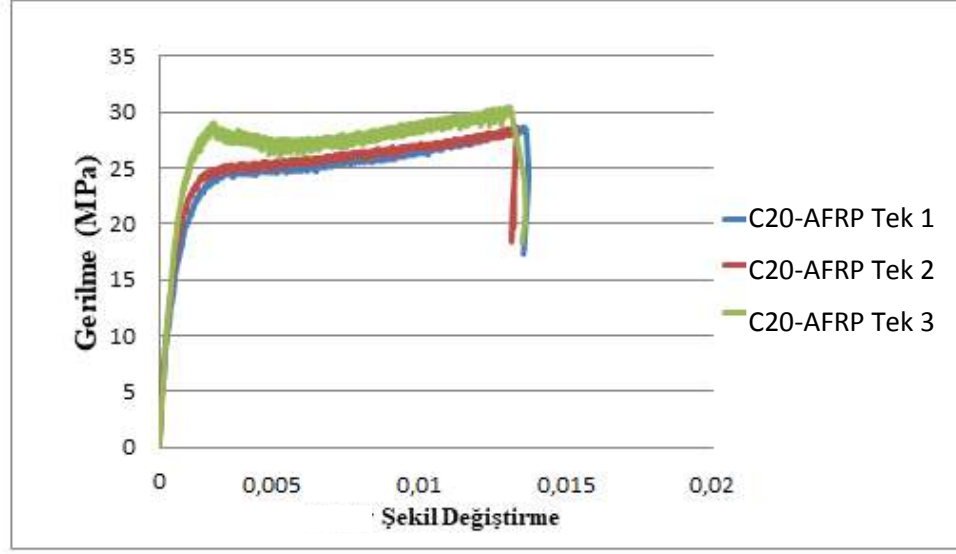
5.4. Tek Kat AFRP Numunelerinin Basınç Deneyi Sonuçları

C20-AFRP Tek Kat numunelerinin basınç dayanımı ve elastisite modülü sonuçları Tablo 5.12’de verilmiştir.

Tablo 5.12. C20-AFRP Tek Kat Numunelerinin Sonuçları

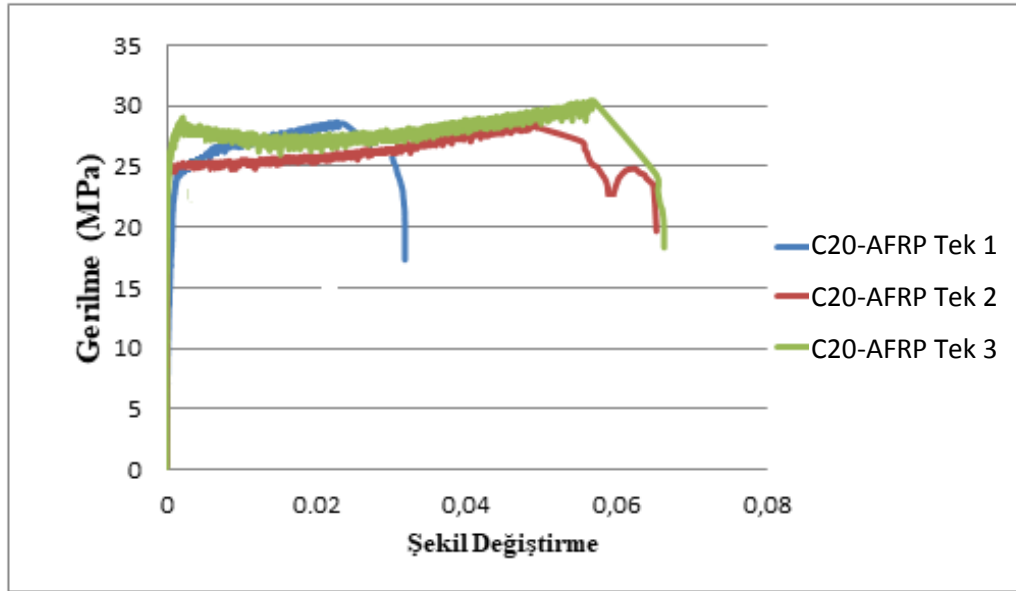
Sıra No	Kırılma Yüğü (kN)	Düşey Deplasman (mm)	Düşey Şekil Değiştirme	Basınç Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (MPa)
1	506.6	2,963	0,0185	28.7	1550
2	506.6	2,882	0,0180	28.7	1593
3	538.3	2,830	0,0177	30.5	1725
Ortalama			0,0181	29.3	1623

Referans C20 numunesi göre % 15 daha fazla basınç dayanımı elde edilmiştir. Bu durum aramid fiber takviyesi ile güçlendirme etkisi ile ortaya çıkmıştır. C20-AFRP tek kat numunelerinin düşey gerilme-şekil değiştirme grafiği Şekil 5.20’de verilmiştir.



Şekil 5.20. C20-AFRP Tek Kat Numunelerinin Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği

C20 referans numuneye oranla düşey doğrultuda süneklik % 369 oranında artışı görülmektedir. Tokluk değerleri de artışı şeklinde görülmektedir. C20-AFRP tek kat numunelerinin yatay gerilme-şekil değiştirme grafiği Şekil 5.21’de verilmiştir.



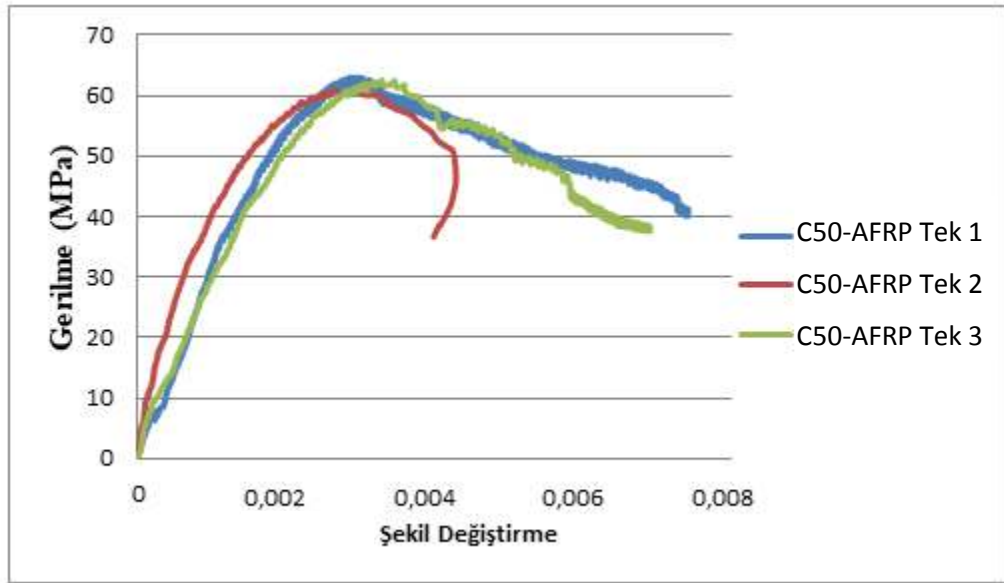
Şekil 5.21. C20-AFRP Tek Kat Numunelerinin Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği

C20 referans numuneye oranla yatay doğrultuda süneklik % 240 oranında artışı görülmektedir. C50-AFRP tek kat numunelerinin basınç dayanımı ve elastisite modülü sonuçları Tablo 5.13’te verilmiştir.

