



**T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KARBON VE ARAMİD LİFLİ KOMPOZİT DONATILARIN
ADERANS PERFORMANSININ MAFSALLI KİRİŞ YÖNTEMİYLE
ANALİZİ**

EMRAH FERDİ ÜNVER

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
KOMPOZİT MALZEME TEKNOLOJİLERİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. AHMET BEYCİOĞLU**

DÜZCE, 2018

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KARBON VE ARAMİD LİFLİ KOMPOZİT DONATILARIN
ADERANS PERFORMANSININ MAFSALLI KİRİŞ YÖNTEMİYLE
ANALİZİ

Emrah Ferdi ÜNVER tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Ahmet BEYÇİOĞLU
Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Ahmet BEYÇİOĞLU
Düzce Üniversitesi

Prof.Dr. Kemalettin YILMAZ
Sakarya Üniversitesi

Doç. Dr. Mehmet EMİROĞLU
Düzce Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 13/09/2018

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

13 Eylül 2018

Emrah Ferdi ÜNVER

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğreniminin tüm aşamalarında yanımda olan ve yol gösteren değerli danışman hocam Doç. Dr. Ahmet BEYÇİOĞLU'na en içten dileklerimle teşekkür ederim.

Tez çalışmalarında her zaman desteğini gördüğüm kıymetli hocam Doç. Dr. Mehmet Emin ARSLAN'a, tez çalışmamın deneysel kısmında yardımcı olan İnş. Müh. Harun İNCE, İnş. Müh. Yunus Emre KOZAN, İnş. Müh. Ahmet ÖZKARCI ve İnş. Müh. Mehmet SAĞIT'a teşekkürlerimi sunarım.

Malzeme temininde destek sağlayan Yiğitler Beton A.Ş Laboratuvar Sorumlusu Uğur GILIÇ'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam boyunca benden desteğini esirgemeyen değerli eşim Özge ÜNVER'e, aile büyüklerime ve çalışmalarım sırasında beni destekleyerek yardımlarını esirgemeyen mesai arkadaşlarıma en içten dileklerimle teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması 214M026 numaralı TÜBİTAK Projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir. Tez çalışmalarına vermiş olduğu mali destekten dolayı TÜBİTAK'a teşekkür ederim.

13 Eylül 2018

Emrah Ferdi ÜNVER

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	x
KISALTMALAR.....	xi
SİMGELER	xii
ÖZET	xiii
ABSTRACT	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. LİF TAKVİYELİ KOMPOZİT DONATILAR.....	9
2.1. LİF TAKVİYELİ KOMPOZİT DONATILARIN KULLANILDIĞI İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ UYGULAMALARI	11
2.2. PULTRUZYON YÖNTEMİYLE LİF TAKVİYELİ KOMPOZİT DONATILARIN ÜRETİMİ	14
3. BETON-DONATI ADERANSI	16
3.1. ADERANSA ETKİ EDEN BAŞLICA FAKTÖRLER.....	16
3.2. ADERANS DENEYLERİ	17
3.2.1. Çekip-Çıkarma (pull-out) Deneyi.....	18
3.2.2. Kiriş Deneyleri.....	20
3.2.2.1. Bureau of Standards Deneyi	20
3.2.2.2. Teksas Deneyi.....	21
3.2.2.3. Standart Belçika Mafsallı Kiriş Deneyi	22
4. LİTERATÜR ÖZETİ	23
5. MALZEME VE YÖNTEM.....	31
5.1. MALZEME	31
5.1.1. Agrega	31
5.1.2. Çimento	32

5.1.3. Uçucu Kül	32
5.1.4. Kimyasal Katkı.....	33
5.1.5. Karışım Suyu	33
5.1.6. Lif Takviyeli Kompozit Donatılar	34
5.1.7. Mafsallı Kirişlerin Üretiminde Kullanılan Kalıplar	34
5.1.8. Mafsallı Kirişlerin Üretiminde Kullanılan Kesme Donatıları	35
5.2. YÖNTEM	37
6. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	48
6.1. ÇALIŞMADA KULLANILAN DONATILARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE AİT BULGULAR.....	48
6.2. ARAMİD LİFLİ DONATININ ADERANS PERFORMANSI.....	51
6.3. KARBON LİFLİ DONATININ ADERANS PERFORMANSI	62
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	74
7.1. SONUÇLAR.....	74
7.2. ÖNERİLER.....	76
8.KAYNAKLAR.....	77
ÖZGEÇMİŞ	83

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Betonarme yapının iç ve dış etkenlerle bozulması	1
Şekil 1.2. Zamana göre korozyon gelişimi ve etkili parametreler	2
Şekil 1.3. Donatıda korozyon nedeniyle hacim artışı ve betonda çatlak oluşumu	3
Şekil 1.4. Korozyon sonucu betonarme elemanlarda oluşan çeşitli hasar mekanizmaları	4
Şekil 1.5. Kiriş elemanda ileri düzeyde korozyon hasarı ve İzmir’de korozyon hasarına uğramış elektrik direkleri	5
Şekil 1.6. Çeşitli köprü ayakları ve köprü parapet mesnetindeki korozyon kaynaklı hasar	5
Şekil 1.7. BOTAS Petrol platformunda meydana gelen yapısal hasarlar ve diğer bazı köprü ayaklarındaki hasarlara örnekler.	5
Şekil 1.8. BOTAS Petrol platformunda korozyon kaynaklı meydana gelen yapısal hasarlar	5
Şekil 1.9. Atık su ve kanalizasyon sistemlerinde sülfürik asit etkisi sonucu korozyon ...	6
Şekil 1.10. Denize yakın ortamlarda korozyon hasarları	6
Şekil 1.11. Denize yakın ortamlarda korozyon hasarları	6
Şekil 1.12. Lif Takviyeli Donatıların Durabilite Kabiliyeti.....	7
Şekil 2.1. Donatıya ulaşan klorun donatıda meydana getirdiği korozyon sorunları.....	11
Şekil 2.2. Korozyona uğramış bir kıyı şeridi istinat duvarının lif takviyeli kompozit donatılarla tekrardan inşaatı	12
Şekil 2.3. 2010 yılında Brandon, Manitoba	12
Şekil 2.4. Miami-Dade MetroRail projesi	12
Şekil 2.5. Lif takviyeli kompozit donatıların TBM ile tünel açma çalışmalarındaki şaft çıkışları olan soft-eye uygulaması	13
Şekil 2.6. Lif takviyeli kompozit donatıların havalimanında kullanımına örnek	13
Şekil 2.7. Pultrüzyon yönteminin üretim süreci.	15
Şekil 2.8. Pultrüzyon ürünü bazı malzemeler.	15
Şekil 2.9. Pultrüzyon yöntemi ile üretilmiş bazı donatı çubukları.....	15
Şekil 3.1. Merkezi çekip-çıkarma deneyinin şematik gösterimi.....	18
Şekil 3.2. Geliştirilmiş bazı merkezi çekip-çıkarma deney düzeneklerinin şematik gösterimi.....	19
Şekil 3.3. Dışmerkez çekip-çıkarma deney düzeneğinin şematik gösterimi	20
Şekil 3.4. Bureau of standards deney düzeneğinin şematik gösterimi	21
Şekil 3.5. Texas çıkmalı kiriş deney düzeneği.....	21
Şekil 3.6. Standart Belçika mafsallı kiriş deney düzeneği.....	22
Şekil 5.1. Agregaların beton santrali stok sahasından alınması.....	31

Şekil 5.2. Agregaların muhafaza haznelerine yerleştirilmesi	31
Şekil 5.3. Atmosferik koşullara karşı agregaların koruma altına alınması	32
Şekil 5.4. Deneysel çalışmada kullanılan kompozit donatılar	34
Şekil 5.5. Mafsallı kirişlerin üretimi için yaptırılan özel kalıplar	35
Şekil 5.6. Mafsallı kirişlerde kullanılacak olan kesme donatılarının detayı	36
Şekil 5.7. Yaptırılan ve giriş dökümüne hazır halde laboratuvara getirilen kesme donatıları	36
Şekil 5.8. S4 kıvam sınıfının kontrolü için slump deneyinin uygulandığı	38
Şekil 5.9. Başlıklama yapılarak çekme deneyi için hazırlanmış donatılar	38
Şekil 5.10. Kompozit donatılarda çekme deneyinin uygulandığı	39
Şekil 5.11. Sıcak silikon ve borudan kılıf kullanılarak donatıların kenetlenme boylarının belirlenmesi	39
Şekil 5.12. Kılıflarla aderans boyları sınırlandırılmış kompozit donatı örnekleri	40
Şekil 5.13. Beton dökümüne hazır hale getirilmiş kalıp örneği	40
Şekil 5.14. Mafsallı giriş deney düzeneği şeması	41
Şekil 5.15. Mafsallı giriş deney düzeneği	42
Şekil 5.16. Yüklemede kullanılan tam otomatik hidrolik güç ünitesi	42
Şekil 5.17. Üretilen mafsallı girişlere ıslak çuvallarla kür uygulanması	43
Şekil 5.18. Üretilen ve deneye hazır hale getirilen mafsallı giriş örnekleri	43
Şekil 5.19. Deneysel çalışmaların akış diyagramı	45
Şekil 6.1. Kumlanmış yüzeye sahip karbon lifli donatının gerilme-deformasyon grafiği	48
Şekil 6.2. Helisel sargılı yüzeye sahip karbon lifli donatının gerilme-deformasyon grafiği	49
Şekil 6.3. Kumlanmış yüzeye sahip aramid lifli donatının gerilme-deformasyon grafiği	49
Şekil 6.4. Helisel sargılı yüzeye sahip aramid lifli donatının gerilme-deformasyon grafiği	50
Şekil 6.5. C35 beton-8 mm donatı çapı ve 10Φ kenetlenmede aramid lifli donatı gerilme-sıyrılma ilişkisi	51
Şekil 6.6. C35 beton-12 mm donatı çapı ve 10Φ kenetlenmede aramid lifli donatı gerilme-sıyrılma ilişkisi	52
Şekil 6.7. C50 beton-8 mm donatı çapı ve 10Φ kenetlenmede aramid lifli donatı gerilme-sıyrılma ilişkisi	52
Şekil 6.8. C50 beton-12 mm donatı çapı ve 10Φ kenetlenmede aramid lifli donatı gerilme-sıyrılma ilişkisi	53
Şekil 6.9. C35 beton-8 mm donatı çapı ve 20Φ kenetlenmede aramid lifli donatı gerilme-sıyrılma ilişkisi	57
Şekil 6.10. C35 beton-12 mm donatı çapı ve 20Φ kenetlenmede aramid lifli donatı gerilme-sıyrılma ilişkisi	58
Şekil 6.11. C50 beton-8 mm donatı çapı ve 20Φ kenetlenmede aramid lifli donatı gerilme-sıyrılma ilişkisi	58
Şekil 6.12. C50 beton-12 mm donatı çapı ve 20Φ kenetlenmede aramid lifli donatı gerilme-sıyrılma ilişkisi	59

Şekil 6.13. C35 beton-8 mm donatı çapı ve 10Φ kenetlenmede karbon lifli donatı gerilme-sıyrılma ilişkisi.....	62
Şekil 6.14. C35 beton-12 mm donatı çapı ve 10Φ kenetlenmede karbon lifli donatı gerilme-sıyrılma ilişkisi.....	63
Şekil 6.15. C50 beton-8 mm donatı çapı ve 10Φ kenetlenmede karbon lifli donatı gerilme-sıyrılma ilişkisi.....	63
Şekil 6.16. C50 beton-12 mm donatı çapı ve 10Φ kenetlenmede karbon lifli donatı gerilme-sıyrılma ilişkisi.....	64
Şekil 6.17. C35 beton-8 mm donatı çapı ve 20Φ kenetlenmede karbon lifli donatı gerilme-sıyrılma ilişkisi.....	68
Şekil 6.18. C35 beton-12 mm donatı çapı ve 20Φ kenetlenmede karbon lifli donatı gerilme-sıyrılma ilişkisi.....	69
Şekil 6.19. C50 beton-8 mm donatı çapı ve 20Φ kenetlenmede karbon lifli donatı gerilme-sıyrılma ilişkisi.....	69
Şekil 6.20. C50 beton-12 mm donatı çapı ve 20Φ kenetlenmede karbon lifli donatı gerilme-sıyrılma ilişkisi.....	70

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa No

Çizelge 2.1. Bazı lif takviyeli kompozit donatıların çelik donatı çubuklarıyla karşılaştırılması	10
Çizelge 2.2. Lif takviyeli kompozit donatıların avantaj ve dezavantajları.	10
Çizelge 5.1. Kullanılan çimentonun fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri.	32
Çizelge 5.2. Uçucu kül'e ait kimyasal ve fiziksel özellikler.	33
Çizelge 5.3. Betonların üretiminde kullanılan süper akışkanlaştırıcının teknik özellikleri.....	33
Çizelge 5.4. Tez çalışması kapsamında temin edilen kompozit donatı çeşitleri.....	34
Çizelge 5.5. Mafsallı kirişlerin üretiminde kullanılan C35 ve C50 karışım dizaynları.	37
Çizelge 5.6. C35 ve C50 karışımlarından elde edilen 28 basınç dayanımı sonuçları.	37
Çizelge 5.7. Aramid lifli donatılarda numune kodlamalarının detayı.	46
Çizelge 5.8. Karbon lifli donatılarda numune kodlamalarının detayı.....	46
Çizelge 5.9. Çelik donatılarda numune kodlamalarının detayı.....	47
Çizelge 6.1. Donatılara ait çekme deneyi sonuçları.....	50
Çizelge 6.2. Kenetlenme boyu 10Φ olan aramid lifli donatılar için kritik bulgular	54
Çizelge 6.3. Kenetlenme boyu 10Φ olan aramid lifli donatılar için eşik değerlerde sıyılmalar.....	54
Çizelge 6.4. Kenetlenme boyu 20Φ olan aramid lifli donatılar için kritik bulgular	59
Çizelge 6.5. Kenetlenme boyu 20Φ olan aramid lifli donatılar için eşik değerlerde sıyılmalar.....	60
Çizelge 6.6. Kenetlenme boyu 10Φ olan karbon lifli donatılar için kritik bulgular.	65
Çizelge 6.7. Kenetlenme boyu 10Φ olan karbon lifli donatılar için eşik değerlerde sıyılmalar.....	65
Çizelge 6.8. Kenetlenme boyu 20Φ olan karbon lifli donatılar için kritik bulgular.	71
Çizelge 6.9. Kenetlenme boyu 20Φ olan karbon lifli donatılar için eşik değerlerde sıyılmalar.....	71

KISALTMALAR

AFRP	Aramid fiber reinforced polymer
AK	Aderans kopması
ALD	Aramid lifli donatılar
BFRP	Basalt fiber reinforced polymer
BS	British standart
CFRP	Glass fiber reinforced polymer
CSA	Kalsiyum sülfo alüminat
DK	Deneyin sonlanması
DST	Deney sonlanma türü
FRP	Fiber reinforced polymer
ISO	Uluslararası standartlar teşkilatı
İS-G	İlk sıyrılma olduğu andaki gerilme
KLD	Karbon lifli donatılar
KYB	Kendiliğinden yerleşen betonlar
LPDT	Potansiyometrik cetvel
MG	Maksimum gerilme
MGK	Maksimum gerilmeye karşılık gelen kuvvet
MG-S	Maksimum gerilmeye ulaştığı andaki sıyrılma
SÇD	Standart çelik donatılar
TBM	Tunnel boring machine (tünel sondaj makinesi)
TS	Türk Standardı
UK	Uçucu kül

SİMGELER

C35	Beton Dayanım Sınıfı
C50	Beton Dayanım Sınıfı
Cm	Santimetre
F	Donatıdaki Kuvvet
fcd	Tasarım Basınç Dayanımı
fck	Karakteristik Basınç Dayanımı
fctd	Tasarım Çekme Dayanımı
fctk	Karakteristik Çekme Dayanımı
fyd	Tasarım Dayanımı
fyk	Karakteristik Akma Dayanımı
l	Boy
Mm	Milimetre
P	Pistondaki Kuvvet
Sa:dk	Saat:dakika
Tu	Maksimum aderans gerilmesi
Φ	Donatı Çapı

ÖZET

KARBON VE ARAMİD LİFLİ KOMPOZİT DONATILARIN ADERANS PERFORMANSLARININ MAFSALLI KİRİŞ YÖNTEMİYLE ARAŞTIRILMASI

Emrah Ferdi ÜNVER

Düzce Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, Kompozit Malzeme Teknolojileri Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Ahmet BEYÇİOĞLU

Eylül 2018, 82 sayfa

Günümüzde cam lifi, bazalt lifi, aramid lifi ve karbon lifi kullanılarak yeni nesil kompozit donatı çubukları üretilmektedir. Üretilen bu donatı çubuklarında sürekli lifler takviye malzemesi, epoksi reçine ise matris malzemesi olarak kullanılmaktadır. Yeni nesil bu donatı çubukları, betonarme yapılarda kullanılan çelik donatıların yüzeyinde yer alan nervürleri temsil etmesi ve beton ile aderans sağlaması amacıyla farklı yüzey formlarında da üretilebilmektedir. Bu çalışmada çelik donatı, karbon lifli kompozit donatı ve aramid lifli kompozit donatıların aderans performansı karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Donatıların betonla olan aderansını belirlemek amacıyla eğilmede aderans deneylerinden olan mafsallı kiriş yöntemi kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda beton kalitesinin aderansa etkisini belirlemek amacıyla C35 ve C50 sınıfında iki farklı beton, kenetlenme boyunun aderansa etkisini belirlemek amacıyla donatı çapının 10 katı ve 20 katı olmak üzere iki farklı kenetlenme boyu, donatıların yüzey özelliğinin aderansa etkisini belirlemek amacıyla kumlanmış ve helisel sargılı olmak üzere iki farklı yüzey ve donatı çapının aderansa etkisini belirlemek amacıyla 8 mm ve 12 mm olacak şekilde iki farklı donatı çapı kullanılmıştır. Sonuç olarak kompozit donatıların çelik donatıya kıyasla çok daha yüksek çekme dayanımlarına ulaştığı, hem aramid hemde karbon liflerle üretilmiş kumlanmış yüzeye sahip kompozit donatıların çelik donatıya kıyasla çok daha iyi bir aderans performansı gösterdiği belirlenmiştir. Ayrıca kompozit donatıların aderans performansının yüzey formu oluşturma biçimine bağlı olarak çok değişkenlik gösterdiği görülmüştür.

Anahtar sözcükler: Aderans, Aramid lifli kompozit donatı, Karbon lifli kompozit donatı, Mafsallı kiriş.

ABSTRACT

ANALYSING THE BOND PERFORMANCES OF COMPOSITE REBARS MADE WITH CARBON AND ARAMID FIBERS BY USING HINGED BEAM METHOD

Emrah Ferdi ÜNVER

Düzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Composite Material Technologies

Master's Thesis

Supervisor: Associate Professor Ahmet BEYÇİOĞLU

September 2018, 82 pages

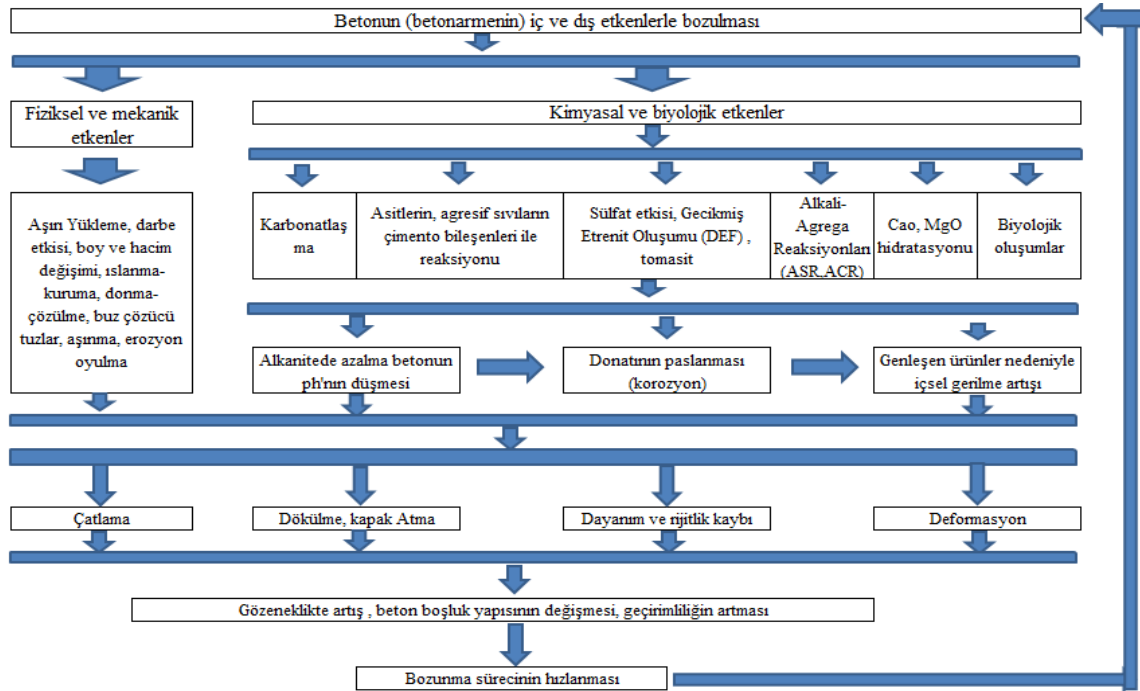
Nowadays, fiber reinforced composite rebars are produced by using glass fiber, basalt fiber, aramid fiber, and carbon fiber. In these composite rebars, continuous fibers are used as a reinforcing material and epoxy resin is used as a matrix material. These new composite rebars can be produced in different surface forms with the aim of representing the ribs that are on the surface of steel reinforcements. In this study, bond behavior of steel rebar, carbon fiber reinforced composite rebar and aramid fiber reinforced composite rebar were investigated comparatively. The hinged beam method, which is one of the bond experiments in bending, was used while determining the bond relations between reinforcement bars and concrete. In the experiments, two different concrete types employed to determine the effect of concrete quality (C35 and C50), two different embedment lengths employed to determine the effect of embedment lengths (10 and 20 times the diameter of the reinforcement), two different surfaces employed to determine the effect of surface properties of fiber reinforced composite rebars on bonding (sand coated and helically wrapped) and two different diameters employed to determine the effect of reinforcement diameter (8mm and 12 mm) on bonding were used as experimental parameters. As a result, it was found that composite rebars have a much higher tensile strength than steel rebar, and these composite rebars with sand coated surface produced by both aramid and carbon fibers show a much better bond performance compared to steel reinforcement. Besides, bond performance of composite rebars is very variable depending on the form of surface form.

Keywords: Aramid fiber reinforced composite rebar, Bond strength, Carbon fiber reinforced composite rebar, Hinged beam.

1. GİRİŞ

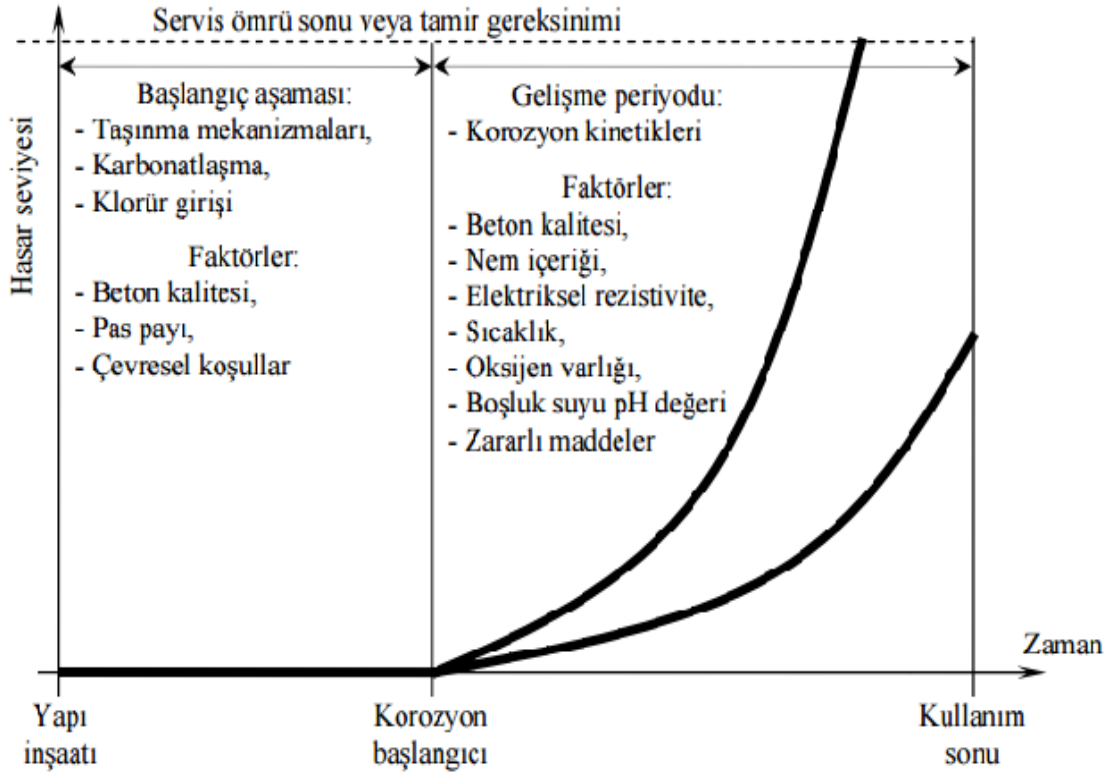
Beton numunelerde, deney sonuçlarına bakıldığında önemli parametreler arasında basınç dayanımı, kesme dayanımı ve çekme dayanımı yer almaktadır. Sonuçlar kıyaslanacak olursa, basınç dayanımı en yüksek, kesme dayanımı basınç dayanımının yüzde ellisine eşit, çekme dayanımı ise basınç dayanımının yüzde onu kadardır. Üretilen yapı elemanlarında iç ve dış yüklerin etkisiyle büyük çekme gerilmeleri meydana gelmektedir. Meydana gelen bu gerilmeleri karşılamak üzere, çekme bölgelerine ilave donatılar konulmuş, donatıyla beton arasındaki aderansın yararlanılarak ortak çalışma sağlanmış ve betonarme yapı yöntemi ortaya çıkmıştır [1]. Bu bilgilerden yola çıkarak aderans ve donatı arasındaki bağlantı betonarmenin varlığını ortaya çıkarmıştır.

1970'li yıllara kadar betonarme yapılarda servis ömrünün çok uzun olduğu düşünülmekte olsa da son yıllarda üretilen yapı elemanlarında uygulama hataları yüzünden önemli hasarlar olduğu gözlemlenmiştir. Betonarme yapılarda hasara neden olan faktörler aşağıdaki Şekil 1.1'de fiziksel/mechanik ve kimyasal/biyolojik etkenler olarak iki ana grupta toplanmıştır [2].



Şekil 1.1. Betonarme yapının iç ve dış etkenlerle bozulması [2].

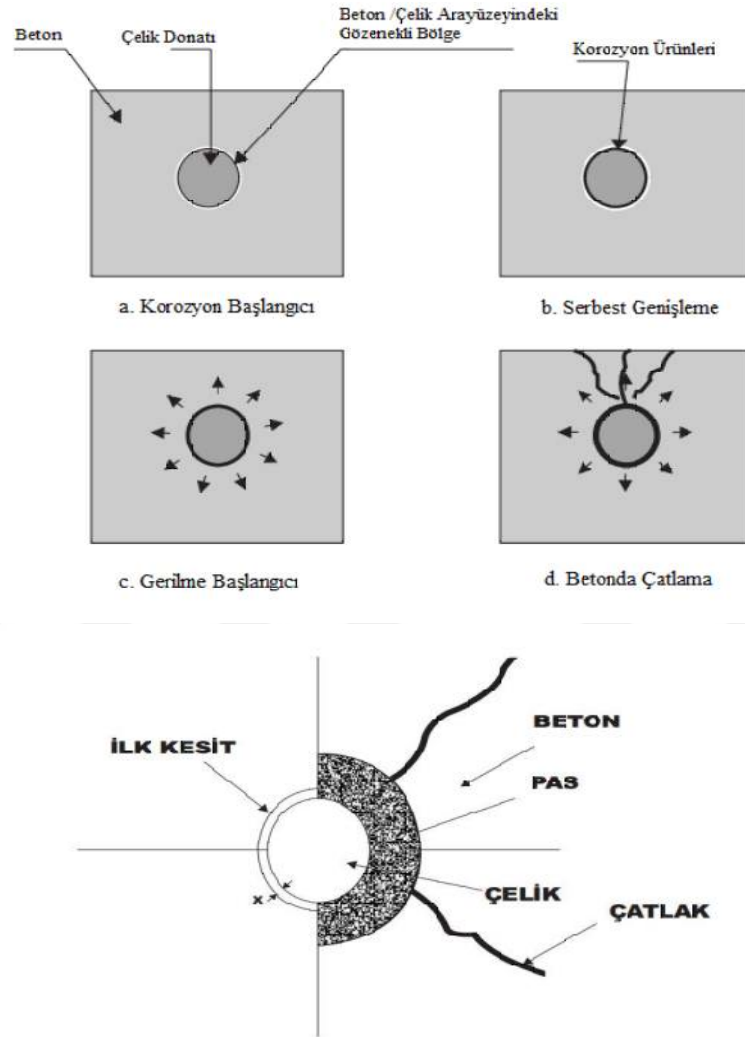
Ülkemizde yapılan ve inşası devam eden yapıların büyük bir kısmı betonarme yapı sistemine sahiptir. Betonarme yapı sistemlerinde yapının ömrü yüz yıl ve yüz yılın üzeri olarak tasarlanmaktadır. Yapı ömrü dikkate alındığında, betonun taşıyıcı özellikleri kadar dış etkilere karşı durabilite özelliğinin de iyi olması gerekmektedir [3]. Betonarme yapı sistemlerinde karşılaşılan ciddi sorunlardan biri de korozyon sonucu durabilite de yaşanan yapım ömrü azalmalarıdır. Korozyonun durabilitiye etkisi ve durabilite de kayıpların yaşanması bir süreç içerisinde gerçekleşmektedir. Meydana gelen korozyon oluşumunun sürece bağlı davranışı Şekil 1.2’de gösterilmektedir [4].



Şekil 1.2. Zamana göre korozyon gelişimi ve etkili parametreler [4].

