



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

**MAFSALLI KİRİŞ YÖNTEMİYLE BAZALT LİFLİ KOMPOZİT
DONATININ ADERANS PERFORMANSININ ARAŞTIRILMASI**

MUHAMMET SEİS

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
YRD. DOÇ. DR. AHMET BEYCİOĞLU**

DÜZCE, 2017

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MAFSALLI KİRİŞ YÖNTEMİYLE BAZALT LİFLİ KOMPOZİT
DONATININ ADERANS PERFORMANSININ ARAŞTIRILMASI**

Muhammet SEİS 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

Yrd. Doç. Dr. Ahmet BEYÇİOĞLU

Düzce Üniv. Teknoloji Fak./ İnşaat Müh.

Jüri Üyeleri

Yrd. Doç. Dr. Ahmet BEYÇİOĞLU

Düzce Üniv. Teknoloji Fak./ İnşaat Müh.

Prof. Dr. H. Yılmaz ARUNTAŞ

Gazi Üniv. Teknoloji Fak./ İnşaat Müh.

Prof. Dr. İlhami DEMİR

Kırıkkale Üniv. Mühendislik Fak./ İnşaat Müh.

Tez Savunma Tarihi: 02 / 02 / 2017

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.

02 Şubat 2017

Muhammet SEİS

TEŐEKKÜR

Bu tez çalışması, inşaat eğitimine adadığım meslek hayatımın kazandırdığı bilgi birikimi ve tez danıŐmanım Yrd. Doç. Dr. Ahmet BEYCİOğLU'nun konuya hakimiyeti ile deneysel s¼rece sağladığı b¼y¼k katkılarla tamamlanmıŐtır. Bu değerli katkıları için ¼ncelikle danıŐmanım Yrd. Doç. Dr. Ahmet BEYCİOğLU'na teŐekk¼rlerimi sunarım.

Deneysel çalıŐmalardaki malzemelerin temini konusunda destek sağlayan Spinteks Tekstil İnşaat Sanayi ve Ticaret A.Ő Genel M¼d¼r¼ Tekstil Y¼ksek M¼hendisi Yalın AYDIN'a, Yiğitler Beton A.Ő Laboratuvar Sorumlusu Uğur GILI'a ve kesme donatılarının hazırlanmasında teknik destek sağlayan PEKİNTAŐ AŐ'ye teŐekk¼rlerimi sunarım. Ayrıca deneysel d¼zenenin hazırlanması ve kirişlerde eğilme deneylerinin gerçekleŐtirilmesinde bilgi ve deneyimleriyle katkı sağlayan İnşaat m¼hendisliđi b¼l¼m¼ ¼đretim ¼yeleri Yrd. Doç. Dr. Mehmet EMİROğLU ve Yrd. Doç. Dr. Mehmet Emin ARSLAN'a Ő¼kranlarımı sunuyorum.

ÇalıŐmalarım boyunca manevi destekleri ile beni motive eden, s¼rece katkı sağlayan değerli arkadaŐım Engin Y¼KSEL ve H¼seyin TAŐKIRAN'a teŐekk¼r ederim.

ÇalıŐmalarım sırasında varlıkları ile maddi-manevi desteklerini her zaman yanımda hissettiğim başta annem olmak ¼zere aileme ve ¼zellikle mesleğindeki baŐarılı iŐleri nedeniyle her zaman b¼y¼k sayđı duyduğum kıymetli abim Mimar Mustafa SEİS'e Ő¼kranlarımı sunarım.

02 Şubat 2017

Muhammet SEİS

İÇİNDEKİLER

ŞEKİL LİSTESİ.....	VII
ÇİZELGE LİSTESİ.....	IX
KISALTMALAR.....	X
SİMGELER	XI
ÖZET	XII
ABSTRACT	XIII
1. GİRİŞ.....	1
2. LİF TAKVİYELİ KOMPOZİT DONATILAR	8
2.1 LİF TAKVİYELİ KOMPOZİT DONATILARIN KULLANILDIĞI İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ UYGULAMALARI	9
2.2 PULTRUZYON YÖNTEMİYLE LİF TAKVİYELİ KOMPOZİT DONATILARIN ÜRETİMİ.....	21
2.3. BETON İLE DONATI ADERANSI.....	23
2.3.1 Aderansa Etki Eden Başlıca Faktörler	23
2.3.2 Aderans Deneyleri.....	25
3. LİTERATÜR ÖZETİ	26
4. MATERYAL VE METOT	27
4.1 MATERYAL	27
4.1.1 Agrega	27
4.1.2 Çimento	27
4.1.3 Mineral Katkı	32
4.1.4 Kimyasal Katkı	33
4.1.5 Karışım Suyu	33
4.1.6 Çelik Donatı ve Bazalt Lifli Kompozit Donatılar	33
4.2 METOT.....	35
4.2.1 Donatıların Çekme Testi	35
4.2.2 Beton Tasarımı ve Karışım Oranlarının Belirlenmesi	36
4.2.3 Taze Beton Çökme Deneyi	36
4.2.4 Sertleşmiş Beton Deneyleri	37
4.2.5 Mafsallı Kiriş Yöntemiyle Aderans Deneyi	37

4.2.6 Mafsallı Kiriş Numunelerinin Üretimi ve Kür Uygulaması	38
4.2.7 Mafsallı Kiriş Numunelerinin Kodlanması	40
4.2.8 Mafsallı Kirişler Üzerinde Aderans Deneylerinin Gerçekleştirilmesi ...	41
5. BULGULAR VE TARTIŞMA	43
5.1 DONATILARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİ	43
5.2 TAZE VE SERTLEŞMİŞ BETON ÖZELLİKLERİ	44
5.3 BETON-DONATI ADERANS ÖZELLİKLERİ	44
5.3.1 Bazalt Lifli ve Çelik Donatının Aderans Performansı	45
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	52
6.1 SONUÇLAR	52
6.2 ÖNERİLER	52
7. KAYNAKLAR	54
ÖZGEÇMİŞ.....	57