Tablo 5.13. C50-AFRP Tek Kat Numunelerinin Sonuçları

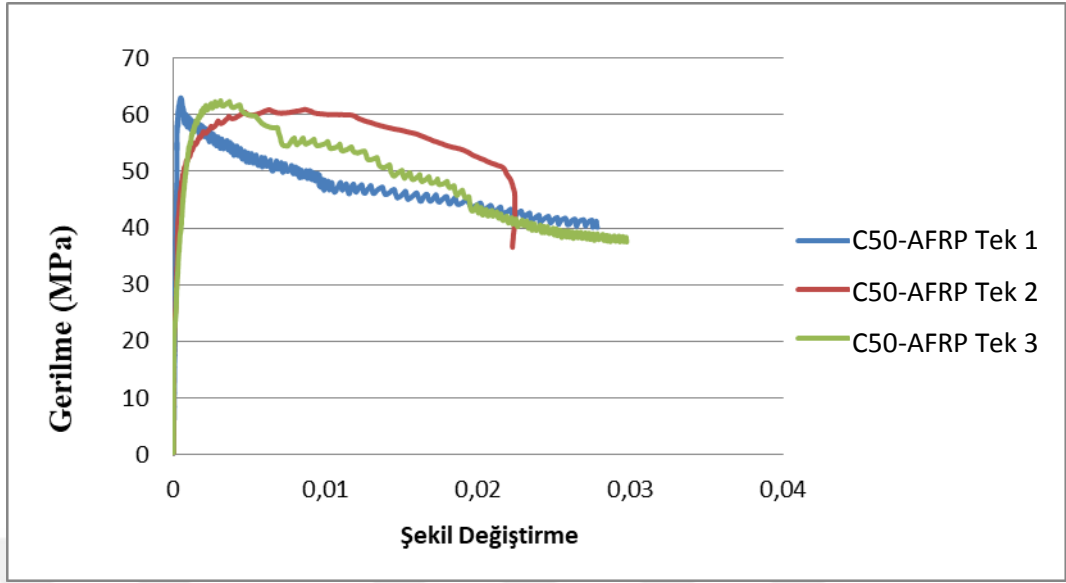
Sıra No	Kırılma Yüğü (kN)	Düşey Deplasman (mm)	Düşey Şekil Değiştirme	Basınç Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (MPa)
1	1113.8	0,440	0,0027	63.0	22935
2	1077.3	0,447	0,0028	61.4	22002
3	1104.5	0,494	0,0031	62.5	20263
Ortalama			0,0029	62.3	21734

Referans C50 numunesi göre % 7 daha fazla basınç dayanımı elde edilmiştir. C20-AFRP tek kat numunelerinin düşey gerilme-şekil değiştirme grafiği Şekil 5.22’de verilmiştir.



Şekil 5.22. C50-AFRP Tek Kat Numunelerinin Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği

C50 referans numuneye oranla düşey doğrultuda süneklik % 57 oranında artışı görülmektedir. Süneklik artışa bağlı olarak tokluk değerlerinin de artışı şekilde görülmektedir. C50-AFRP tek kat numunelerinin yatay gerilme-şekil değiştirme grafiği Şekil 5.23’te verilmiştir.



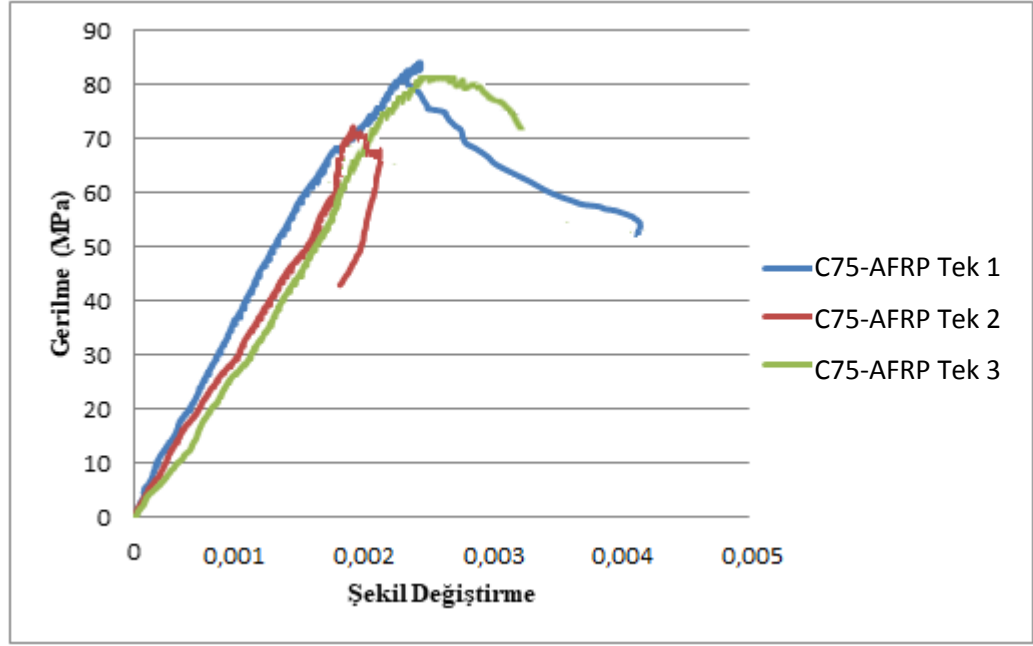
Şekil 5.23. C50-AFRP Tek Kat Numunelerinin Gerilme-Şekil Değişirme Grafiği

C50 referans numuneye oranla yatay doğrultuda süneklik % 9 arasında artığı görülmektedir. C75-AFRP tek kat numunelerinin basınç dayanımı ve elastisite modülü sonuçları Tablo 5.14’te verilmiştir.

Tablo 5.14. C75-AFRP Tek Kat Numunelerinin Sonuçları

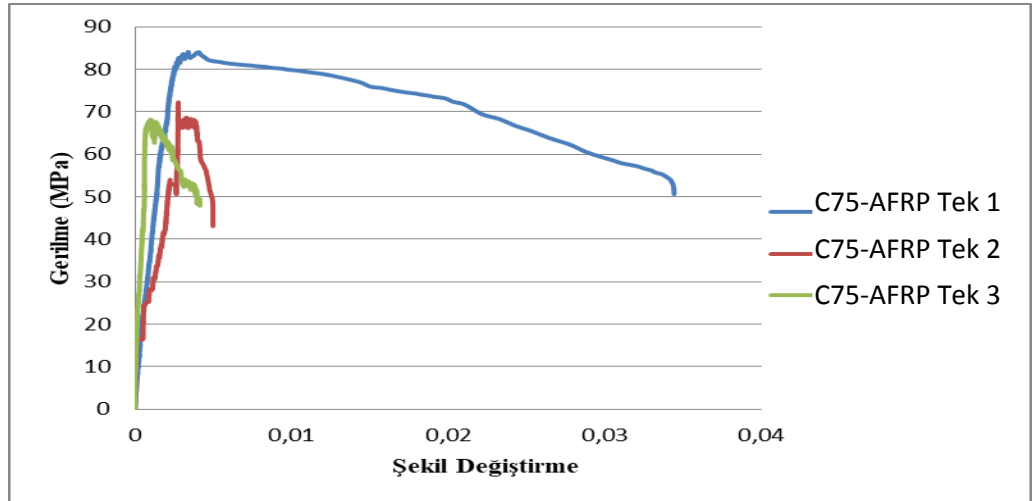
Sıra No	Kırılma Yüğü (kN)	Düşey Deplasman (mm)	Düşey Şekil Değişirme	Basınç Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (MPa)
1	1486.8	0,349	0,0022	84.1	38556
2	1276.3	0,267	0,0017	72.2	43347
3	1450,7	0,331	0,0021	82.1	39662
Ortalama			0,0020	79.4	40522

Referans C75 numunesi göre % 2 daha fazla basınç dayanımı elde edilmiştir. C75-AFRP tek kat numunelerinin düşey gerilme-şekil değişirme grafiği Şekil 5.13’te verilmiştir.



Şekil 5.24. C75-AFRP Tek Kat Numunelerinin Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği

C75 referans numuneye oranla düşey doğrultuda süneklik % 20 oranında artışı görülmektedir. Süneklik artışa bağlı olarak tokluk değerlerinin de artışı şekilde görülmektedir. C75-AFRP tek kat numunelerinin yatay gerilme-şekil değiştirme grafiği Şekil 5.25'te verilmiştir.



Şekil 5.25. C75-AFRP Tek Kat Numunelerinin Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği

C75 referans numuneye oranla yatay doğrultuda süneklik % 20 artışı görülmektedir.