Donatılardaki korozyon farklı etkiler ile meydana gelse de betonarme yapılarda verdiği zararlar, yapı bünyesinde genişleyen ürünlerin oluşmasıyla birlikte meydana gelmektedir. Donatının okside olması sonucu pas ürünler meydana gelmektedir. Pas ürünleri çeliğin üst yüzeyini kaplamaya başladıkça, oksidasyon öncesi çeliğin kapladığı alandan daha fazla alana ihtiyaç duymaktadır. Pas ürünleri ilk aşamada boşluklarda ilerleyip aderansı artıyor gibi gözükse de pas ürünlerinin genişleyen hacimleriyle birlikte daha fazla alana ihtiyaç duyması sonucu aderansda performans kayıplarına neden olmaktadır. Donatının üzerindeki korozyonlarla birlikte ortaya çıkan daha fazla

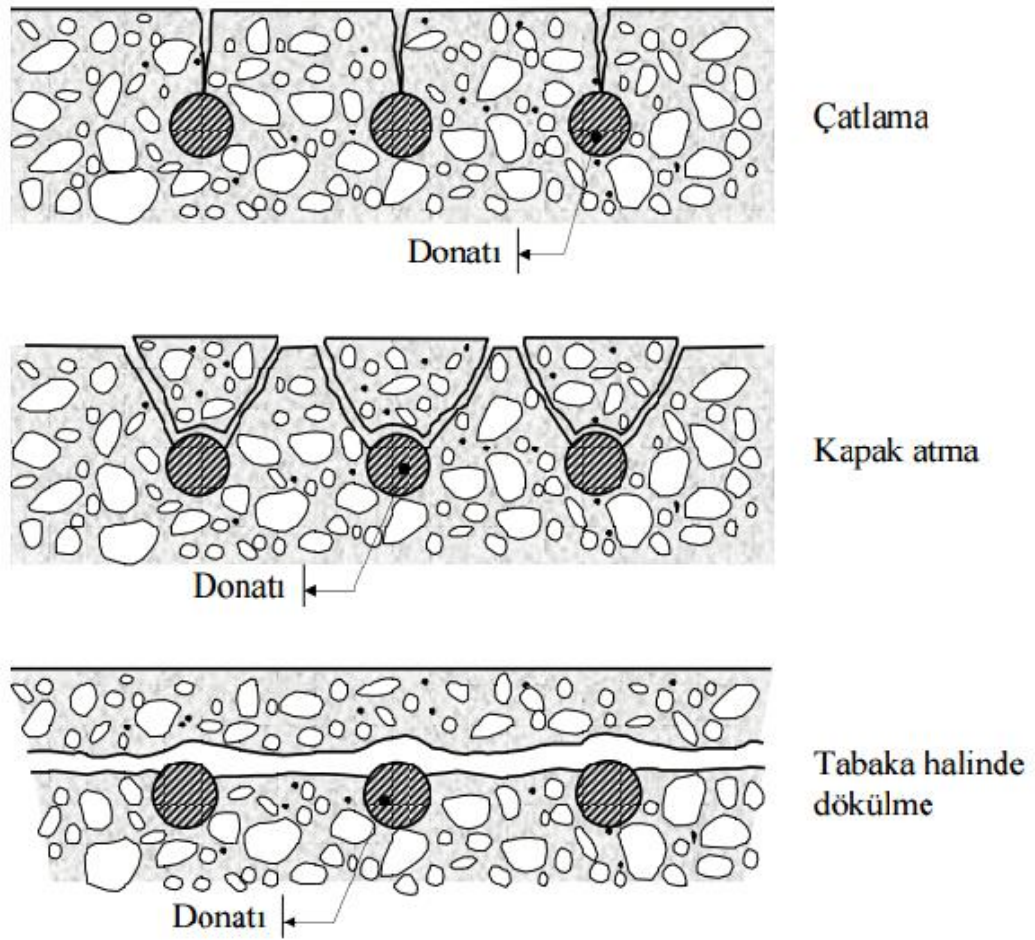
alan ihtiyacı sonucunda ek çekme gerilmeleri oluşmaktadır (Şekil 1.3). Oluşan bu gerilmeler uzama oranı düşük ve gevrek bir ürün olan betonda donatı yüzeyine paralel çatlamlar oluşturur. Beton da oluşan çatlamlar donatının korozyona uğramasını, donatının korozyona uğraması ise betonun hasar almasını hızlandırmakta ve betonarme yapının hizmet ömrünü azaltmaktadır [5].



Şekil 1.3. Donatıda korozyon nedeniyle hacim artışı ve betonda çatlak oluşumu [5].

Beton yapılarda donatı olarak kullanılan çelik, beton tarafından bir bütün olarak sarılmaktadır. Tasarımı düzgün şekilde yapılan beton geçirimsiz ve donatıyı dış etkilerden korumakla görevlidir. Fiziksel ve kimyasal zararlı maddelerin donatıya nüfuz etmesi gibi etkileri düşünecek olursak, geçirimsiz ve donatıyı saran yapısıyla beton yapıyı bu etkilerden korumaktadır. Deniz yapıları, atık su ve içme suyu havuzları, kimyasal madde tankları ve çevresel etkilere maruz kalan yapılarda korozyon gelişimi olabilmektedir. Korozyon yapının durağanlığını azaltmakta ve yapı ömrü için yüksek

risk oluşturmaktadır. Donatı korozyonla birlikte kesit ve düktilite kaybına uğramaktadır. Oksidasyon ve korozyon etkisiyle donatı etrafında pas tabakası büyümektedir. Bu büyüme sonucunda beton tabakasında çatlama, ilerleyen safhalarda dökülmeler olabilmekte ve bu durum donatı-beton arasındaki aderans performansını negatif yönde etkilemektedir. Ufak kesit kayıpları bile öngerme sisteme sahip betonarme yapılarda sistemin zarar görüp öngerme halatlarının kopmasına neden olabilmektedir. Betonarme yapı sistemlerinde tamir ve bakım masrafları büyük maddi külfetlere neden olması da korozyonun önemini ortaya koymaktadır [6]. Yapı sistemlerinde donatı korozyonu sonucu oluşan hasarlar Şekil 1.4'te görülmektedir.



Şekil 1.4. Korozyon sonucu betonarme elemanlarda oluşan çeşitli hasar mekanizmaları [6].

Hasarlı yapılarda hasar gören yapı elemanı çevresel koşullara maruz kalmaya devam ettiği sürece hasar oranı artacak ve yapı kullanım ömrü azalacaktır [6]. Korozyon sonucunda betonarme yapılarda oluşan zararlara örnekler Şekil 1.5, Şekil 1.6, Şekil 1.7,

Şekil 1.8, Şekil 1.9, Şekil 1.10, Şekil 1.11’de sunulmuştur.



Şekil 1.5. Kiriş elemanda ileri düzeyde korozyon hasarı [7] ve İzmir’de korozyon hasarına uğramış elektrik direkleri [4].



Şekil 1.6. Çeşitli köprü ayakları ve köprü parapet mesnetindeki korozyon kaynaklı hasar [8].



Şekil 1.7. BOTAŞ petrol platformunda meydana gelen yapısal hasarlar ve diğer bazı köprü ayaklarındaki hasarlara örnekler [8].



Şekil 1.8. BOTAŞ petrol platformunda korozyon kaynaklı meydana gelen yapısal hasarlar [8].



Şekil 1.9. Atık su ve kanalizasyon sistemlerinde sülfürik asit etkisi sonucu korozyon [9].



Şekil 1.10. Denize yakın ortamlarda korozyon hasarları [10].



Şekil 1.11. Denize yakın ortamlarda korozyon hasarları [11].

Dünya genelinde metal esaslı inşaat yapı elemanlarında korozyon genel bir sorun olarak yapı sistemlerinde tehdit oluşturmaktadır. Bu tehditlere tedbir almak amacıyla korozyon oluşumunu önleyici, epoksi kaplı inşaat çeliği kullanımı ve katodik korumanın yanında galvaniz kaplama, paslanmaz çelik kullanımı ve beton katkıları gibi uygulamalar kullanılabilmektedir [12]. Bu ve benzeri uygulamalar etkili olsa da günümüzde

tamamen çelik korozyon sorunlarını ortadan kaldırmak mümkün olmamıştır [13].

İnşaat çeliğine önemli bir alternatif olabilecek ve korozyon problemlerinin önüne geçebilecek yeni nesil lif takviyeli kompozit donatılarla ilgili bilgiler çalışmanın ikinci bölümünde detaylı olarak anlatılmış ve kullanım alanlarıyla ilgili örnekler verilmiştir. Yeni nesil lif takviyeli kompozit donatıların durabilite kabiliyetini ortaya koyan örnek bir çalışma Şekil 1.12’de gösterilmektedir. Örnekte Amerika’nın Texas eyaletinde inşaa edilen TxDOT Sierrita de la CruzCreek köprüsünden yapımından 15 yıl sonra alınan karot bölgesindeki lif takviyeli kompozit donatılar görülmektedir. Karot numuneler üzerinde yapılan incelemede, donatılarda durabilite sorunu görülmediği ve yapı sisteminde durabilite kayaklı sorun bulunmadığını göstermektedir [14].



Şekil 1.12. Lif takviyeli donatıların durabilite kabiliyeti [14].

Bu tez çalışmasında amacı ve kapsamı, geleneksel betonarme yapı elemanı çelik çubukların korozyon sonucu yapı ömrünü kısaltan etkenlere karşı önemli bir alternatif çözüm getirebilecek lif takviyeli kompozit donatıların aderans performansları eğilme altında incelenmesidir. Bu tez çalışmasında, C35 sınıfında geleneksel beton ile C50 sınıfındaki yüksek dayanımlı betonlarla üretilen mafsallı kiriş numuneleri üzerinde çelik donatı ile farklı yüzey formlarındaki karbon lifli ve aramid lifli kompozit donatıların eğilmede aderans performansları karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Bu tez

alışmasında eğilme elemanlarındaki betonarme sistem davranışını daha iyi temsil etmesi, betonda yarıлма ve donatıyı bırakma riski bulunmaması ayrıca lif takviyeli kompozit donatıların kavranmasından kaynaklı sorunlar oluşmaması nedeniyle Mafsallı Kiriş yöntemi ile eğilme etkisindeki beton-donatı aderansı belirlenmeye çalışılmıştır. Gerçekleştirilen deneysel çalışmalar ile yeni olan ve literatür boşluğu bulunan bu konuya katkı sağlanması amaçlanmıştır.



2. LİF TAKVİYELİ KOMPOZİT DONATILAR

Belirli amaç doğrultusunda iki veya daha fazla malzemenin birleşmesiyle ortaya çıkan malzeme türüne kompozit malzeme adı verilir. İnşaat ve imalat teknolojilerindeki gelişmeler ve sektörün ihtiyacı doğrultusunda farklı ürünler ortaya çıkmaktadır. Kompozit malzemenin yapısını oluşturan bileşenler kimyasal olarak farklıdırlar ve fazları birbirinden ayıran belirgin bir ara yüzey bulunmaktadır. Kompozit ürünler farklı isimlerle adlandırılırsalar da en sık kullanılanları “çok bileşenli malzeme”, “çok fazlı malzeme”, “donatılı malzeme” ve “pekiştirilmiş malzeme” şeklindedir [15].

Lif takviyeli kompozitler, çekme dayanımı yüksek liflerin bir araya gelmesiyle birlikte ortaya çıkan kompozit donatılardır. Kompozit malzeme içerisindeki lifler malzemeye yüksek mukavemet özelliği kazandırarak yük taşıma kapasitesini artırır. Lifler üzerinde ısı ile sertleşen kalıplar (çoğunlukla epoksi) uygulanır ve lifler arasındaki kuvvet aktarımları kayma gerilimi yoluyla sağlanır. Günümüzde en çok uygulanan lif takviyeli kompozitler arasında cam lifi, karbon lifi, aramid lifi ve bazalt lifi sayılabilir [16]. Yapı inşası konusunda en önemli ürünlerden olan betonarme yapı donatısı çelik çubukların yerini alabilmesi için değişik proje türlerinde korozyon konusunda daha seçilebilir bir ürün olan kompozit lif takviyeli donatı çubukları üretilmektedir.

Lif takviyeli kompozit donatıların çelik donatı çubuklarına göre avantajları vardır. Yüksek çekme dayanımı, korozyon dayanıklılığı, manyetik olmaması, yüksek yorulma dayanımı, hafif bir malzeme olması ve düşük termal iletkenliğidir [17]. Lif takviyeli kompozit donatılardan karbon lifli kompozit donatı ve aramid lifli kompozit donatının çelik çubuğu karşısındaki deneysel verileri araştırılmıştır ve bu donatılara ait akma gerilmesi, çekme dayanımı, elastisite modülü ve akma uzamasına ait veriler Çizelge 2.1’de ortaya konulmuştur [18].

Çizelge 2.1. Bazı lif takviyeli kompozit donatıların çelik donatı çubuklarıyla karşılaştırılması [18].

	Çelik	Karbon Lifli Kompozit Donatı	Aramid Lifli Kompozit Donatı
Akma Gerilmesi (MPa)	276-517	N/A	N/A
Çekme Dayanımı (MPa)	483-690	600-3690	1720 - 2540
Akma Uzaması (MPa)	0.14 - 0.25	N/A	N/A

Lif takviyeli donatıların geleneksel çelik donatı çubukları karşısında en önemli özelliği durabilitesi olsa da bazı avantaj ve dezavantajları Amerikan Beton Enstitüsü tarafından araştırılmış ve Çizelge 2.2’de belirtilmiştir [18].

Çizelge 2.2. Lif takviyeli kompozit donatıların avantaj ve dezavantajları [18].

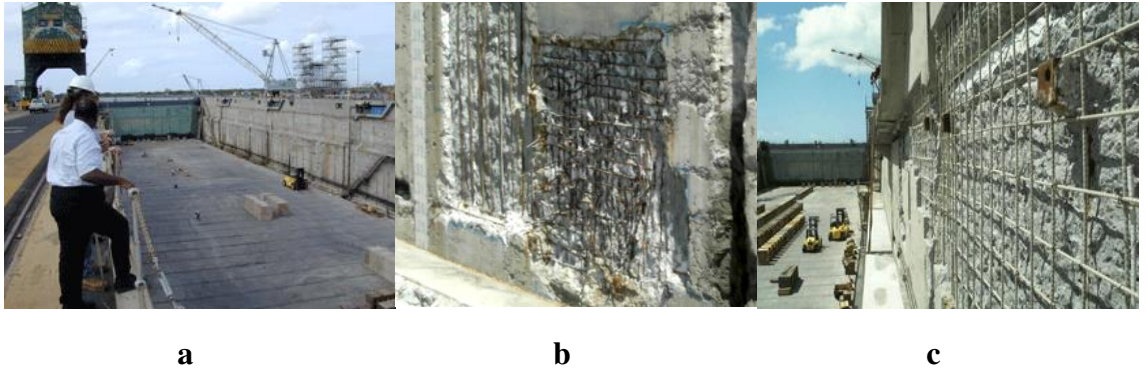
Lif Takviyeli Kompozit Donatıların Avantaj ve Dezavantajları	
Avantajları	Dezavantajları
Boynuna çekme mukavemeti yüksektir (liflerin işaret ve yükleme yönüne göre değişiklik gösterir)	Gevrek bir malzemedir, kopmadan önce akma olmaz
Korozyon direnci (kaplamaya bağlı değildir)	Enine mukavemeti düşüktür (liflerin işaret ve yükleme yönüne göre değişiklik gösterir)
Manyetik değildir	Düşük elastisite modülü (Lif takviyesinin türüne göre değişir)
Yüksek yorulma dayanımı (takviye lifinin cinsine göre değişmektedir)	Ultraviyole radyasyona maruz kaldığında reçinelere ve lif takviyelerin hasar hassasiyeti
Hafiflik (çeliğin yoğunluğunun yaklaşık 1/5-1/4’ü)	Nemli ortamlarda cam elyafların düşük dayanıklılığı
Düşük termal ve elektrik iletkenliği (cam ve aramid lifler için)	Alkali ortamlarda bazı cam ve aramid liflerin düşük dayanıklılığı
	Betona göre, liflere dik olan yüzeylerde yüksek ısı genleşme katsayısı
	Matris tipine ve beton paspayı kalınlığına bağlı olarak yangına karşı duyarlı olabilirler

Lif takviyeli kompozit ürün olarak üretilen yapay donatı çubukları arasında cam lifli, bazalt lifli, karbon lifli ve aramid lifli olarak üretilenler sayılabilir. Pultrüzyon yöntemiyle bu ürünlere şekil verilmekte ve kullanıma hazır hale getirilmektedir.

2.1. LİF TAKVİYELİ KOMPOZİT DONATILARIN KULLANILDIĞI İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ UYGULAMALARI

Lif takviyeli kompozit donatılar hafif ve korozyona uğramaması nedeniyle, değişik yüzeyler şekilleri ve çeşitli boylarda üretilebilmesi, montajının kolay oluşu, bakım gerektirmeyişi ve yüksek mukavemet özellikleri nedeniyle çok farklı ve özel projelerde kullanım alanı bulmaktadır.

Lif takviyeli kompozit donatılar gemilerin bakım onarımı için kullanılan dryduck denilen havuzların imalatı yada korozyon sonrası onarım işlerinde kullanılmaktadır. Bu havuzlara gemiler deniz sularıyla birlikte alınmakta ve sonrasında deniz suyu dışarı basılarak kuru havuz ortamı elde edilmektedir. Deniz suyunun dışarı basılması sonrası yüzeyde kalan tuz ve nemlilik güneşin etkisiyle kurumaktadır. Sürekli ıslanma ve kuruma çevrimleri sonrasında beton yüzeyde sodyum klorürün etkisiyle aşınmalar meydana gelmektedir. Bu aşınmalar pas payını ortadan kaldırmakta veya beton yüzeydeki boşluk oranlarının etkisiyle tuzlu su donatıya ulaşmaktadır. Donatı klorun etkisiyle korozyon sorunları ortaya çıkmaktadır. Pearl Harbor limanı dryduck havuzuna ait görüntü Şekil 2.1-a'da, havuzda meydana gelen korozyon kaynaklı yapısal hasar Şekil 2.1-b'de ve lif takviyeli kompozit donatı ile güçlendirme uygulamasına ait görüntü ise Şekil 2.1-c'de görülmektedir [19].



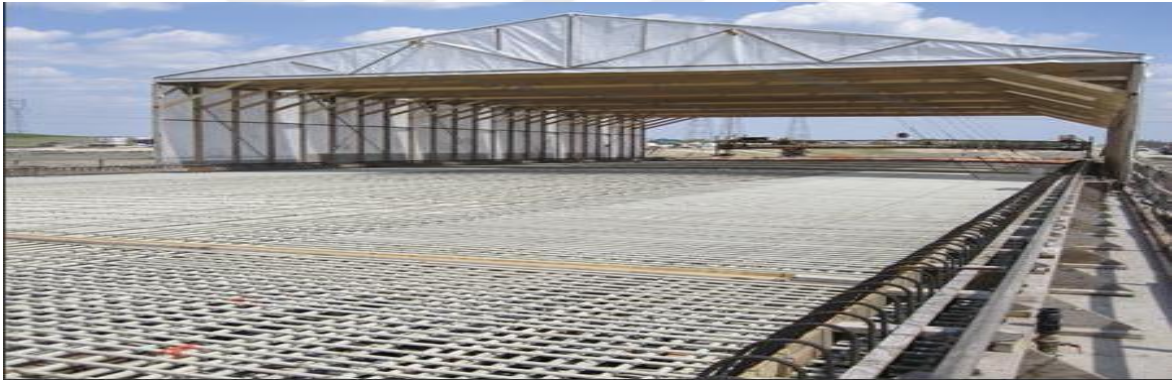
Şekil 2.1. Donatıya ulaşan klorun donatıda meydana getirdiği korozyon sorunları [19].

Deniz kenarlarında büyük dalgaların sahil şeridine zarar vermemesi adına kıyı şeritlerinde istinat duvarları veya dalkıranlar yapılmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri Hawaii açıklarında Lahania adası Maui Bölgesinde yapılan kıyı şeridi istinat duvarı Şekil 2.2'de örnek olarak verilmiştir [19].



Şekil 2.2. Korozyona uğramış bir kıyı şeridi istinat duvarının lif takviyeli kompozit donatılarla tekrardan inşaatı [19].

Lif takviyeli kompozitlerin diğer kullanım alanları örnekleri arasında köprü ve demiryolu gibi projelerde üst table inşasında yer almaktadır. Şekil 2.3'te Kanada'da bulunan Assiniboine Nehri üzerindeki 18. Cadde Köprüsü, Şekil 2.4'te şehirden Miami Uluslararası Havalimanı'na yolcu taşımacılığı yapan tren yolunun uygulamaları örnek olarak verilebilir [20].



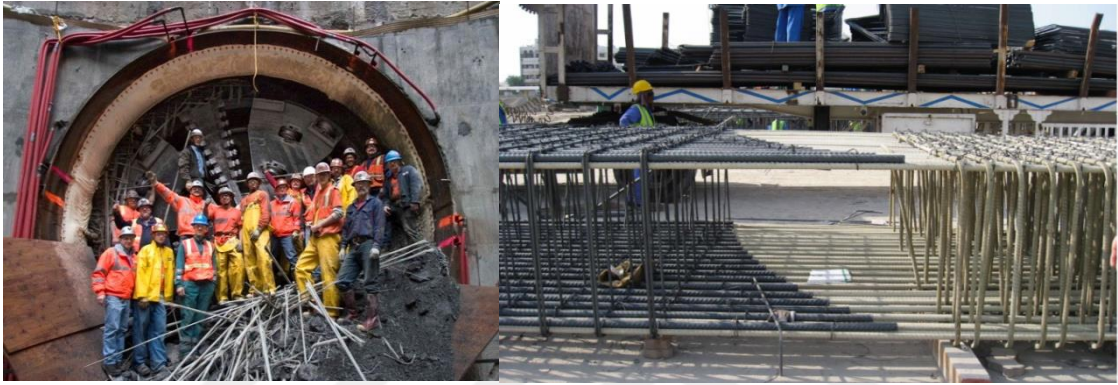
Şekil 2.3. 2010 yılında Brandon, Manitoba [20].



Şekil 2.4. Miami-Dade MetroRail projesi [20].

Lif takviyeli kompozit donatıların inşaat mühendisliği alanında önde gelen uygulama alanlarından birisi de TBM tünel açma çalışmalarında Soft-Eye kısımlarıdır. Soft-eye tünel çıkış kısımlarında olup lif takviyeli kompozit donatı TBM'nin çıkış yapacağı alana gelecek şekilde uygulanır. Soft-eye uygulamalarında donatıların üstünlüğü anizotrop yapılarından dolayı TBM çıkışında eksenine paralel yönde kolay yenilmesi ve TBM tünel çıkışlarında istinat duvarının göçmesine neden olmadan çıkabilmesidir.

Dubai metrosu çalışmalarında donatı şekli ve soft-eye çıkış uygulaması Şekil 2.5'te görülmektedir [21].



Şekil 2.5. Lif takviyeli kompozit donatıların TBM ile tünel açma çalışmalarındaki soft-eye çıkışları olan soft-eye uygulaması [21].

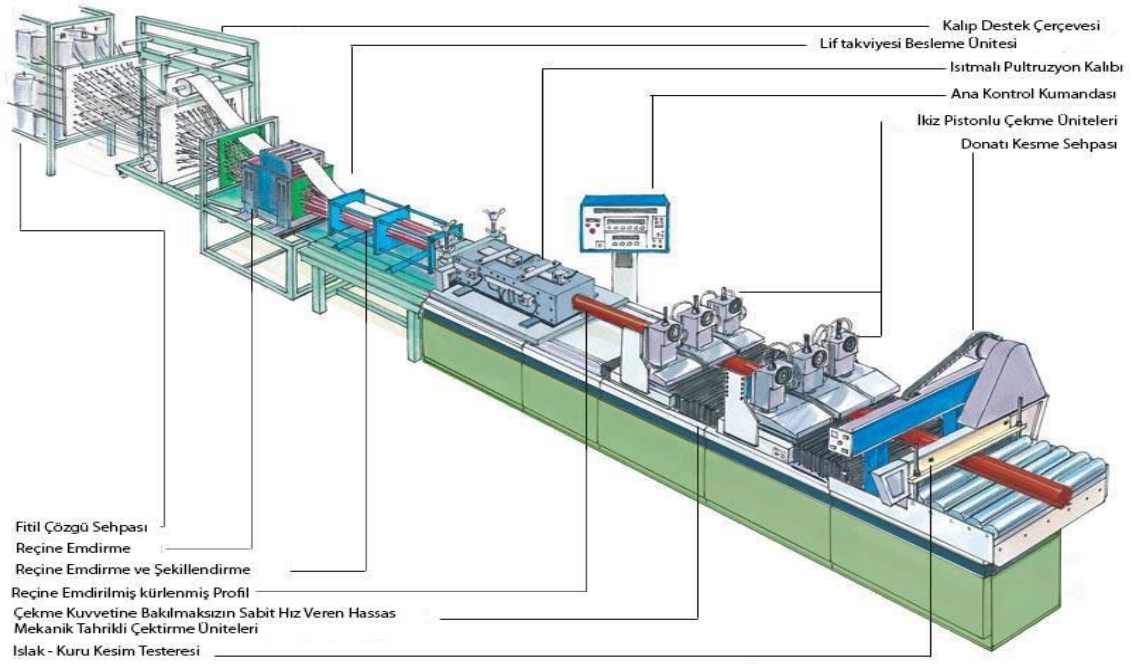
Lif takviyeli kompozit donatıların kullanım alanına değişik bir örnek de Viyana Uluslararası Havalimanı'ndaki 1000 m² donatılı döşeme uygulaması inşaatıdır. 2006 yılında yapılan ve Şekil 2.6'da inşaat aşaması görülen uygulamanın amacı hassas elektronik uçak ekipmanı ayarı yapılacak bir alan için manyetik etkisi olmayan donatı ihtiyacıdır. Alan inşasında donatıların birbirine bağlanması için bağ ekipmanı olarak plastik klipsler seçilmiştir. Uygulama sayesinde manyetik alan oluşmasının önüne geçilmiş ve uçak ekipmanı ayarlamasında oluşacak zararlar önlenmiştir [22].



Şekil 2.6. Lif takviyeli kompozit donatıların havalimanında kullanımına örnek [22].

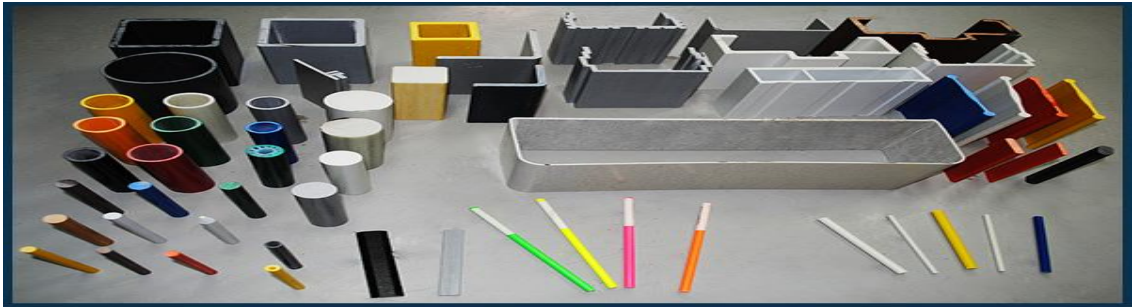
2.2. PULTRUZYON YÖNTEMİYLE LİF TAKVİYELİ KOMPOZİT DONATILARIN ÜRETİMİ

Pultruzyon yöntemi, malzemenin kalıp boyunca çekilerek üretilmesi esasına dayanır. Pultruzyon yönetiminde; elyaf takviyeler bobinlerden çekilirler. Elyaf takviyeler reçine ile ıslatılıp sıcak kalıbın içinden geçirilir. Bu bölgede havayla birlikte elyaflar fazla reçineden arındırılırlar. Buradan alınan ürünün dış etmenler korunması için kalıba girmeden önce yüzeyi kaplanır. Kalıba giren ürün çekme üniteleri tarafından çekilerek istenen uzunlukta bıçaklar vasıtasıyla kesilirler. Çekme bölgelerinde boyuna mukavemeti yüksek malzeme üretirlerken enine mukavemeti artırmak amacıyla düğümlü keçe ya da farklı eksenel yönlerde sahip cam kumaşlar ile kaplanır. Şekil 2.7’de pultruzyon yönteminin üretim sürecine ait detaylı görsel bulunmaktadır. Bu uygulamaların dışında yüzeyin pürüzsüzlüğünü ve dış faktörlerin etkilerini azaltmak amacıyla termoplastik yüzey tülü en çok kullanılan takviye elemanlarından bir tanesidir. Malzemenin maliyetini düşürmek amacıyla 3-6 mikron ebatlarında kalsit, yangına karşı dayanım artırılmak istendiğinde alüminyum hidroksit, korozyon dayanımı için kil, elektrik iletkenliğini komple izole etmek istendiğinde alüminyum trihidrat benzeri dolgu malzemeleri kullanılabilir. Üretilen ürünün kullanım yeri ve amacı ürünün içeriğini belirleme etken unsurudur. Lif takviyeli kompozitler inşaat sektöründe kullanılması için bazı karakteristik yapılara kavuşturulmuştur. Bu ürünü tercih etmemize sebep olan önemli karakteristik yapıları arasında, yüksek mukavemet, anti korozyon yapı, ürünün hafif olması, yorulma dayanımının yüksek olması, manyetik olmaması ve elektrik yalıtımı sayılabilir. Lif takviyeli kompozitlerde akma dayanımı sınırları yoktur ve bazı karbon lif takviyeli kompozitler dışında elastisite modülü çelikle kıyaslandığında daha düşüktür [16], [23].



Şekil 2.7. Pultruziyon yönteminin üretim süreci [24].

Pultruziyon yöntemi ile üretilmiş bazı malzemeler türleri Şekil 2.8’de ve cam lifi, bazalt lifi, karbon lifi ve aramid lifi gibi liflerin epoksi reçine kullanılarak betonarme yapılarda kullanılan çubuk donatı formunda örnekleri ise Şekil 2.9’da görülmektedir.



Şekil 2.8. Pultruziyon ürünü bazı malzemeler [23].



Şekil 2.9. Pultruziyon yöntemi ile üretilmiş bazı donatı çubukları [25].

3. BETON-DONATI ADERANSI

Betonarme, kompozit bir yapıda olup çelik ve betonun birlikte çalıştığı sistemlerdir. Birlikte çalışma prensibinde ana temel çeliğin sıyrılma olmadan ve beton içerisinde birbirine kenetlenmesiyle mümkün olmaktadır. Kenetlenmeyi sağlayan beton ve çelik çubuk arasındaki kayma gerilmelerine adreans denilmektedir [26].

Aderansın üç temel nedene dayandığı kabul edilmektedir. Bunlar;

- a) Çelik ve beton arasında “yapışma” olarak nitelendirilebilecek moleküler ve kapiler bağ kuvvetleri
- b) Beton ve çelik çubuk arasında oluşan sürtünme kuvvetleri
- c) Yüzeyinde çıkıntılar bulunan aderansı geliştirilmiş çubukların (nervürlü donatı) kullanılması durumunda ortaya çıkan ve nervürler ile beton dişler arasında oluşan diş kuvvetleri ve kenetlenme [27].

3.1. ADERANSA ETKİ EDEN BAŞLICA FAKTÖRLER

Aderans gerilmesine etki eden birçok parametre bulunmaktadır. Aderans dayanımı konusunda kesme-aderans arasındaki ilişki ve boyut etkisi önemli parametreler olması nedeniyle aderans dayanımını etkileyebilecek değişkenler detaylı olarak açıklanmıştır. Bunlar;

- a) Beton içerisinde ki çekme dayanımı önemli parametreler arasındadır. Nervürlü donatı elemanlarıyla elde edilen betonarme yapılarda kırılma yarılma ile olacağından, çekme dayanımı önemli parametreler arasında yer almaktadır.
- b) Donatı elemanının akma dayanımı kenetlenme boyunca aderans gerilmesi dağılımını etkileyeceğinden, önemlidir.
- c) Donatı elemanın yüzey durumları (Nervürlü, düz vb.)
- d) Donatı çapım etkin parametrelerden biridir. Çapın artması kenetlenme yüzeyinin artmasına neden olmakta ve uygulanan kuvveti etkileyen alana oranı değişmektedir. Ayrıca yarılma kırılmalarında çekme gerilmeleri de çapla orantılı olmaktadır.

- e) Aderans kenetlenme boyu ile değişse de aralarında doğrudan bir orantı yoktur.
- f) Donatıyı saran beton kalınlığı önemli parametrelerden birisidir. Donatı çekme dayanımının (yarılma dayanımı) donatı üstü beton kalınlığı (pas payı) ile ters orantılı olduğu görülür.
- g) Beton dökümü sırasında donatının konumu ya da yüzeyinde oluşabilecek kapiler boşluklar aderansı olumsuz yönde etkilerler.
- h) Yerel gerilmeler de aderansı etkileyebilir. Örneğin, mesnedin uyguladığı yerel basınç gerilmeleri, özellikle nervürlü donatı kullanılan durumlarda yarılmayı geciktirebilir.
- i) Donatı yüzeyinde bulunan heisel sargılar (nervür) ya da kumlanmış yüzeyler aderans performansını ve yarılmaya karşı dayanımı önemli ölçüde attırır.
- j) Kullanılan agrega tipi ve cinsi aderansı etkileyen önemli parametrelerdendir. Hafif agregalara göre kırma taş agregaların aderans performansının düşük olabileceği belirtilmiştir [28].

3.2. ADERANS DENEYLERİ

Adreans deneyleri dış aderans adı verilen yani direkt aderansla ilgili özellikleri (kenetlenme, bindirmeli ekleme, sınır gerilme) içeren, çekip-çıkarma (pull-out) deneyleri iç aderans adı verilen çatlama özelliğine baktığımız giriş deneylerinden iki tür vardır. Kullanımı çekip-çıkarma ve dış adreansa göre az olan itip-çıkarma (push-out) deneyleri de bulunmaktadır [29].