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Zamana göre korozyon gelişimi ve etkili parametreler	2
Şekil 1.2. Donatıda korozyon nedeniyle hacim artışı ve betonda çatlak oluşumu.	3
Şekil 1.3. Korozyon sonucu betonarme elemanlarda oluşan çeşitli hasar mekanizmaları.....	5
Şekil 1.4. Lif takviyeli donatılı betondan numune alımı.	6
Şekil 1.5. Lif takviyeli donatıların durabilite kabiliyeti.....	6
Şekil 2.1. Pearl Harbor limanı dryduck havuzuna ait görüntü	10
Şekil 2.2. Donatıya ulaşan klorun donatıda meydana getirdiği korozyon sorunları.....	10
Şekil 2.3. Lif takviyeli kompozit donatılar ile yapılan bir istinat duvarı ve güçlendirme uygulaması.	11
Şekil 2.4. Hawaii Maui adası Honoapiilani karayolu lif takviyeli kompozit donatılar ile yapılan bir istinat duvarı.	12
Şekil 2.5. Amerika'nın West Virginia eyaletinde yol yapımına ait görüntü	12
Şekil 2.6. Lif takviyeli kompozit donatılar ile yapılan bir istinat duvarı ve güçlendirme uygulaması.....	12
Şekil 2.7. Hawaii Maui adası Honoapiilani karayolu lif takviyeli kompozit donatılar ile yapılan bir istinat duvarı.	13
Şekil 2.8. Amerika'nın West Virginia eyaletinde yol yapımına ait görüntü.	13
Şekil 2.9. Hollanda'da üretimi yapılan beton yol yapımına ait saha görüntüleri..	14
Şekil 2.10. Amerika'nın UTAH eyaletinde inşaa edilen Emma Park köprüsü tabliyeleri.....	14
Şekil 2.11. Emma Park köprü tabliyelerinde kullanılan lif takviyeli kompozit donatılar	15
Şekil 2.12. Amerika'nın Florida eyaletinin Miami şehrinde metro inşaatındaki yol yapımı..	15
Şekil 2.13. Kanada'nın başkenti olan Ottawa'da yer alan Pedestrian Köprüsü tabliyesi	16
Şekil 2.14. Kanada'nın Ontario şehrinde 3. Concession Road köprüsü.....	16
Şekil 2.15. Londra Docklands-Arsenal Woolwich arası metro tüneli TBM şaft çıkışı soft-eye uygulaması.	17
Şekil 2.16. Singapur'da King Albert Park İstasyonundaki TBM şaft çıkışı soft-eye uygulaması	17
Şekil 2.17. Avusturya havayolları'na ait viyana uluslararası havalimanı lif takviyeli kompozit donatılı döşeme uygulaması.....	18
Şekil 2.18. Avusturya havayolları'na ait viyana uluslararası havalimanı lif takviyeli kompozit donatılı döşeme uygulaması.....	19
Şekil 2.17. Donatıların plastik klipsle bağlanması.	19
Şekil 2.18 İsviçre'nin Zürich-Flughafen'de bulunan Zürich Havalimanında Lif takviyeli kompozit donatılı döşeme uygulaması.....	19
Şekil 2.19 Donatıların plastik klipsle bağlanması.	19
Şekil 2.20 İsviçre'nin Zürich-Flughafen'de bulunan Zürich Havalimanında Lif takviyeli kompozit donatılı döşeme uygulaması.....	20
Şekil 2.21 İsviçre'nin Zürich-Flughafen'de bulunan Zürich Havalimanında Lif takviyeli kompozit donatılı döşeme uygulaması.....	20

Şekil 2.22 Pultruzyon yönteminin üretim süreci...	22
Şekil 2.23 Pultruzyon ürünü bazı malzemeler...	22
Şekil 2.24 Pultruzyon yöntemi ile üretilmiş bazı donatı çubukları.....	23
Şekil 4.1. Kullanılan UK'ya ait SEM görüntüsü.	33
Şekil 4.2. Çalışmada kullanılan çelik donatı ve bazalt lifli kompozit donatı.	34
Şekil 4.3. Donatı çekme testinin uygulanışı.	35
Şekil 4.3. Slump deneyi ile betonun kıvam sınıfının tayini.....	36
Şekil 4.4. Mafsallı kiriş deney düzeneği.....	37
Şekil 4.5. Mafsallı kirişlerde kullanılacak olan kesme donatılarının detayı.	38
Şekil 4.6. Çalışma kapsamında hazırlanan kesme donatıları.....	39
Şekil 4.7. Kılıfların donatı üzerinde kenetlenme boyuna göre yerleştirilmesi.	39
Şekil 4.8. Donatıların kalıba yerleştirilmesi.	40
Şekil 4.9. Kür uygulamasından sonra aderans testine hazır hale getirilmiş mafsallı kirişler.	40
Şekil 4.10. Mafsallı kiriş deney yönteminin uygulanması.....	41
Şekil 4.11. BMK'larda deney detayı.	42
Şekil 5.1. Bazalt lifli kompozit donatıya ait gerilme-deformasyon grafiği.	43
Şekil 5.2. Kenetlenme boyuna bağlı maksimum ortalama aderans gerilmesi değerleri.	45
Şekil 5.3. Kenetlenme boyu 20 Ø ve donatı çapı 12 mm olan kirişlerde uygulanan yük ile sıyrılma verileri arasındaki ilişki.	46
Şekil 5.4. Kenetlenme boyu 20 Ø ve donatı çapı 8 mm olan kirişlerde uygulanan yük ile sıyrılma verileri arasındaki ilişki.	46
Şekil 5.5. Kenetlenme boyu 10 Ø ve donatı çapı 12 mm olan kirişlerde uygulanan yük ile sıyrılma verileri arasındaki ilişki	47
Şekil 5.6. Kenetlenme boyu 10 Ø ve donatı çapı 8 mm olan kirişlerde uygulanan yük ile sıyrılma verileri arasındaki ilişki.	47

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa No

Çizelge 4.1. Kullanılan CEM I 42,5 R çimentonun fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri.....	32
Çizelge 4.2. Çatalağzı termik santralinden temin edilen uçucu kül'e (UK) ait kimyasal ve fiziksel özellikler.....	32
Çizelge 4.3. Betonların üretiminde kullanılan hiperakışkanlaştırıcının teknik özellikleri.....	33
Çizelge 4.4. Üretici tarafından sağlanan bazalt lifli kompozit donatı çubuğunun fiziksel, mekanik ve termal özellikleri.....	34
Çizelge 4.5. 1m ³ beton karışımındaki malzeme miktarı.....	36
Çizelge 4.6. Üretilen kirişlerde, kullanılan donatının türü, donatı çapı ve kenetlenme boyunu gösteren örnek bir kodlama.....	41
Çizelge 5.1. Çalışmada gerçekleştirilen donatıların çekme deneyine ait bulgular.....	43
Çizelge 5.2. Çalışmada üretilen C30 geleneksel betonunun taze ve sertleşmiş özellikleri.....	44
Çizelge 5.3. 20 Ø kenetlenme boyunda (ÇA-Bu çalışma) ve (ÇÇ-Bu çalışma)'ya denk gelen yüklerde sıyrılma değerleri.....	49
Çizelge 5.4. 10 Ø kenetlenme boyunda (ÇA-Bu çalışma) ve (ÇÇ-Bu çalışma)'ya denk gelen yüklerde sıyrılma değerleri.....	49
Çizelge 5.5. Mafsallı kiriş deneylerinden elde edilen tüm veriler.....	50