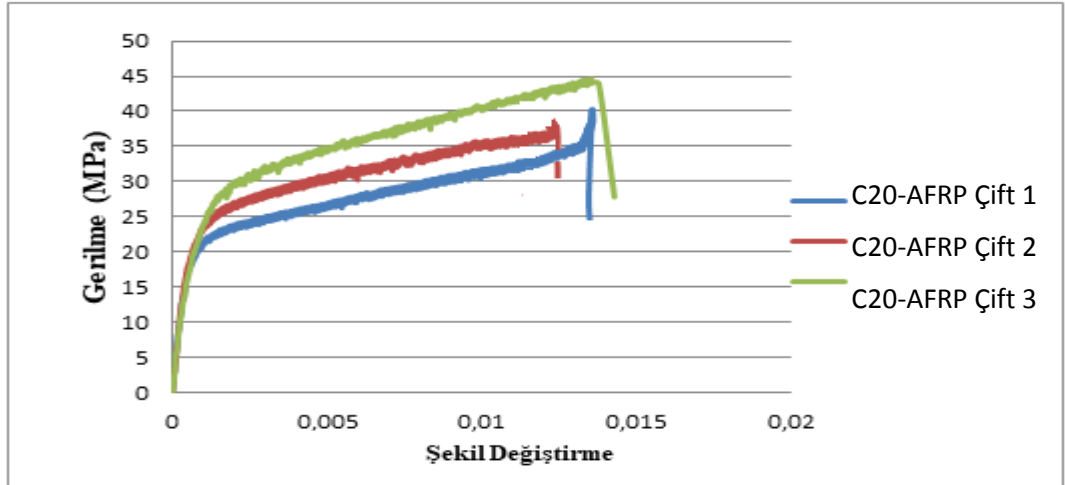
5.5. Çift Kat AFRP Numunelerinin Basınç Deneyi Sonuçları

C20-AFRP çift kat numunelerinin basınç dayanımı ve elastisite modülü sonuçları Tablo 5.15'te verilmiştir.

Tablo 5.15. C20-AFRP Çift Kat Numunelerinin Sonuçları

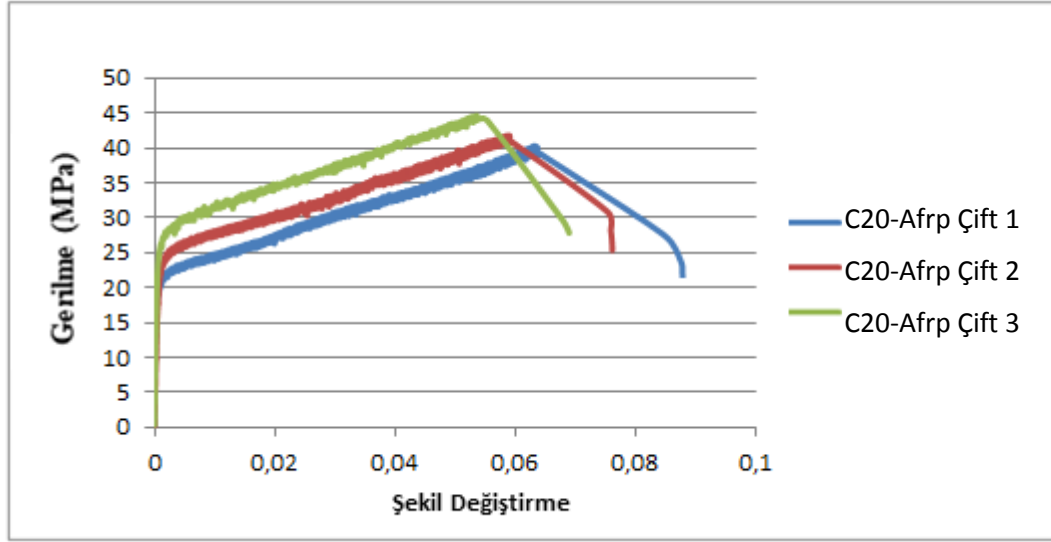
Sıra No	Kırılma Yüğü (kN)	Düşey Deplasman (mm)	Düşey Şekil Değiştirme	Basınç Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (MPa)
1	712.1	4,077	0,0265	40.3	1582
2	738.4	3,442	0,0225	41.8	1943
3	-	-	-	-	-
Ortalama			0,0245	41.1	1762

Referans C20 numunesi göre % 76 daha fazla basınç dayanımı elde edilmiştir. Bu durum 2 kat aramid fiber takviyesi ile güçlendirme etkisi ile ortaya çıkmıştır. C20-AFRP çift kat numunelerinin düşey gerilme-şekil değiştirme grafiği Şekil 5.26'da verilmiştir.



Şekil 5.26. C20-AFRP Çift Kat Numunelerinin Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği

C20 referans numuneye oranla düşey doğrultuda süneklik % 528 oranında artığı görülmektedir. Süneklik artışa bağlı olarak tokluk değerlerinin de artığı şekilde görülmektedir. C20-AFRP çift kat numunelerinin yatay gerilme-şekil değiştirme grafiği Şekil 5.27'de verilmiştir.



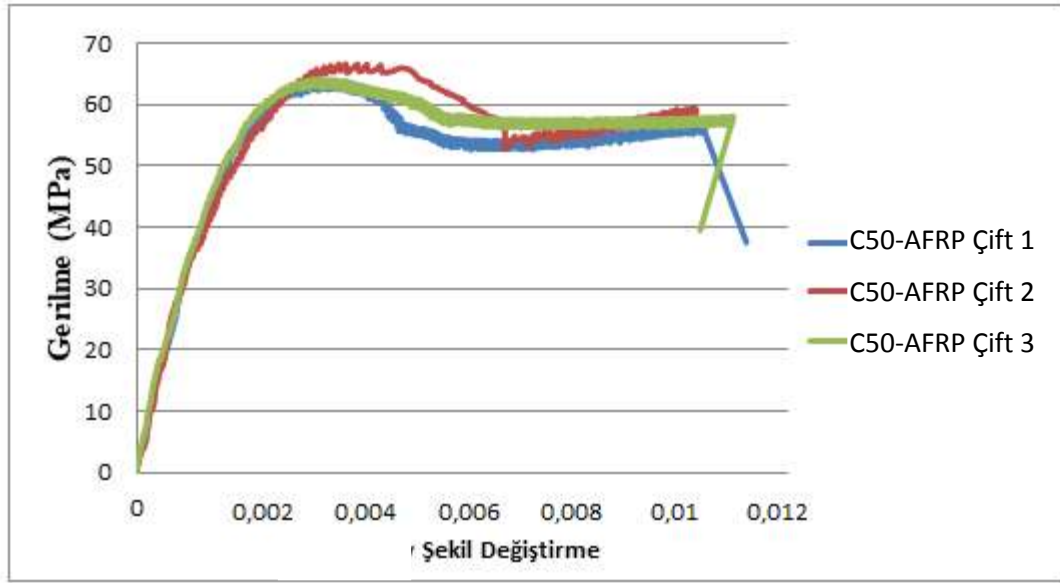
Şekil 5.27. C20-AFRP Çift Kat Numunelerinin Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği

C20 referans numuneye oranla yatay doğrultuda süneklik % 351 oranında artığı görülmektedir. C50-AFRP çift kat numunelerinin basınç dayanımı ve elastisite modülü sonuçları Tablo 4.16’da verilmiştir.

Tablo 5.16. C50-AFRP Çift Kat Numunelerinin Sonuçları

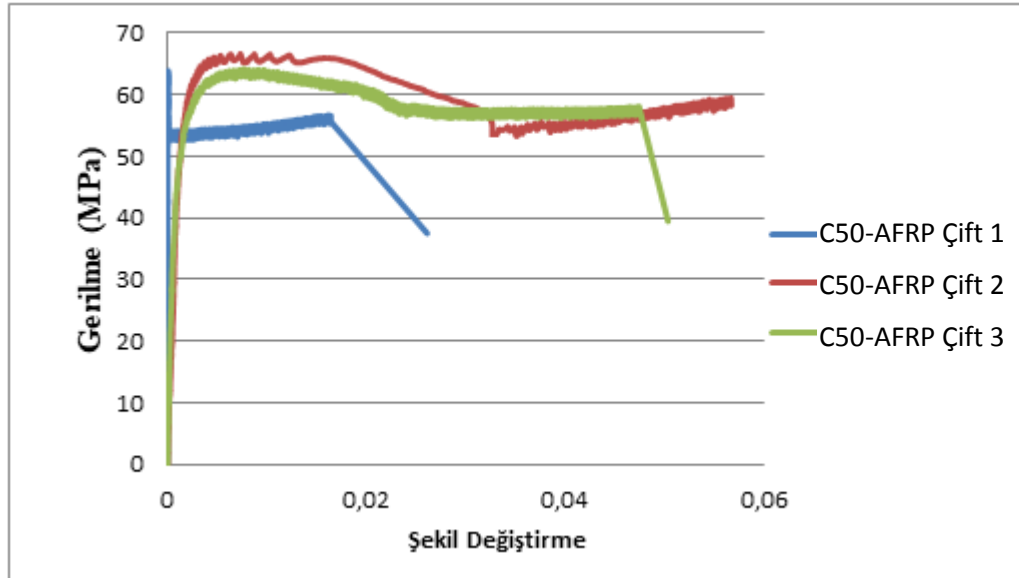
Sıra No	Kırılma Yüğü (kN)	Düşey Deplasman (mm)	Düşey Şekil Değiştirme	Basınç Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (MPa)
1	1128.060	0,5295	0,003309	63.8	19279
2	1176.480	0,5785	0,003616	66.6	18420
3	1134.050	0,4970	0,003106	64.2	20668
Ortalama			0,002544	64,87	69804

Referans C50 numunesi göre % 3 daha fazla basınç dayanımı elde edilmiştir. C50-AFRP çift kat numunelerinin düşey gerilme-şekil değiştirme grafiği Şekil 5.28’de verilmiştir.