Betonarme yapıların var olması beton ve donatı arasındaki adreansla ilişkilendirilmiştir. 20. Yüzyılın başından itibaren aderans dağılımını, kenetlenme boyunu ve bunlara etki eden faktörleri bulabilmek adına deneysel çalışmalar yürütülmektedir. Fakat deneysel veri sonuçları tam anlamıyla aderans sonuçları verememektedir. Bunun sebepleri aşağıda belirtilmiştir:

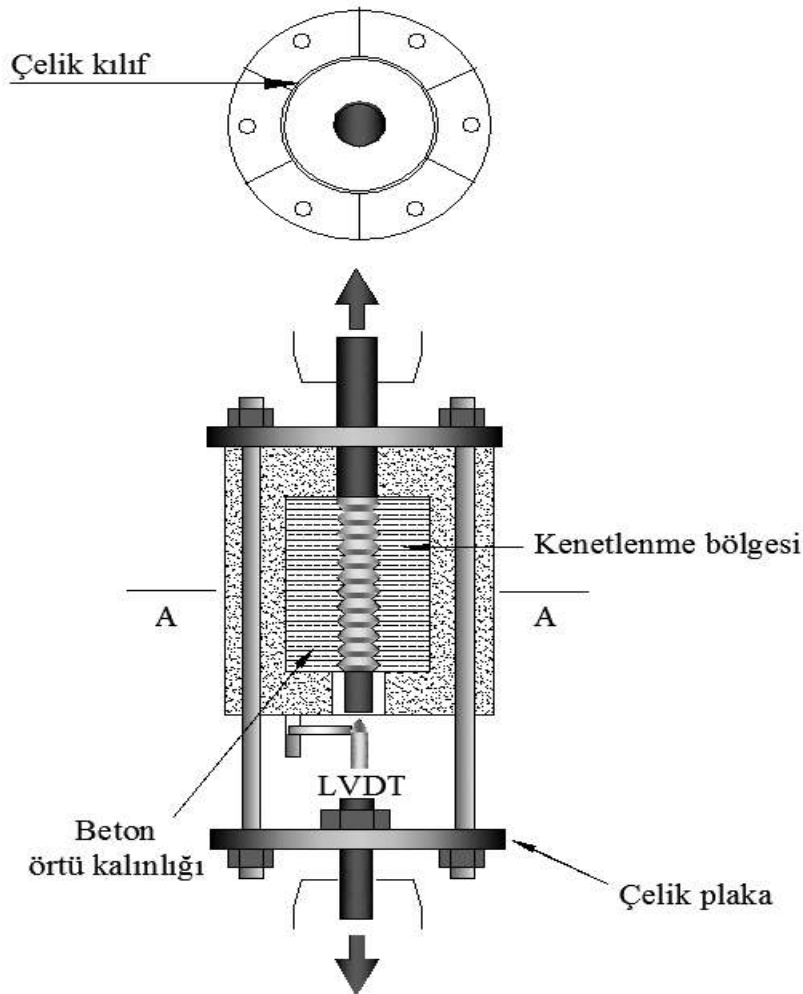
- a) Aderans-kesme kuvveti ilişkisinin tümüyle açıklığa kavuşturulmamış olması,
- b) Deney numunelerinde boyutlandırmanın ekonomik ve pratik olması açısından gerçek boyutları yansıtmaması,
- c) Bazı deneylerde uygulamalardan farklı olarak büyüklüğü çeşitli boyutlarda yerel gerilmelerin meydana gelmesi,

d) Donatı çubukları arasındaki mesafe ve deney numunesindeki beton yüzey kalınlığının uygulamadakilere göre farklı olması.

Donatı-beton aderansının ve kenetlenme boyunun belirlenmesinde, en yaygın olarak kullanılan deney türü merkezi çekip çıkarma (pull-out test) deneyidir. Donatı olarak kullanılacak ürünlerin eğilmede donatı-beton aderansını ölçmek için de kiriş deneyleri uygulanmaktadır. Alt başlıklarda uygulanan deneylere örnekler verilmiştir [7], [25].

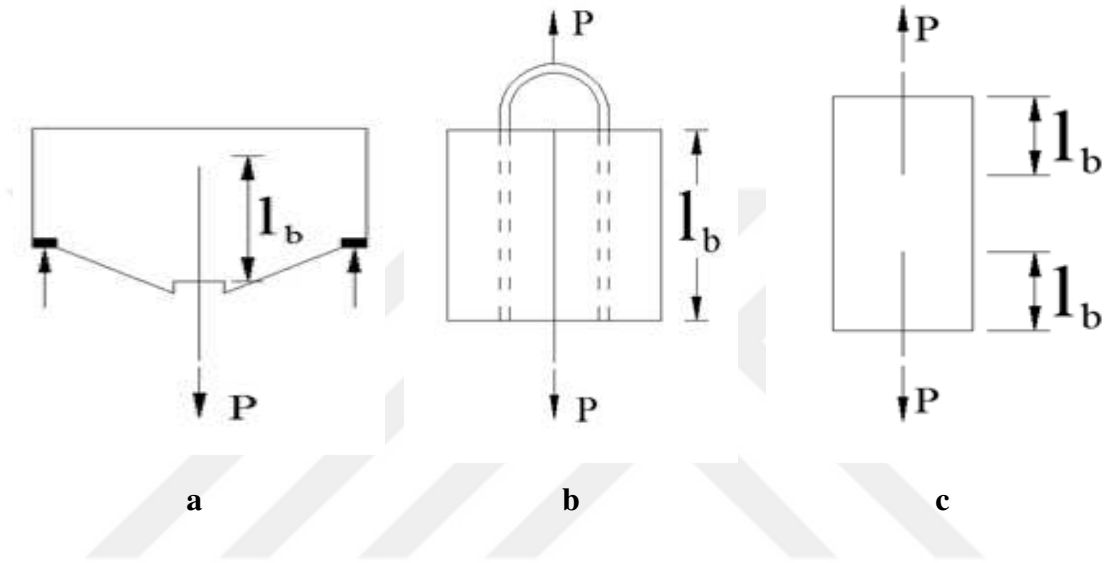
3.2.1. Çekip-Çıkarma (pull-out) Deneyi

Pull-out deneyi, aderans deneyleri içerisinde en basiti ve en çok kullanılanıdır. Deneyin yapılışında silindir ya da prizmatik beton numuneler içerisine yerleştirilen donatıya merkezi yük uygulanarak betona göre sıyrılması ölçülmektedir (Şekil 3.1). Sıyrılmanın 0,25 mm olduğu yüke karşılık gelen aderans gerilmesi, emniyetli aderans gerilmesi olarak adlandırılmaktadır [7], [25].



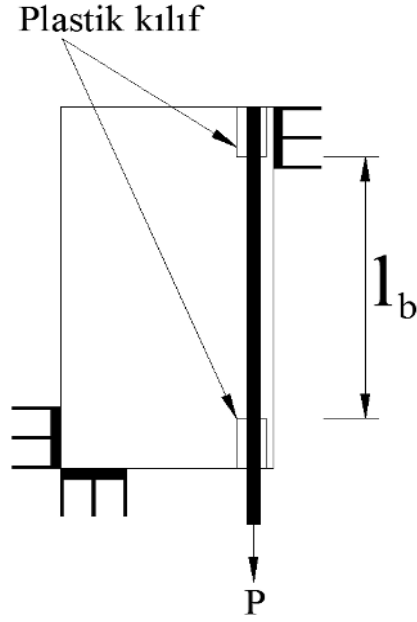
Şekil 3.1. Merkezi çekip-çıkarma deneyinin şematik gösterimi.

Pull-out deneyi basit bir deney şekli olsa da donatıya dik kesme kuvvetlerini vermeyişi, mesnetin betona uyguladığı yerel basınç gerilmelerinin yüksek olması, donatı üzerindeki beton kalınlıklarının fazla olması ve çekme çatlaklarının oluşmaması donatının gerçek davranışını yansıtmamaktadır. Bu deneyde yaşanan sorunları ortadan kaldırmak amacıyla daha farklı birçok deney düzeneği geliştirilmiştir (Şekil 3.2- a, Şekil 3.2-b ve Şekil 3.2- c). Bu düzeneklerde, mesnette oluşturan aşırı yerel basınç gerilmeleri giderilmiş ancak diğer sorunlar için çözüm olamamıştır.



Şekil 3.2. Geliştirilmiş bazı merkezi çekip-çıkarma deney düzeneklerinin şematik gösterimi.

Çalışmalar sonucunda ortaya yeni bir çekip-çıkarma deneyi daha çıkarılmış ve dışmerkez çekip-çıkarma deneyi olarak adlandırılmıştır (Şekil 3.3). Bu düzenek, düşey konumda olması nedeniyle, kirişlerdeki sehimleri temsil etmese de, donatıya dik kesme kuvvetlerinin bulunması, eğilmeden dolayı çatlama meydana gelmesi, donatı civarında yerel basınç gerilmelerinin oluşmaması ve pas payının daha gerçekçi olması nedeniyle, diğer çekip-çıkarma deneylerine göre daha gerçekçi olduğu açıktır.



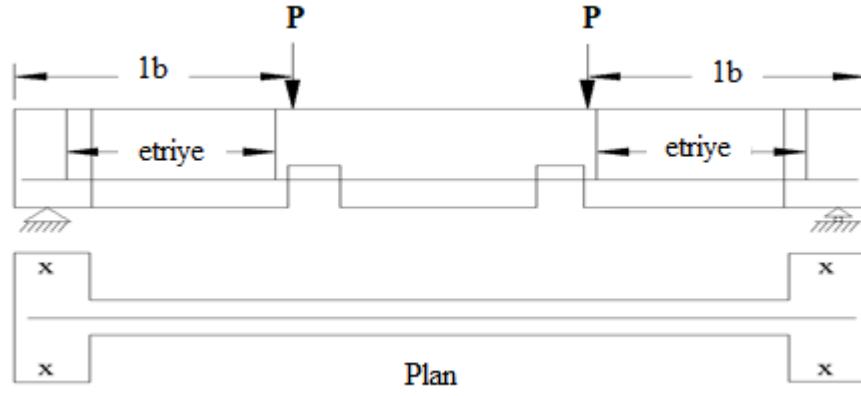
Şekil 3.3. Dışmerkez çekip-çıkarma deney düzeneğinin şematik gösterimi.

3.2.2. Kiriş Deneyleri

Çekip-çıkarma deneylerinde eğilme durumunda ki elemanda gerçek durumu yansıtamadığından yeni kiriş deneyleri geliştirilmiştir. Eğilme de çekme çatlaklarının aderans dayanımına etkisi ortaya konulduğundan bu yana pull-out deneyleri kiriş deneylerine nazaran güven aralığı düşük deneyler olarak kalmıştır. Bureau of standards deneyi, Texas deneyi, standard Belçika mafsallı kiriş deneyi ve büyük boyutlu betonarme kirişler üzerinde yapılan kiriş çatlama deneyidir adlandırılmaktadır [7] [25] [30].

3.2.2.1. Bureau of Standards Deneyi

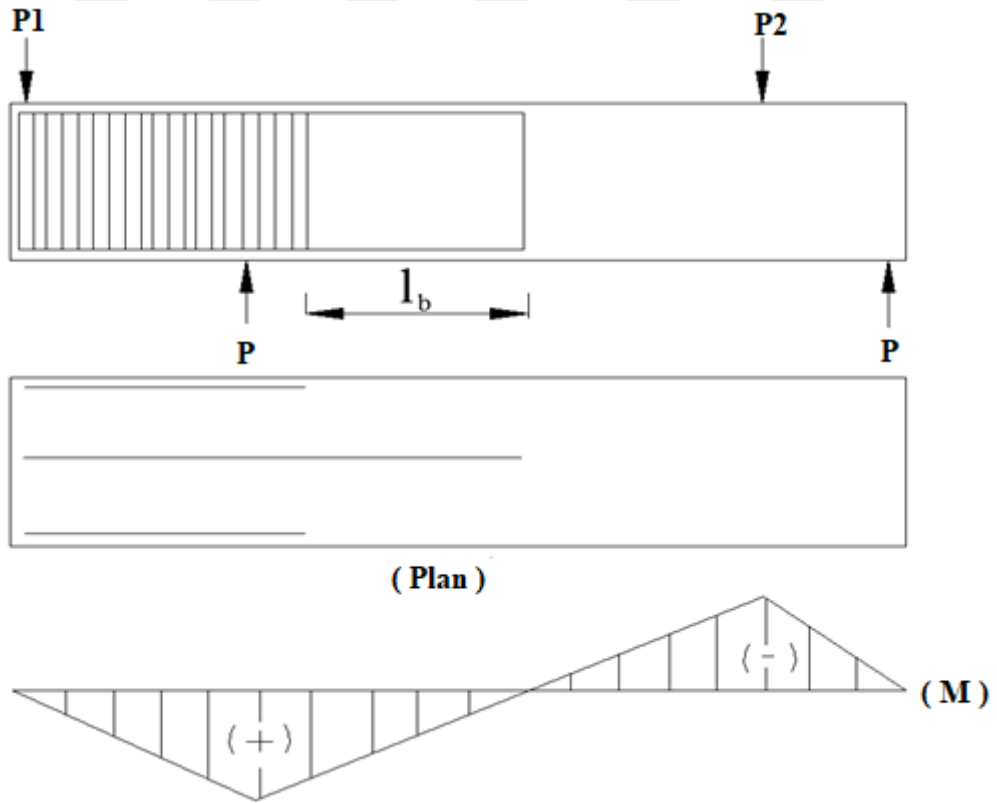
Kenetlenme boyunun belirlenmesinde daha doğru sonuçlar veren bir deney türüdür. Bureau of standards deneylerinde kesme kırılmalarının önüne geçebilmek adına fazla etriye kullanmak gerekmektedir (Şekil 3.4). Fazla kullanılan etriyeler aderansı etkilemektedir. Deney sonuçları gerçek verilere yakın sonuçlar elde etmek açısından önemli bir sakınca doğurmamaktadır [7], [25].



Şekil 3.4. Bureau of standards deney düzeneğinin şematik gösterimi

3.2.2.2. Teksas Deneyi

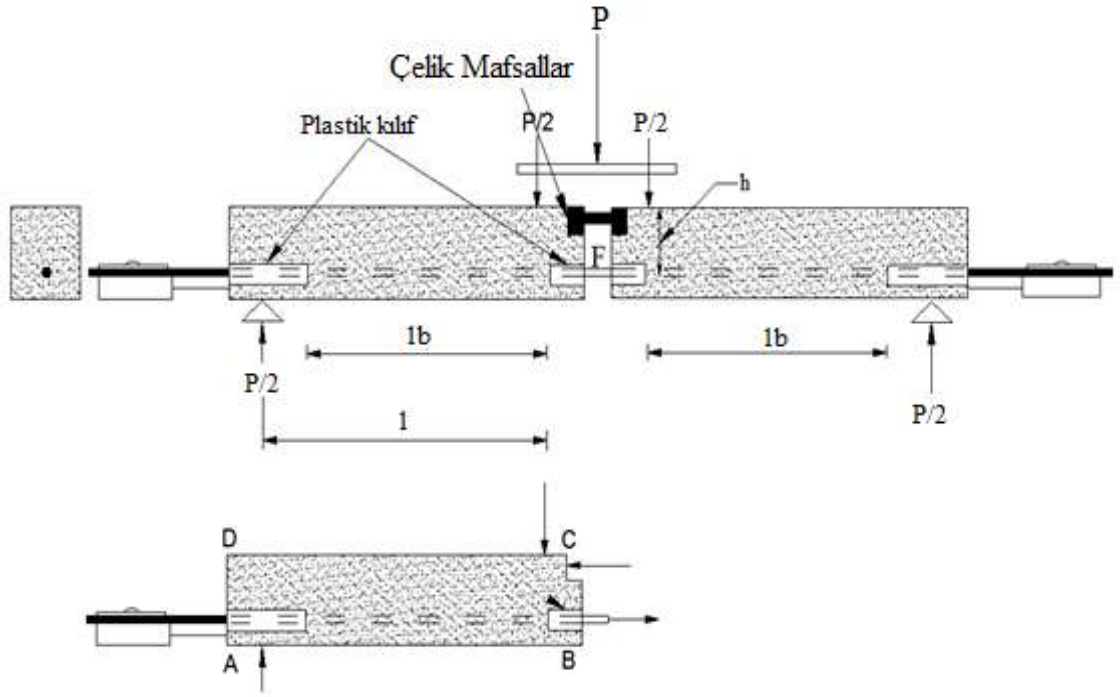
Bureau of Standards deneyiyle benzer özelliklerde kenetlenme boylarına bakılsa da donatı, genişlikleri fazla olan beton içerisinde bulunması nedeniyle gerçekçi değerleri yansıtmamaktadır (Şekil 3.5). Bu deney kirişinde donatıyı kaplayan betonu indirgeyebilecek olan mesnette yerel basınç gerilmeleri önlenmektedir. Böylece yarıma göçmesinin önlenmesi ortadan kaldırılmaktadır [7].



Şekil 3.5. Texas çıkmalı kiriş deney düzeneği.

3.2.2.3. Standart Belçika Mafsallı Kiriş Deneyi

Kiriş deneylerinden bir diğeri de standart BMK deneyidir. Bu deneyin İngiliz standardı deneyinden farkı kirişin ortasında bir mafsal bulunmuş olmasıdır. Buradaki mafsalın amacı, donatıda oluşan F kuvvetinin doğru olarak hesaplanmasına imkân tanımaktır. Bu çalışmanın hazırlanmasında kullanılan deney düzeneği bu olduğundan, daha ayrıntılı açıklamasına yapılan çalışmalar başlığı altında yer verilmektedir. Standart BMK deneyinin şeması Şekil 3.6’da gösterilmiştir [7], [25].



Şekil 3.6. Standart Belçika mafsallı kiriş deney düzeneği.

4. LİTERATÜR ÖZETİ

Literatürde lif takviyeli kompozit donatılarla ilgili çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Tezin bu bölümünde karbon ve aramid lifli donatılarla birlikte diğer donatı türleriyle de ilgili daha önce yapılmış çalışmalar özetlenmiştir.

Abdalla eğilmeye maruz Fiber Reinforced Polymer (FRP) donatılı beton elemanların sehimlerinin tahminine ilişkin bazı yaklaşımlar geliştirmiştir. Bu yaklaşımlarla yapılan tahminler Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) ve Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) donatılar kullanılarak üretilen kiriş elemanların deney sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Önerilen analitik yöntemin, literatürde mevcut olan çelik, GFRP ve CFRP donatılarla üretilen 8 betonarme döşemenin deney sonuçlarıyla da uyumlu olduğu gözlenmiştir. Çalışmanın sonunda, deneysel ve teorik sonuçların birbiriyle uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır [31] .

Galati vd. çalışmalarında sıcaklığın, beton ve FRP donatı aderansına etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmada, deney numuneleri 70 °C'ye kadar farklı sıcaklık çevrimlerine maruz bırakılmış ve çekip-çıkarma deneyi gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, artan sıcaklıkların aderansın artan sıcaklıklardan önemli ölçüde etkilendiğini ve oldukça azaldığını göstermiştir [32].

Ceroni vd. betonarme elemanların servis ömrünü etkileyen malzeme özellikleri ve etkileşim mekanizmalarını belirlemek için FRP donatıların durabilite özellikleri üzerine kapsamlı bir literatür çalışması gerçekleştirmişlerdir. Ayrıca çalışmada, uluslararası yönetmeliklerde yer alan tasarım kuralları tartışılmış ve durabilite performansını da dikkate alan azaltma faktörleri özetlenmiştir [33].

Sharbatdar vd. CFRP donatıların kullanıldığı kolon-kiriş birleşimlerinin çevrimsel yükler altında davranışlarını belirlemek ve donatı düzeni ve detayı geliştirmek için deneysel bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. 3 adet kapsamlı FRP donatılı kolon kiriş birleşimi çevrimsel yatay yükler altında test edilmiştir. Çalışmanın sonunda kullanılan CFRP donatıların performanslarının oldukça iyi olduğunu belirlemişlerdir [34].

Ha vd. gerçekleştirdikleri çalışmada, kolon-kiriş birleşimlerinin sismik performansını artırmak için dışardan uygulanan CFRP donatı ve kumaşlar kullanmışlardır. Kullanılan

CFRP donatılar altıgen kesite sahiptir. Çalışmanın sonunda, güçlendirilen birleşimlerin çevrimsel yükler altındaki davranışlarının beklenenden daha fazla geliştirdiğini ve hasarı minimize ettiğini belirlemişlerdir [35].

Borosnyói gerçekleştirdiği çalışmada, kumlanmış yüzeye sahip CFRP donatıların aderans dayanımlarını çekip-çıkarma deneyi çoklu parametrelili olarak incelemişlerdir. Çalışmada, düşük, normal ve yüksek dayanımlı betonlar, -25°C , $+20^{\circ}\text{C}$ ve $+65^{\circ}\text{C}$ farklı sıcaklıklarda çekip-çıkarma deneyine tabi tutulmuşlardır. Çalışma sonuçları beton-donatı aderansında sıcaklığın beton dayanımının farkından daha etkili olduğunu göstermiştir. Ayrıca çalışma sonuçları, betonarme donatısının beton ile aderansını belirlemede kullanılan matematiksel fonksiyonların, CFRP donatılar için geçerli olmadığını göstermiştir [36].

Wang ve Belarbi gerçekleştirdikleri çalışmada FRP donatılarla, lif takviyeli ve geleneksel betonlar kullanılarak üretilen kirişlerin eğilme davranışlarını incelemişlerdir. Test sonuçları lif takviyeli betonlarda oluşan çatlak genişliklerinin geleneksel betonlarla üretilen kirişlerde meydana gelen çatlaklardan daha küçük olduğunu ortaya koymuştur. Bunun yanında geleneksel betona ila edilen lifleri sünekliği %30'dan fazla artırdığı elde edilen diğer sonuçlardan biridir [37].

Robert ve Benmokrane GFRP donatıların mekanik, durabilite ve mikro yapısını incelemek üzere beton içerisinde ve tuz çözeltili hızlandırılmış çevre koşullarında deneysel bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonuçları GFRP donatıların çevre koşullarından çok fazla etkilenmediğini ortaya koymuştur [38].

Kalupahana vd. gerçekleştirdikleri çalışma ile yüzeye yakın yerleştirilmiş FRP donatılarla üretilen kirişlerin kırılma biçimleri ve gerekli kenetlenme boyunu belirlemeye çalışmışlardır. Aderansı etkileyen kenetlenme boyu, donatı şekli ve çentik genişliği gibi parametreler dikkate alınmıştır. Çalışmanın sonunda hem dairesel ve hem de kare şeklindeki donatılarda aderans sökülmelerinin olduğu gözlemlenmiştir [39].

Golafshani vd. GFRP donatılar ile Kendiliğinden Yerleşen Betonların (KYB) aderanslarına, su kuma ve segregasyonun etkisini incelemek üzere deneysel bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada, iki farklı KYB ile üretilen, düşey ve yatay beton elemanların içerisine donatılar 4 farklı yükseklikte yerleştirilmiştir. Elde edilen bulgular geleneksel betonla üretilen numunelerle karşılaştırılmıştır. Çalışma sonuçları betonarme donatıların aderans dayanımlarının GFRP donatılardan daha fazla olduğunu ortaya koymuştur.

Ayrıca puzolan kullanımının düşey ve yatay dökümlerdeki aderans farklılıklarını da azalttığı sonucu çıkarılmıştır. Bunun yanında betonarme donatısının aderans dayanımındaki değişimin GFRP donatılara göre daha az olduğu da belirtilmiştir [40].

Ge vd. Basalt Fiber Reinforced Polymer (BFRP) ve betonarme karma donatılı kirişlerin eğilme davranışlarını incelemişlerdir. Bu amaçla çekme deneyleri, çekip-çıkarma deneyi ve eğilme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Çekme deneyi sonuçları BFRP donatılarının betonarme donatısına göre daha yüksek çekme dayanımına ve daha düşük elastisite modülüne sahip olduğunu ortaya koymuştur. Her iki donatının aderans dayanımlarının birbirine benzer ve oldukça iyi olduğu belirtilmiştir. Bunun yanında karma donatılı kirişler eğilme altında deneye tabi tutulmuşlardır. Elde edilen deney sonuçları ile oluşturulan sonlu eleman model analiz sonuçları kıyaslanmış ve oldukça tutarlı olduğu belirtilmiştir [41].

Elgabbas vd. BFRP donatıların fiziksel, mekanik ve durabilite özellikleri üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Durabilite ve uzun dönem performansı, beton içerisinde 3000 saate ve 60 °C'ye kadar olan alkalik ortamlarda belirlenmiştir. Çalışmada 3 farklı BFRP donatı incelenmiştir. Çalışma sonuçları BFRP donatıların mekanik özelliklerinin oldukça iyi olduğu bazı durumlarda grup II ve grup III'ün aynı kategoride değerlendirilebileceğini göstermiştir. Bunun yanında, BFRP donatıların alkali dirençlerinin düşük olduğu ve mekanik özelliklerinin düştüğü çalışmanın bir diğer sonucudur [42].

Altamas vd. FRP donatıların aderans durabiliteleri üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu amaçla, hızlandırılmış çevre koşulları altında çekip-çıkarma deneyi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada değişken olarak, donatı tipi (Bazalt ve Cam), çevre koşulları (asidik, tuzlu ve alkalik) ve süre (30, 60 ve 90 gün) olarak belirlenmiştir. Çalışma sonunda gerilme-sıyrılma ilişkisi, aderans dayanımı, donatı sıyrılması, yapışma ve göçme mekanizmaları belirlenmiştir. Çalışma sonuçları çevresel koşullar sonrasında BFRP donatıların aderans dayanımlarının daha yüksek olduğunu ortaya koymuştur [43]. [44].

Ashrafi vd. gerçekleştirdikleri çalışmada GFRP donatıların farklı dayanımlara sahip betonlarla olan aderanslarını çekip-çıkarma deneyiyle incelemişlerdir. Çalışmada 16 MPa, 24 MPa, ve 37 MPa basınç dayanımına sahip betonlarla 10 mm çapında donatıların aderans dayanımları 80 mm kenetlenme boyu için belirlenmiştir. Çalışma

sonuçları 24 MPa ve 37 MPa dayanıma sahip betonların aderans dayanımını sırasıyla %7 ve %21 artırdığını göstermiştir [45].

Hasan vd. boyuna ve spiral donatıların GFRP donatılardan oluşan, yüksek dayanımlı ve çelik lif takviyeli yüksek dayanımlı betonlarla üretilen, fretli kolonların davranışlarını deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmanın sonunda GFRP donatıların kullanıldığı yüksek dayanımlı betonlu kolonların eksenel yük altında, çelik donatılı kolonlar kadar başarılı olduğu gözlemlenmiştir. Eksantrik yüklemelerde ise taşıma kapasitesinde çelik donatılı kolonlara göre %10 civarında bir azalma meydana geldiği gözlemlenmiştir. Çelik lif takviyeli betonların kullanıldığı GFRP donatılı kolonların taşıma kapasiteleri ise lifsiz betonlarınkinden %3-%13, süneklikleri ise %14-%27 arasında fazla olduğu da rapor edilmiştir [46].

Wang vd. deniz suyuna maruz deniz kumundan üretilen betonlara gömülen BFRP ve GFRP donatıların uzun dönem performansların incelemişlerdir. Farklı pH, sıcaklık ve sürelerde hızlandırılmış korozyon testi gerçekleştirilmiştir. Değişik çevre koşullarına maruz donatıların mekanik özellikleri belirlenmiş ve mikro yapıları incelenerek hasar mekanizmaları değerlendirilmiştir [47].

Li vd. sıcaklık, kenetlenme boyu, donatı çapı, FRP donatı türü, beton dayanımı, pas payı, yangın koruyucu yüzey malzemesinin, gerilme-sıyrılma eğrisine, kırılma şekline ve aderans dayanımına olan etkilerini incelemişlerdir. Bu amaçla BFRP ve GFRP donatılar kullanılmıştır. BFRP donatıların, normal ve yüksek sıcaklıklarda, gerilme-sıyrılma eğrilerinin benzer olduğu ancak aderans dayanımında bir miktar azalma meydana geldiği gözlemlenmiştir. Ayrıca 70 °C ile 220 °C arasında aderans dayanımında %2,45-%14,24 azalma meydana gelirken bu sıcaklı 270 °C ye çıktığında azalmanın %32 olduğu belirlenmiştir [48].

Hamad vd. gerçekleştirdikleri çalışmada, kademeli sıcaklık artışının BFRP, GFRP ve CFRP donatıları mekanik özellikleri ve aderans dayanımına etkisini incelemişlerdir. Karşılaştırma için çelik donatılar da deneye tabi tutulmuştur. Çalışma sonuçları, 450 °C'ye kadar olan sıcaklıkların FRP donatıların mekanik özelliklerini olumsuz etkilediğini, GFRP ve BFRP donatıları eriyip çekme dayanımlarını tamamen kaybettiğini ortaya koymuştur. Kritik sıcaklık olarak belirlenen 325 °C'de ise %30 ile %55 arasında dayanım kaybı belirlenmiştir. Yine 325 °C'de aderans dayanımında da %81.5 azalma gözlemlenmiştir. Ayrıca kurulan sayısal model sonuçlarının da

deneylerle oldukça uyumlu olduğunu belirtmişlerdir [49].

Tighiouart vd. çelik ve FRP donatıların aderans dayanımlarını karşılaştırmalı olarak incelemişlerdir. Çalışma sonuçları gömülme derinliği arttıkça aderans dayanımında çelik donatılara göre azalma meydana geldiğini ortaya koymaktadır. Kenetlenme boyu için çelik donatıya göre düzeltme katsayısı 1.30 olarak belirlenmiştir [50].

Tighiouart vd. FRP donatıların bindirmeli eklerdeki davranışlarını incelemişlerdir. Çalışmada değişken olarak donatı çapı ve gömülme boyu belirlenmiştir. Bu amaçla toplam 16 kiriş eğilmede test edilmiştir. Çalışmanın sonunda FRP donatıların bindirmeli eklerde tam kenetlenme elde edilmesi için kenetlenme boyu düzeltme katsayısı 1.30 olarak önerilmiştir [51].

Wang ve Kodur farklı sıcaklık etkisine maruz FRP donatılı yapıların davranışlarını incelemişlerdir. Çalışmada GFRP ve CFRP donatılar kullanılmıştır. Karşılaştırma amacıyla çelik donatıların kullanıldığı referans numuneler test edilmiştir. 325 °C ve 250 °C sıcaklıkların GFRP ve CFRP donatılar için kritik değerler olduğu belirlenmiştir [52].

Davalos vd. yüksek dayanımlı betonlar ve FRP donatı ara kesit dayanıklılık özellikleri üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu amaçla, 4 farklı donatı için 48 adet çekip-çıkarma deney numunesi test edilmiştir. Test sonuçları, çevre koşullarının CFRP donatıların aderans dayanımını %4 ile %10, GFRP donatıların ise %0 ile %20 oranında azalttığını göstermiştir. Ayrıca çevre koşulları, maksimum yüke karşılık gelen sıyrılmaları da artırmıştır. Bunun yanında, FRP donatılardan kaynaklanan hasarlar belirlenmeye çalışılmıştır [53].

Robert ve Benmokrane sıcaklığın beton ile GFRP donatı aderansına etkisini incelemişlerdir. GFRP donatılar, betona gömülmüş ve 23 °C, 40 °C ve 50 °C'deki sulara maruz bırakılmıştır. Test sonuçları, beton ile donatı ara yüzey durabilitesini çok fazla etkilemediğini ortaya koymuştur [54].

Won vd. çelik ve sentetik liflerin yüksek dayanımlı betonlar ile FRP donatıların aderans dayanımlarına olan etkilerini incelemişlerdir. Bu amaçla, CFRP ve GFRP donatılar ile farklı lif oranlarına sahip yüksek dayanımlı betonlarla üretilen numuneler üzerinde çekip-çıkarma deneyi gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonuçları, daha yüksek çapa sahip donatıların, lif oranlarından bağımsız olarak, aderanslarının daha yüksek olduğunu göstermiştir. Bunun yanında, 40 kg/m³ çelik lif oranına sahip donatıların en yüksek

aderans performansına sahip olduğu belirlenmiştir [55].