KISALTMALAR

AK	Aderans Kopması
BS	British Standart
CSA	Kalsiyumsülfoalüminat
ÇA	Çalışmadaki Çelik Donatının Akma Dayanımı
DK	Donatının Kopması
MG	Maksimum Gerilme
MY	Maksimum Yükleme
MYS	Maksimum Yüke Karşılık Gelen Sıyırılma
MYS-ORT	Maksimum Yüklemede Ortalama Sıyırılma
Tu	Maksimum Aderans Gerilmesi



SİMGELER

B	Bazalt
C30	Beton Dayanım Sınıfı
F	Donatıya Gelen Kuvvet
P	Pistondan Gelen Kuvvet
S	Çelik



ÖZET

MAFSALLI KİRİŞ YÖNTEMİYLE BAZALT LİFLİ KOMPOZİT DONATININ ADERANS PERFORMANSININ ARAŞTIRILMASI

Muhammet SEİS
Düzce Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi
Danışman: Yrd. Doç. Dr. Ahmet BEYÇİOĞLU
Şubat 2017, 59 sayfa

Bu tez çalışmasının amacı, yeni nesil donatı çubuklarından olan bazalt lifli kompozit donatının, inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılan normal dayanımlı betonlardaki aderans performansını araştırmaktır. Çalışmada bazalt lifli kompozit donatının sektörel olarak yaygın bir şekilde kullanılan C30 sınıfındaki normal betonla olan aderans ilişkisi standart çelik donatı ile karşılaştırmalı olarak araştırılmıştır. Deneysel çalışmalarda 8 mm ve 12 mm olmak üzere iki farklı donatı çapı ile 10Ø ve 20Ø olmak üzere iki farklı kenetlenme boyu değişken parametreler olarak kullanılmıştır. Çalışmada beton ile donatılar arasındaki aderans ilişkisini belirlerken betonarme binalardaki beton-donatı ilişkisini gerçek davranışa uygun bir şekilde temsil eden mafsallı kirişler kullanılmıştır. Sonuç olarak bazalt lifli kompozit donatıların çeliğe kıyasla daha iyi bir aderans sağladığı görülmüştür. Bu donatıların çeliğe göre üstün mekanik özelliğinin de sağladığı avantaj ile çelik korozyonunun önemli sorunlar oluşturduğu yapısal sistemlerde daha düşük çap ve daha düşük kenetlenme boyu kullanılarak tercih edilebileceği görülmüştür. Ayrıca donatılar üzerinde gerçekleştirilen çekme testi donatının akma sahanlığı göstermeden koptuğunu ortaya koymuştur. Bu donatıların kullanılacağı projelerde donatıların süneklik özelliğinin olmaması mutlaka dikkate alınması gereken bir durumdur.

Anahtar sözcükler: Aderans dayanımı, Bazalt lifli kompozit donatı, Eğilme testi, Mafsallı kiriş, Normal dayanımlı beton.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF BOND PERFORMANCE OF BASALT FIBER-REINFORCED POLYMER BARS USING THE HINGED BEAM METHOD

Muhammet SEİS

Düzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Civil Engineering

Master Thesis

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Ahmet BEYÇİOĞLU

February 2017, 59 Pages

The aim of this thesis is to investigate the bond performance of basalt fiber reinforced composite bar in normal strength concretes commonly used in the construction industry. In the study, the bond relation of the basalt fiber reinforced composite bar with normal concrete of C30 class which is widely used in the sector is investigated and compared with standard steel reinforcement. In experimental stage, two different diameters as 8 mm and 12 mm and two different embedment lengths as 10 \varnothing and 20 \varnothing were used as variable parameters. When determining the bond relationship between concrete and reinforcing bars in the study, hinged beams representing the concrete-reinforcement relationship in reinforced concrete buildings in accordance with the actual behavior were used. As a result, basalt fiber reinforced composite bars showed better bond performance than steel rebar. It is seen that basalt fiber reinforced composite bars can be preferred by using lower diameter and lower embedment length in structural systems where steel corrosion is a serious problem. In addition, the tensile test on the reinforcing bars showed that basalt fiber reinforced composite bars were failed with brittle behavior. The lack of ductility of basalt fiber reinforced bars must be taken into consideration in projects where these equipment is used.

Anahtar sözcükler: Bond strength, Basalt fiber reinforced composite rebar, Bending test, Hinged beam, Normal strength concrete.

1. GİRİŞ

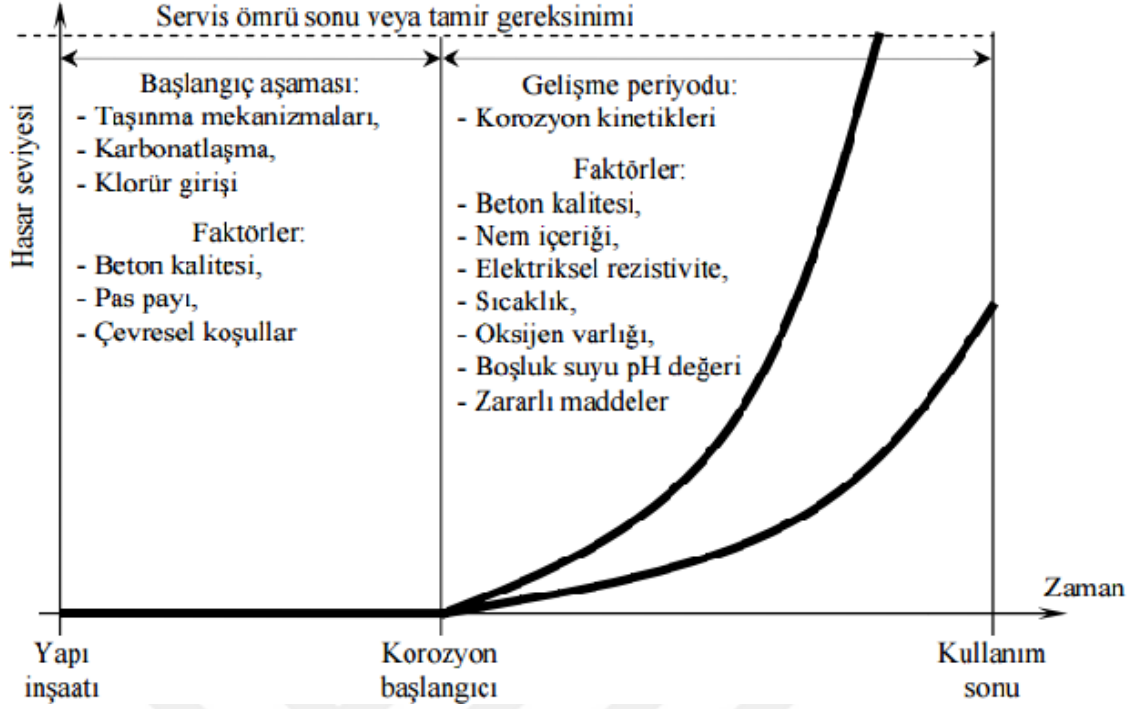
Betonarme, beton ve çelik donatı çubuklarının bir arada çalıştığı ve inşaat mühendisliği yapılarının önemli bir bölümünün inşasında kullanılan bir yapı türüdür [1].