Şekil 5.28. C50-AFRP Çift Kat Numunelerinin Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği

C50 referans numuneye oranla düşey doğrultuda süneklik % 172 oranında artışı görülmektedir. Süneklik artışa bağlı olarak tokluk değerlerinin de arttığı şekilde görülmektedir. C50-AFRP çift kat numunelerinin yatay gerilme-şekil değiştirme grafiği Şekil 5.29'da verilmiştir.



Şekil 5.29. C50-AFRP Çift Kat Numunelerinin Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği

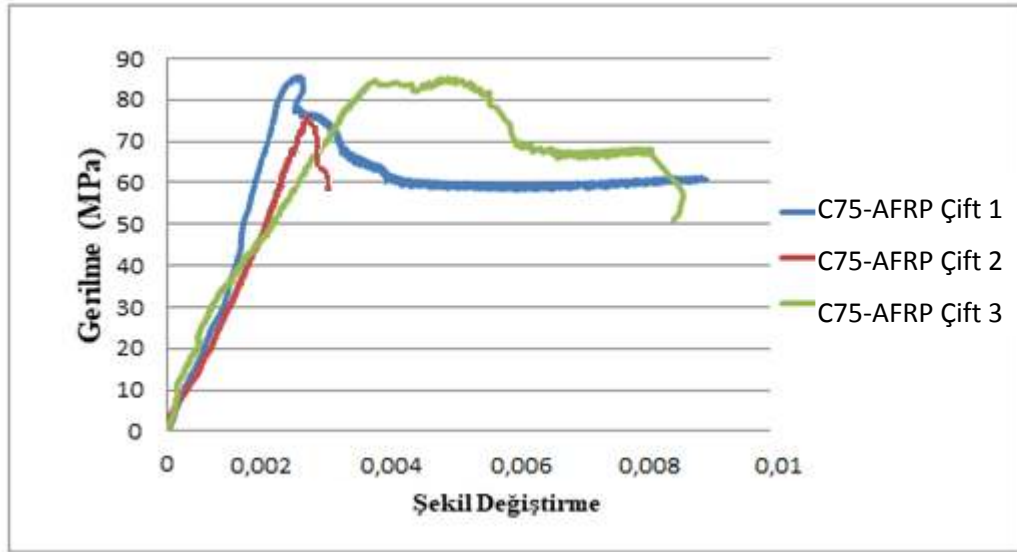
C50 referans numuneye oranla yatay doğrultuda süneklik % 97 oranında artışı görülmektedir.

C75-AFRP çift kat numunelerinin basınç dayanımı ve elastisite modülü sonuçları Tablo 5.17’de verilmiştir.

Tablo 5.17. C75-AFRP Çift Kat Numunelerinin basınç dayanımları Sonuçları

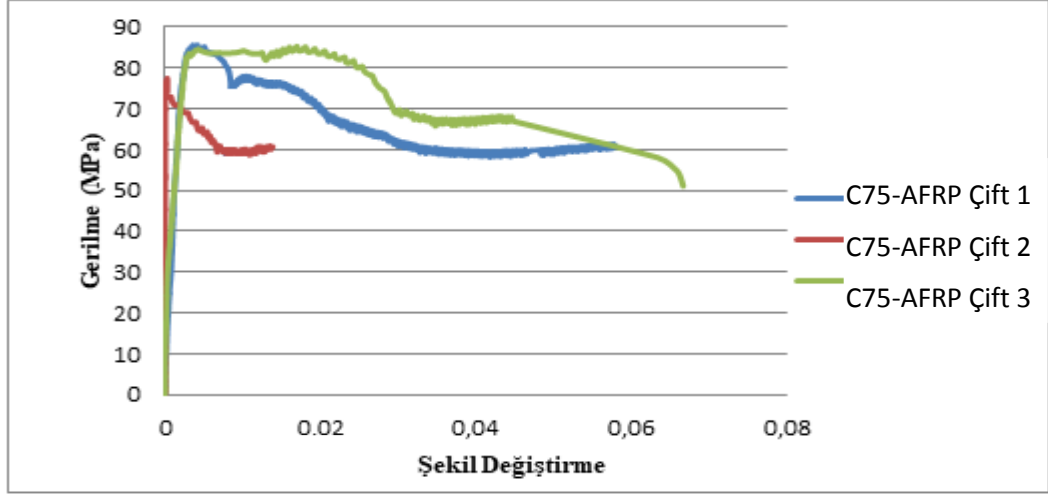
Sıra No	Kırılma Yüğü (kN)	Düşey Deplasman (mm)	Düşey Şekil Değişirme	Basınç Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (MPa)
1	1513.2	0,322	0,0021	85.6	42600
2	1369.4	0,198	0,0012	77.5	62626
3	1506.9	0,699	0,0044	85.3	19525
Ortalama			0,0025	82.8	41584

Referans C75 numunesi göre % 2 oranında daha fazla basınç dayanımı elde edilmiştir. C75-AFRP çift kat numunelerinin düşey gerilme-şekil değişirme grafiği Şekil 5.30’da verilmiştir.



Şekil 5.30. C75-AFRP Çift Kat Numunelerinin Gerilme-Şekil Değişirme Grafiği

C75 referans numuneye oranla düşey doğrultuda süneklik % 90 oranında artışı görülmektedir. Süneklik artışa bağlı olarak tokluk değerlerinde artışı şekilde görülmektedir. C75-AFRP çift kat numunelerinin yatay gerilme-şekil değişirme grafiği Şekil 5.31’de verilmiştir.



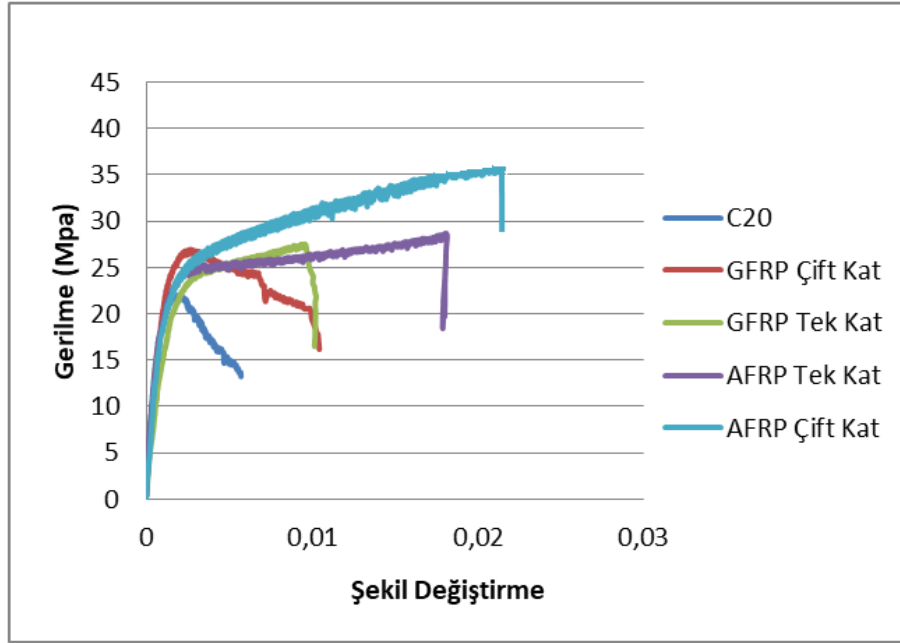
Şekil 5.31. C75-AFRP Çift Kat Numunelerinin Gerilme-Şekil Değişirme Grafiği

C75 referans numuneye oranla yatay doğrultuda süneklik % 47 oranında artığı görülmektedir. Basınç deneyi sonrası kırılmış bir numune Şekil 5.32’de verilmiştir.