Baena vd. ACI 440.3R-04 ve CSA S806-02 standartlarına göre hazırlanan CFRP ve GFRP donatılı 88 adet numune üzerinde çekip-çıkarma deneyi gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada donatı yüzey özelliği, donatı çapı ve beton dayanımının aderansa olan etkisi incelenmiştir. Bunun yanında, literatürde gerilme-sıyrılma eğrisinin artan kolunun belirlenmesinde kullanılan analitik modeller kullanılmıştır. Analitik modeli düzeltmek için donatı çapını dikkate alan yeni bir bağıntı önerilmiştir [56].

Alsayed vd. farklı sıcaklıkların GFRP donatıların çekme dayanımına olan etkisini incelemişlerdir. Çalışmada toplam 120 adet GFRP numunesi test edilmiştir. Numunelerin yarısı betonla kaplanırken, diğer yarısı yalın halde bırakılmıştır. Deney numunelerine 100, 200 ve 300 °C sıcaklıklar uygulanmıştır. Deney sonuçları GFRP donatıların çekme dayanımına neredeyse etkilerinin olmadığını ortaya koymuştur. Bunun yanında betonla kaplı donatıların çekme dayanımlarının, kaplanmamışlara göre daha yüksek olduğunu göstermiştir [57].

Yang vd. CFRP ve GFRP donatılı kiriş numunelerin eğilme davranışlarını incelemişlerdir. Bunun yanında, betonların üretiminde çelik ve poliollerin lifler kullanılmıştır. Deney numunelerinin, taşıma kapasitesi, çatlak biçimi ve sünekliği belirlenmiştir. Çalışma sonuçları, lif katkısının kirişlerin, ilk çatlama yükünü, eğilme dayanımını ve sünekliğini artırdığını ortaya koymuştur. Bunun yanında çatlak genişliklerinin de lif katkısıyla azaldığı rapor edilmiştir [58].

Baena vd. gerçekleştirdikleri çalışmada iri agrega yerine, geri dönüşüm agregaları kullanılarak üretilen betonların FRP donatılarla olan aderanslarını deneysel olarak incelemişlerdir. Bu amaçla toplam 48 adet çekip-çıkarma deneyi gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada, üç farklı tane dağılımına sahip karışım ve her karışımında dört farklı geri dönüşüm agrega oranı kullanılmıştır. Çalışma sonunda, beton basınç dayanımlarında ve aderans davranışlarında önemli bir farkın olmadığı görülmüştür [59].

Gu vd. betonların çelik ve GFRP donatılarla olan aderans davranışları üzerine bir deneysel çalışma gerçekleştirmişlerdir. Yapılan çalışmada değişken olarak donatı dış yüksekliği ve dış genişliği, donatı çapı, kenetlenme boyu, ve çimento dayanımı göz önünde bulundurulmuştur. Deney sonuçları en optimum donatının, dış genişliği 0.8" ve dış yüksekliği 1 mm olan donatılar olduğunu göstermiştir [60].

Dong vd. bazalt FRP donatıların deniz şartlarındaki uygulamaları için yürütülmekte

olan çalışmanın bir parçası kapsamında deneyler gerçekleştirmişlerdir. Karşılaştırma yapılabilmesi için bazalt FRP donatının yanı sıra cam FRP, karbon FRP ve çelik donatı da kullanılmıştır. Test değişkenleri olarak lif türü, reçine türü, sıcaklık ve yüzey işlemi seçilmiştir. Çalışma kapsamında 114 küp numune üretilmiş ve çekip-çıkarma deneyi uygulanmış ve bunların 99 tanesi değişik şartlarda ve değişik sıcaklıklarda deniz suyuna gömülmüştür. Bu çalışma kapsamındaki test sonuçları bazalt-vinil ester donatı ve cam-vinil ester donatının beton ile gösterdiği en yüksek aderans dayanımının azaldığını, bazalt-epoksi donatının ise değişmediğini göstermiştir. Karbon-epoksi donatı ile beton arasındaki aderansda ise zamanla iyileşme eğilimi gözlemlenmiştir [61].

Wu vd. gerçekleştirdikleri çalışmada, aderans davranışını arttırmada yeni bir metot olarak Kalsiyum Sülfür Alüminat (CSA) kullanılmıştır. CSA beton içerisine ilave edildiğinde önemli etkiler göstermiştir. Bu metotta FRP çubuklar taze betona daldırılmaktadır. Böylece çevrelenen sert betonun yüzey özelliği iyileştirilmektedir. Önerilen metodu doğrulamak için, FRP donatı-beton aderansını belirlemek adına çekip-çıkarma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Testlerde çelik çubuklar da değerlendirilmiştir. Sonuç olarak beton karışımlarına kalsiyum sülfür alüminat ilave ederek hem çelik hem de cam elyaf takviyeli yapay donatıların aderans performansını 41% oranında geliştirmişlerdir [62].

Yazdanbakhsh vd. yaptıkları çalışmada, inşaat sektöründe FRP donatıların betonarmedeki kullanımının giderek arttığını belirtmiş ve doğal iri agrega ile kesilmiş FRP donatı atıklarının ikame edilmesinin hem yüksek dayanımlı hem de normal dayanımlı betondaki basınç ve çekme dayanımına olan etkilerini incelemişlerdir. Çalışma kapsamında doğal agrega ile FRP donatı atıklarının ikame oranı %0, %40 ve %100 olmak üzere kullanılmıştır. Deney sonuçlarına göre kesilmiş FRP donatı atıklarının bahsedilen mekanik özelliklere etkisi beton dayanımı, ikame oranı ve yer değiştirilen doğal iri agrega gradasyonuna bağlı olarak değişmektedir. Yüksek dayanımlı beton düşük dayanımlı betondan daha iyi performans gösterirken; yüksek orandaki ikamenin tamamen FRP atıkları kullanılan numunelere kıyasla daha iyi performans sergilediği ortaya koyulmuştur. Bulgulara göre FRP atıklarının agrega ile ikameli olarak kullanılması dayanımı düşürmektedir [63].

Karim vd. gerçekleştirdikleri çalışmada FRP boyuna donatı ve fretlerin eleman davranışına etkilerini incelemişlerdir. Toplam 5 adet 205 mm çapında 800 mm yüksekliğinde kolon eksenel basınca tabi tutulmuştur. Sonuçlar FRP sarmal aralığının

sıklaştırılması veya numunelerin FRP tabaka ile sarılmasının süneklik ve dayanıma önemli katkılar sağladığını göstermiştir. Ayrıca FRP donatı ve sargıyla güçlendirilmiş dairesel beton kolon üzerindeki eksenel yükleme-eksenel deformasyon davranışını incelemek için de bir analitik model geliştirilmiştir [64].

Fava vd. gerçekleştirdikleri çalışmada, GFRP donatılar ile beton arasındaki aderansı çekip-çıkarma deneyiyle incelemişlerdir. Çalışmada değişik çaplarda kumlanmış ve spiral sargılı donatılar kullanılmıştır. Bunun yanında, aderans gerilmelerinin dağılımını belirleyebilmek için doğrusal olmayan sonlu elemanlar analizi gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonunda analitik bir model geliştirilmiş ve FRP donatıların kenetlenme boyu için tasarım denklemi önerilmiştir [65].



5. MALZEME VE YÖNTEM

5.1. MALZEME

5.1.1. Agregas

Aderans deneyleri için üretilen kirişlerde beton agregası olarak kırmataş kalker agregası kullanılmış olup kullanılan agrega Düzce Yiğitler Beton A.Ş.'den 0-5 ve 5-12,5 mm boyutlarında sınıflandırılmış olarak temin edilmiştir. Sahadan alınan (Şekil 5.1) agrega numuneleri çuvallarla muhafaza altına alınarak laboratuvara getirilmiştir.



Şekil 5.1. Agregaların beton santrali stok sahasından alınması.

Agregalar temin edildikten sonra Şekil 5.2’de görülen ve özel yaptırılmış çelik hazneler içerisine yerleştirilmiştir. Agregalar bu haznelerde Şekil 5.3’te görüldüğü gibi kaplanarak muhafaza edilmiş ve agregalarda nem dengesi sağlanmaya çalışılmıştır.



Şekil 5.2. Agregaların muhafaza haznelerine yerleştirilmesi.



Şekil 5.3. Atmosferik koşullara karşı agregaların koruma altına alınması.

5.1.2. Çimento

Üretilen betonlarda bağlayıcı olarak OYAK Bolu Çimento fabrikasından temin edilen TS EN 197-1'e uygun CEM I 42,5 R tipi çimento kullanılmış olup çimentonun kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 5.1'de sunulmuştur.

Çizelge 5.1. Kullanılan çimentonun fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri.

Kimyasal kompozisyon (%)		Fiziksel özellikler	
SiO ₂	18.95	Priz başlangıcı (sa:dk)	02:20
Al ₂ O ₃	5.32	Priz sonu (sa:dk)	02:40
Fe ₂ O ₃	4.07	Hacim genleşmesi (mm)	1
CaO	64.72	Özgül ağırlık (g/cm ³)	3.18
MgO	1.35	Özgül yüzey (Blaine cm ² /g)	4663
SO ₃	2.90	Mekanik özellikler	
Na ₂ O	0.16		
K ₂ O	0.51	Basınç dayanımı (MPa)	
Kızdırma kaybı	3.83	7 gün	44.6
Çözünmeyen kalıntı	0.63	28 gün	55.3
Serbest CaO	1.52	90 gün	62.4

5.1.3. Uçucu Kül

Çalışılan deney düzeneklerinde mafsallı kirişlerin küçük olması nedeniyle betonun kiriş içerisinde yerleşimi çok önemli etkindir. Bu etken göz önüne alındığında işlenebilirliği artırmak ve S4 kıvam sınıfında beton üretebilmek için beton karışımlarında Düzce İlinde bulunan Yiğitler Hazır Beton Tesisi tarafından Çatalağzı termik santralinden temin edilen düşük kalsiyumlu uçucu kül kullanılmıştır. Kullanılan uçucu kül'e ait

kimyasal ve fiziksel özellikler Çizelge 5.2’de görülmektedir.

Çizelge 5.2. Uçucu kül’e ait kimyasal ve fiziksel özellikler.

Kimyasal kompozisyon (%)	UK
SiO ₂	58,56
Fe ₂ O ₃	6,51
TiO ₂	1,21
Al ₂ O ₃	23,39
CaO	1,81
MgO	2,02
Na ₂ O	0,53
K ₂ O	4,13
SO ₃	0,0013
P ₂ O ₅	0,14
Kızdırma kaybı	1,25
Fiziksel özellikler	
Özgül ağırlık	2,09
Özgül yüzey (cm ² /g)	4252

5.1.4. Kimyasal Katkı

Betonların üretiminde kullanılan kimyasal katkı AYDOS Yapı Kimyasalları tarafından üretilen süper akışkanlaştırıcı beton katkısıdır. Katkının özellikleri Çizelge 5.3’te görülmektedir.

Çizelge 5.3. Betonların üretiminde kullanılan süper akışkanlaştırıcının teknik özellikleri.

Özellik	Test Metodu	Test Sonucu	Kabul Kriteri
Homojenlik	Göz ile	Ayrışma Yoktur	Ayrışma Olmamalıdır
Renk	Göz ile	Koyu Kahve Rengi	Koyu Kahve Rengi
Bağıl Yoğunluk 20°C (kg/l)	ISO 758	1,194	1,170-1,210
pH 20°C	ISO 4316	8,35	7,50-9,50
Katı Madde (%)	TSE EN 480-8	35,81	34,00-37,00
Toplam Klorür (%)	ISO 1158	-	<%10 (ağırlıkça)
Suda Çözünen Klorür	TS EN 480-10	0,049	<%10 (ağırlıkça)
Alkali Miktarı (Na ₂ O) (%)	TS EN 480-12	1,20	Max. 5,0 (ağırlıkça)
Kullanım Oranı (%)	0,6-2,0 %		

5.1.5. Karışım Suyu

Tüm beton numunelerde Düzce Belediyesi içme suyu şebekesinden temin edilen sular kullanılmıştır.

5.1.6. Lif Takviyeli Kompozit Donatılar

Bu tez çalışmasında kumlanmış ve helisel sargılı yüzeye sahip, takviye elemanı olarak karbon ve aramid lifler içeren kompozit donatılar ile bunlarla karşılaştırmak amacıyla standart çelik donatı kullanılmıştır. Kullanılan kompozit donatılar Şekil 5.4'te görülmektedir.



Şekil 5.4. Deneyisel çalışmada kullanılan kompozit donatılar.

Aderans deneylerinde kullanmak üzere hazırlanan ve çap, boy, yüzey özelliği ile donatıdaki takviye elemanı olan life göre deneye hazır hale getirilen donatıların detayları Çizelge 5.4'te görülmektedir.

Çizelge 5.4. Tez çalışması kapsamında temin edilen kompozit donatı çeşitleri.

8 mm çaplı kompozit donatılara ait detaylar	12 mm çaplı kompozit donatılara ait detaylar
ø 8 Karbon Elyaf Kumlanmış (boy 1.5 m)	ø 12 Karbon Elyaf Kumlanmış (boy 1.5 m)
ø 8 Karbon Elyaf Helisel Sargı (boy 1.5 m)	ø 12 Karbon Elyaf Helisel Sargı (boy 1.5 m)
ø 8 Aramid Elyaf Kumlanmış (boy 1.5 m)	ø 12 Aramid Elyaf Kumlanmış (boy 1.5 m)
ø 8 Aramid Elyaf Helisel Sargı (boy 1.5 m)	ø 12 Aramid Elyaf Helisel Sargı (boy 1.5 m)

5.1.7. Mafsallı Kirişlerin Üretiminde Kullanılan Kalıplar

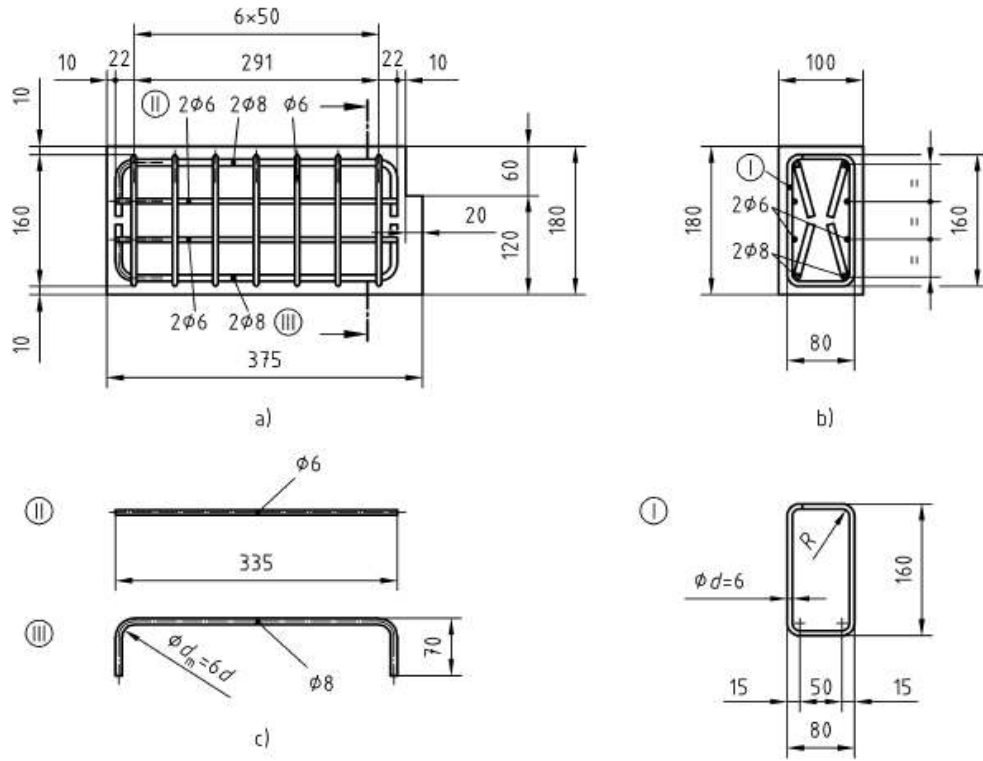
Kirişlerin üretimi için özel üretim mafsallı kiriş kalıpları yaptırılmıştır. Yaptırılan kalıplar Şekil 5.5'te görülmektedir.



Şekil 5.5. Mafsallı kirişlerin üretimi için yaptırılan özel kalıplar.

5.1.8. Mafsallı Kirişlerin Üretiminde Kullanılan Kesme Donatıları

Deney esnasında amaç donatının betondan sıyrılma miktarını ve sıyrılma esnasındaki yükleri okumak olduğu için betonda kesme çatlağı oluşmadan deneyin gerçekleştirilmesi önemlidir. Mafsallı kiriş deneylerinde betonda kesme çatlağı oluşmadan donatıların sıyrılmasını sağlamak amacıyla kullanılacak donatı detayları da yine BS 4449:2005’de tanımlanmıştır. Şekil 5.6’da BS 4449:2005’de çapı Ø16’dan küçük olan donatılar için önerilen kesme donatılarının detayı görülmektedir.



Şekil 5.6. Mafsallı kirişlerde kullanılacak olan kesme donatılarının detayı

Yukarıda tanımlandığı şekilde mafsallı kirişlerde kullanmak üzere toplamda 250 adet kesme donatıları özel olarak ürettirilmiştir. Üretimi gerçekleştirilen kesme donatıları Şekil 5.7’de görülmektedir.



Şekil 5.7. Yaptırılan ve kiriş dökümüne hazır halde laboratuvara getirilen kesme donatıları.

5.2. YÖNTEM

Mafsallı kirişlerin üretiminde kullanmak üzere öncelikle Çizelge 5.6’da görülen karışım oranları kullanılarak C35 ve C50 sınıfı deneme betonları üretilmiştir. Üretilen betonlar BS EN 12350-2 standardına göre S4 slump sınıfındaki yüksek işlenebilirliğe sahip beton karışımıdır. Tasarlanan beton karışımında işlenebilirliğin yüksek seçilmesindeki amaç betonların mafsallı kiriş üretimi için kalıplara kolay yerleşmesini sağlamaktır. Çizelge 5.5’deki veriler çok sayıda deneme üretiminde sonra elde edilen ve mafsallı kirişlerin üretiminde kullanılan karışımlara aittir. Üretilen betonlardan C35 ve C50 için 28. günde elde edilen sonuçlar Çizelge 5.6’da sunulmuştur. Üretilen ve 28 gün kür uygulanan betonların basınç dayanımları 150*150 mm küp numuneler üzerinde belirlenmiştir.

Çizelge 5.5. Mafsallı kirişlerin üretiminde kullanılan C35 ve C50 karışım dizaynları.

Karışımındaki Malzemeler	C35 Karışımındaki miktarlar (kg/m ³)	C50 Karışımındaki miktarlar (kg/m ³)
Çimento	320	400
Mineral Katkı (Uçucu kül)	50	50
Su	182,4	172
0-5 mm agrega	1015,68	994,08
5-12,5 mm agrega	849,75	831,69
Süper akışkanlaştırıcı kimyasal katkı	4,81	5,4

Çizelge 5.6. C35 ve C50 karışımlarından elde edilen 28 basınç dayanımı sonuçları.

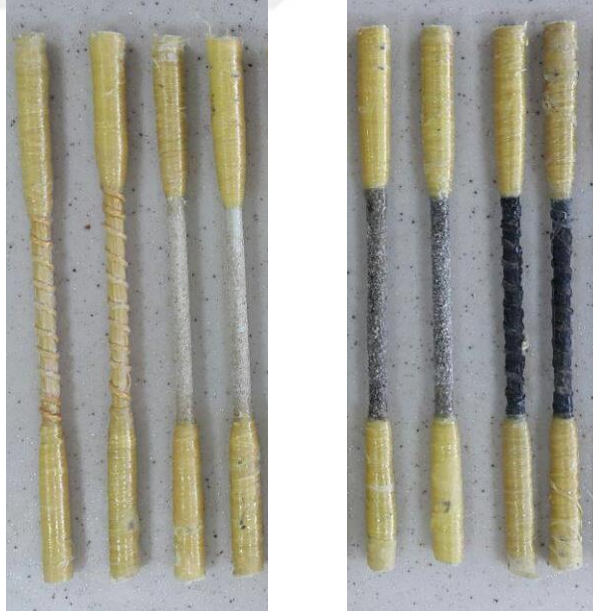
Numune adı	C35 (MPa)	C50 (MPa)
1. Numune	46,17	63,26
2. Numune	46,56	61,40
3. Numune	46,16	62,01
Ortalama	46,30	62,22

Mafsallı kirişlerin üretiminde kullanılan betonların S4 kıvam sınıfını sağlayıp sağlamadığı tüm deneme karışımları için Şekil 5.8’de görülen slump deneyi ile kontrol edilmiştir.



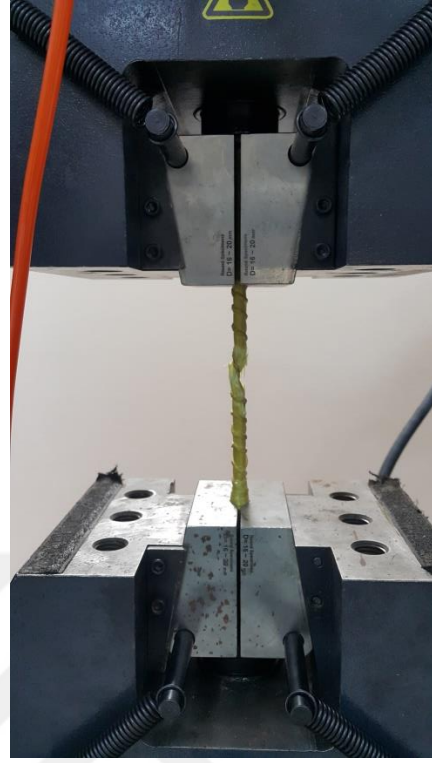
Şekil 5.8. S4 kıvam sınıfının kontrolü için slump deneyinin uygulanaşı.

Beton tasarımları tamamlandıktan ve donatı temini gerçekleştirildikten sonra çalışmada kullanılan kompozit donatıların mekanik özelliklerinin belirlenmesi aşamasına geçilmiştir. Donatıları ekme çenelerinin ezmesi nedeniyle donatı çekme işlemlerinde epoksi ile başlıklama yapılmıştır. Çekme deneyi için başlıklama yapılmış olan donatılar Şekil 5.9’da görülmektedir.



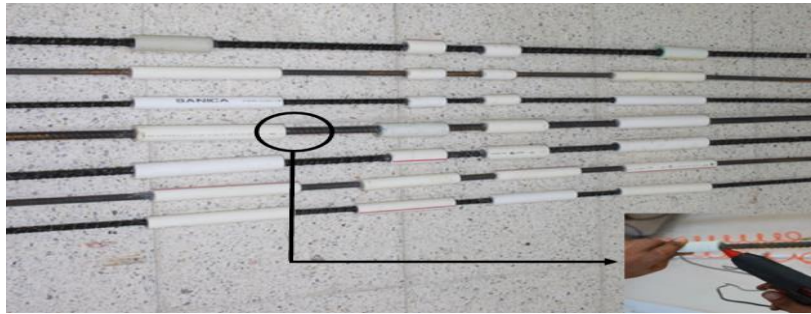
Şekil 5.9. Başlıklama yapılarak çekme deneyi için hazırlanmış donatılar.

Daha sonra başlıklama işlemi tamamlanmış donatılar üzerinde Şekil 5.10’da görülen 100 ton kapasiteli niversal çekme cihazı kullanılmış olup çekme deneyinde donatıların çekme mukavemetleri ve elastisite modülleri belirlenmiştir.



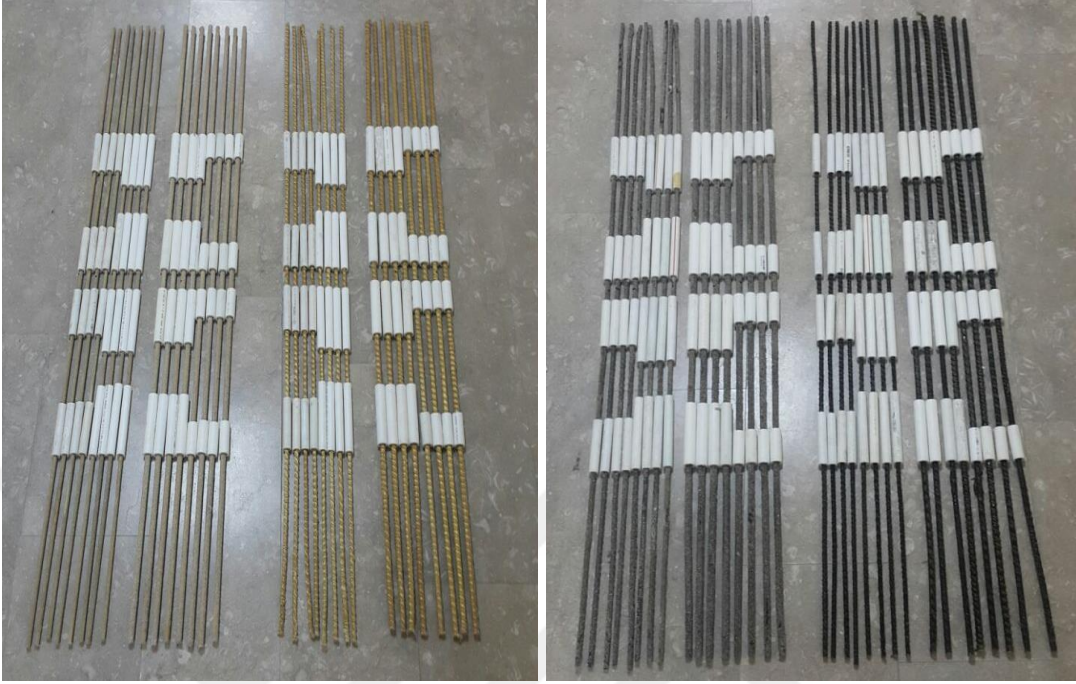
Şekil 5.10. Kompozit donatılarda çekme deneyinin uygulanışı.

Beton tasarımı, donatı temini ve donatıların mekanik özelliklerinin belirlenmesi aşamalarından sonra kirişlerde aderans için kullanılacak donatıların aderans boylarının sınırlandırılması ile ilgili çalışmalara başlanmıştır. Bu kapsamda donatılardaki çaplar göz önünde bulundurularak farklı çaplarda temiz su boruları temin edilmiş ve donatıların kenetlenme boylarına göre uygun parçalara ayrılarak hazırlanmıştır. Donatının beton ile kenetlenmesi istenen $10\emptyset$ ve $20\emptyset$ uzunlukları dışında kalan kısımları hazırlanan temiz su borularıyla Şekil 5.11’de görüldüğü gibi sıcak silikon kullanılarak titizlikle kılıflanmıştır.



Şekil 5.11. Sıcak silikon ve borudan kılıf kullanılarak donatıların kenetlenme boylarının belirlenmesi.

Kılıflanarak kenetlenme boyları sınırlandırılmış ve mafsallı kirişlerin üretimi için hazır hale getirilmiş kompozit donatı örnekleri Şekil 5.12’de görülmektedir.



Şekil 5.12. Kılıflarla aderans boyları sınırlandırılmış kompozit donatı örnekleri.

Daha sonra mafsallı kirişlerin üretimi aşamasına geçilmiştir. Mafsallı kirişler üretilirken kesme donatıları Şekil 5.13’deki örnekte görüldüğü gibi mafsallı kiriş kalıplarının içerisine konulmuş ve kılıflanan donatılar da kesme donatılarının aralarından geçirilerek mafsallı kirişler beton dökümüne hazır hale getirilmiştir.



Şekil 5.13. Beton dökümüne hazır hale getirilmiş kalıp örneği.

Mafsallı kiriş deneyi BS 4449:2005+A2:2009 standardında tanımlanmış olup donatı aderansının eğilme numuneleri aracılığıyla belirlenmesine yönelik bir yaklaşımdır.

Technical drawing of the experimental setup for the three-point bending test of a composite beam. The drawing includes a side view of the beam with dimensions 18 cm height, 10 cm width, and 5 cm thickness. The main view shows the beam supported by two triangular supports, with a central loading point. Labels include 'Piston', 'Yük hücresi' (Load cell), 'Plastik kılıf' (Plastic sleeve), 'Mafsal' (Hinge), 'LPDT', and 'h=10'. Dimensions are given in cm: 7.5, 25, 5, 5, 5, 25, 7.5 for the main view, and 1, 1_b for the side view.

Deneyde;

$$(P * 1) / 2 = F * h$$
$$F = 1,25 * P$$

Donatıdaki F kuvvetleri bulunduğundan sonra bu F kuvvetlerine karşılık gelen sıyrılma değerleri ise Şekil 5.14'te görüldüğü gibi kirişin her iki ucuna bağlanan Potansiyometrik Cetvel'ler yardımıyla bilgisayara aktarılmaktadır.

41



Şekil 5.15. Mafsallı kiriş deney düzeneği.

Şekil 5.15'te görülen ve hidrolik yükleme prensibiyle çalışan yük hücresi 100 ton kapasiteli olup donatıların betondan sıyrılma miktarlarını bilgisayara yükle eş zamanlı olarak aktaracak olan potansiyometrik cetveller ise 0.013 mm hassasiyete sahiptir. Kirişin orta kısmında ise momenti sıfırlamak ve donatılara gelecek yükleri hesaplamak amacıyla kullanılmak üzere yaptırılan çelik bir mafsal görülmektedir.

Tez çalışması kapsamında kiriş deneylerinde kullanılmak üzere tam otomatik, LCD grafik ekranlı hidrolik güç ünitesi alımı gerçekleştirilmiş ve laboratuvara kurulumu yapılmıştır. Alım işlemi tamamlanarak kurulumu gerçekleştirilen hidrolik güç ünitesi Şekil 5.16'da görülmektedir. Şekil 5.15'te görülen güç ünitesi Şekil 5.16'daki deney düzeneğinde kirişlere otomatik yük uygulanması ve bilgisayara aktarılması amacıyla kullanılmıştır.



Şekil 5.16.Yüklemede kullanılan tam otomatik hidrolik güç ünitesi.

Yukarıda detaylı olarak belirtilen numune hazırlama, deney düzeneğinin oluşturulması vb. işlemlere paralel olarak üretimi tamamlanan ve kalıptan çıkarılan tüm mafsallı kirişlere Şekil 5.17'de görüldüğü gibi ıslak çuvallarla kür uygulaması gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.17. Üretilen mafsallı kirişlere ıslak çuvallarla kür uygulanması.

Deneyisel çalışmalarda üretilen ve deneye hazır hale getirilen mafsallı kiriş örnekleri ise Şekil 5.18’de görülmektedir. Kirişlerin tamamında döküm esnasında örnek küp numuneler alınarak basınç dayanımı sürekli kontrol edilmiştir.



Şekil 5.18. Üretilen ve deneye hazır hale getirilen mafsallı kiriş örnekleri.

Materyal ve yöntem bölümünde gerçekleştirilen çalışmalarda dahil olmak üzere tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen tüm çalışmalar özetlenecek olursa;

Çalışmada lif takviyeli kompozit donatıların aderans performansları çelik donatılar ile karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Donatılar arasında göreceli karşılaştırma yapmak amacıyla farklı değişkenler belirlenmiştir. Bu değişkenler, beton kalitesinin aderansa etkisini belirlemek amacıyla C35 ve C50 sınıfındaki iki farklı beton, kenetlenme boyunun aderansa etkisini belirlemek amacıyla donatı çapının 10 katı ve 20 katı olmak üzere iki farklı kenetlenme boyu, donatıların yüzey özelliğinin aderansa etkisini belirlemek amacıyla kumlanmış ve helisel sargı şeklinde nervürlü olmak üzere üç farklı

yüzey ve donatı çapının aderansa etkisini belirlemek amacıyla 8 mm ve 12 mm olacak şekilde iki farklı donatı çapıdır.

Tüm deneyler 3 tekrarlı olacak şekilde düşünülmüştür. 3 tekrarlı yapılan deneylerde her bir kirişin iki tarafından potansiyometrik cetvellerle sıyırılma okumaları alınarak üretilen her kirişte toplamda 6 tekrarlı veri bilgisayara aktarılmıştır.