Türkiye’de inşa edilen yapıların büyük çoğunluğu betonarme taşıyıcı sisteme sahiptir. Betonarme taşıyıcı sisteme sahip yapılar genellikle yüz yılın ötesinde servis verebilecek şekilde projelendirilirler. Bu tür yapıların servis ömürlerinin yüz yılı aşabilmesinde sadece taşıyıcı sistemin doğru projelendirilmesi yeterli değildir. Projelendirmeye ek olarak yapıya uzun dönemde etkiyecek çevre şartlarının irdelenmesi ve malzeme seçimlerinin buna göre yapılması ile bu tür yapılarda yüksek durabilite ve uzun servis ömrü sağlanabilmektedir. Bu yüzden betonarme taşıyıcılarda kullanılan betonun tasarımında dayanımın yanında durabiliteye göre tasarım da ön plana çıkmaktadır [2].

Yapıların uzun ömürlü olması doğru taşıyıcı sistemin seçimi, projelendirilmesi ve imal edilmesine bağlı olmasına rağmen yalnızca bunlarla sınırlı değildir. Aynı zamanda, yapının mantıklı bir zaman süreci içerisinde kalıcı denecek kadar uzun ömürlü olmasını sağlayacak önlemler alınmalı ve en az bakımı gerektirecek şekilde yaşlanması yavaşlatılmalıdır. Betonun taşıyıcı sistem içerisinde hizmet verdiği süre boyunca karşılaştığı kimyasal ve fiziksel olaylar karşısında yeterli direnci gösterebilmesi, yeterince dayanıklı olması yani durabilite özelliklerinin iyi olması betonun mekanik dayanımı kadar önemlidir. Özellikle deniz atmosferine veya suyuna maruz yapılarda ve endüstri yapılarında kalıcılık, en önemli sorunlardan biridir. Yapı sahipleri özellikle ekonomik gerekçelerle yapının uzun ömürlü ve sağlam olmasını isterler. 50 yıl öncesine kadar geleneksel bir betonarme yapı için 25 yıllık bir servis ömrü talep edilirken bugün birçok yapı 100 yıllık bir servis ömrü için tasarlanmakta, bu nedenle dayanıklılık gittikçe artan bir önem kazanmaktadır [3].

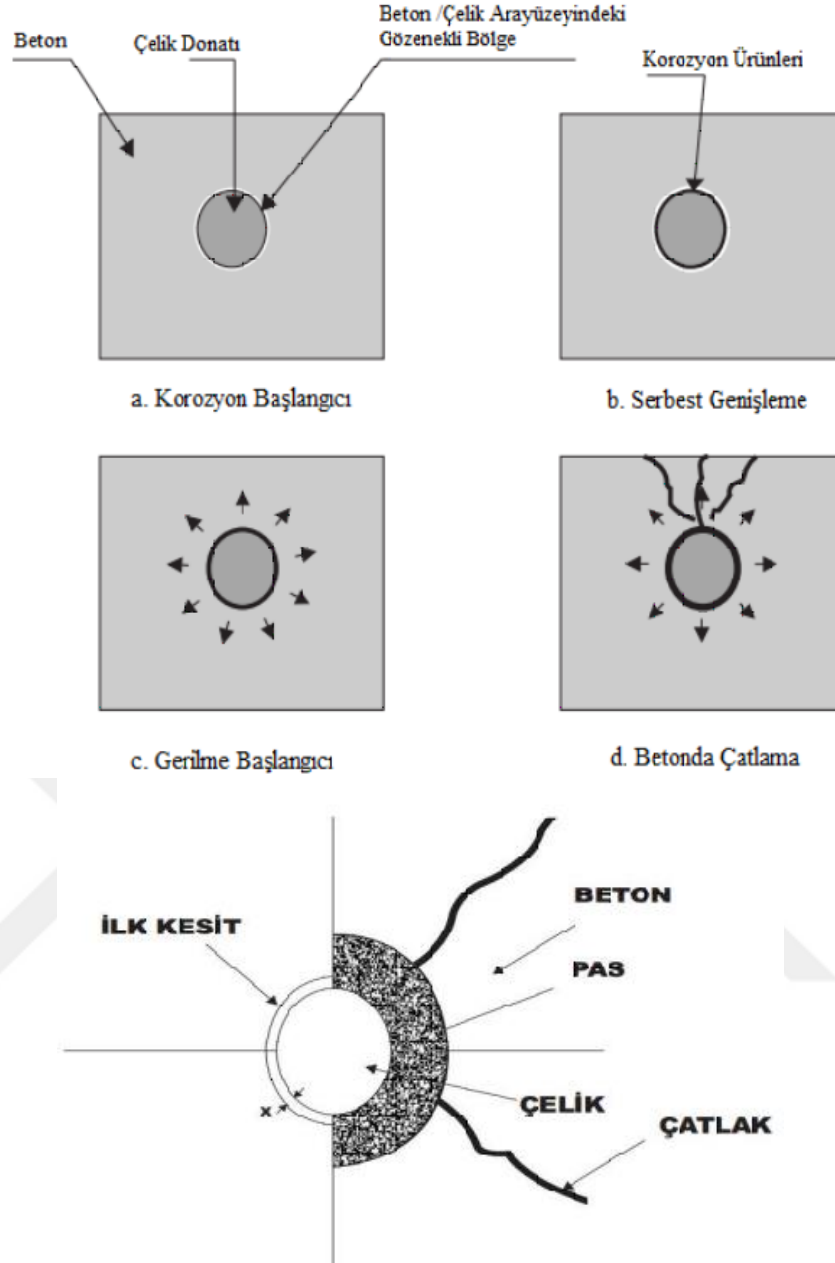
Günümüzde betonarme yapıların karşılaştığı çeşitli sorunların en büyüklerinden bir tanesi de donatı korozyonu sonucu ortaya çıkan durabilite kayıplarıdır. [4].

Korozyon olayının başlaması ve gelişmesi için zaman gerekmektedir. Korozyon başladıktan sonra artan bir periyot izler. Şekil 1.1.’de betonarme yapılardaki korozyon gelişiminin zamana bağlı davranışı görülmektedir. [5].



Şekil 1.1. Zamana göre korozyon gelişimi ve etkili parametreler.