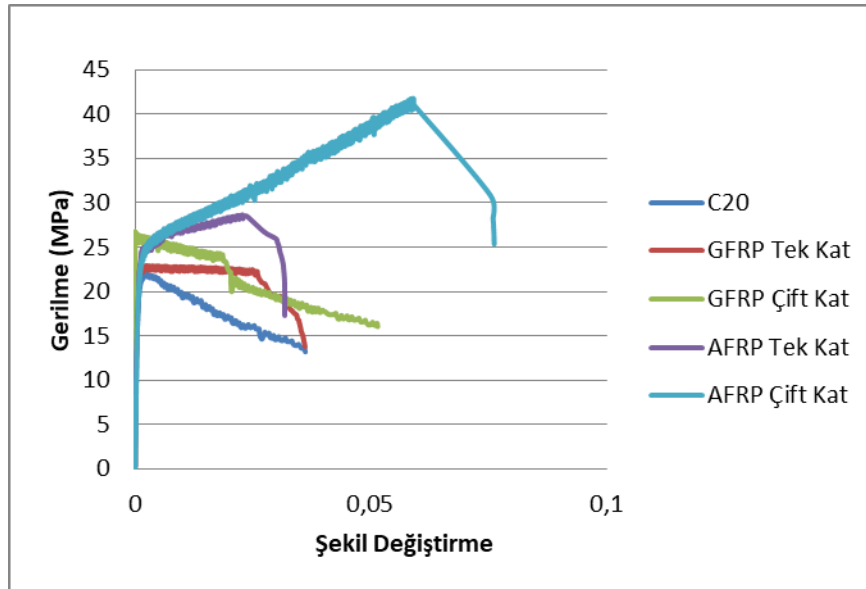


Şekil 5.32. Basınç Deneyinde Kırılmış AFRP Sargılı Beton Numune

C20 referans numunesi, C20-AFRP tek, çift kat ve C20-GFRP tek ve çift kat beton numunelerin aynı anda düşey gerilme-şekil değiştirme grafiği Şekil 5.33’de verilmiştir. Bu numunelerin yatay gerilme-şekil değiştirme grafiği Şekil 5.34’te verilmiştir.

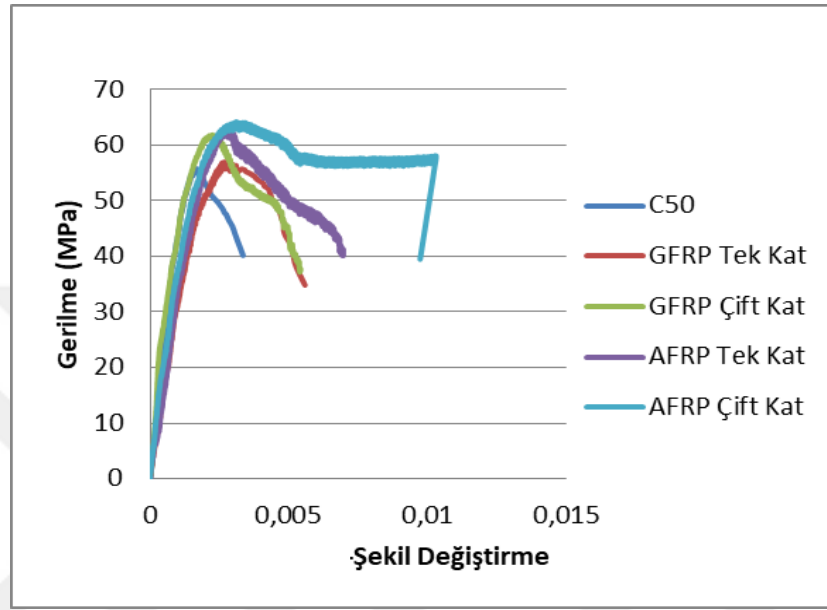


Şekil 5.33. C20 Grubu Betonların Düşey Gerilme-Şekil Değişme Grafiği

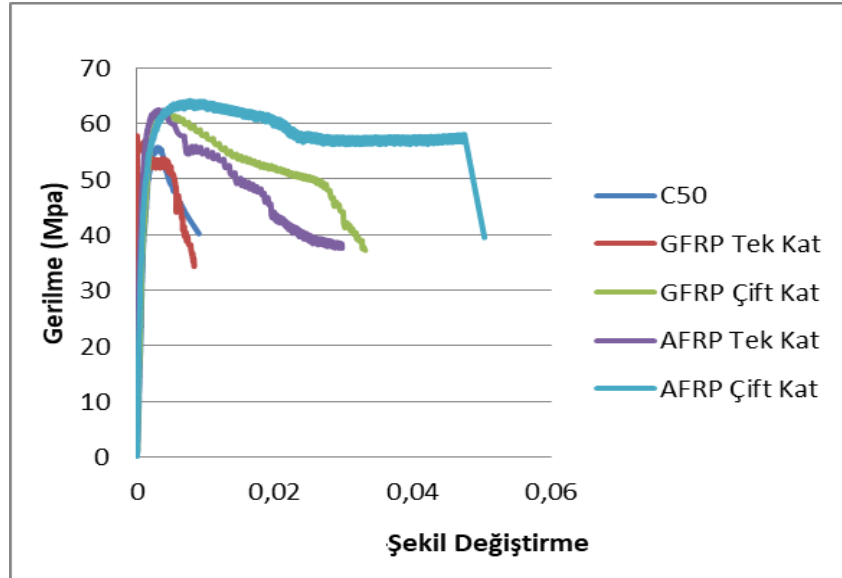


Şekil 5.34. C20 Grubu Betonların Yatay Gerilme-Şekil Değişme Grafiği

C50 referans numunesi, C50-AFRP tek, çift kat ve C50-GFRP tek ve çift kat beton numunelerin aynı anda düşey gerilme-şekil değiştirme grafiği Şekil 5.35'te verilmiştir. Bu numunelerin yatay gerilme-şekil değiştirme grafiği Şekil 5.36'da verilmiştir.

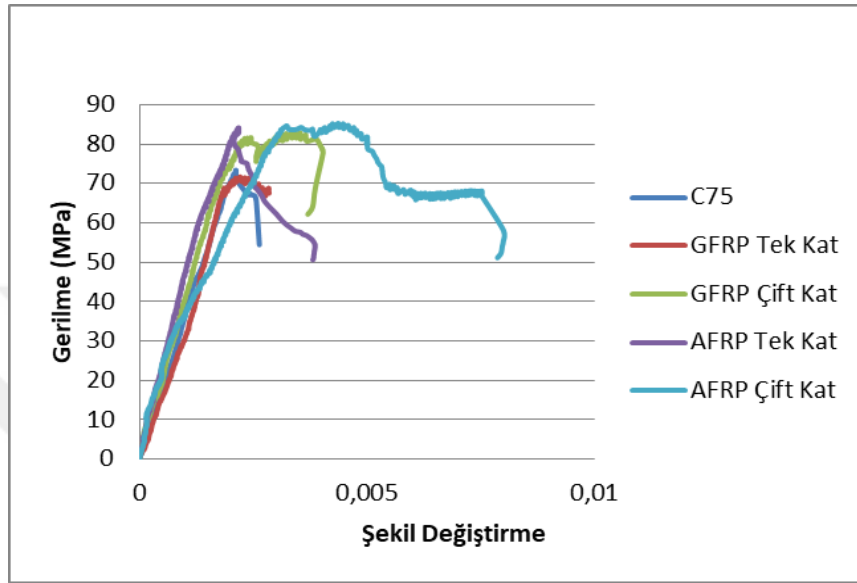


Şekil 5.35. C50 Grubu Betonların Düşey Gerilme-Şekil Değişme Grafiği

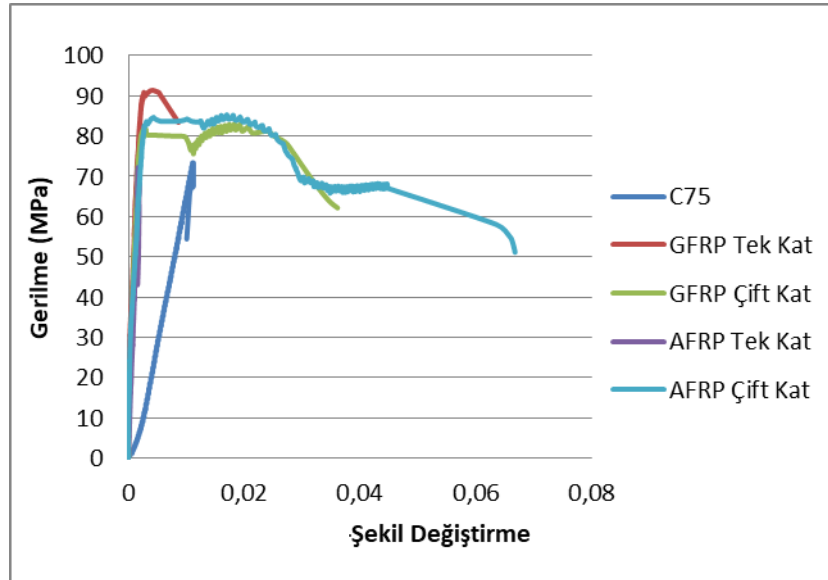


Şekil 5.36. C50 Grubu Betonların Yatay Gerilme-Şekil Değişme Grafiği

C75 referans numunesi, C75-AFRP tek, çift kat ve C75-GFRP tek ve çift kat beton numunelerin aynı anda düşey gerilme-şekil değiştirme grafiği Şekil 5.37’de verilmiştir. Bu numunelerin yatay gerilme-şekil değiştirme grafiği Şekil 5.38’de verilmiştir.