Çalışmadaki 2 farklı lif takviyeli kompozit donatı için değişkenler yukarıda da bahsedildiği gibi;

C35-C50 Beton, 10Ø-20Ø Kenetlenme Boyu, 2 Farklı Donatı Yüzeyi, Ø8 ve Ø12 Donatı Çapı ve 3 Tekrarlı numunedir.

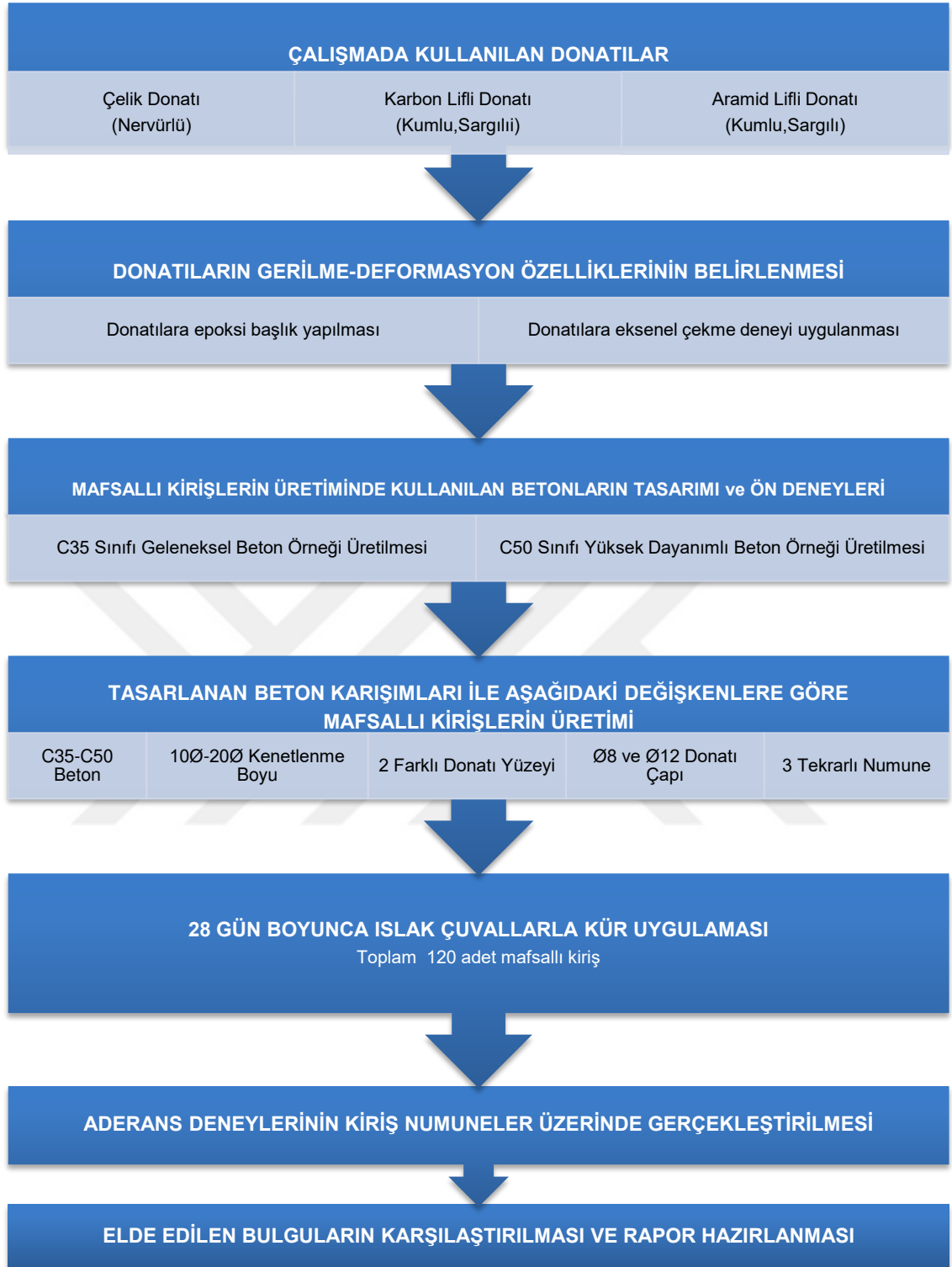
Tüm değişkenlerin birbiri ile kombinasyonu sonucu *lif takviyeli kompozit donatıların her bir türü için* üretilmiş olan kiriş sayısı; $2 * 2 * 2 * 2 * 3 = 48$ adet mafsallı kiriştir.

Tüm lif takviyeli kompozit donatı-beton kombinasyonları için ise;

$48 \text{ adet} * 2 = 96$ adet mafsallı kiriş üzerinde deneyler gerçekleştirilmiştir. Burada yalnızca referans donatı konumunda olan çelik donatı için tek yüzey (nervürlü) kullanıldığından çelik donatı kullanılan mafsallı kiriş sayısı 24'dür.

Sonuç olarak tez çalışması kapsamında $96 + 24 = 120$ adet mafsallı kiriş üzerinde aderans deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen çalışmaları özetleyen deneysel çalışmaların akış diyagramı Şekil 5.19'da sunulmuştur;



Şekil 5.19. Deneysel çalışmaların akış diyagramı.

Üretilen tüm kirişlerde kirişin sahip olduğu deneysel parametreleri temsil edecek şekilde bir kodlama kullanılmıştır. Kodlamaların detayları Aramid Lifli Donatılar (ARD) için Çizelge 5.7’de, Karbon Lifli Donatılar (KLD) için Çizelge 5.8’de ve Standart Çelik Donatılar (SÇD) için ise Çizelge 5.9’da verilmiştir.

Çizelge 5.7. Aramid lifli donatılarda numune kodlamalarının detayı.

Numune kodu	Kodlamanın açılımı
C35-ALD-8-10K	C35 beton-aramid lifli donatı- $\Phi 8$ çap-10 Φ kenetlenme-kumlanmış
C35-ALD-8-10S	C35 beton-aramid lifli donatı- $\Phi 8$ çap-10 Φ kenetlenme-sargılı
C35-ALD-12-10K	C35 beton-aramid lifli donatı- $\Phi 12$ çap-10 Φ kenetlenme-kumlanmış
C35-ALD-12-10S	C35 beton-aramid lifli donatı- $\Phi 12$ çap-10 Φ kenetlenme-sargılı
C50-ALD-8-10K	C50 beton-aramid lifli donatı- $\Phi 8$ çap-10 Φ kenetlenme-kumlanmış
C50-ALD-8-10S	C50 beton-aramid lifli donatı- $\Phi 8$ çap-10 Φ kenetlenme-sargılı
C50-ALD-12-10K	C50 beton-aramid lifli donatı- $\Phi 12$ donatı çapı-10 Φ kenetlenme-kumlanmış
C50-ALD-12-10S	C50 beton-aramid lifli donatı- $\Phi 12$ çap-10 Φ kenetlenme-sargılı
C35-ALD-8-20K	C35 beton-aramid lifli donatı- $\Phi 8$ çap-20 Φ kenetlenme-kumlanmış
C35-ALD-8-20S	C35 beton-aramid lifli donatı- $\Phi 8$ çap-20 Φ kenetlenme-sargılı
C35-ALD-12-20K	C35 beton-aramid lifli donatı- $\Phi 12$ çap-20 Φ kenetlenme-kumlanmış
C35-ALD-12-20S	C35 beton-aramid lifli donatı- $\Phi 12$ çap-20 Φ kenetlenme-sargılı
C50-ALD-8-20K	C50 beton-aramid lifli donatı- $\Phi 8$ çap-20 Φ kenetlenme-kumlanmış
C50-ALD-8-20S	C50 beton-aramid lifli donatı- $\Phi 8$ çap-20 Φ kenetlenme-sargılı
C50-ALD-12-20K	C50 beton-aramid lifli donatı- $\Phi 12$ çap-20 Φ kenetlenme-kumlanmış
C50-ALD-12-20S	C50 beton-aramid lifli donatı- $\Phi 12$ çap-20 Φ kenetlenme-sargılı

Çizelge 5.8. Karbon lifli donatılarda numune kodlamalarının detayı.

Numune kodu	Kodlamanın açılımı
C35-KLD-8-10K	C35 beton-karbon lifli donatı- $\Phi 8$ çap-10 Φ kenetlenme-kumlanmış
C35-KLD-8-10S	C35 beton- karbon lifli donatı- $\Phi 8$ donatı çapı-10 Φ kenetlenme-sargılı
C35-KLD-12-10K	C35 beton- karbon lifli donatı- $\Phi 12$ çap-10 Φ kenetlenme-kumlanmış
C35-KLD-12-10S	C35 beton- karbon lifli donatı- $\Phi 12$ çap-10 Φ kenetlenme-sargılı
C50-KLD-8-10K	C50 beton- karbon lifli donatı- $\Phi 8$ çap-10 Φ kenetlenme-kumlanmış
C50-KLD-8-10S	C50 beton- karbon lifli donatı- $\Phi 8$ çap-10 Φ kenetlenme-sargılı
C50-KLD-12-10K	C50 beton- karbon lifli donatı- $\Phi 12$ çap-10 Φ kenetlenme-kumlanmış
C50-KLD-12-10S	C50 beton- karbon lifli donatı- $\Phi 12$ çap-10 Φ kenetlenme-sargılı
C35-KLD-8-20K	C35 beton-karbon lifli donatı- $\Phi 8$ çap-20 Φ kenetlenme-kumlanmış
C35-KLD-8-20S	C35 beton- karbon lifli donatı- $\Phi 8$ donatı çapı-20 Φ kenetlenme-sargılı
C35-KLD-12-20K	C35 beton- karbon lifli donatı- $\Phi 12$ çap-20 Φ kenetlenme-kumlanmış
C35-KLD-12-20S	C35 beton- karbon lifli donatı- $\Phi 12$ çap-20 Φ kenetlenme-sargılı
C50-KLD-8-20K	C50 beton- karbon lifli donatı- $\Phi 8$ çap-20 Φ kenetlenme-kumlanmış
C50-KLD-8-20S	C50 beton- karbon lifli donatı- $\Phi 8$ çap-20 Φ kenetlenme-sargılı
C50-KLD-12-20K	C50 beton- karbon lifli donatı- $\Phi 12$ çap-20 Φ kenetlenme-kumlanmış
C50-KLD-12-20S	C50 beton- karbon lifli donatı- $\Phi 12$ çap-20 Φ kenetlenme-sargılı

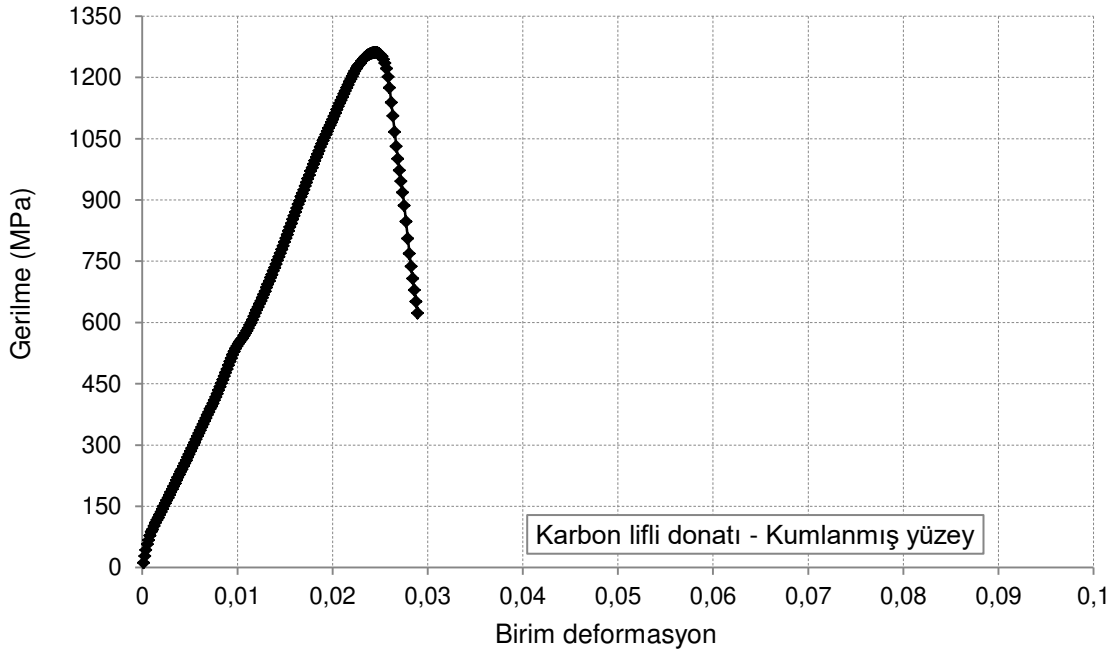
Çizelge 5.9. Çelik donatılarda numune kodlamalarının detayı.

Numune kodu	Kodlamanın açılımı
C35-SÇD-8-10N	C35 beton- standart çelik donatı- $\Phi 8$ çap-10 Φ kenetlenme-sargılı
C35-SÇD-12-10N	C35 beton- standart çelik donatı - $\Phi 12$ çap-10 Φ kenetlenme-sargılı
C50-SÇD-8-10N	C50 beton- standart çelik donatı - $\Phi 8$ çap-10 Φ kenetlenme-sargılı
C50-SÇD-12-10N	C50 beton- standart çelik donatı - $\Phi 12$ çap-10 Φ kenetlenme-sargılı
C35-SÇD-8-20N	C35 beton- standart çelik donatı- $\Phi 8$ çap-20 Φ kenetlenme-sargılı
C35-SÇD-12-20N	C35 beton- standart çelik donatı - $\Phi 12$ çap-20 Φ kenetlenme-sargılı
C50-SÇD-8-20N	C50 beton- standart çelik donatı - $\Phi 8$ çap-20 Φ kenetlenme-sargılı
C50-SÇD-12-20N	C50 beton- standart çelik donatı - $\Phi 12$ çap-20 Φ kenetlenme-sargılı

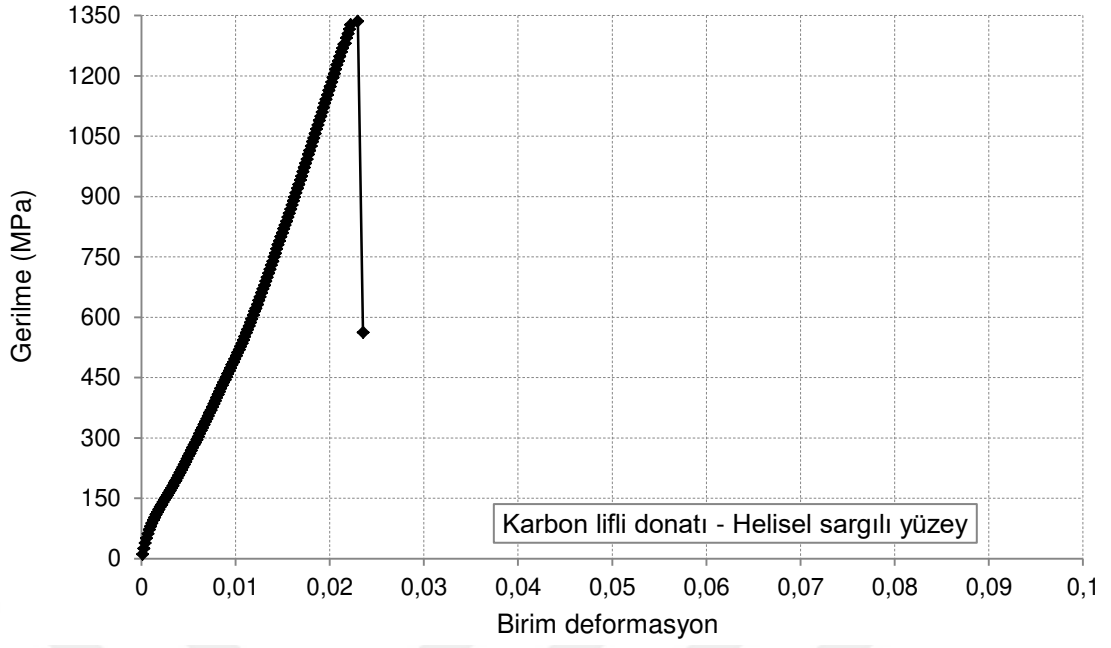
6. BULGULAR VE TARTIŞMA

6.1. ÇALIŞMADA KULLANILAN DONATILARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE AİT BULGULAR

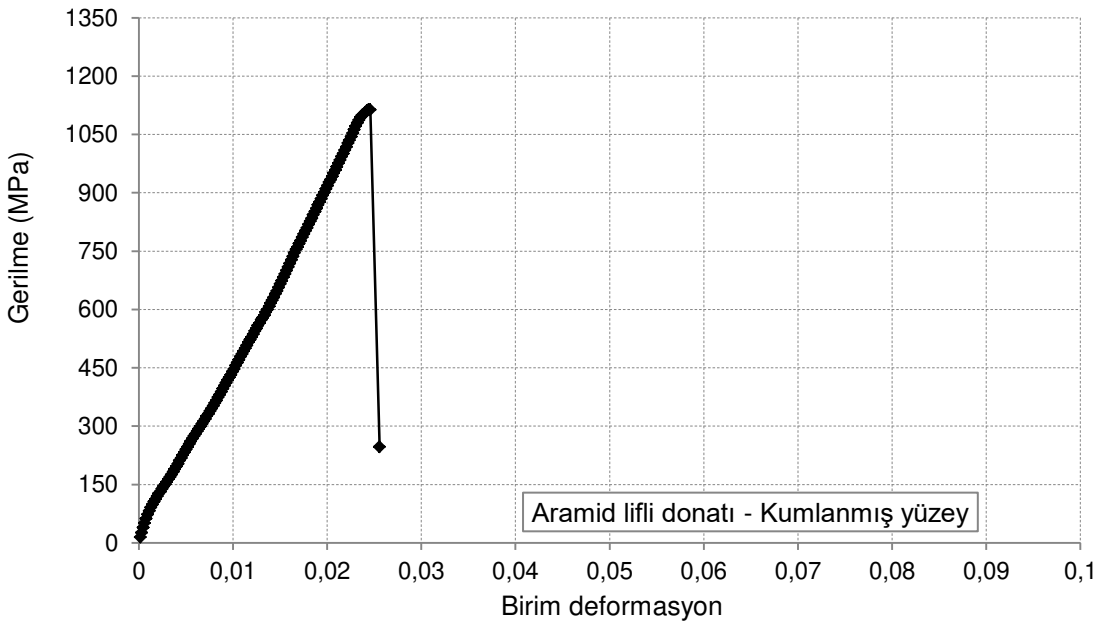
Tüm donatılar için çekme deneyinde elde edilen gerilme-birim deformasyon grafikleri Şekil 6.1, Şekil 6.2, Şekil 6.3, Şekil 6.4'te görülmektedir. Ayrıca çekme deneyinde elde edilen, donatılara ait çekme dayanımı ve elastisite modülü değerleri lif türü ve yüzey özelliğine göre Çizelge 6.1'de verilmiştir.



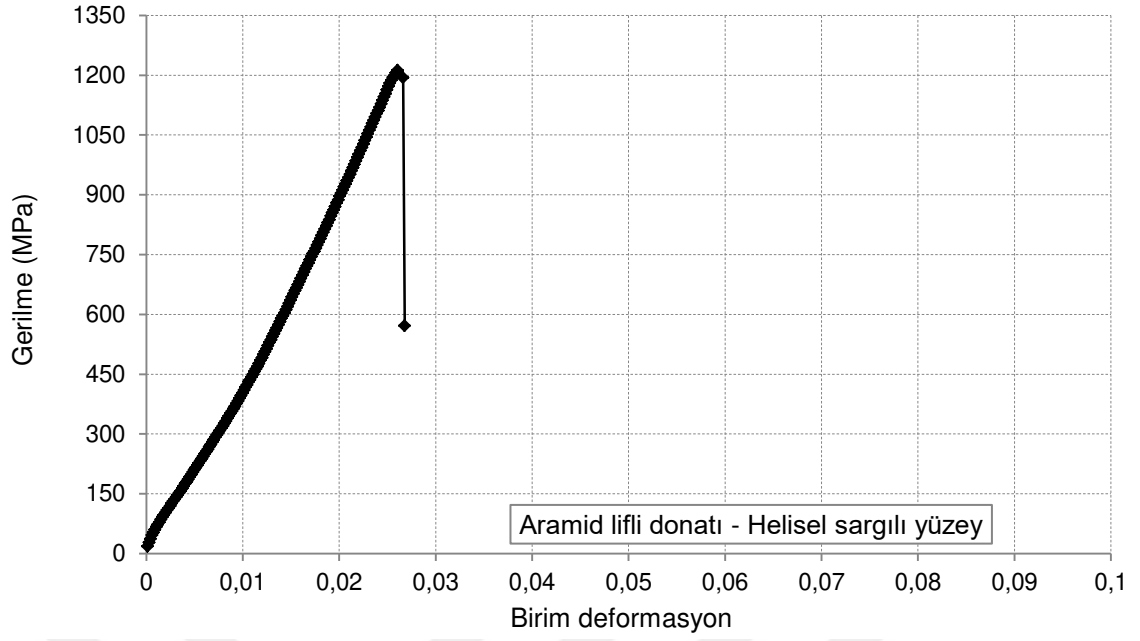
Şekil 6.1. Kumlanmış yüzeye sahip karbon lifli donatının gerilme-deformasyon grafiği.



Şekil 6.2. Helisel sargılı yüzeye sahip karbon lifli donatının gerilme-deformasyon grafiği.



Şekil 6.3. Kumlanmış yüzeye sahip aramid lifli donatının gerilme-deformasyon grafiği.



Şekil 6.4. Helisel sargılı yüzeye sahip aramid lifli donatının gerilme-deformasyon grafiği.

Çizelge 6.1. Donatılara ait çekme deneyi sonuçları.

	Donatıların mekanik özellikleri			
	Karbon lifli		Aramid lifli	
	Çekme dayanımı (MPa)	Elastisite modülü (MPa)	Çekme dayanımı (MPa)	Elastisite modülü (MPa)
Kumlanmış yüzey	1261	51293	1113	45623
Helisel sargılı yüzey	1336	58134	1213	46552

Çekme dayanımı testleri sonucunda sargılı yüzeye sahip lifli kompozit donatılardan, karbon lifli donatının dayanımı 1336 MPa ve aramid lifli donatının dayanımı ise 1213 MPa elde edilmiştir. Bu değerler kumlanmış yüzeye sahip lifli kompozit donatılarda ise karbon lifli donatı için 1261 MPa ve aramid lifli donatı için ise 1113 MPa elde edilmiştir.

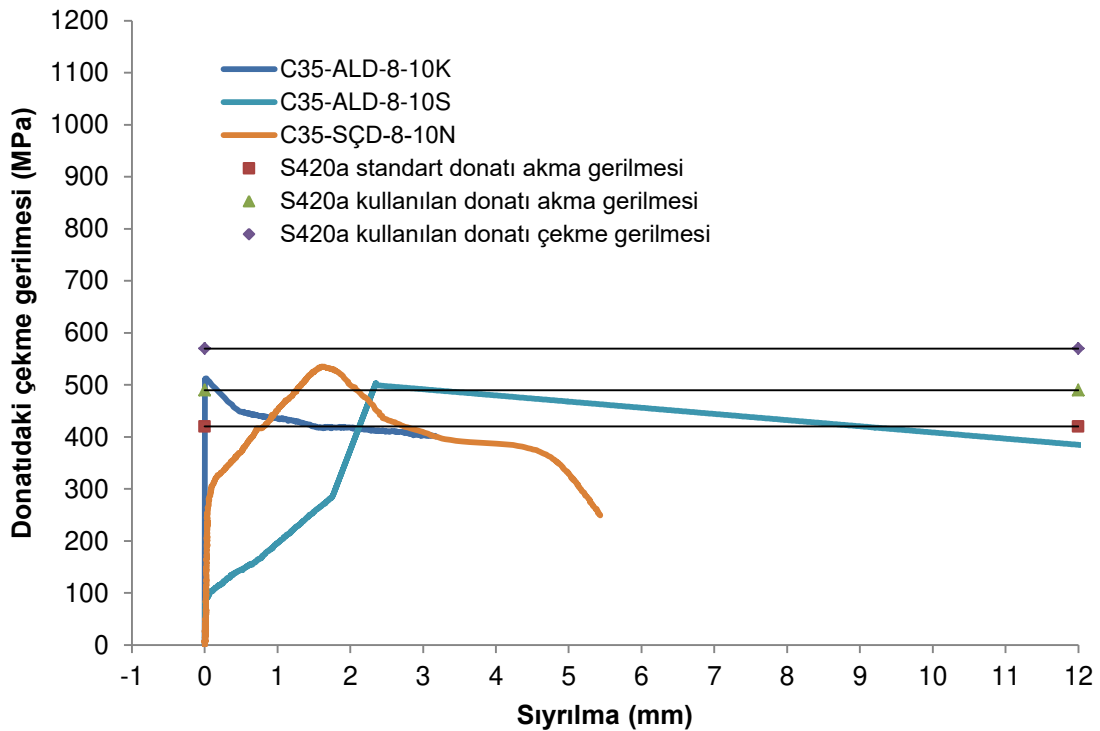
Test sonuçları elastisite modülü açısından değerlendirildiğinde, karbon lifli donatıların elastisite modülü aramid lifli donatılara göre daha yüksektir.

Genel olarak, sargılı yüzeye sahip donatıların elastisite modülü kumlanmış yüzeye sahip donatılara kıyasla yüksek değerler almıştır.

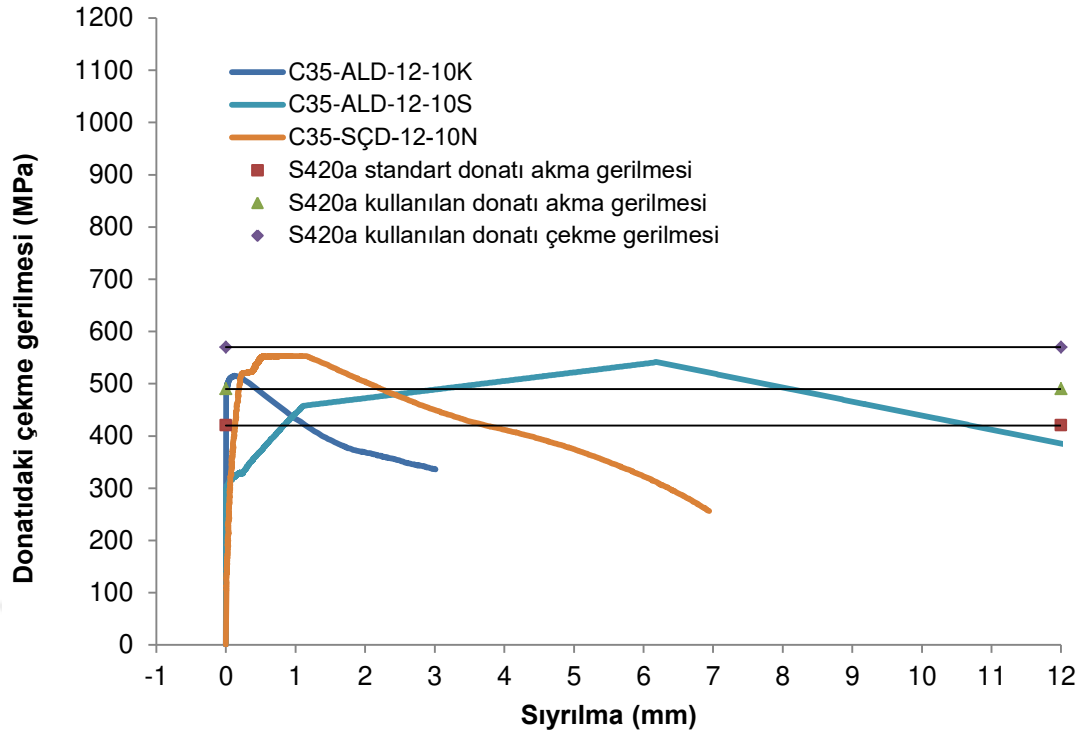
Lif türünün etkisi her iki yüzey için de değerlendirildiğinde en yüksek çekme dayanımı ve elastisite modülü karbon elyafla üretilen kompozit donatılardan elde edilmiştir.

6.2. ARAMİD LİFLİ DONATININ ADERANS PERFORMANSI

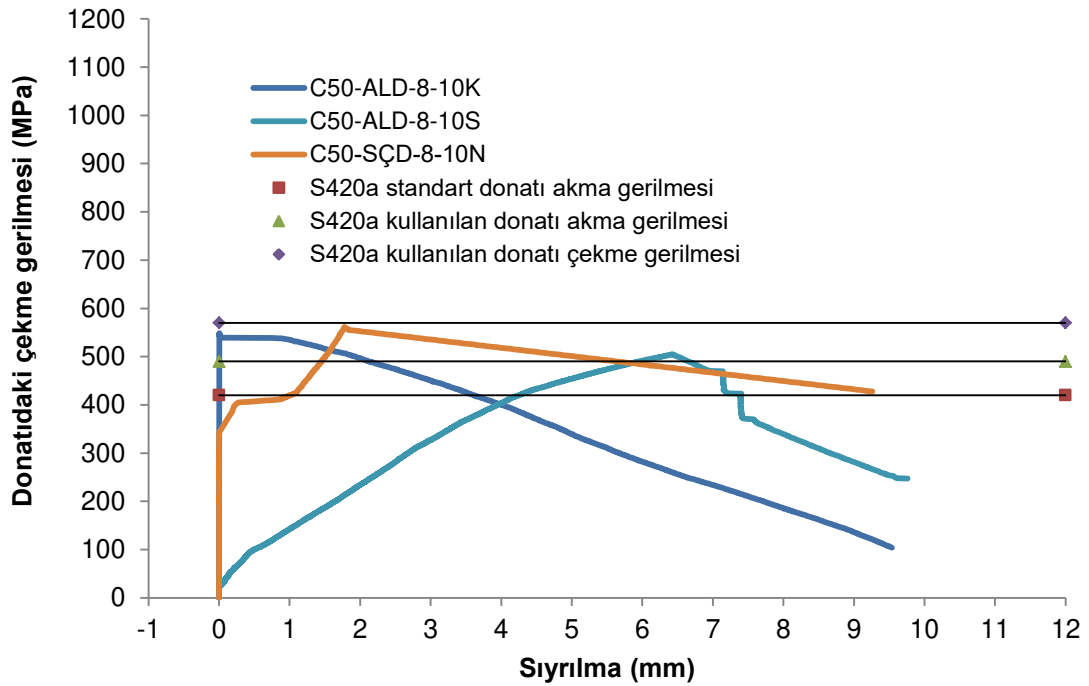
Aramid lifli donatılar için gerçekleştirilen aderans deneylerinden elde edilen gerilme-sıyrılma grafikleri 10Φ kenetlenme boyu kullanılarak üretilen kirişler için Şekil 6.5, Şekil 6.6, Şekil 6.7, Şekil 6.8’de görülmektedir. Grafiklerde sıyrılma okuması alınmayan numunelerde donatının sıyrılmadan ulaştığı gerilme değerlerinin grafiğin düşey eksenine karşılık düşey ekseniyle çakışmaması ve grafik üzerinde gözlenebilmesi için grafiklerin yatay eksenleri sıfırdan düşük bir değerle başlatılmıştır.