Donatı korozyonu değişik mekanizmalar ile gelişse de betonarme yapılarda hasar, eleman bünyesinde genleşen ürünler oluşması sebebi ile ortaya çıkmaktadır. Bir başka deyişle, oluşan pas ürünleri ile hacimsel olarak artışa neden olan korozyon oluşmadan önceki çelikten daha fazla hacim işgal etmektedir. Pas ürünleri değişiklik gösterse de genelde çelikten altı kata kadar daha fazla hacim işgal edebilmektedir. Bu hacim artışı, başlangıçta donatı ile beton ara yüzündeki boşlukları doldurmak sureti ile aderans dayanımında bir miktar artışa neden oluyor olsa da olayın devamında arayüz bölgesinde önemli düzeyde aderans kayıplarına neden olmaktadır. Donatıdaki hacim artışı Şekil 1.2. betonda ilave çekme gerilmeleri doğurmaktadır [6]. Bu gerilmeler, çekme dayanımı ve çekmede uzama oranı çok düşük ve gevrek bir malzeme olan betonda donatıya paralel çatlaklar oluşturabilmektedir. Betondaki çatlak oluşumu, donatının korozyonunu, donatıdaki korozyon da betonun hasarını hızlandıran birbiriyle ilişkili olaylar olup, betonarme elemanın ömrünü dolayısı bunun bir sonucu olarak da yapı güvenliğini azaltmaktadır [6], [7].



Şekil 1.2. Donatıda korozyon nedeniyle hacim artışı ve betonda çatlak oluşumu.

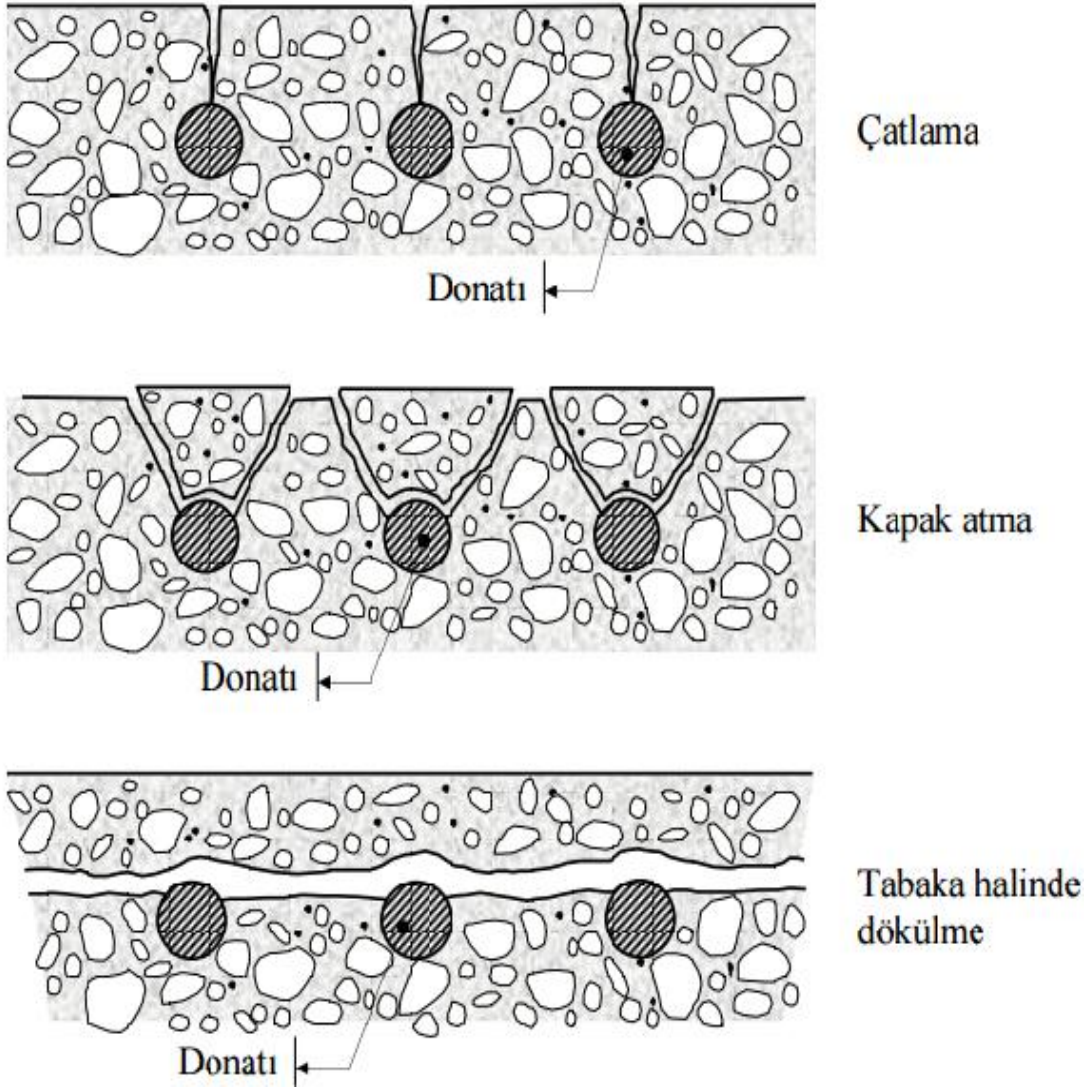
Betonarme sistemlerde çelik, beton içine gömülü olarak kullanılmaktadır. Doğru dizayn edilmiş geçirimsiz, kaliteli bir beton, çelik donatıyı iyice sararak fiziksel ve kimyasal olarak korozyondan korur. Fiziksel koruma donatıyı sıkıca sararak zararlı maddelerin donatıya ulaşmasının engellenmesiyle, kimyasal koruma ise yüksek pH'lı bir ortam yaratılması ile gerçekleşir. Ancak şiddetli çevresel etkilere maruz yapılarda kısa sürede korozyon gelişimleri söz konusu olabilmektedir. Deniz yapılarında ve kimyasal madde üreten tesislerde çok hızlı gelişebilen korozyon problemi, nispeten uzun zamanlarda klorürlere ve karbondioksit etkisine maruz diğer yapılarda da ortaya çıkmaktadır. Betonarme yapılarda oluşan donatı korozyonu, yapının stabilitesi açısından önemli

riskler içerir. Çelik donatı korozyon sonucu kesit ve düktilite kaybına uğrar. Oluşan reaksiyon ürünleri nedeniyle betonda meydana gelen genişleme etkisi önceleri pas payı tabakasının çatlamasına, ilerleyen aşamalarda ise tamamen dökülmesine yol açar. Bu durumda, hiç bir fiziksel ve kimyasal koruması kalmayan donatının çok daha hızlı şekilde kesit kaybetmesi, zamanla tamamen yok olması mümkündür. Donatı-beton aderansı da korozyondan olumsuz etkilenir, ilerlemiş hasar durumunda aderans tamamen yok olur. Az miktardaki kesit kaybının bile özellikle öngerilmeli betonarme elemanlarda kullanılan öngerme halatlarının kopmasına yol açabilmesi, bu tür yapıların korozyona karşı çok daha hassas olduklarını gösterir. Gereken tamir ve bakım masraflarının büyük ekonomik kayıplara yol açması, güvenlik kayıplarının yanında bir diğer önemli konu olarak kendini göstermektedir [5], [8].