Şekil 5.37. C75 Grubu Betonların Düşey Gerilme-Şekil Değişme Grafiği



Şekil 5.38. C75 Grubu Betonların Yatay Gerilme-Şekil Değişme Grafiği

Aramid fiber takviyenin tek ve çift kat basınç dayanımının referans numunesine göre oranları Tablo 5.18.’de verilmiştir.

Tablo 5.18. Tek ve Çift Kat AFRP Numunelerinin Karşılaştırılması

Numune İsmi	Ortalama Basınç Dayanımı (MPa)	Referans Numuneye Göre Artış Oranı (%)
Referans C20	23.63	-
C20-AFRP Tek Kat	29.30	24
C20-AFRP Çift Kat	41.55	76
Referans C50	51.97	-
C50-AFRP Tek Kat	62.30	20
C50-AFRP Çift Kat	64.87	25
Referans C75	78.17	-
C75-AFRP Tek Kat	79,47	2
C75-AFRP Çift Kat	82.80	6

Betonun basınç dayanımı arttıkça fiber ile sarmanın basınç dayanımına kazandırdığı artış azalmaktadır. En yüksek basınç dayanımı artışını C20-AFRP çift kat beton numunesi vermiştir. AFRP numunelerinin süneklik artışı Tablo 5.19’da verilmiştir.

Tablo 5.19. AFRP Numunelerinin Sünekliğinin Karşılaştırılması

Numune İsmi	Düşey Kısılma Oranı	Düşey Süneklik (%)	Yatay Uzama Oranı	Yatay Süneklik (%)
Referans C20	0,004	-	0,019	-
C20-AFRP Tek Kat	0,018	369	0,066	240
C20-AFRP Çift Kat	0,025	528	0,087	351
Referans C50	0,004	-	0,027	-
C50-AFRP Tek Kat	0,006	57	0,030	9,15
C50-AFRP Çift Kat	0,010	172	0,054	97
Referans C75	0,003	-	0,016	-
C75-AFRP Tek Kat	0,004	20	0,020	22
C75-AFRP Çift Kat	0,006	90	0,024	47

Betonun basınç dayanımı arttıkça fiber ile sarmanın sünekliği azalmaktadır. En yüksek düşey doğrultuda süneklik artışını % 528 oranında C20-AFRP Çift Kat beton numunesi vermiştir. En yüksek yatay süneklik artışını % 351 oranında C20-AFRP Çift Kat beton numunesi vermiştir. Tek ve çift kat Cam ve Aramid kumaşların basınç dayanımlarının birbirleri ile karşılaştırılması Tablo 5.20’de verilmiştir.

Tablo 5.20. AFRP ve GFRP Numunelerin Basınç Dayanımlarının Karşılaştırılması

Numune İsmi	Basınç Dayanımı (MPa)	Referans Numuneye Göre Artış Oranı (%)
Referans C20	23.63	-
C20-AFRP Tek Kat	29.30	24
C20-GFRP Tek Kat	25,57	8
C20-AFRP Çift Kat	41.55	76
C20-GFRP Çift Kat	28,93	22
Referans C50	51.97	-
C50-AFRP Tek Kat	62.30	20
C50-GFRP Tek Kat	58,37	12
C50-AFRP Çift Kat	64.87	25
C50-GFRP Çift Kat	62,77	21
Referans C75	78.17	-
C75-AFRP Tek Kat	79,47	2
C75-GFRP Tek Kat	78,27	0,1
C75-AFRP Çift Kat	82.80	6
C75-GFRP Çift Kat	81,23	4

Bütün basınç dayanım sınıflarında en yüksek basınç dayanımını çift kat AFRP numuneleri vermiştir. Bu da Aramid kumaşın çekme mukavemetinin daha yüksek olması ile açıklanabilir. C75 basınç dayanımına GFRP ve AFRP'nin katkısı çok az olmuştur. Beton numunelerin teorik elastisite modülü hesabı Tablo 5.21'de verilmiştir.

Tablo 5.21. Beton Numunelerin ACI 318-95 ve TS 500'e Göre Elastisite Modülü

Numune İsmi	ACI 318-95'e göre Elastisite Modülü (MPa)	Referans Numuneye Göre Artış Oranı (%)	Ts500'e göre Elastisite Modülü (MPa)	Referans Numuneye Göre Artış Oranı (%)
Referans C20	22993	-	29798	-
C20-AFRP Tek Kat	25603	11	31592	6
C20-GFRP Tek Kat	23918	4	30434	2
C20-AFRP Çift Kat	30305	32	34823	17
C20-GFRP Çift Kat	25441	11	31481	8
Referans C50	34099	-	37429	-
C50-AFRP Tek Kat	37334	9	39652	6
C50-GFRP Tek Kat	36137	6	38830	4
C50-AFRP Çift Kat	38096	12	40176	7
C50-GFRP Çift Kat	37475	10	39749	6
Referans C75	41818	-	42734	-
C75-AFRP Tek Kat	42166	1	42972	1
C75-GFRP Tek Kat	41846	0,1	42753	0,1
C75-AFRP Çift Kat	43040	3	43573	2
C75-GFRP Çift Kat	42630	2	43291	1

6. BULGULAR

Üç farklı sınıf beton dayanımına sahip 45 adet standart silindir numunenin iki farklı cins elyaf kumaş ile farklı iki tabaka kalınlığı göz önüne alınarak sargılanması sonucu dayanım ve düşey deformasyon değerleri oldukça artmıştır. Bu artış özellikle dikkate alınan deney numunelerinin en düşük dayanımlı beton sınıfına sahip sargılı C20 numunelerinde dikkat çekici olmuştur. Referans numune dayanım değerleri arttıkça sargının gerilme şekil değiştirme davranışı incelendiğinde basınç dayanımı değerleri giderek azalmıştır. Özellikle C75 sınıfına ait betonların numunelerde dayanım artışı sınırlı olmuştur. Bununla birlikte sargı cinsi de davranışta oldukça etkili olmuştur. Aramid elyaf ile sargılı numunelerle deneyde kullanılan tüm referans beton sınıfları için dayanım artışı sağlanırken, cam elyaf sargılı numunelerde bu artış özellikle yüksek dayanımlı beton sınıfına sahip C75 numuneler için oldukça az olmuştur.

Betonların dayanımı arttıkça gevreklik özellikleri artar. Çeşitli sargı yöntemleriyle bu gevreklik giderilebilir. Deneysel çalışmaya konu olan beton numunelerin sünek davranış sergileyip sergilemediği araştırılmıştır. Beton dayanımı yanı sıra kullanılan tabaka sayısı da değişken olarak tutulmuştur. C20 betonu için gerilme şekil değiştirme eğrisi, referans numune, AFRP-C20 Tek kat, AFRP-C20 Çift kat, GFRP-C20 Tek kat ve GFRP-C20 Çift kat için elde edilmiş olan düşey gerilme-şekil değiştirme ve yatay gerilme-şekil değiştirme eğrileri aynı grafik üzerinde sunulmuştur. C50 betonu için gerilme şekil değiştirme eğrisi, referans numune, AFRP-C50 Tek kat, AFRP-C50 Çift kat, GFRP-C50 Tek kat ve GFRP-C50 Çift kat için elde edilmiş olan düşey gerilme-şekil değiştirme ve yatay gerilme-şekil değiştirme eğrileri aynı grafik üzerinde sunulmuştur. C75 betonu için gerilme şekil değiştirme eğrisi, referans numune, AFRP-C75 Tek kat, AFRP-C75 Çift kat, GFRP-C75 Tek kat ve GFRP-C75 Çift kat için elde edilmiş olan düşey gerilme-şekil değiştirme ve yatay gerilme-şekil değiştirme eğrileri aynı grafik üzerinde sunulmuştur.