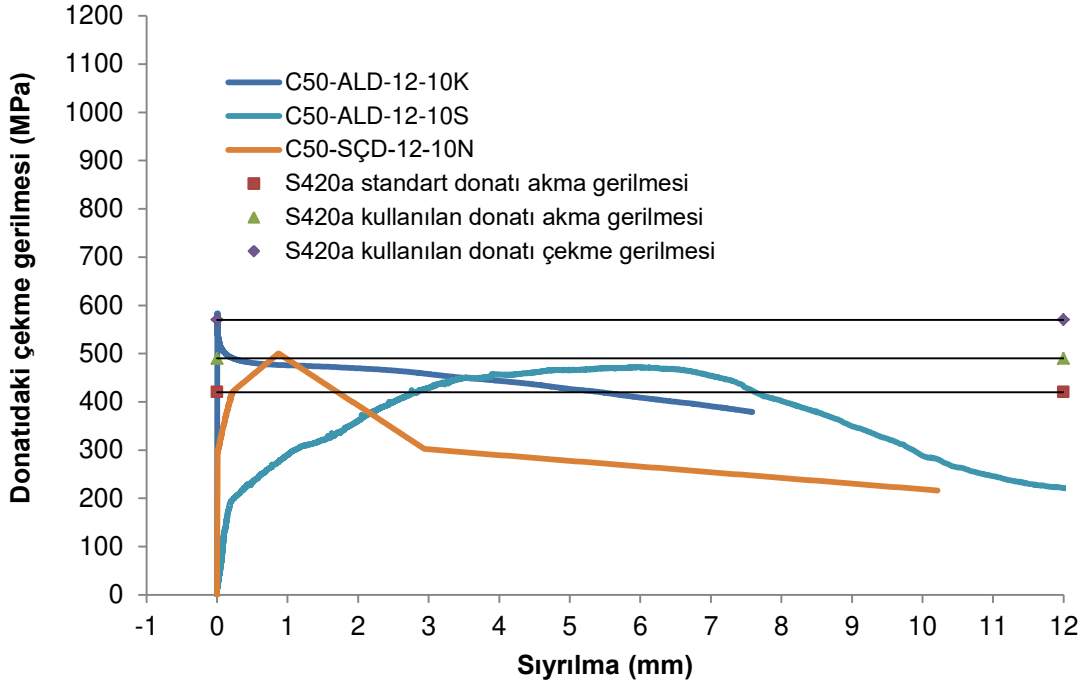
Şekil 6.5. C35 beton-8 mm donatı çapı ve 10Φ kenetlenmede aramid lifli donatı gerilme-sıyrılma ilişkisi.



Şekil 6.6. C35 beton-12 mm donatı çapı ve 10Φ kenetlenmede aramid lifli donatı gerilme-sıyrılma ilişkisi.



Şekil 6.7. C50 beton-8 mm donatı çapı ve 10Φ kenetlenmede aramid lifli donatı gerilme-sıyrılma ilişkisi.



Şekil 6.8. C50 beton-12 mm donatı çapı ve 10Φ kenetlenmede aramid lifli donatı gerilme-sıyrılma ilişkisi.

Deneylerde elde edilen ve kritik bulgular olarak görülen donatıdaki Maksimum Gerilme (MG) ve Maksimum Gerilmeye Karşılık Gelen Kuvvet (MGK), Beton-Donatı Arasındaki Maksimum Aderans Gerilmesi (T_u), Donatının Maksimum Gerilmeye Ulaştığı Andaki Sıyrılma (MG-S), İlk Sıyrılma Oluştugu Andaki Gerilme (İS-G) ve Deneyin Sonlama Türü (DST), Deneyin Donatının Kopması İle Sonlanması (DK) ve Deneyin Aderans Kopması ile sonlanması (AK) ile ilgili deneysel sonuçlarda donatı çapı, donatı yüzey özelliği ve beton sınıfı değişkenlerine bağlı olarak 10Φ kenetlenme boyu kullanılarak üretilen kirişler için Çizelge 6.2 ve 20Φ kenetlenme boyu kullanılarak üretilen kirişler için ise Çizelge 6.4'te sunulmuştur.

Bu bulguların yanı sıra standart S420a çeliğinin akma gerilmesi olan 420 MPa, bu çalışmada kullanılan çeliğin akma gerilmesi olan 490 MPa, yine bu çalışmada kullanılan çeliğin çekme gerilmesi olan 570 MPa gerilme değerleri de donatılar için eşik değerler olarak kabul edilmiş ve bu gerilme değerlerinde donatıların sıyrılma miktarları da 10Φ kenetlenme boyu kullanılarak üretilen kirişler için Çizelge 6.2'de ve 20Φ kenetlenme boyu kullanılarak üretilen kirişler için ise Çizelge 6.4'te ayrıca sunulmuş yorumlanmıştır.

Çizelge 6.2. Kenetlenme boyu 10Φ olan aramid lifli donatılar için kritik bulgular.

Numune kodu	MG (MPa)	MGK (N)	τ_u (MPa)	MG-S (mm)	İS-G (MPa)	DST
C35-ALD-8-10K	512,33	25739,50	12,81	0,03	508,92	AK
C35-ALD-8-10S	503,22	25281,99	12,58	2,35	81,84	AK
C35-SÇD-8-10N	535,35	26895,75	13,38	1,60	90,85	AK
C35-ALD-12-10K	514,51	58160,00	12,86	0,16	480,79	AK
C35-ALD-12-10S	530,72	59992,25	13,27	6,59	298,93	AK
C35-SÇD-12-10N	553,09	62520,99	13,83	1,14	103,81	AK
C50-ALD-8-10K	548,59	27561,23	13,71	0,01	548,59	AK
C50-ALD-8-10S	504,90	25365,95	12,62	6,43	24,72	AK
C50-SÇD-8-10N	561,26	28197,92	14,03	1,77	378,49	AK
C50-ALD-12-10K	583,30	65936,61	14,58	0,00	583,30	AK
C50-ALD-12-10S	471,70	53320,50	11,79	5,83	15,91	AK
C50-SÇD-12-10N	500,40	56565,36	12,51	0,88	293,25	AK
Kısaltması	Açıklaması		Kısaltması	Açıklaması		
MG	Maksimum Gerilme		MG-S	Donatının Maksimum Gerilmeye Ulaştığı Andaki Sıyrılma		
MGK	Maksimum Gerilmeye Karşılık Gelen Kuvvet		İS-G	İlk Sıyrılma Oluştugu Andaki Gerilme		
T_u	Beton-Donatı Arasındaki Maksimum Aderans Gerilmesi		DK	Deneyin Donatının Kopması İle Sonlanması		
DST	Deneyin Sonlanma Türü		AK	Aderans Kopması		

Çizelge 6.3. Kenetlenme boyu 10Φ olan aramid lifli donatılar için eşik değerlerde sıyrılmalar.

Numune kodu	420 MPa-S (mm)	490 MPa-S (mm)	570 MPa-S (mm)
C35-ALD-8-10K	0,00	0,00	Ulaşmadı
C35-ALD-8-10S	2,12	2,32	Ulaşmadı
C35-SÇD-8-10N	0,81	1,27	Ulaşmadı
C35-ALD-12-10K	0,00	0,00	Ulaşmadı
C35-ALD-12-10S	0,83	1,88	Ulaşmadı
C35-SÇD-12-10N	0,13	0,19	Ulaşmadı
C50-ALD-8-10K	0,00	0,00	Ulaşmadı
C50-ALD-8-10S	4,25	5,96	Ulaşmadı
C50-SÇD-8-10N	1,02	1,45	Ulaşmadı
C50-ALD-12-10K	0,00	0,00	0,00
C50-ALD-12-10S	2,83	Ulaşmadı	Ulaşmadı
C50-SÇD-12-10N	0,22	0,79	Ulaşmadı

Çizelge 6.2 ve Çizelge 6.3'deki verilere göre aramid lifli donatılarda C35 sınıfı beton ve 10Φ kenetlenme boyu için elde edilen bulgular değerlendirilecek olursa;

Tüm kirişlerde deneyin sonlanma türü AK şeklindedir. Bu durum hem çelik hem de

aramid lifli donatıların kopmadan önce aderansını tamamen kaybettiğini göstermektedir. Elde edilen bu bulgular aderans boyunun düşük olması nedeniyle beklenen bir sonuç olup göreceli karşılaştırma yapmak adına faydalı göstergelere sahiptir.

Kumlanmış yüzeye sahip 8 mm çaplı aramid lifli donatılar 512,33 MPa gerilmeye ve 12 mm çaplı aramid lifli donatılar ise 480,79 MPa gerilmeye hiç sıyrılma olmadan ulaşmıştır. Çelik donatı ise 8 mm çapta 90,85 MPa gerilmeye ve 12 mm çapta ise 103,81 MPa gerilmeye ulaştığında ilk sıyrılma oluşmuş olup 420 MPa gerilmede 8mm çap için 0,81 mm, 12 mm çap için 0,13 ve 490 MPa gerilmede ise 8 mm çap için 1,27 mm ve 12 mm çap için ise 0,19 mm betondan sıyrılmıştır. Kumlanmış yüzeye sahip aramid lifli donatının 10Φ kenetlenme boyu için C35 sınıfı betonda standart çelik ve bu çalışmada kullanılan çeliğe ait akma gerilmelerinden daha yüksek değerlere hiç sıyrılma olmadan çıkabilmesi çok önemli bir sonuç olarak görünmektedir. Çelik donatı ile kumlanmış ve helisel sargılı yüzeye sahip aramid lifli donatıların ulaştığı maksimum gerilme değerleri ile maksimum aderans gerilmeleri arasında önemli farklılıklar gözlenmemiştir. Buna rağmen helisel sargılı yüzeye sahip aramid lifli donatı ulaştığı maksimum gerilme değerlerinde 8 mm çap için 2,35 mm ve 12 mm çap için ise 6,59 mm betondan sıyrılarak kumlanmış yüzeye üretilen aramid lifli donatılara kıyasla kötü bir aderans performansı göstermiştir. Ayrıca helisel sargılı yüzeye sahip 8 mm ve 12 mm çaplı aramid lifli donatılar standart donatı akma gerilmesi olan 420 MPa gerilmeye ulaştığında sırasıyla 2,12 mm ile 0,83 mm ve bu çalışmada kullanılan çelik donatı akma gerilmesi olan 490 MPa gerilmeye ulaştığında sırasıyla 2,32 mm ve 1,88 mm sıyrılma göstermiştir. Bu sıyrılma değerleri çalışmada kullanılan çelik donatıda aynı gerilme değerleri için elde edilen sıyrılmalardan daha yüksektir. C35 sınıfı beton ve 10Φ kenetlenme boyunda hiçbir donatı bu çalışmada kullanılan çelik donatının çekme gerilmesi değeri olan 570 MPa değerine ulaşamamış ve aderansını tamamen kaybederek AK şeklinde deneyler sonlamıştır.

Çizelge 6.2 ve Çizelge 6.3'teki verilere göre aramid lifli donatılarda C50 sınıfı beton ve 10Φ kenetlenme boyu için elde edilen bulgular değerlendirilecek olursa;

Tüm kirişlerde deneyin sonlanma türü AK şeklindedir. Bu durum hem çelik hemde aramid lifli donatıların kopmadan önce aderansını tamamen kaybettiğini göstermektedir. Elde edilen bu bulgular aderans boyunun düşük olması nedeniyle beklenen bir sonuç olup göreceli karşılaştırma yapmak adına faydalı göstergelere sahiptir.

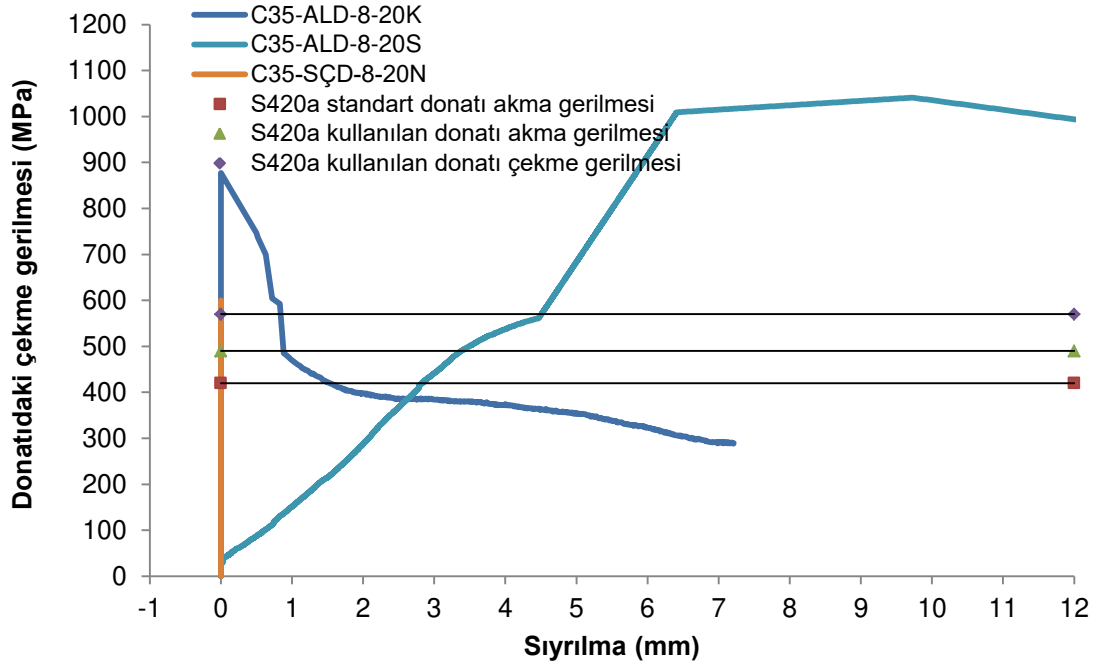
C50 sınıfı betonla üretilen kirişlerde kumlanmış yüzeye sahip 8 mm çaplı aramid lifli

donatılar 548,59 MPa gerilmeye ve 12 mm çaplı aramid lifli donatılar ise 583,30 MPa gerilmeye hiç sıyrılma olmadan ulaşmıştır. Çelik donatı ise 8 mm çapta 378,49 MPa gerilmeye ve 12 mm çapta ise 293,25 MPa gerilmeye ulaştığında ilk sıyrılma oluşmuş olup 420 MPa gerilmeye 8 mm çap için 1,02 mm, 12 mm çap için 0,22 ve 490 MPa gerilmeye ise 8 mm çap için 1,45 mm ve 12 mm çap için ise 0,79 mm betondan sıyrılmıştır. Kumlanmış yüzeye sahip aramid lifli donatının 10Φ kenetlenme boyu için C50 sınıfı betonda standart çelik ve bu çalışmada kullanılan çeliğe ait akma gerilmelerinden daha yüksek değerlere hiç sıyrılma olmadan çıkabilmesi çok önemli bir sonuç olarak görünmektedir. Çelik donatı ile kumlanmış ve helisel sargılı yüzeye sahip aramid lifli donatıların ulaştığı maksimum gerilme değerleri ile maksimum aderans gerilmeleri arasında önemli farklılıklar gözlenmemiştir. Yalnızca 12 mm çapa sahip helisel sargılı aramid lifli donatıda maksimum gerilme ve ulaşılan aderans gerilmesi biraz düşük değer almıştır. Ulaşılan maksimum gerilmeler ile maksimum aderans gerilmeleri yakın değerler olsa da sargılı yüzeye sahip aramid lifli donatı ulaştığı maksimum gerilme değerlerinde 8 mm çap için 6,43 mm ve 12 mm çap için ise 5,83 mm betondan sıyrılarak kumlanmış yüzeye üretilen aramid lifli donatılara kıyasla kötü bir aderans performansı göstermiştir. Ayrıca sargılı yüzeye sahip 8 mm ve 12 mm çaplı aramid lifli donatılar standart donatı akma gerilmesi olan 420 MPa gerilmeye ulaştığında sırasıyla 4,25 mm ile 2,83 mm betondan sıyrılmıştır. Bu çalışmada kullanılan çelik donatı akma gerilmesi olan 490 MPa gerilmeye ulaştığında ise 8 mm çaplı aramid lifli ve sargılı yüzeye sahip donatı 5,96 mm sıyrılmış olup 12 mm çaplı aramid lifli ve sargılı yüzeye sahip donatı ise 490 MPa değerine ulaşmadan aderansını tamamen kaybetmiştir. Bu sıyrılma değerleri kullanılan çelik donatıda aynı gerilmeler için elde edilen sıyrılmalardan daha yüksektir. C50 sınıfı beton ve 10Φ kenetlenme boyunda 12 mm çaplı ve kumlanmış yüzeye sahip aramid lifli donatı dışında hiçbir donatı çalışmada kullanılan çelik donatının çekme gerilmesi değeri olan 570 MPa değerine ulaşamamıştır. 12 mm çaplı ve kumlanmış yüzeye sahip aramid lifli donatı ise 570 MPa gerilme değerine ulaştığında da betondan hiç sıyrılmamıştır.

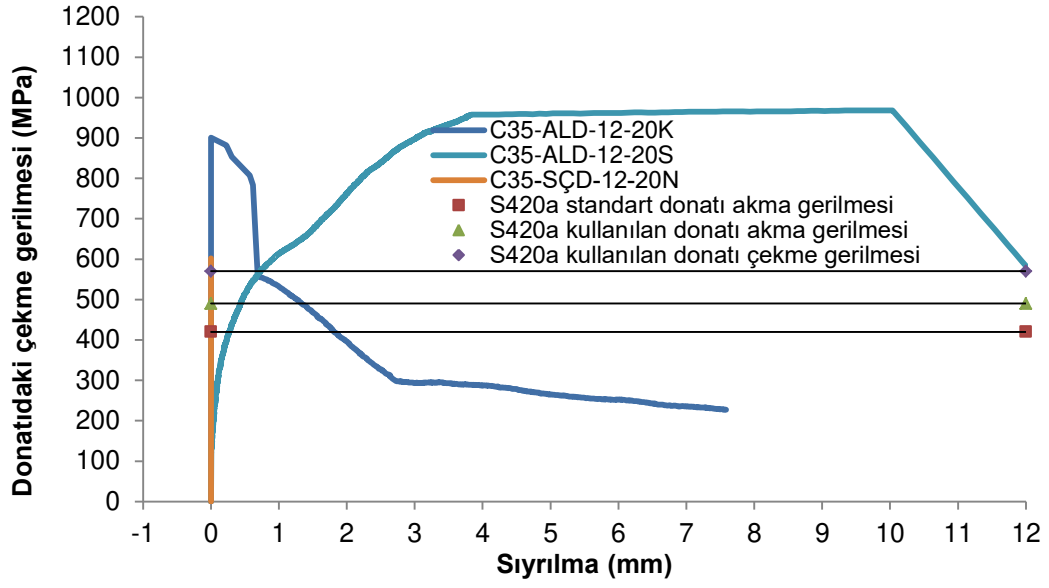
Çizelge 6.2’de görülen ilk sıyrılmanın başladığı andaki gerilme değerleri incelendiğinde ise helisel sargılı yüzeye sahip aramid lifli donatıların 12 mm çapta 15,91 MPa değerine kadar inen çok düşük gerilme değerlerinde betonlardan sıyrılmaya başladığı görülmektedir. Ayrıca 12 mm çaplı ve sargılı yüzeye sahip aramid lifli donatının C35 sınıf betonda 298,93 MPa değerinde ilk sıyrılmayı gösterirken C50 sınıfı betonda ise

15,91 MPa değerinde ilk sıyrılmayı gösterdiği görülmektedir. İlk sıyrılmaya gözlemlendiğinde elde edilen bu gerilme değerlerindeki tutarsız sonuçlar beton kalitesinin etkisi şeklinde yorumlanamayacak kadar dikkat çekici bir farklılık içermektedir. İlk sıyrılmaya anında elde edilen çok düşük gerilme değerleri ile beton sınıfı artışından beklenen etkiye ters düşen bulgular içeren sonuçlar helisel sargılı yüzeye sahip aramid lifli donatıların sargılanma kalitesinin bazı sorunlar içerdiğini işaret etmektedir.

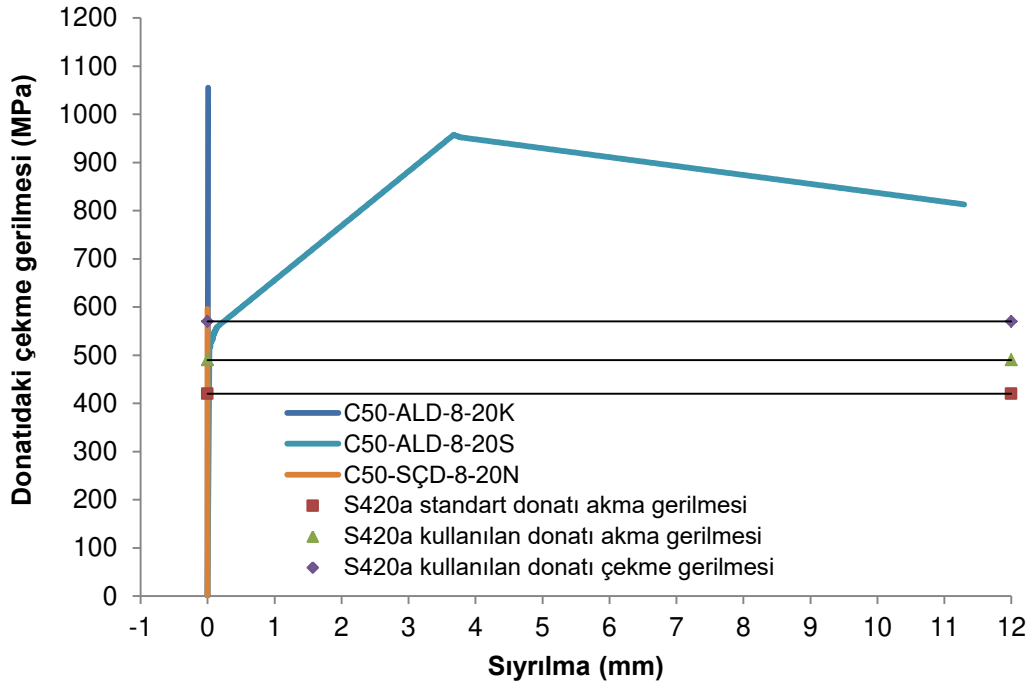
Aramid lifli donatılar için gerçekleştirilen aderans deneylerine ait gerilme-sıyrılmaya grafikleri 20Φ kenetlenme boyu kullanılarak üretilen kirişler için Şekil 6.9-6.10-6.11-6.12’de görülmektedir.



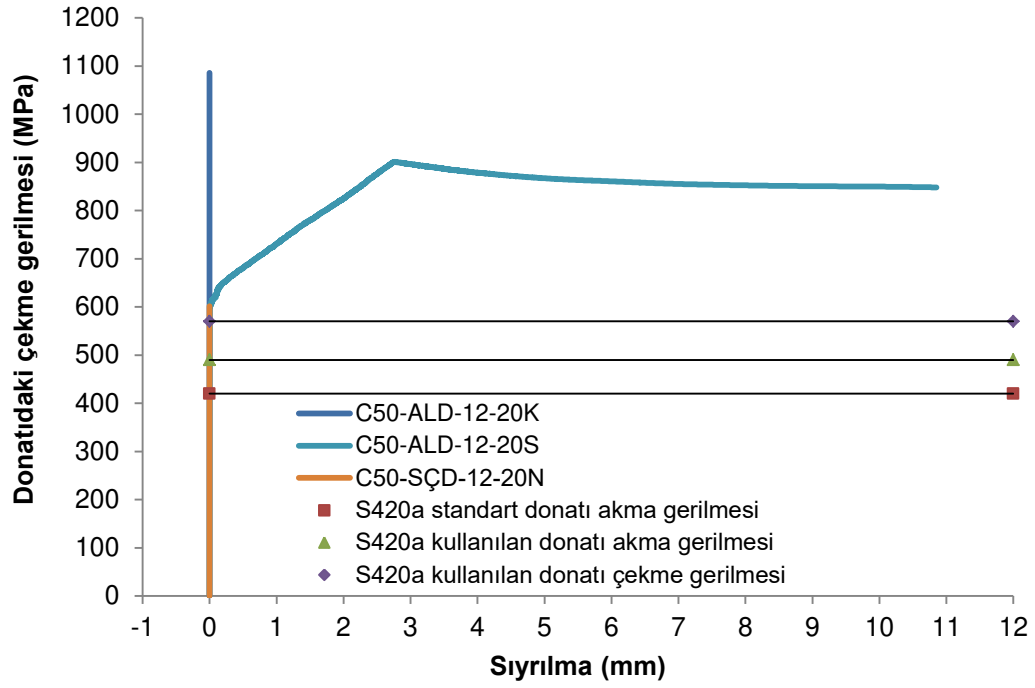
Şekil 6.9. C35 beton-8 mm donatı çapı ve 20Φ kenetlenmede aramid lifli donatı gerilme-sıyrılmaya ilişkisi.



Şekil 6.10. C35 beton-12 mm donatı çapı ve 20Φ kenetlenmede aramid lifli donatı gerilme-sıyrılma ilişkisi.



Şekil 6.11. C50 beton-8 mm donatı çapı ve 20Φ kenetlenmede aramid lifli donatı gerilme-sıyrılma ilişkisi.



Şekil 6.12. C50 beton-12 mm donatı çapı ve 20Φ kenetlenmede aramid lifli donatı gerilme-sıyrılma ilişkisi.

Çizelge 6.4. Kenetlenme boyu 20Φ olan aramid lifli donatılar için kritik bulgular.

Numune kodu	MG (MPa)	MGK (N)	τ_u (MPa)	MG-S (mm)	İS-G (MPa)	DST
C35-ALD-8-20K	877,02	44061,45	10,96	0,00	746,1659	AK
C35-ALD-8-20S	1041,10	52304,87	13,01	9,73	25,574	AK
C35-SÇD-8-20N	600,15	30151,54	7,50	0,00	-	DK
C35-ALD-12-20K	901,12	101862,60	11,26	0,00	881,8232	AK
C35-ALD-12-20S	968,40	109467,62	12,10	10,04	120,1024	AK
C35-SÇD-12-20N	602,08	68059,26	7,53	0,00	-	DK
C50-ALD-8-20K	1055,63	53034,80	13,20	0,01	1055,629	DK
C50-ALD-8-20S	957,40	48099,78	11,97	3,67	515	AK
C50-SÇD-8-20N	596,00	29943,18	7,45	0,01	-	DK
C50-ALD-12-20K	1086,23	122787,00	13,58	0,00	-	DK
C50-ALD-12-20S	901,30	101882,95	11,27	2,75	600	AK
C50-SÇD-12-20N	601,67	68012,88	7,52	0,00	-	DK
Kısaltması	Açıklaması		Kısaltması	Açıklaması		
MG	Maksimum Gerilme		MG-S	Donatının Maksimum Gerilmeye Ulaştığı Andaki Sıyrılma		
MGK	Maksimum Gerilmeye Karşılık Gelen Kuvvet		İS-G	İlk Sıyrılma Oluştugu Andaki Gerilme		
T_u	Beton-Donatı Arasındaki Maksimum Aderans Gerilmesi		DK	Deneyin Donatının Kopması İle Sonlanması		
DST	Deneyin Sonlanma Türü		AK	Aderans Kopması		

Çizelge 6.5. Kenetlenme boyu 20Φ olan aramid lifli donatılar için eşik değerlerde sıyrılmalar.

Numune kodu	420 MPa-S(mm)	490 MPa-S(mm)	570 MPa-S(mm)
C35-ALD-8-20K	0,00	0,00	0,00
C35-ALD-8-20S	2,83	3,39	4,51
C35-SÇD-8-20N	0,00	0,00	0,00
C35-ALD-12-20K	0,00	0,00	0,00
C35-ALD-12-20S	0,27	0,44	0,73
C35-SÇD-12-20N	0,00	0,00	0,00
C50-ALD-8-20K	0,00	0,00	0,00
C50-ALD-8-20S	0,00	0,00	0,24
C50-SÇD-8-20N	0,00	0,00	0,00
C50-ALD-12-20K	0,00	0,00	0,00
C50-ALD-12-20S	0,00	0,00	0,00
C50-SÇD-12-20N	0,00	0,00	0,00

Çizelge 6.4 ve Çizelge 6.5'teki verilere göre aramid lifli donatılarda C35 sınıfı beton ve 20Φ kenetlenme boyu için elde edilen bulgular değerlendirilecek olursa;

Çelik donatıda DK ve aramid lifli donatılarda ise AK şeklinde deney sonlanmıştır. Kumlanmış yüzeye sahip 8 mm çaplı aramid lifli donatılar 877,02 MPa gerilmeye ve 12 mm çaplı aramid lifli donatılar ise 901,12 MPa gerilmeye hiç sıyrılmadan ulaşmıştır. Çelik donatıda ise hem 8 mm çapta hem de 12 mm çapta hiç sıyrılmamıştır.

Kumlanmış yüzeye sahip aramid lifli donatının 20Φ kenetlenme boyu için C35 sınıfı betonda standart çelik ve bu çalışmada kullanılan çeliğe ait akma gerilmelerinden çok daha yüksek değerlere hiç sıyrılmadan çıkabilmesi çok önemli bir sonuç olarak görülmektedir. Çelik donatı ile kumlanmış ve helisel sargılı yüzeye sahip aramid lifli donatıların ulaştığı maksimum gerilme değerleri ile maksimum aderans gerilmeleri arasında önemli farklılıklar gözlenmektedir. Aramid lifli donatılar çelik donatılara kıyasla çok daha yüksek aderans gerilmelerine ulaşmaktadır. Özellikle kumlanmış yüzeye sahip aramid lifli donatıların betondan hiç sıyrılmadan çok yüksek aderans gerilmelerine ulaşması önemli bir bulgudur.

Burada dikkat çeken bir diğer bulgu ise çok yüksek gerilmelere kadar çıkmasına rağmen helisel sargılı yüzeye sahip aramid lifli donatıların betondan önemli düzeyde sıyrılmamasıdır.

Sargılı yüzeye sahip aramid lifli donatılar ulaştığı maksimum gerilme değerlerinde 8

mm çap için 9,73 mm ve 12 mm çap için ise 10,04 mm betondan sıyrılarak kumlanmış yüzeye üretilen aramid lifli donatılara kıyasla çok kötü bir aderans performansı göstermiştir.

Ayrıca sargılı yüzeye sahip 8 mm ve 12 mm çaplı aramid lifli donatılar standart donatı akma gerilmesi olan 420 MPa gerilmeye ulaştığında sırasıyla 2,83 mm ile 0,27 mm ve bu çalışmada kullanılan çelik donatı akma gerilmesi olan 490 MPa gerilmeye ulaştığında sırasıyla 3,39 mm ve 0,44 mm sıyrılma göstermiştir.

Referans donatı olan çelik donatıda 20Φ kenetlenme boyunda hiç sıyrılma olmadığı için helisel sargılı yüzeye sahip aramid lifli donatılarda elde edilen bu sıyrılma değerleri çok olumsuz bir izlenim ortaya koymaktadır. Ayrıca yine helisel sargılı aramid lifli donatılar bu çalışmada kullanılan çelik donatının çekme gerilmesi olan 570 MPa değerine ulaştığında da sıyrılmaya devam etmiştir (8 mm çap için 4,51 mm ve 12 mm çap için 0,73 mm).

20Φ kenetlenme boyu kullanılmasına rağmen helisel sargılı yüzeye sahip donatıların çok düşük gerilmelerde sıyrılmaya başladığı da deneysel olarak elde edilen bulgularda görülmektedir. Daha önce 10Φ kenetlenme boyu için yapılan yorumlarda bahsedilen ve helisel sargılı yüzeye sahip donatılarda görülen düşük gerilmelerde sıyrılma probleminin 20Φ kenetlenme boyunda da görülmesi bu durumu ortaya çıkaran nedenin sargılanma kalitesindeki sorunlardan kaynaklı olacağını daha net bir biçimde ortaya koymaktadır.

Çizelge 6.4 ve Çizelge 6.5'teki verilere göre aramid lifli donatılarda C50 sınıfı beton ve 20Φ kenetlenme boyu için elde edilen bulgular değerlendirilecek olursa;

Çelik donatı ile kumlanmış yüzeye sahip aramid lifli donatılar kullanılan kirişlerde deneylerin sonlanma türü DK şeklinde olup sargılı yüzeye sahip donatılarda AK şeklindedir. Bu durum hem çelik hem de aramid lifli kumlanmış yüzeye sahip donatıların aderansını hiç kaybetmediğini ve kopana kadar betona tutunduğunu göstermektedir.