Donatıda oluşan korozyon sonucu betonarme elemanlarda oluşan çeşitli hasar mekanizmaları Şekil 1.3.'te görülmektedir.

Hasarın şekli ne olursa olsun hasar oluşuktan sonra donatılar zararlı çevre koşullarına daha fazla maruz kalacaktır. Böylece hasarın şiddeti giderek artacak ve yapı emniyetli kullanım ömrünü yitirmeye başlayacaktır [5].

Ülkemizde ve Dünya'da inşaat çeliği gibi metal esaslı malzemelerde meydana gelen korozyon küresel bir sorun olarak yapısal sistemlere tehdit oluşturmaya devam etmektedir. Korozyon kaynaklı hasarlara önlem almak amacıyla korozyon oluşumunu önleyici bazı tedbirlerin alınması gerekmektedir. Donatıyı korozyondan korumak amacıyla, epoksi kaplı inşaat çeliği kullanımı ve katodik korumanın yanında galvaniz kaplama, paslanmaz çelik kullanımı ve beton katkıları gibi yöntemler kullanılabilmektedir [9]. Bu yöntemler bazı durumlarda etkili olsa da hala tamamen çelik korozyon sorunlarını ortadan kaldırmak mümkün olmamıştır [10].

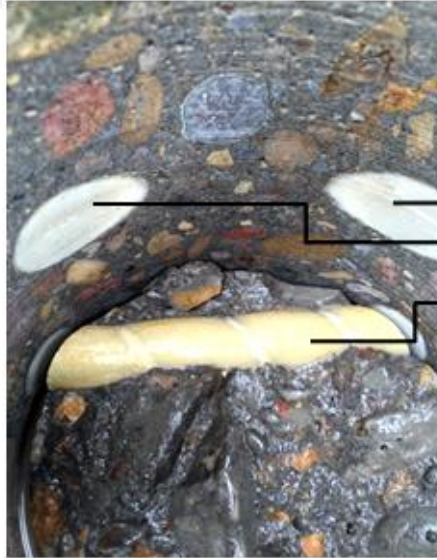


Şekil 1.3. Korozyon sonucu betonarme elemanlarda oluşan çeşitli hasar mekanizmaları.

İnşaat çeliğindeki korozyondan kaynaklanan hasarların çözümünde önemli bir alternatif olabilecek ve çalışmanın ikinci bölümünde detaylı olarak tanımlanan yeni nesil lif takviyeli kompozit donatılar çeşitli mühendislik yapılarında kullanılmaktadır. Şekil 1.4.'de bu donatıların kullanıldığı ve donatıların durabilite kabiliyeti ortaya konulan bir örnek görülmektedir. Örnekte Amerika'nın Texas eyaletinde inşa edilen TxDOTSierrita de la Cruz Creek köprüsünden yapımından 15 yıl sonra alınan karot bölgesindeki lif takviyeli kompozit donatılar görülmektedir. Alınan karot örnekleri (Şekil 1.4.) donatılar üzerinde hiçbir durabilite problemi oluşmadığını dolayısıyla betonarme sistemde de durabilite kaynaklı sorun bulunmadığını göstermektedir (Şekil 1.5.) [11].



Şekil 1.4. Lif takviyeli donatılı betondan numune alımı.



→ TxDOT Sierrita de la Cruz Creek köprüsünden alınan karot bölgesindeki lif takviyeli polimer kompozit yapay donatılar

Şekil 1.5. Lif takviyeli donatıların durabilite kabiliyeti.

Korozyon direncinin olması, çok hafif olması ve çeşitli yüzey formlarında (düz, nervürlü, kumlanmış v.b.) üretilebilmesi nedeniyle getirdiği avantajlar bu kompozit donatıların aderans performanslarını yeni ve önemli bir araştırma alanı olarak karşımıza çıkarmaktadır [12].

Bu çalışmada elik donatının korozyonu sonucu yapı durabilitesini azaltan yapısal sorunlara önemli bir alternatif çözüm getirebilecek bazalt lif takviyeli kompozit donatıların geleneksel C30 betonu ile olan aderans ilişkisi araştırılmıştır. Gerçekleştirilen deneysel çalışmalar ile yeni olan ve literatür boşluğu bulunan bu konuya katkı sağlanması amaçlanmıştır.



2. LİF TAKVİYELİ KOMPOZİT DONATILAR

İki veya daha fazla malzemenin üstün özelliklerinden faydalanmak üzere bir araya getirilmesi yoluyla üretilen yeni malzemelere kompozit malzeme denir. Günümüzde imalat teknolojilerindeki gelişmeler ile yapı malzemelerindeki yeni teknoloji arayışları sonucunda birçok yeni kompozit ürün ortaya çıkmaktadır. Kompozit malzemenin yapısını oluşturan bileşenler kimyasal olarak farklıdır ve fazları birbirinden ayıran belirgin bir ara yüzey bulunmaktadır. Kompozit malzemeler literatürde çeşitli adlarla anılmaktadır ve en sık kullanılanları “çok bileşenli malzeme”, “çok fazlı malzeme”, “donatılı malzeme” ve “pekiştirilmiş malzeme” şeklindedir [13].

Lif takviyeli polimer kompozitler, tipik olarak, bir reçine matrisi içine gömülü yüksek çekme dayanımına sahip liflerden oluşan kompozit malzemelerdir. Lifler kompozit malzemeye mukavemet ile sertlik sağlar ve genellikle uygulanan yüklerin çoğunu taşır. Termoset yani ısı ile sertleşen matris (tipik olarak epoksi) lifleri korur ve kayma gerilmeleri yoluyla lifler arasındaki kuvvet aktarımını sağlar. Yapı mühendisliği uygulamalarında kullanılan lif takviyeli polimer kompozit malzemelerde genellikle kullanılan lifler arasında cam lifi, karbon lifi, bazalt lifi ve aramid lifi sayılabilir [14].

Kompozit olarak üretilen yeni teknoloji ürünleri arasında betonarme donatısı olarak kullanılan çelik çubukların bazı özel projeler için vazgeçilmezliğini tartışılır hale getirecek lif takviyeli kompozit donatı çubukları da bulunmaktadır [12].

Lif takviyeli polimer kompozit ürün olarak üretilen yapay donatı çubukları arasında başlıcaları cam lifli, bazalt lifli ve karbon lifli olarak üretilenler sayılabilir. Bunlardan bazalt lifli donatı çubuğu, bazalt kayacının yüksek sıcaklıkta ergitilmesi ile elde edilen bazalt liflerin epoksi reçine kullanılarak betonarme yapılarda kullanılan çelik formuna getirilmesi yöntemiyle üretilmektedir. Bazalt lif takviyeli kompozit donatı çubuğu Amerika, Rusya ve Ukrayna gibi ülkeler başta olmak üzere birçok ülkede, bazı yapı elemanlarında donatı çeliğine alternatif olarak kullanılan ürünlerdendir. Lif takviyeli donatı çubuğunun bazı özellikleri aşağıdaki şekilde özetlenebilir [12].