- C20 beton numuneler için; aramid elyaf sargı cam elyaf sargıya göre daha fazla dayanım ve süneklik artışı sağlamıştır. Ayrıca kullanılan tabaka sayısı

arttıkça Gerilme–şekil değıştirme davranışını hem dayanım hem sũneklilik açısından daha başarılı olmuştur.

- Aramid elyaf sargılı C50 beton numuneleri cam elyaf sargılı beton numunelerine göre dayanım açısından dahi iyi bir davranış göstermiştir. Tabaka kat sayısı artışı dayanım ve sũneklilik artışına sebep olmuştur.
- C75 beton numuneler için; aramid elyaf sargılı beton numuneler, cam elyaf sargılı beton numunelerine göre daha fazla dayanım artışına sebep olurken diğeri beton sınıfları ile karşılaştırıldığında üç sınıf betondan en az dayanım ve sũneklilik artışı bu sınıfa ait beton numunelerden elde edilmiştir.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tek ve çift kat Aramid, Cam fiber takviyeli C20, C50, C75 betonları üzerinde yapılan çalışma sonuçları aşağıda özetlenmiştir.

- Tek kat cam fiber takviyeli C20 beton numunesinin basınç dayanımı referans numunesi göre % 8 oranında artmıştır. Referans numunesine oranla şekil değiştirme kapasitesi % 446 oranında artmıştır.
- Tek kat cam fiber takviyeli C50 beton numunesinin basınç dayanımı referans numunesi göre % 12 oranında artmıştır. Referans numunesine oranla şekil değiştirme kapasitesi % 240 oranında artmıştır.
- Tek kat cam fiber takviyeli C75 beton numunesinin basınç dayanımı referans numunesi göre % 0,1 oranında artmıştır. Referans numunesine oranla şekil değiştirme kapasitesi % 83 oranında artmıştır.
- Çift kat cam fiber takviyeli C20 beton numunesinin basınç dayanımı referans numunesi göre % 22 oranında artmıştır. Referans numunesine oranla şekil değiştirme kapasitesi % 729 oranında artmıştır.
- Çift kat cam fiber takviyeli C50 beton numunesinin basınç dayanımı referans numunesi göre % 21 oranında artmıştır. Referans numunesine oranla şekil değiştirme kapasitesi % 254 oranında artmıştır.
- Çift kat cam fiber takviyeli C75 beton numunesinin basınç dayanımı referans numunesi göre % 4 oranında artmıştır. Referans numunesine oranla şekil değiştirme kapasitesi % 109 oranında artmıştır.
- Tek kat aramid fiber takviyeli C20 beton numunesinin basınç dayanımı referans numunesi göre % 24 oranında artmıştır. Referans numunesine oranla şekil değiştirme kapasitesi %685 oranında artmıştır.
- Tek kat aramid fiber takviyeli C50 beton numunesinin basınç dayanımı referans numunesi göre % 20 oranında artmıştır. Referans numunesine oranla şekil değiştirme kapasitesi % 279 oranında artmıştır.
- Tek kat aramid fiber takviyeli C75 beton numunesinin basınç dayanımı referans numunesi göre % 7 oranında artmıştır. Referans numunesine oranla şekil değiştirme kapasitesi % 85 oranında artmıştır.

- Çift kat aramid fiber takviyeli C20 beton numunesinin basınç dayanımı referans numunesi göre % 76 oranında artmıştır. Referans numunesine oranla şekil değiştirme kapasitesi % 995 oranında artmıştır.
- Çift kat aramid fiber takviyeli C50 beton numunesinin basınç dayanımı referans numunesi göre % 25 oranında artmıştır. Referans numunesine oranla şekil değiştirme kapasitesi % 247 oranında artmıştır.
- Çift kat aramid fiber takviyeli C75 beton numunesinin basınç dayanımı referans numunesi göre % 6 oranında artmıştır. Referans numunesine oranla şekil değiştirme kapasitesi % 109 oranında artmıştır.

Bu sonuçlar doğrultusunda;

- C20 ve C50 numuneleri incelediğinde; tek ve çift kat Aramid fiber kumaş cam fiber kumaştan daha fazla basınç dayanımı değerleri vermiştir.
- C75 numuneler incelendiğinde; tek ve çift kat kumaşları çok az basınç dayanımına etkisi olduğu görülmüştür.
- Düşey şekil değiştirme oranları incelendiğinde; bütün basınç sınıf değerlerinde Aramid kumaşın daha iyi olduğu görülmüştür.
- Yatay şekil değiştirme oranları incelendiğinde; bütün basınç sınıf değerlerinde Aramid kumaşın daha iyi olduğu görülmüştür.
- Sargılama adedi arttıkça olumlu yönde değerler artmıştır.
- 50 MPa kadar basınç dayanımına sahip betonlar için cam ve aramid fiber kullanımında olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Ancak 75 MPa dayanıma sahip betonların üzerinde çok az olumlu etki görülmüştür. 75 MPa ve daha fazla dayanımda çalışmak isteyen araştırmacılar için çalışmada kullanılmış fiberlerden daha iyi mekanik özelliklere sahip fiberlerin kullanılması ya da sargı kat sayısının artırılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

1. Çelik, K.V., Karaşin, H., Karbon Elyaf ile Betonun Güçlendirilmesi, Dicle Üniversitesi Mühendislik Dergisi, 5(1), 1-11,2014.
2. Sayın, B., Manisalı, E., Lif Takviyeli Plastik Levhalar ile Güçlendirilmiş Betonarme Kirişlerde Arayüz Gerilmelerini Etkileyen Parametreler. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 16(1), 63-75. 2010.
3. Bayülke, N., Depremlerde Hasar Gören Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi, İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi Yayını, Yayın no; 15, İzmir,1999.
4. Önal, M. ve Koçak, A., Betonarme Mantolama İle Güçlendirilmiş Hasarlı Kirişlerin Deneysel Olarak İncelenmesi, Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 1, 94-106, 2006.
5. Barros, J.A.O., Ferreira, D.R.S.M., Fortes, A.S. and Dias, S.J.E., Assessing the Effectiveness of Embedding CFRP Laminates in the Near Surface for Structural Strengthening, Construction and Building Materials, 20(7), 478-491, 2006.
6. Enişçi, A., Polimer Esaslı Kompozit Malzemeler ve Ürün Tasarımında Kullanımları, <http://www.turkcadcam.net/rapor/kompozit-malzemeler/index.html>, 2004.
7. Mallick, P. K., "Fiber-Reinforced Composites: Materials, Manufacturing, and Design, CRC Press, 2008.
8. http://www.voodoohotrods.com/composite_faq/,Erişim Tarihi: 26.08.2017.
9. Yavuz, G., Lif Takviyeli Polimerlerin Betonarme Kirişlerde Donatı Olarak Kullanımı. Engineering Sciences, 6 (4), 1001-1015, 2011.
10. Aricasoy, O., Kompozit Sektörü Raporu. İstanbul Ticaret Odası, İstanbul, 2006.
11. Hollaway, L. C., Advanced Fiber Reinforced Polymer Composites. High-Performance Construction Materials, 207-263,2008.
12. Prashanth, S., Subbaya, K.M., Nithin, K., Sachhidananda, S., Fiber Reinforced Composites - A Review. J Material Sci Eng, 6(341).1-6, 2017.
13. Schwartz, M.M., Composite Materials Handbook, McGraw-Hill Inc., 8-26. 1984.