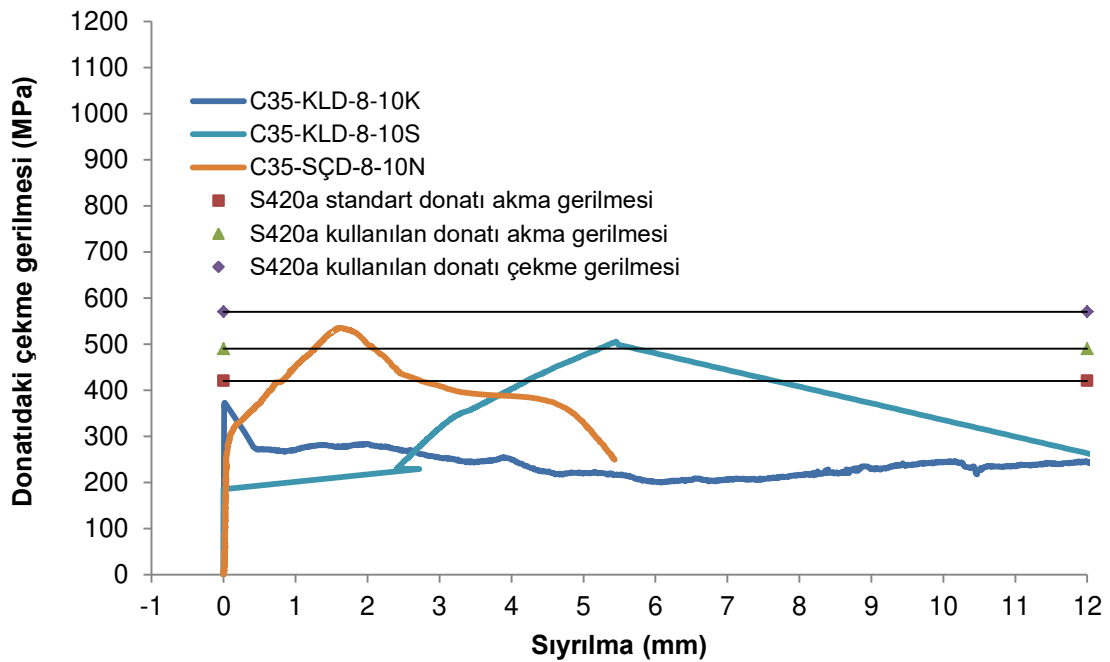
C50 sınıfı betonla üretilen kirişlerde kumlanmış yüzeye sahip aramid lifli donatılar ile çelik donatı 8 mm çapında kullanıldığında kopma öncesi 0,01 mm gibi çok küçük bir sıyrılma göstermiş, 12 mm çapında kullanıldığında ise betonlardan hiç sıyrılmamıştır. Yalnızca sargılı yüzeye sahip aramid lifli donatı 8 mm çapında kullanıldığında 515 MPa ve 12 mm kullanıldığında 600 MPa gerilmeye ulaştığında sıyrılmaya başlamış ve deney

sonlandığında ise toplam sıyrılma miktarları 8 mm çap için 3,67 mm ve 12 mm çap için ise 2,75 mm değerine ulaşmıştır.

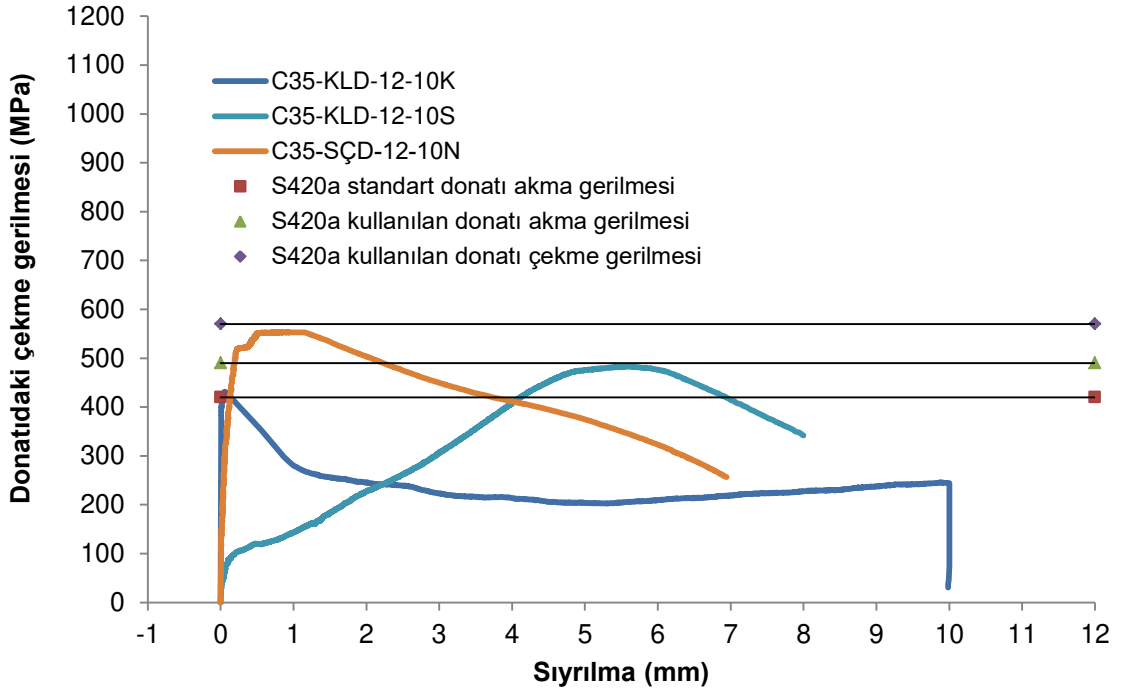
Elde edilen bulgular özetlenecek olursa; kumlanmış yüzeye sahip aramid lifli donatılar kenetlenme boyu, donatı çapı gibi değişken parametrelerin tümü için çelik donatıya kıyasla daha iyi bir performans göstermiştir. Helisel sargılı yüzeye sahip aramid lifli donatılarda ise önemli düzeyde aderans sorunları bulgulardan ortaya çıkmış ve çelik donatıdan daha düşük performans göstermiştir. Helisel sargılı donatıların en dikkat çekici olumsuz özelliği ise çok düşük gerilme değerlerinde betonlardan sıyrılmaya başlamasıdır. Beton kalitesi ise tüm donatılar için aderans üzerinde etken bir parametre olarak görünmektedir.

6.3. KARBON LİFLİ DONATININ ADERANS PERFORMANI

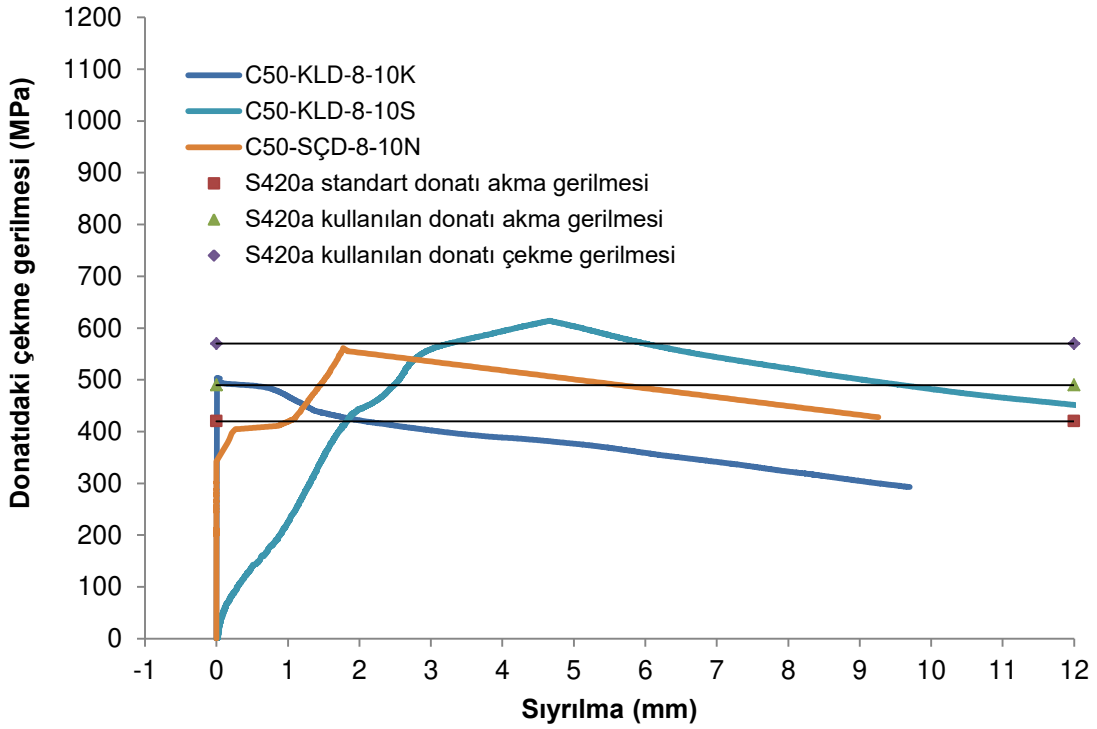
Karbon lifli donatılar için gerçekleştirilen aderans deneylerine ait gerilme-sıyrılma grafikleri 10Φ kenetlenme boyu kullanılarak üretilen kirişler için Şekil 6.13-6.14-6.15-6.16'da görülmektedir. Grafiklerde sıyrılma okuması alınmayan numunelerde donatının sıyrılmadan ulaştığı gerilme değerlerinin grafiğin düşey eksenine karşılık gelmesi ve grafik üzerinde gözlenebilmesi için grafiklerin yatay eksenleri sıfırdan düşük bir değerle başlatılmıştır.



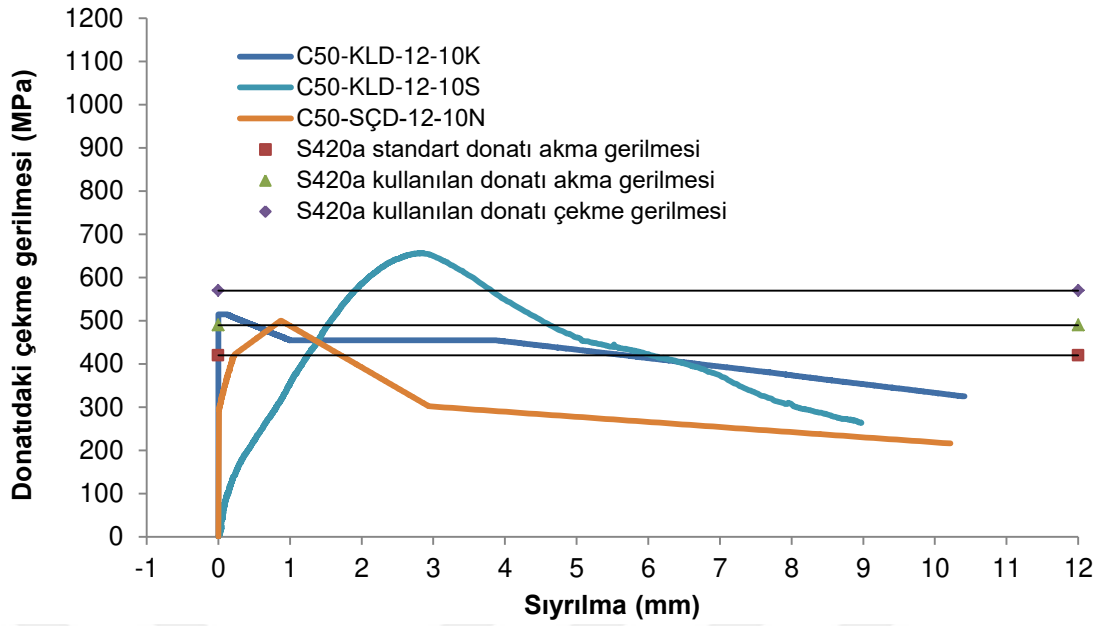
Şekil 6.13. C35 beton-8 mm donatı çapı ve 10Φ kenetlenmede karbon lifli donatı gerilme-sıyrılma ilişkisi.



Şekil 6.14. C35 beton-12 mm donatı çapı ve 10Φ kenetlenmede karbon lifli donatı gerilme-sıyrılma ilişkisi.



Şekil 6.15. C50 beton-8 mm donatı çapı ve 10Φ kenetlenmede karbon lifli donatı gerilme-sıyrılma ilişkisi.



Şekil 6.16. C50 beton-12 mm donatı çapı ve 10Φ kenetlenmede karbon lifli donatı gerilme-sıyrılma ilişkisi.

Deneylerde elde edilen ve kritik bulgular olarak görülen donatıdaki Maksimum Gerilme (MG) ve Maksimum Gerilmeye Karşılık Gelen Kuvvet (MGK), Beton-Donatı Arasındaki Maksimum Aderans Gerilmesi (T_u), Donatının Maksimum Gerilmeye Ulaştığı Andaki Sıyrılma (MG-S), İlk Sıyrılma Oluştugu Andaki Gerilme (İS-G) ve Deneyin Sonlama Türü (DST), Deneyin Donatının Kopması ile sonlanması (DK) ve Deneyin Aderans Kopması ile sonlanması (AK) ile ilgili deneysel sonuçlarda donatı çapı, donatı yüzey özelliği ve beton sınıfı değişkenlerine bağlı olarak 10Φ kenetlenme boyu kullanılarak üretilen kirişler için Çizelge 6.6 ve 20Φ kenetlenme boyu kullanılarak üretilen kirişler için ise Çizelge 6.8’de sunulmuştur.

Bu bulguların yanı sıra standart S420a çeliğinin akma gerilmesi olan 420 MPa, bu çalışmada kullanılan çeliğin akma gerilmesi olan 490 MPa, yine bu çalışmada kullanılan çeliğin çekme gerilmesi olan 490 MPa gerilme değerleri de donatılar için eşik değerler olarak kabul edilmiş ve bu gerilme değerlerinde donatıların sıyrılma miktarları da 10Φ kenetlenme boyu kullanılarak üretilen kirişler için Çizelge 6.7’de ve 20Φ kenetlenme boyu kullanılarak üretilen kirişler için ise Çizelge 6.9’da ayrıca sunulmaktadır.

Çizelge 6.6. Kenetlenme boyu 10Φ olan karbon lifli donatılar için kritik bulgular.

Numune kodu	MG (MPa)	MGK (N)	τ_u (MPa)	MG-S (mm)	İS-G (MPa)	DST
C35-KLD-8-10K	361,4451	15503,63	7,71	0,29	308,59	AK
C35-KLD-8-10S	505,43	25392,89	12,64	5,45	184,8319	AK
C35-SÇD-8-10N	535,35	26895,75	13,38	1,60	90,85	AK
C35-KLD-12-10K	431,91	48823,63	10,80	0,06	372,053	AK
C35-KLD-12-10S	483,06	54605,37	12,08	5,52	29,1732	AK
C35-SÇD-12-10N	553,09	62520,99	13,83	1,14	103,8109	AK
C50-KLD-8-10K	503,77	25309,50	12,59	0,01	503,7719	AK
C50-KLD-8-10S	614,21	30858,04	15,36	4,67	0,8525	AK
C50-SÇD-8-10N	561,26	28197,92	14,03	1,77	378,4933	AK
C50-KLD-12-10K	514,84	58197,88	12,87	0,00	514,8432	AK
C50-KLD-12-10S	656,96	74263,24	16,42	2,83	3,4099	AK
C50-SÇD-12-10N	500,40	56565,36	12,51	0,88	293,2469	AK
Kısaltması	Açıklaması		Kısaltması	Açıklaması		
MG	Maksimum Gerilme		MG-S	Donatının Maksimum Gerilmeye Ulaştığı Andaki Sıyrılma		
MGK	Maksimum Gerilmeye Karşılık Gelen Kuvvet		İS-G	İlk Sıyrılma Oluştugu Andaki Gerilme		
T_u	Beton-Donatı Arasındaki Maksimum Aderans Gerilmesi		DK	Deneyin Donatının Kopması İle Sonlanması		
DST	Deneyin Sonlanma Türü		AK	Aderans Kopması		

Çizelge 6.7. Kenetlenme boyu 10Φ olan karbon lifli donatılar için eşik değerlerde sıyrılmalar.

Numune Adı	420 MPa-S (mm)	490 MPa-S (mm)	570 MPa-S(mm)
C35-KLD-8-10K	Ulaşmadı	Ulaşmadı	Ulaşmadı
C35-KLD-8-10S	4,21	5,22	Ulaşmadı
C35-SÇD-8-10N	0,81	1,27	Ulaşmadı
C35-KLD-12-10K	0,03	Ulaşmadı	Ulaşmadı
C35-KLD-12-10S	4,11	Ulaşmadı	Ulaşmadı
C35-SÇD-12-10N	0,13	0,19	Ulaşmadı
C50-KLD-8-10K	0,00	0,00	Ulaşmadı
C50-KLD-8-10S	1,83	2,48	3,26
C50-SÇD-8-10N	1,02	1,45	Ulaşmadı
C50-KLD-12-10K	0,00	0,00	Ulaşmadı
C50-KLD-12-10S	1,25	1,53	1,91
C50-SÇD-12-10N	0,22	0,79	Ulaşmadı

Çizelge 6.6 ve Çizelge 6.7'deki verilere göre karbon lifli donatılarda C35 sınıfı beton ve

10Φ kenetlenme boyu için elde edilen bulgular değerlendirilecek olursa;

Tüm kirişlerde deneyin sonlanma türü AK şeklindedir. Bu durum hem çelik hem de karbon lifli donatıların kopmadan önce aderansını tamamen kaybettiğini göstermektedir. Elde edilen bu bulgu aderans boyunun düşük olması nedeniyle beklenen bir sonuç olup göreceli karşılaştırma yapmak adına faydalı göstergelere sahiptir.

Kumlanmış yüzeye sahip 8 mm çaplı karbon lifli donatılar 361,45 MPa gerilmeye ve 12 mm çaplı karbon lifli donatılar ise 431,91 MPa gerilmeye hiç sıyrılma olmadan ulaşmıştır. Çelik donatı ise 8 mm çapta 90,85 MPa gerilmeye ve 12 mm çapta ise 103,81 MPa gerilmeye ulaştığında ilk sıyrılma oluşmuş olup referans gerilmeler olan 420 MPa gerilmeye 8 mm çap için 0,81 mm, 12 mm çap için 0,13 ve 490 MPa gerilmeye ise 8 mm çap için 1,27 mm ve 12 mm çap için ise 0,19 mm betondan sıyrılmıştır. Kumlanmış yüzeye sahip karbon lifli donatının 10Φ kenetlenme boyu ve C35 sınıfı betonda 8 mm çap için standart çeliğin akma gerilmesi olan 420 MPa'ya ulaşmadan 361,45 MPa gerilme etkisinde aderansını tamamen kaybettiği görülmektedir. 8 mm çapa ve sargılı yüzeye sahip karbon lifli donatı ise 184,83 MPa gerilmeye sıyrılmaya başlamış fakat 505,43 MPa gerilmeye kadar aderansını tamamen kaybetmeden ulaşabilmiştir.

Kumlanmış yüzeye sahip karbon lifli donatının aderansını erken kaybetmesi nedeniyle ulaştığı aderans gerilmesi de diğer donatılara göre çok düşük değer almıştır.

Helisel sargılı yüzeye sahip karbon lifli donatı ulaştığı maksimum gerilme değerlerinde 8 mm çap için 5,45 mm ve 12 mm çap için ise 5,52 mm betondan sıyrılarak çeliğe kıyasla kötü bir aderans performansı göstermiştir.

Ayrıca helisel sargılı yüzeye sahip 8 mm ve 12 mm çaplı karbon lifli donatılar standart donatı akma gerilmesi olan 420 MPa gerilmeye ulaştığında sırasıyla 4,21 mm ile 4,11 mm sıyrılma göstermiştir.

Yine helisel sargılı yüzeye sahip karbon lifli donatı bu çalışmada kullanılan çelik donatı akma gerilmesi olan 490 MPa gerilmeye ulaştığında 8 mm çap için 5,22 mm sıyrılma göstermiş olup 12 mm çap için ise bu gerilme değerine ulaşmadan aderansını tamamen kaybetmiştir.

Bu sıyrılma değerleri kullanılan çelik donatıda aynı gerilme değerleri için elde edilen 0,81 mm ile 0,13 mm ve 1,27 mm ile 0,19 mm sıyrılma miktarlarından daha yüksektir. C35 sınıfı beton ve 10Φ kenetlenme boyunda hiçbir donatı bu çalışmada kullanılan

elik donatının çekme gerilmesi değeri olan 570 MPa değerine ulaşamamış ve aderansını tamamen kaybederek AK şeklinde deneyler sonlamıştır.

Çizelge 6.6 ve izelge 6.7’deki verilere göre karbon lifli donatılarda C50 sınıfı beton ve 10Φ kenetlenme boyu için elde edilen bulgular değerlendirilecek olursa;

Tüm kirişlerde deneyin sonlanma türü AK şeklindedir. Bu durum hem elik hem de karbon lifli donatıların kopmadan önce aderansını tamamen kaybettiğini göstermektedir. Elde edilen bu bulgu aderans boyunun düşük olması nedeniyle beklenen bir sonuç olup göreceli karşılaştırma yapmak adına faydalı göstergelere sahiptir.

C50 sınıfı betonla üretilen kirişlerde kumlanmış yüzeye sahip 8 mm çaplı karbon lifli donatılar 503,77 MPa gerilmeye ve 12 mm çaplı karbon donatılar ise 514,84 MPa gerilmeye hiç sıyrılma olmadan ulaşmıştır. elik donatı ise 8 mm çapta 378,49 MPa gerilmeye ve 12 mm çapta ise 293,25 MPa gerilmeye ulaştığında ilk sıyrılma oluşmuş olup 420 MPa gerilmede 8 mm çap için 1,02 mm, 12 mm çap için 0,22 mm ve 490 MPa gerilmede ise 8 mm çap için 1,45 mm ve 12 mm çap için ise 0,79 mm betondan sıyrılmıştır.

Kumlanmış yüzeye sahip karbon lifli donatının hem 8 mm hem de 12mm çap, 10Φ kenetlenme boyu için C50 sınıfı betonda standart elik ve bu çalışmada kullanılan çeliğe ait akma gerilmelerinden daha yüksek değerlere hiç sıyrılma olmadan çıkabildiği görülmektedir. Beton kalitesinin artması karbon lifli donatının aderansını arttırmıştır.

Donatıların ulaştığı maksimum gerilme değerleri ile maksimum aderans gerilmeleri arasında helisel sargılı yüzeye sahip karbon lifli donatılar en yüksek değerleri almış olsa da önemli düzeyde sıyrılmalar (ulaştığı maksimum gerilme değerlerinde 8 mm çap için 4,67 mm ve 12 mm çap için ise 2,83 mm) oluşması nedeniyle donatının ulaştığı yüksek gerilme değerleri pek anlamlı görünmemektedir.

Bu bulgularda helisel sargılı yüzeye sahip karbon lifli donatıların kumlanmış yüzeye sahip karbon lifli donatılardan daha kötü bir aderans performansına sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

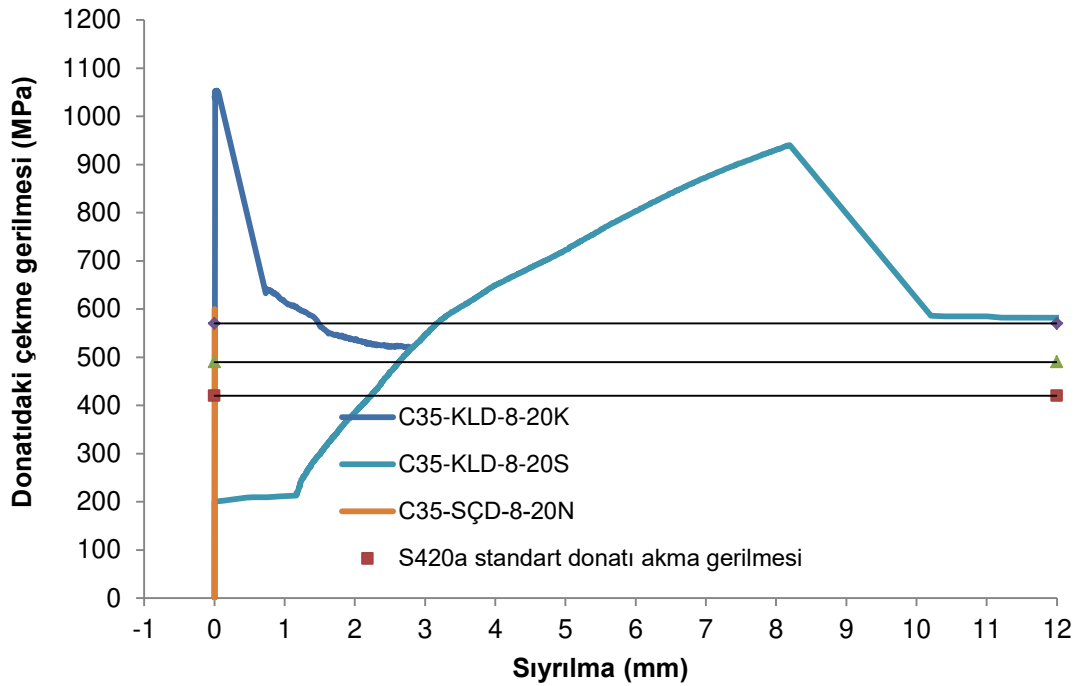
Ayrıca sargılı yüzeye sahip 8 mm ve 12 mm çaplı karbon lifli donatılar standart donatı akma gerilmesi olan 420 MPa gerilmeye ulaştığında sırasıyla 1,83 mm ile 1,25 mm betondan sıyrılmıştır. Bu çalışmada kullanılan elik donatı akma gerilmesi olan 490 MPa gerilmeye ulaştığında ise 8 mm çaplı sargılı yüzeye sahip karbon lifli donatı 2,48 mm ve 12 mm çaplı sargılı yüzeye sahip karbon lifli donatı ise 1,53 mm sıyrılmıştır. Bu

sıyrılma değerleri kullanılan çelik donatıda aynı gerilmeler için elde edilen sıyrılmalardan daha yüksektir. C50 sınıfı beton ve 10Φ kenetlenme boyunda yalnızca sargılı yüzeye sahip karbon lifli donatılar çalışmada kullanılan donatının çekme gerilmesi değeri olan 570 MPa değerine ulaşmış ve 8 mm çap için 3,26, 12 mm çap için de 1,91 mm betondan sıyrılmıştır.

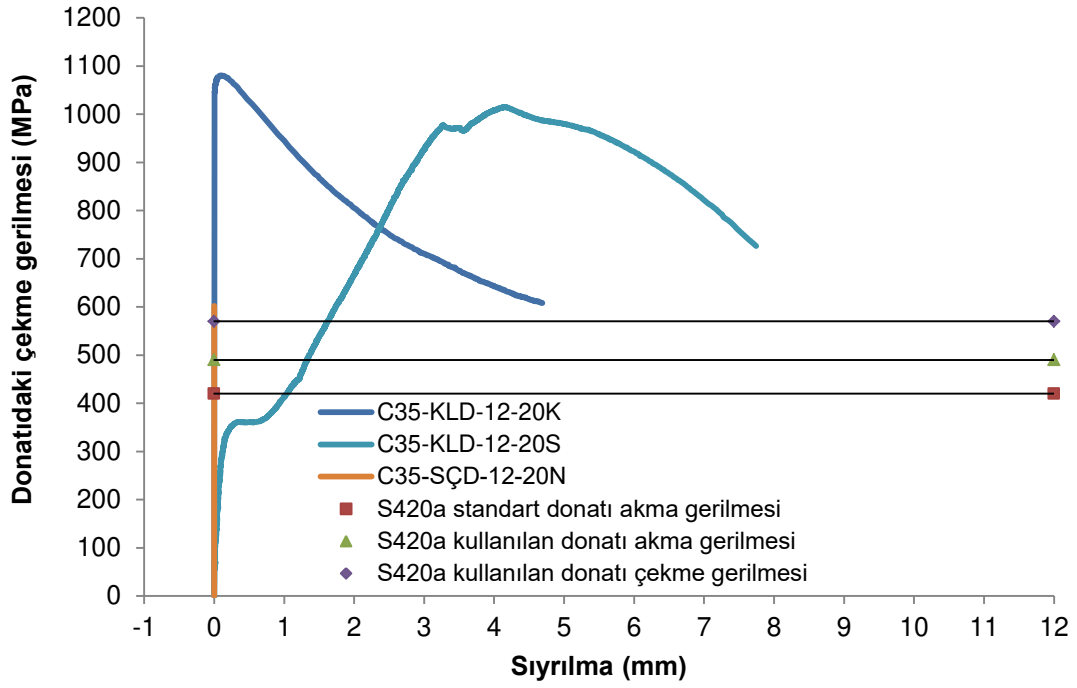
Çizelge 6.7’de görülen ilk sıyrılmanın başladığı andaki gerilme değerleri incelendiğinde ise helisel sargılı yüzeye sahip karbon lifli donatıların 8 mm çapta 0,85 ve 12 mm çapta ise 3,41 MPa değerine kadar inen çok düşük gerilme değerlerinde betonlardan sıyrılmaya başladığı görülmektedir.

Bunun nedeninin ise hem bazalt lifli hemde aramid lifli donatılarda da bahsedildiği gibi sargılanma kalitesinden kaynaklandığı görülmektedir.

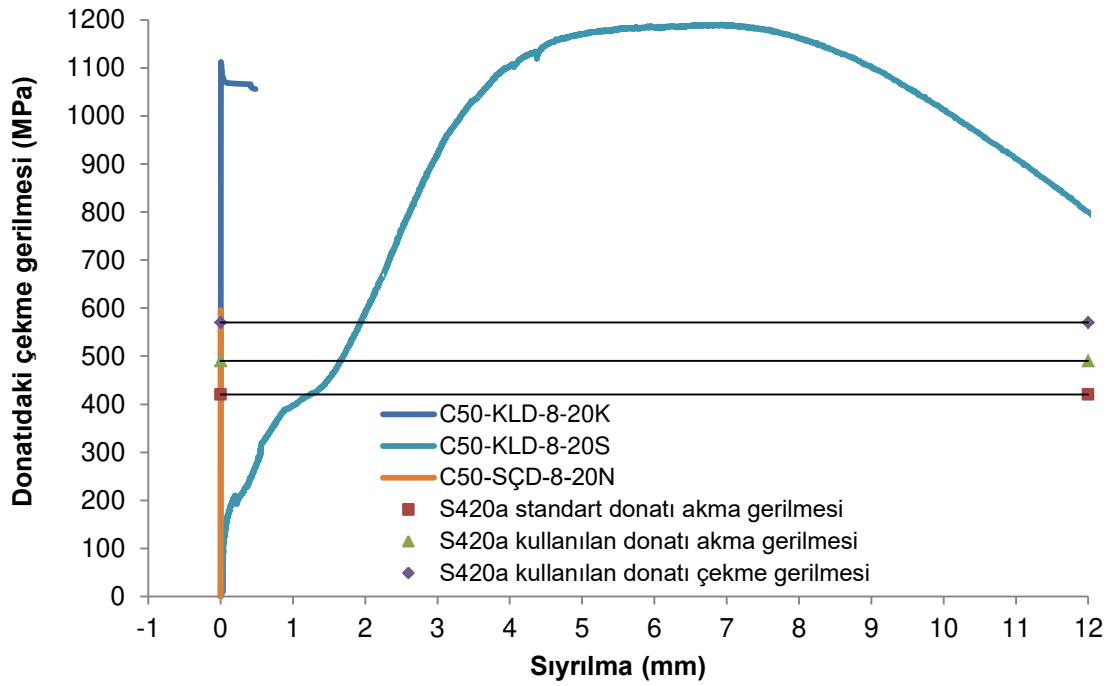
Karbon lifli donatılar için gerçekleştirilen aderans deneylerine ait gerilme-sıyrılma grafikleri 20Φ kenetlenme boyu kullanılarak üretilen kirişler için Şekil 6.17-6.18-6.19-6.20’de görülmektedir.