Lif takviyeli kompozit donatılar fiziksel ve mekanik özellikleri bakımından geleneksel çelik donatı çubuklarından farklılıklar içerir. Lif takviyeli kompozit donatının fiziksel

ve mekanik özelliklerini, kompozit'i oluşturan matrisin özellikleri, lifin türü ve özellikleri, lif hacim oranı, lif matris ara yüzeyindeki yapışma kabiliyeti, lifin geometrisi ve matris içinde dağılımı gibi birçok parametre etkiler. Lif takviyeli kompozit donatıların geleneksel çelik donatı çubuklarına göre üstün özellikleri arasında yüksek çekme dayanımı, yüksek korozyon direnci, manyetik alan oluşturmaması, hafif olması, düşük ısı ve elektrik iletkenliğine sahip olması sayılabilir. Lif takviyeli polimer donatıların geleneksel çelik donatı çubuklarına göre bazı zayıf özellikleri de bulunmaktadır. Bu zayıf özellikler arasında ise sünek olmaması yani akma davranışı göstermeyerek gevrek ve aniden kopması, düşük elastisite modülü, yüksek maliyeti, anizotrop yapısı nedeniyle dayanımın lif doğrultusuna bağlı olarak değişmesi gibi özellikler sayılabilir [15].

Lif takviyeli polimer kompozit donatıların özellikle kolay kesilebilirliği, çok hafif olması, yüksek dayanıma sahip olması gibi özellikleri nedeniyle TBM ile tünel açma gibi işlemler gerektiren yapımlarda çok faydalı malzemeler olarak kabul görmektedirler [16].

Bunlara ek olarak termal genişleme katsayısı da betonun genişleme katsayısına oldukça yakındır. Alkali reaksiyonlara karşı yüksek direnci de dikkate alındığında, birçok alanda donatı çeliğine alternatif olma potansiyeli bulunmaktadır [17].

Lif takviyeli donatı çubuklarının üretiminde malzeme olarak değişik lifler ile epoksi reçine kullanılmakta ve pultrüzyon yöntemiyle şekil verilmektedir.

2.1. LİF TAKVİYELİ KOMPOZİT DONATILARIN KULLANILDIĞI İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ UYGULAMALARI

Lif takviyeli kompozit donatılar hafif ve antikorozyon olması, farklı yüzeylerde ve istenilen boylarda üretilebilmesi, yüksek dayanımlı olması vb. özellikleri nedeniyle çok farklı ve özel projelerde kullanım alanı bulmaktadır.

Lif takviyeli kompozit donatıların kullanıldığı ilgi çekici ve özel projelerden bir tanesi gemilerin bakım ve onarımı için kullanılan ve dryduck denilen havuzlardır. Bu havuzların içerisine gemi alındıktan sonra havuzlardaki bütün su dışarı basılarak gemilerin bakım onarım çalışmaları için kuru ortam sağlanır. Bu havuzlarda su boşaltıldıktan sonra havuz yüzeyleri tuzlu su ortamının ardından direkt olarak güneş ışınları ile kurumaktadır. Sürekli ıslanma-kuruma çevrimleri nedeniyle bu havuzların

betonarme duvarlarındaki paspayı tabakasında zayıflık meydana gelmekte ve bu zayıflıklardan dolayı oluşan kapiler boşluklar nedeniyle deniz suyundaki klor paspayını geçerek donatılara ulaşmaktadır. Donatıya ulaşan klor donatıda önemli düzeyde korozyon sorunları oluşturmaktadır. Buna örnek olarak ABD'ye bağlı bir eyâlet olan Hawaii'nin Oahu Adası'nda bulunan Pearl Harbor limanı dryduck havuzuna ait görüntü Şekil 2.1.'de, havuzda meydana gelen korozyon kaynaklı yapısal hasar Şekil 2.2.'de, lif takviyeli kompozit donatı ile güçlendirme uygulamasına ait görüntü ise Şekil 2.3.'de görülmektedir [18].



Şekil 2.1 Pearl Harbor limanı dryduck havuzuna ait görüntü.



Şekil 2.2 Donatıya ulaşan klorun donatıda meydana getirdiği korozyon sorunları.



Şekil 2.3. Donatıda oluşan korozyon sorunlarına karşı lif takviyeli kompozit donatı uygulaması.

Lif takviyeli kompozit donatılar deniz kenarındaki istinat duvarlarında da kullanılmaktadır. ABD'de, Florida eyaletinin güneydoğusundaki Palm Beach'de yapılan bir istinat duvarı (Şekil 2.4.) ve güçlendirme uygulaması bu kullanıma bir örnek olarak verilebilir (Şekil 2.5.). Diğer bir örnek ise Hawaii Maui adasındaki Honoapiilani karayolu güney tarafı istinat duvarı yapımıdır (Şekil 2.6.- Şekil 2.7.), [18], [19].



Şekil 2.4. Lif takviyeli kompozit donatılar ile yapılan bir istinat duvarı ve güçlendirme uygulaması.



Şekil 2.5. Lif takviyeli kompozit donatılar ile yapılan bir istinat duvarı ve güçlendirme uygulaması.



Şekil 2.6. Hawaii Maui adası Honoapiilani karayolu lif takviyeli kompozit donatılar ile yapılan bir istinat duvarı.



Şekil 2.7. Hawaii Maui adası Honoapiilani karayolu lif takviyeli kompozit donatılar ile yapılan bir istinat duvarı.

Lif takviyeli kompozit donatılar ulaştırma sistemlerinde de kullanılabilir. lif takviyeli kompozit donatıların kullanıldığı Amerika'nın West Virginia eyaletinde yol yapımına ait görüntü Şekil 2.8.'de, Hollanda'da üretimi yapılan beton yol yapımına ait saha görüntüleri ise Şekil 2.9.'de görülmektedir [18].



Şekil 2.8. Amerika'nın West Virginia eyaletinde yol yapımına ait görüntü.



Şekil 2.9. Hollanda’da üretimi yapılan beton yol yapımına ait saha görüntüleri.

Amerika’nın UTAH eyaletinde inşa edilen Emma Park köprüsü tabliyelerinde (Şekil 2.10.- Şekil 2.11.) ve Florida eyaletinin ikinci büyük kenti olan Miami’de Metro inşaatındaki yükseltilmiş kılavuz yol yapımında da lif takviyeli kompozit donatılar yoğun olarak (Şekil 2.12.) kullanılmıştır [20].



Şekil 2.10. Amerika’nın UTAH eyaletinde inşa edilen Emma Park köprüsü tabliyeleri.



Şekil 2.11. Emma Park köprü tabliyelerinde kullanılan lif takviyeli kompozit donatılar.