14. Bank, L. C., Composites for Construction: Structural Design with FRP Materials, John Wiley & Sons, Inc., 2006.
15. Akman, M.S., Yapı Hasarları ve Onarım İlkeleri, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi , 177 sayfa, 2000.
16. Fukuyama, K., Higashibata, Y. ve Miyauchi, Y., Studies on Repair and Strengthening Methods of Damaged Reinforced Concrete Columns, Cement & Concrete Composites, 22 (1), 81-88, 2000.
17. Celep, Z., Mevcut Betonarme Binaların Deprem Güvenliğinin Belirlenmesi ve Güçlendirilmesi: Genel Kurallar, İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, İstanbul Bülteni, 60. Sayısı Bilimsel Eki, 47 sayfa.
18. Toutanji, H., and Balaguru, P., Durability Characteristics of Concrete Columns Wrapped with FRP Tow Sheets, Journal of materials in civil engineering, 10(1), 52-57, 1998.
19. Demers, M. and Neale, K.W., Confinement of Reinforced Concrete Columns with Fibre-Reinforced Composite Sheets – an Experimental Study, Can. J. Civ. Eng., 26(2), 226-241, 1999.
20. <http://infrastructure.milliken.com/pages/case-studies/detail>, E.Tarihi:1.1.2018
21. Bousselham, A., State of Research on Seismic Retrofit of RC Beam-Column Joints with Externally Bonded FRP, J. Compos. Constr., 14(1), 49-61, 2010.
22. <https://afzir.com/en/retrofitting-with-frp/frp-applications/>, E.Tarihi:1.1.2018
23. Kara, I.F., Ashour , A.F., Composite Structures, Flexural Performance of FRP Reinforced Concrete Beams, 94, 1616–1625, 2012.
24. Banu, D., Taranu, N., Traditional Solutions for Strengthening Reinforced Concrete Slabs, Bulletin of the Polytechnic Institute of Jassy, Constructions, Architecture Section, 3(3), 53-62, 2010.
25. Nanni, A., and Norris, M.S., FRP Jacketed Under Flexure and Combined Flexure-Compression, Construction and Building Materials. 9(5), 273-281, 1995.
26. Mirmiran, A., and Shahawy, M., Behaviour of Concrete Columns Confined by Fiber Composites, ASCE Journal of Structural Engineering, 123(5), 583-590, 1997.
27. Toutanji, H., and Balaguru, P., Durability Characteristics Of Concrete Columns Wrapped With FRP Tow Sheets. Journal of Materials in Civil Engineering, 10(1), 52-57, 1998.

- 28.** Demers, M. and Neale, K.W., Confinement of Reinforced Concrete Columns with Fibre-Reinforced Composite Sheets – an Experimental Study, *Can. J. Civ. Eng.*, 26(2), 226-241, 1999.
- 29.** Saafi, M., Toutanji, A. H., and Li, Z., Behaviour of Concrete Columns Confined with Fibre Reinforced Polymer Tubes, *ACI Materials Journal*, Vol. 96(4), Jul.-Aug., 500-509, 1999.
- 30.** Deniaud, C., Cheng, J.J.R., “Shear Behavior of Reinforced Concrete T-Beams with Externally Bonded Fiber-Reinforced Polymer Sheets”, *ACI Structural Journal*, 98(3), 386-394, 2001.
- 31.** Wang, Y.C. and Restrepo, J., Investigation of Concentrically Loaded Reinforced Concrete Columns Confined with Glass Fiber-Reinforced Polymer Jackets, *ACI Structural Journal*, 98(3), 377-385, 2001.
- 32.** Sheikh, S.A., and Yau, G., Seismic Behaviour of Concrete Columns Confined with Fiber-Retrofit Polymers, *ACI Structural Journal*. 99, 72-80, 2002.
- 33.** Tan, K.H., Strength Enhancement of Rectangular Reinforced Concrete Columns using Fiber-Reinforced Polymer, *ASCE Journal of Composites for Construction*, 6(3), 175-183, 2002.
- 34.** Toutanji, H., Deng, Y., Strength and Durability Performance of Concrete Axially Loaded Members Confined with AFRP Composite Sheets. *Composites Part B: Engineering*, 33(4), 255-261, 2002.
- 35.** Xiao, Y., and Wu, H., Compressive Behavior of Concrete Confined by Various Types of FRP Composite Jackets. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 22 (13), 1187-1201, 2003.
- 36.** Shao, Y., Mirmiran, A., Nonlinear cyclic response of laminated glass FRP tubes filled with concrete. *Composite Structures*, 65, 91–101, 2004.
- 37.** Berthet J.F., Ferrier E., Hamelin P., Compressive Behavior of Concrete Externally Confined by Composite Jackets. Part A: Experimental Study. *Construction and Building Materials*, 19, 223–232, 2005.
- 38.** Li, G., Experimental study of FRP confined concrete cylinders. *Engineering Structures*, 28, 1001–1008, 2006.
- 39.** Almusallam, T.H., Behavior of Normal and High-Strength Concrete Cylinders Confined with E-Glass/Epoxy Composite Laminates. *Composites: Part B*, 38, 629–639, 2007.

40. Kumutha, R., Vaidyanathan, R., Palanichamy, M.S., Behaviour of reinforced concrete rectangular columns strengthened using AFRP. *Cement & Concrete Composites*, 29, 609–615, 2007.
41. Ozbakkaloglu, T., Lim, J. C., ve Griffith, M. C., FRP-Confined High-Strength Concrete Under Axial Cyclic Compression. Fourth International Conference on FRP Composites in Civil Engineering (CICE2008), 22-24 July, Zurich, Switzerland, 2008.
42. Wu, H.L., Wang, Y.F., Yu, L., and Li, X.R., Experimental and Computational Studies on High-Strength Concrete Circular Columns Confined by Aramid Fiber-Reinforced Polymer Sheets, *Journal of Composites for Construction*, 13, 125–134, 2009.
43. Sangeetha, P., and Sumathi, R., Behavior of Glass Fiber Wrapped Concrete Columns Under Uniaxial Compression. *International Journal of Advanced Engineering Technology*, IJAET/1 (1), 74-83, 2010.
44. De Luca, A., Nardone, F., Matta, F., Nanni, A., Lignola, G., and Prota, A., Structural Evaluation of Full-Scale FRP-Confined Reinforced Concrete Columns, *Journal of Composites for Construction*, 15(1), 112–123, 2011.
45. Zohrevand, P. ve Mirmiran, A., Behavior of Ultra High-Performance Concrete Confined by Fiber-Reinforced Polymers, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 23(12), 1727-1734, 2011.
46. Saravanan, J., Suguna, K. and Raghunath, P.N.R., Strength and Ductility of High Strength Concrete Columns with Glass Fibre Reinforced Polymer Wraps. *Asian Journal of Civil Engineering (Building and housing)*, 13(5), 585-595, 2012.
47. Vincent, T., Ozbakkaloglu, T., Influence of Fiber Orientation And Specimen end Condition on Axial Compressive Behavior of FRP-Confined Concrete, *Construction and Building Materials*, 47, 814–826, 2013.
48. Zhang, B., Yu, T., Teng, J., Behavior of Concrete-Filled FRP Tubes Under Cyclic Axial Compression. *Journal of Composites for Construction*, 19(3), 2014.
49. Huang, L., Sun, X., Yan, L., Zhu, D., Compressive Behavior of Concrete Confined with AFRP Tubes and Steel Spirals. *Polymers*, 7, 851-875, 2015
50. Karthikraja, S., Sasthika, P., Nandakumaar, A., Santhanakumar, M. and Deventhiran, K., Deformation Characteristics of Glass Fiber Reinforced Polymer Wrapped Axially Loaded Short Circular HSC Column. *Indian Journal of Science and Technology*, 9(16), 1-5, 2016.

ÖZGEÇMİŞ

1989 yılında Sarıkaya’da doğan Muhammed VARIŞLI, orta ve lise öğrenimini sırasıyla Namık Kemal İlköğretim Okulu ve Yozgat Anadolu Lisesinde tamamlamıştır. 2008 yılında kazandığı Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünü 2012 yılında başarıyla bitirmiştir.

2013 yılında yüksek lisans eğitimine Bozok Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında başlamıştır. Doktor Öğretim Üyesi Handan ADIBELLİ danışmanlığında hazırladığı “Yanal Deformasyonları Cam Elyaf ve Aramid Elyaf Kumaş ile Sınırlandırılmış Betonların Eksenel Basınç Altında Davranışı” başlıklı teziyle 2018 yılında mezun olmuştur.

2012 yılından beri özel sektörde kendisine ait firmada serbest inşaat mühendisi olarak çalışmakta olan Muhammed VARIŞLI, evli ve 1 çocuk babasıdır.

İletişim Bilgileri

Adres : Muva Yapı Sarıkaya/YOZGAT

Telefon: (546) 214 70 66

E-posta: muvayapi@gmail.com