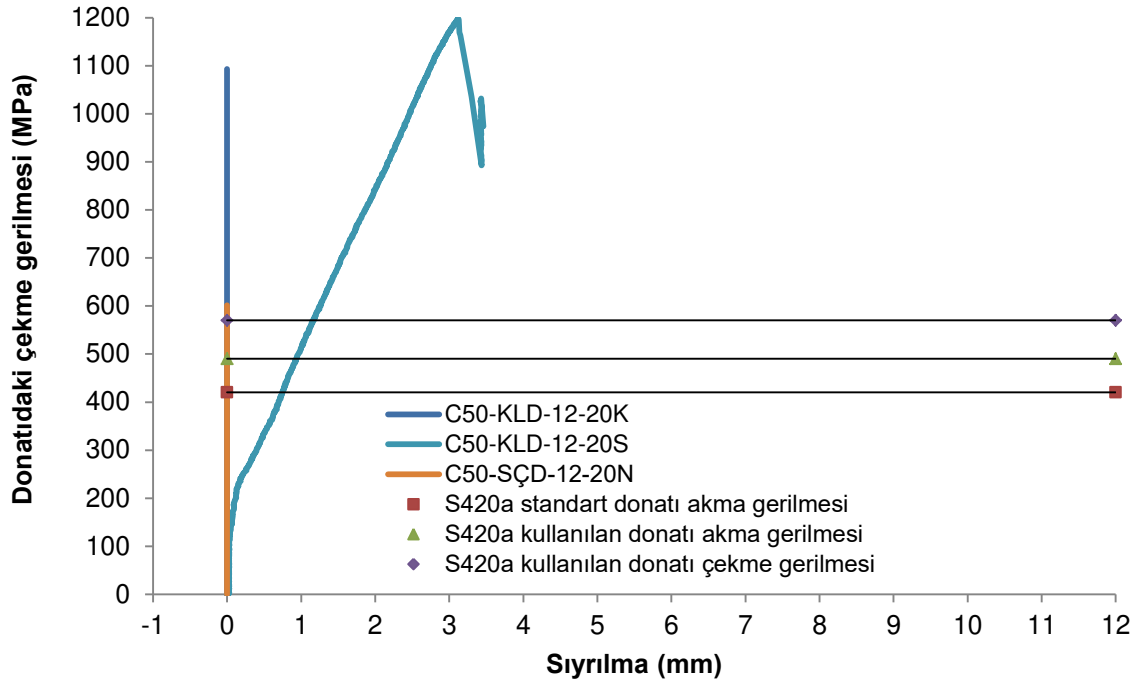
Şekil 6.17. C35 beton-8 mm donatı çapı ve 20Φ kenetlenmede karbon lifli donatı gerilme-sıyrılma ilişkisi.



Şekil 6.18. C35 beton-12 mm donatı çapı ve 20Φ kenetlenmede karbon lifli donatı gerilme-sıyrılma ilişkisi.



Şekil 6.19. C50 beton-8 mm donatı çapı ve 20Φ kenetlenmede karbon lifli donatı gerilme-sıyrılma ilişkisi.



Şekil 6.20. C50 beton-12 mm donatı çapı ve 20Φ kenetlenmede karbon lifli donatı gerilme-sıyrılma ilişkisi.

Çizelge 6.8. Kenetlenme boyu 20Φ olan karbon lifli donatılar için kritik bulgular.

Numune kodu	MG (MPa)	MGK (N)	τ_u (MPa)	MG-S (mm)	İS-G (MPa)	DST
C35-KLD-8-20K	1053,64	52935,00	13,17	0,02	1036,594	AK
C35-KLD-8-20S	940,61	47256,28	11,76	8,20	203,0008	AK
C35-SÇD-8-20N	600,15	30151,54	7,50	0,00	-	AK
C35-KLD-12-20K	1080,54	122144,63	13,51	0,09	1043,036	AK
C35-KLD-12-20S	1015,00	114735,50	12,69	4,15	53,7999	AK
C35-SÇD-12-20N	602,08	68059,26	7,53	0,00	-	AK
C50-KLD-8-20K	1112,99	55916,56	13,91	0,01	1112,989	DK
C50-KLD-8-20S	1190,04	59787,50	14,88	6,69	5,1148	AK
C50-SÇD-8-20N	596,00	29943,18	7,45	0,01	596,0027	DK
C50-KLD-12-20K	1093,42	123600,75	13,67	0,00	-	DK
C50-KLD-12-20S	1198,76	135507,50	14,98	3,12	0,7577	DK
C50-SÇD-12-20N	601,67	68012,88	7,52	0,00	-	DK
Kısaltması	Açıklaması		Kısaltması	Açıklaması		
MG	Maksimum Gerilme		MG-S	Donatının Maksimum Gerilmeye Ulaştığı Andaki Sıyrılma		
MGK	Maksimum Gerilmeye Karşılık Gelen Kuvvet		İS-G	İlk Sıyrılma Oluştugu Andaki Gerilme		
T_u	Beton-Donatı Arasındaki Maksimum Aderans Gerilmesi		DK	Deneyin Donatının Kopması İle Sonlanması		
DST	Deneyin Sonlanma Türü		AK	Aderans Kopması		

Çizelge 6.9. Kenetlenme boyu 20Φ olan karbon lifli donatılar için eşik değerlerde sıyrılmalar.

Numune kodu	420 MPa-S (mm)	490 MPa-S (mm)	570 MPa-S (mm)
C35-KLD-8-20K	0,00	0,00	0,00
C35-KLD-8-20S	2,23	2,63	3,17
C35-SÇD-8-20N	0,00	0,00	0,00
C35-KLD-12-20K	0,00	0,00	0,00
C35-KLD-12-20S	1,04	1,33	1,62
C35-SÇD-12-20N	0,00	0,00	0,00
C50-KLD-8-20K	0,00	0,00	0,00
C50-KLD-8-20S	1,24	1,67	1,93
C50-SÇD-8-20N	0,00	0,00	0,00
C50-KLD-12-20K	0,00	0,00	0,00
C50-KLD-12-20S	0,75	0,88	1,23
C50-SÇD-12-20N	0,00	0,00	0,00

Çizelge 6.8 ve Çizelge 6.9'daki verilere göre karbon lifli donatılarda C35 sınıfı beton ve 20Φ kenetlenme boyu için elde edilen bulgular değerlendirilecek olursa;

Tüm donatılarda deneyler AK şeklinde sonlanmıştır. Kumlanmış yüzeye sahip 8 mm çaplı karbon lifli donatılar 1053,64 MPa gerilmeye ve 12 mm çaplı donatılar ise 1080,54 MPa gerilmeye hiç sıyrılma olmadan ulaşmıştır. Çelik donatıda ise hem 8 mm çapta hem de 12 mm çapta hiç sıyrılma oluşmamıştır.

Kumlanmış yüzeye sahip karbon lifli donatının 20Φ kenetlenme boyu için C35 sınıfı betonda standart çelik ve bu çalışmada kullanılan çeliğe ait akma gerilmelerinden çok daha yüksek değerlere hiç sıyrılma olmadan çıkabilmesi çok önemli bir sonuç olarak görülmektedir.

Ulaşılan maksimum aderans gerilmelerinde ise hem 8 mm hem de 12 mm çapa sahip kumlanmış yüzeye sahip karbon lifli donatılar sırasıyla 13,17 MPa ve 13,51 MPa ile diğer donatılardan daha yüksek değerlere ulaşmıştır. Sargılı yüzeye sahip karbon lifli donatılar kumlanmış yüzeylere yakın değerler olsa da önemli düzeyde sıyrılmalar ortaya çıkması çok anlamlı ve kabul edilebilir olmamıştır. Çelik donatıda ise donatının ulaşabildiği maksimum çekme gerilmesi karbon lifli donatıya kıyasla düşük olduğu için aderans gerilmeleri de çelikte daha düşük değerler almıştır.

Burada özellikle kumlanmış yüzeye sahip karbon lifli donatıların betondan hiç sıyrılmadan çok yüksek aderans gerilmelerine ulaşması önemli bir bulgudur.

Sargılı yüzeye sahip karbon lifli donatılar ulaştığı maksimum gerilme değerlerinde 8 mm çap için 8,20 mm ve 12 mm çap için ise 4,15 mm betondan sıyrılmıştır. Bu sıyrılma değerleri çok yüksek olup donatının aderansını tamamen kaybetmeden çıkabildiği yüksek gerilme değerlerini anlamsız hale getirmektedir. Bu bulgulara göre sargılı yüzeye sahip karbon lifli donatıların kumlanmış yüzeye sahip karbon lifli donatılarla kıyaslandığında daha düşük bir aderans performansı ortaya koyduğu söylenebilir.

Ayrıca sargılı yüzeye sahip 8 mm ve 12 mm çaplı karbon lifli donatılar standart donatı akma gerilmesi olan 420 MPa gerilmeye ulaştığında sırasıyla 2,23 mm ile 1,04 mm ve bu çalışmada kullanılan çelik donatı akma gerilmesi olan 490 MPa gerilmeye ulaştığında sırasıyla 2,63 mm ve 1,33 mm sıyrılma göstermiştir. Yine helisel sargılı karbon lifli donatılar bu çalışmada kullanılan çelik donatının çekme gerilmesi olan 570 MPa değerine ulaştığında da her iki çap için de sıyrılmaya devam etmiştir.

Referans donatı olan çelik donatıda 20Φ kenetlenme boyunda hiç sıyrılma olmadığı için helisel sargılı yüzeye sahip karbon lifli donatılarda elde edilen bu sıyrılma değerleri çok olumsuz bir izlenim ortaya koymaktadır.

20Φ kenetlenme boyu kullanılmasına rağmen helisel sargılı yüzeye sahip karbon donatıların aramid ve bazalt lifli donatılarda aynı yüzey formu için elde edilen bulgularda olduğu gibi çok düşük gerilmelerde sıyrılmaya başladığı da deneysel sonuçlarda görülmektedir. Sargılanma kalitesinin buna neden olduğu düşünülmektedir.

Çizelge 6.8 ve Çizelge 6.9'daki verilere göre karbon lifli donatılarda C50 sınıfı beton ve 20Φ kenetlenme boyu için elde edilen bulgular değerlendirilecek olursa;

8 mm çap ve sargılı yüzeye sahip karbon lifli donatılar dışında tüm donatılar için deneylerin sonlanma türü DK şeklindedir. C50 sınıfı beton ve 20Φ kenetlenme boyu ile üretilen kirişlerde kumlanmış yüzeye sahip karbon lifli donatı ve çelik donatı 12 mm çapında kullanıldığında kopana kadar hiç sıyrılmamıştır. 8 mm çapında kullanıldığında ise çelik donatı yine kopana kadar hiç sıyrılmamış fakat karbon lifli kumlanmış yüzeye sahip donatı kopmadan önce 0,01 mm kadar bir sıyrılma göstermiştir. Sargılı yüzeye sahip karbon lifli donatı ise 8 mm çapında kullanıldığında 5,12 MPa ve 12 mm kullanıldığında 0,76 MPa gerilmeye ulaştığında sıyrılmaya başlamıştır. Deney sonlandığında ise toplam sıyrılma miktarları 8 mm çap için 6,69 mm ve 12 mm çap için ise 3,12 mm değerine ulaşmıştır. Bu sıyrılma değerlerinden sonra 8 mm çap için gerilme artışı sonlanıp donatıdaki gerilme hızla düşerek aderans tamamen ortadan kalkmıştır. 12 mm çaplı donatı ise kopmuş ve deney sonlanmıştır.

Elde edilen bulgular özetlenecek olursa; kumlanmış yüzeye sahip karbon lifli donatıların genel olarak çelik donatıya kıyasla daha iyi bir performans gösterdiği söylenebilir. Helisel sargılı yüzeye sahip karbon lifli donatılarda ise önemli düzeyde aderans sorunları bulgulardan ortaya çıkmış ve çelik donatıdan daha düşük performans göstermiştir. Helisel sargılı karbon lifli donatıların en dikkat çekici olumsuz özelliği ise çok düşük gerilme değerlerinde betonlardan sıyrılmaya başlamasıdır.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

7.1. SONUÇLAR

Sonuçlar kompozit donatıların çekme testi sonuçları açısından değerlendirilecek olursa;

- Kumlanmış yüzeye sahip aramid lifli donatının çekme dayanımı standart çeliğin akma dayanımından %165 ve bu çalışmada kullanılan çeliğin akma dayanımından %127 daha yüksek, sargılı yüzeye sahip aramid lifli donatının çekme dayanımı standart çeliğin akma dayanımından %189 ve bu çalışmada kullanılan çeliğin akma dayanımından ise %148 daha yüksek bir değere ulaşmıştır.
- Kumlanmış yüzeye sahip karbon lifli donatının çekme dayanımı standart çeliğin akma dayanımından %200 ve bu çalışmada kullanılan çeliğin akma dayanımından %157 daha yüksek, sargılı yüzeye sahip karbon lifli donatının çekme dayanımı standart çeliğin akma dayanımından %218 ve bu çalışmada kullanılan çeliğin akma dayanımından ise %171 daha yüksek bir değere ulaşmıştır.
- Kompozit donatıların çekme dayanımı değerleri kendi arasında değerlendirildiğinde karbon lifli donatıların aramid lifli donatılara göre %15,3 daha yüksek değerlere ulaştığı görülmüştür. Ayrıca helisel sargılı yüzeye sahip donatıların genel olarak kumlanmış yüzeye sahip donatılardan %10,5 daha yüksek değerler aldığı da görülmektedir.
- Elastisite modülü sonuçlarında ise çekme dayanımı sonuçlarına benzer şekilde karbon lifli donatıların aramid lifli donatılara göre daha yüksek değerlere ulaştığı görülmektedir.

Sonuçlar donatıların aderans performansı açısından değerlendirilecek olursa,

Aramid lifli donatılarda;

- Kumlanmış yüzeye sahip aramid lifli donatılar kenetlenme boyu, donatı çapı gibi değişken parametrelerin tümü için çelik donatıya kıyasla daha iyi bir

performans göstermiştir. Helisel sargılı yüzeye sahip aramid lifli donatılarda ise önemli düzeyde aderans sorunları belirlenmiş ve aderans performansları çelik donatıdan daha düşük bulunmuştur. Helisel sargılı donatılar çok düşük gerilme değerlerinde betonlardan sıyrılmaya başlamıştır.

- Aramid lifli kompozit donatıların çeliğe göre kıyaslanmasında, C35 ve C50 beton kalitesinde, 8Φ ve 12Φ donatı çapı ile Φ10 kenetlenme boyunda gerçekleştirilen tüm deney sonuçları AK ile sonuçlanmıştır.
- Aramid lifli kompozit donatıların çeliğe göre kıyaslanmasında, C35 beton kalitesinde, 8Φ donatı çapı ile Φ20 kenetlenme boyunda gerçekleştirilen deneylerden nervürlü çelikte deney DK ile sonuçlanmıştır. Diğer tüm deney sonuçları AK ile sonuçlanmıştır.
- Aramid lifli kompozit donatıların çeliğe göre kıyaslanmasında, C35 beton kalitesinde, 12Φ donatı çapı ile Φ20 kenetlenme boyunda gerçekleştirilen deneylerden nervürlü çelikte deney DK ile sonuçlanmıştır. Diğer tüm deney sonuçları AK ile sonuçlanmıştır.
- Aramid lifli kompozit donatıların çeliğe göre kıyaslanmasında, C50 beton kalitesinde, 8Φ ve 12Φ donatı çapı ile Φ20 kenetlenme boyunda gerçekleştirilen deneylerden, 8Φ ve 12Φ donatı çapında sargılı yüzeye aramid lifli kompozit donatılar AK ile sonuçlanmıştır. Diğer tüm numunelerde deney DK ile sonuçlanmıştır.
- Karbon lifli kompozit donatıların çeliğe göre kıyaslanmasında, C35/C50 beton kalitesinde, 8Φ ve 12Φ donatı çapı ile Φ10 kenetlenme boyunda gerçekleştirilen tüm deney sonuçları AK ile sonuçlanmıştır.
- Karbon lifli kompozit donatıların çeliğe göre kıyaslanmasında, C35 beton kalitesinde, 8Φ ve 12Φ donatı çapı ile Φ20 kenetlenme boyunda gerçekleştirilen tüm deney sonuçları AK ile sonuçlanmıştır.
- Karbon lifli kompozit donatıların çeliğe göre kıyaslanmasında, C50 beton kalitesinde, 8Φ ve 12Φ donatı çapı ile Φ20 kenetlenme boyunda gerçekleştirilen deneylerden, 8Φ donatı çapında sargılı yüzeye sahip karbon lifli kompozit donatı AK ile sonuçlanmıştır. Diğer tüm numunelerde deneyler DK ile sonuçlanmıştır.
- Beton kalitesi artıkça aderans performansının arttığı ve tüm donatılar için aderans üzerinde etken bir parametre olduğu gözlemlenmiştir.

Karbon lifli donatılarda;

- Kumlanmış yüzeye sahip karbon lifli donatılar genel olarak çelik donatıya kıyasla daha iyi bir performans göstermiştir. Aramid lifli donatılarda olduğu gibi helisel sargılı yüzeye sahip karbon lifli donatılarda da çelik donatıya kıyasla çok kötü bir aderanslı performansı belirlenmiştir. Helisel sargılı karbon lifli donatılar da çok düşük gerilme değerlerinde betonlardan sıyrılmaya başlamıştır.
- Beton kalitesi artıkça aderans performansının arttığı ve tüm donatılar için aderans üzerinde etken bir parametre olduğu gözlemlenmiştir.

7.2. ÖNERİLER

- Karbon ve aramid lifli donatılarda sargılı yüzeye sahip donatıların sargılama kalitesinin artırılması ve aderans problemlerinin çözümü üzerine çalışmalar yapılmalıdır.
- Karbon ve aramid lifli donatıların yüksek maliyetlere sahip olması nedeniyle maliyet analizi çok önemli bir parametre olarak karışıma çıkmakta olup bu donatıların kullanılması planlanan projelerde maliyet analizi çok önemsenmelidir.
- Lifli donatıların çekme testlerinde donatıların gevrek kopması dikkat çekici olmuştur. Donatıların gevrek yapısı mühendislik projelerinde kullanımı açısından son derece dikkat edilmesi gereken bir konudur.

8. KAYNAKLAR

- [1] U. Ersoy ve G. Özcebe, *Betonarme: Temel İlkeler TS-500-2000 ve Türk Deprem Yönetmeliğine (1998) Göre Hesap*, V. baskı, İstanbul, Türkiye: Evrim Yayınevi, 2001.
- [2] B. Barandan ve S. Aydın, "Betonun dürabilitesi (dayanıklılık, kalıcılık)," *Hazır Beton*, p. 56, 2013.
- [3] Ö. Aydın, "Beton yapılarda donatı korozyonunun önlenmesine yönelik tedbirlerin araştırılması," Doktora tezi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2012.
- [4] H. Yazıcı. (2018, 25 Mayıs). *Donatı Korozyonu*. [Online]. Erişim: <http://kisi.deu.edu.tr/halit.yazici/SUNUMLAR/KOROZYON.pdf>.
- [5] H. Durgun, "Diatomit ve zeolit ikameli beton içerisindeki donatı korozyonunun elektrokimyasal empedans spektroskopisi (EIS) yöntemi ile incelenmesi," Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği Bölümü, Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye, 2015.
- [6] H.Yiğiter, "Betonarme donatısında klorid korozyonu gelişiminin elektrokimyasal yöntemlerle belirlenmesi," Doktora tezi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 2008.
- [7] M. E.Arslan, "Eğilmede taşıyıcı hafif beton-donatı aderansının geleneksel beton-donatı aderansı ile karşılaştırmalı olarak incelenmesi," Yüksek lisans tezi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye, 2007.
- [8] H. Binici, İ. H. Çağatay, S. Yılmaz ve H. Kaplan, "Botaş petrol platformunda meydana gelen yapısal hasarlar," *KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi*, c. 1, s. 10, ss. 50-55, 2007.
- [9] T. Uygunoğlu, İ. Güneş ve İ. B. Topçu, "İnşaat çeliğinde biyolojik korozyon," *Yapı Dünyası Dergisi*, c. 1, s. 27, 2014.
- [10] K. Yıldırım ve M. Sümer, "Denize yakın ortamlarda beton korozyonu," *Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi*, Antalya, 2005.
- [11] B. Robinson, "Concrete "Paint" Arrests cofferdam corrosion at submarine pier," *Structure Magazine*, pp. 26-27, 2014.
- [12] Q. Hao, Y. Wang, Z. He and J. Ou, "Bond strength of glass fiber reinforced polymer ribbed rebars in normal strength concrete," *Construction and Building*

- Materials*, vol. 23, no. 2, pp. 865-871, 2009.
- [13] H. Y. Aruntaş, A. Beycioğlu ve S. Subaşı, “Yeni nesil lif takviyeli polimer betonarme donatı çubukları,” *7th International Advanced Technologies Symposium*, İstanbul, Türkiye, 2013.
- [14] D. Gremel. (2018, 25 May). *Core samples from TxDOT Sierrita de la Cruz creek bridge built in 2000* [Online]. Available: <http://fiberglass-rebar.blogspot.com.tr/2015/06/core-samples-from-txdot-sierrita-de-la.html>.
- [15] Y. Ekiz, “Yapı elemanlarında çelik donatı yerine cam elyaf takviyeli plastik (CTP) kullanılması,” Yüksek lisans tezi, Yapı Eğitimi Bölümü, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, 2013.
- [16] M. Seis, “Mafsallı giriş yöntemiyle bazalt lifli kompozit donatının aderans performansının araştırılması,” Yüksek lisans tezi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye, 2016.
- [17] Polikom. (2018, 31 Mayıs). *Donatı Elemanları - FRP REBAR*. [Online]. Available: <http://polikom.com.tr/teknolojiler/donati-elemanlari-frp-repar>.
- [18] *Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with FRP Bars*, American Concrete Institute ACI 440.1 R-06, 2006.
- [19] A. FRP. (2018, 5 June). *Dry Dock facia rehabilitation - Pearl Harbor Hawaii*. [Online]. Available: http://aslanfrp.com/Aslan100/Aslan100_Waterfront-Marine.html.
- [20] P. Malnati. (2018, 29 July). *A hidden revolution: FRP rebar gains strength*. [Online]. Available: <https://www.compositesworld.com/articles/a-hidden-revolution-frp-rebar-gains-strength>.
- [21] A. Frp. (2018, 29 July). *Where has Aslan 100 Fiberglass Rebar been used?*. [Online]. Available: <http://aslanfrp.com/fiberglassrebar.html#item16-1>.
- [22] Railway-Technology. (2018, 29 July). *Alpine completes first subway tunnel for Singapore Downtown Line*. [Online]. Available: <https://www.railway-technology.com/uncategorised/newsalpine-completes-first-subway-tunnel-singapore-downtown-line/>.
- [23] M. Sarıbüyük, “Hafif yapı tasarımında pultrüzyon metodu ile üretilen cam elyaf takviyeli plastiklerin kullanılması,” *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 22, s. 1, ss. 199-205, 2007.
- [24] Fibretec. (2018, 5 May). *The pultrusion process*. [Online]. Available: <http://www.fibertec.com/the-fibertec-advantage/the-pultrusion-process/>.
- [25] A. Beycioğlu, “Kendiliğinden yerleşen betonlarda beton ile donatı aderansı ilişkisinin araştırılması,” Doktora tezi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Gazi

- Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2013.
- [26] B. Kurt, "Betonarme Donatıların aderans ekinde boyut etkisi," Yüksek lisans tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2006.
- [27] B. Felekoğlu, S. Turkel ve B. Baradan, "Kendiliğinden yerleşen beton: Bölüm 1 genel tanıtım, kullanım alanları," *TMMOB Haber Bülteni*, İzmir, Türkiye: İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, 2004, böl. 19, ss. 20-24.
- [28] U. Ersoy, *Betonarme - Temel İlkeler ve Taşıma Gücü Hesabı 2. baskı*, İstanbul, Türkiye: Evrim Basın Yayın Dağıtım, 2000.
- [29] A. Benli, "Kendiliğinden sıkışan betondaki donatı aderansının deneysel ve sayısal olarak incelenmesi," Doktora tezi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye, 2007.
- [30] A. Benli, "Kendiliğinden sıkışan betondaki donatı aderansının deneysel ve sayısal olarak incelenmesi," Doktora tezi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye, 2007.
- [31] H. A. Abdalla, "Evaluation of deflection in concrete members reinforced with fibre reinforced polymer (FRP) bars," *Composite Structures*, vol. 56, no. 1, pp. 63-71, 2002.
- [32] N. Galati, A. Nanni, L. R. Dharani, F. Focacci and M. A. Aiello, "Thermal effects on bond between FRP rebars and concrete," *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, vol. 37, no. 8, pp. 1223-1230, 2006.
- [33] F. Ceroni, E. Cosenza, M. Gaetano and M. Pecce, "Durability issues of FRP rebars in reinforced concrete members," *Cement and Concrete Composites*, vol. 28, no. 10, pp. 857-868, 2006.
- [34] M. K. Sharbatdar, M. Saatcioglu and B. Benmokrane, "Seismic flexural behavior of concrete connections reinforced with CFRP bars and grids," *Composite Structures*, vol. 93, no. 10, pp. 2439-2449, 2011.
- [35] G. J. Ha, C. G. Cho, H. W. Kang and L. Feo, "Seismic improvement of RC beam-column joints using hexagonal CFRP bars combined with CFRP sheets," *Composite Structures*, vol. 95, pp. 464-470, 2013.
- [36] A. Borosnyói, "Influence of service temperature and strain rate on the bond performance of CFRP reinforcement in concrete," *Composite Structures*, vol. 127, pp. 18-27, 2015.
- [37] H. Wang and A. Belarbi, "Ductility characteristics of fiber-reinforced-concrete beams reinforced with FRP rebars," *Construction and Building Materials*, vol. 25, no. 5, pp. 2391-2401, 2011.

- [38] M. Robert and B. Benmokrane, "Combined effects of saline solution and moist concrete on long-term durability of GFRP reinforcing bars," *Construction and Building Materials*, vol 38, pp. 274-284, 2013.
- [39] W. K. K. G. Kalupahana, T. J. Ibell and A. P. Darby, "Bond characteristics of near surface mounted CFRP bars," *Construction and Building Materials*, vol 43, pp. 58-68, 2013.
- [40] E. M. Golafshani, A. Rahai and M. H. Sebt, "Bond behavior of steel and GFRP bars in self-compacting concrete230-240," *Construction and Building Materials*, vol 61, pp. 230-240, 2014.
- [41] W. Ge, J. Zhang, D. Cao and Y. Tu, "Flexural behaviors of hybrid concrete beams reinforced with BFRP bars and steel bars," *Construction and Building Materials*, vol 87, pp. 28-37, 2015.
- [42] F. Elgabbas, E. A. Ahmed and B. Benmokrane, "Physical and mechanical characteristics of new basalt-FRP bars for reinforcing concrete structures," *Construction and Building Materials*, pp. 623-635, 2015.
- [43] A. Altalmas, A. El Refai and F. Abed, "Bond degradation of basalt fiber-reinforced polymer (BFRP) bars exposed to accelerated aging conditions," *Construction and Building Materials*, pp. 162-171, 2015.
- [44] M. W. Goldston, A. Remennikov and M. N. Sheikh, "Flexural behaviour of GFRP reinforced high strength and ultra high strength concrete beams," *Construction and Building Materials* , pp. 606-617, 2017.
- [45] H. Ashrafi, M. Bazli and A. V. Oskoue, "Enhancement of bond characteristics of ribbed-surface GFRP bars with concrete by using carbon fiber mat anchorage," *Construction and Building Materials*, pp. 507-519, 2017.
- [46] H. A. Hasan, M. N. Sheikh and M. N. S. Hadi, "Performance evaluation of high strength concrete and steel fibre high strength concrete columns reinforced with GFRP bars and helices," *Construction and Building Materials*, pp. 297-310, 2017.
- [47] Z. Wang, X.-L. Zhao, G. Xian, G. Wu, R. K. Singh Raman, S. Al-Saadi and A. Haque, "Long-term durability of basalt- and glass-fibre reinforced polymer (BFRP/GFRP) bars in seawater and sea sand concrete environment," *Construction and Building*, pp. 2391-2401, 2011.
- [48] C. Li, D. Gao, Y. Wang and J. Tang, "Effect of high temperature on the bond performance between basalt fibre reinforced polymer (BFRP) bars and concrete," *Construction and Building Materials*, pp. 44-51, 2017.
- [49] R. J. A. Hamad, M. A. Megat Johari and R. H. Haddad, "Mechanical properties and bond characteristics of different fiber reinforced polymer rebars at elevated temperatures," *Construction and Building Materials*, pp. 521-535, 2017.

- [50] B. Tighiouart, B. Benmokrane and D. Gao, "Investigation of bond in concrete member with fibre reinforced polymer (FRP) bars," *Construction and Building Materials*, pp. 453-462, 1998.
- [51] B. Tighiouart, B. Benmokrane and P. Mukhopadhyaya, "Bond strength of glass FRP rebar splices in beams under static loading," *Construction and Building Materials*, pp. 383-392, 1999.
- [52] Y. C. Wang and V. Kodur, "Variation of strength and stiffness of fibre reinforced polymer reinforcing bars with temperature," *Cement and Concrete Composites*, pp. 864-874, 2005.
- [53] J. F. Davalos, Y. Chen and I. Ray, "Effect of FRP bar degradation on interface bond with high strength concrete," *Cement and Concrete Composites*, pp. 722-730, 2008.
- [54] M. Robert and B. Benmokrane, "Effect of aging on bond of GFRP bars embedded in concrete," *Cement and Concrete Composites*, pp. 461-467, 2010.
- [55] J.-P. Won, C.-G. Park, H.-H. Kim, S.-W. Lee and C.-I. Jang, "Effect of fibers on the bonds between FRP reinforcing bars and high-strength concrete," *Composites Part B: Engineering*, pp. 747-755, 2008.
- [56] M. Baena, L. Torres, A. Turon, M. Llorens and C. Barris, "Bond behaviour between recycled aggregate concrete and glass fibre reinforced polymer bars," *Construction and Building Materials*, pp. 449-460, 2009.
- [57] S. Alsayed, Y. Al-Salloum, T. Almusallam, S. El-Gamal and M. Aqel, "Performance of glass fiber reinforced polymer bars under elevated temperatures," *Composites Part B: Engineering*, pp. 2265-2271, 2012.
- [58] J.-M. Yang, K.-H. Min, H.-O. Shin and Y.-S. Yoon, "Effect of steel and synthetic fibers on flexural behavior of high-strength concrete beams reinforced with FRP bars," *Composites Part B: Engineering*, pp. 1077-1086, 2012.
- [59] M. Baena, L. Torres, A. Turon, M. Llorens and C. Barris, "Bond behaviour between recycled aggregate concrete and glass fibre reinforced polymer bars," *Construction and Building Materials*, pp. 449-460, 2016.
- [60] X. Gu, B. Yu and M. Wu, "Experimental study of the bond performance and mechanical response of GFRP reinforced concrete," *Construction and Building Materials*, pp. 407-415, 2016.
- [61] Z. Dong, G. Wu, B. Xu, X. Wang and L. Taerwe, "Bond durability of BFRP bars embedded in concrete under seawater conditions and the long-term bond strength prediction," *Materials & Design*, pp. 552-562, 2016.
- [62] C. Wu, Y. Bai and S. Kwon, "Improved bond behavior between GFRP rebar and concrete using calcium sulfoaluminate," *Construction and Building Materials*, pp.

897-904, 2016.

- [63] A. Yazdanbakhsh, L. C. Bank and C. Chen, "Use of recycled FRP reinforcing bar in concrete as coarse aggregate and its impact on the mechanical properties of concrete," *Construction and Building Materials*, pp. 278-284, 2016.
- [64] H. Karim, M. N. Sheikh and M. N. S. Hadi, "Axial load-axial deformation behaviour of circular concrete columns reinforced with GFRP bars and helices," *Construction and Building Materials*, pp. 1147-1157, 2016.
- [65] G. Fava, V. Carvelli and M. A. Pisani, "Remarks on bond of GFRP rebars and concrete," *Composites Part B: Engineering*, pp. 210-220, 2016.



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Emrah Ferdi ÜNVER
Doğum Tarihi ve Yeri : 27/05/1987
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : emrahferdiunver@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Kompozit Malzeme Anabilim Dalı	Düzce Üniversitesi	2018
Lisans	İnşaat Mühendisliği	Düzce Üniversitesi	2018
Lisans	Çevre Mühendisliği	Balıkesir Üniversirtesi	2014
Lisans	İşletme	Anadolu Üniversitesi	2014
Ön Lisans	İnşaat	Kırıkkale Üniversitesi	2008
Lise	Fen Bilimleri	Ankara Gazi Lisesi	2004