Şekil 2.12. Amerika'nın Florida eyaletinin Miami şehrinde metro inşaatındaki yol yapımı.

Kanada'nın başkenti olan Ottawa'da yer alan Pedestrian Köprüsü tabliyesinde (Şekil 2.13.) ve Ontario şehrinde 3. Concession Road köprüsünün güçlendirilmesinde de (Şekil 2.14.) bu kompozit donatılar kullanılmıştır [20].



Şekil 2.13. Kanada'nın başkenti olan Ottawa'da yer alan Pedestrian Köprüsü tabliyesi.



Şekil 2.14. Kanada'nın Ontario şehrinde 3. Concession Road köprüsü.

Lif takviyeli kompozit donatıların inşaat mühendisliği alanındaki en önemli uygulamalarının başında TBM ile tünel açma çalışmalarındaki şaft çıkışları olan soft-eye uygulamaları gelmektedir. Soft-Eye uygulamasında kompozit donatıların en önemli avantajı anizotrop yapılarından dolayı TBM çıkışında eksenine paralel yönde kolay yenilmesi ve TBM'in istinat duvarında göçmelere neden olmadan çıkabilmesidir.

Londra Docklands'den Arsenal Woolwich'e uzanan metro tünelineki TBM şaft çıkışı soft-eye uygulaması Şekil 2.15.'de, Singapur'da AlpineBauGmbH tarafından yapılan King Albert Park İstasyonundaki TBM şaft çıkışı soft-eye uygulaması ise Şekil 2.16.'de görülmektedir [21], [22].



Şekil 2.15. Londra Docklands-Arsenal Woolwich arası metro tünelineki TBM şaft çıkışı soft-eye uygulaması



Şekil 2.16. Singapur'da King Albert Park İstasyonundaki TBM şaft çıkışı soft-eye uygulaması

Lif takviyeli kompozit donatıların kullanımına farklı bir uygulama örneği Avusturya Havayolları'na ait Viyana Uluslararası Havalimanındaki 1000 m² donatılı döşeme uygulaması şeklinde inşaat edilmiştir. 2006 yılında yapılan ve Şekil 2.17.'de inşaat aşaması görülen uygulamanın gerekçesi ise son derece hassas elektronik uçak ekipmanı ayarı yapılacak bir alan için manyetik etkisi olmayan donatı ihtiyacıdır. Bu uygulama ile hassas uçak ekipmanı ayarları yapılırken çeliğin manyetik alan oluşturması nedeniyle ayarlara vereceği zarar önlenmiştir [23].



Şekil 2.17. Avusturya havayolları'na ait viyana uluslararası havalimanı lif takviyeli kompozit donatılı döşeme uygulaması.

Şekil 2.17.'de görüleceği üzere Viyana Uluslararası Havalimanındaki uygulamada donatıların birbirleriyle olan bağlantılarında da plastik tercih edilmiş ve plastik klipsler (Şekil 2.18.) kullanılmıştır.



Şekil 2.18. Avusturya havayolları'na ait viyana uluslararası havalimanı lif takviyeli kompozit donatılı döşeme uygulaması.

Donatıların plastik kliptle bağlantısına örnek Şekil 2.19.'daki bazalt lifli donatı üzerinde yapılmış olan uygulamada görülmektedir [24].



Şekil 2.19. Donatıların plastik kliptle bağlanması.

Viyana Uluslararası Havalimanındaki uygulamaya benzer şekilde Zürich-Flughafen'de bulunan ve İsviçre'nin en büyük uluslararası havalimanı olan Zürih Havalimanında Havaalanı kapasitesinin büyütülmesi ve Őengen kriterlerine uygun hale getirilmesi için 2009-2010 yıllarında geniŐletme çalışması yapılmıŐtır (Şekil 2.20.). Bu geniŐletme

alışmasında döşeme içerisinden bir sinyalizasyon sistemi geçirilmiş ve bu sistemin daha sağlıklı işlemesi için manyetik alan oluşturan elik donatılı betonarme döşeme yerine nötr olan yapay donatılı (şekil 2.21.) döşeme kullanılmıştır.[25]



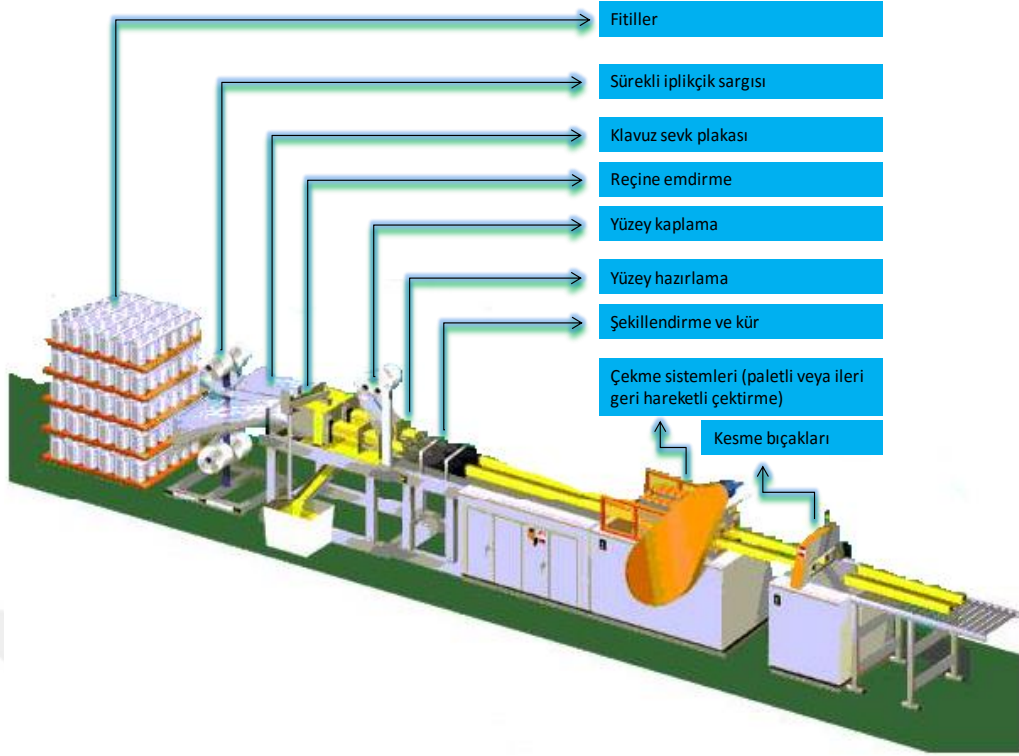
şekil 2.20. İsviçre'nin Zürich-Flughafen'de bulunan Zürich Havalimanında Lif takviyeli kompozit donatılı döşeme uygulaması.



şekil 2.21. İsviçre'nin Zürich-Flughafen'de bulunan Zürich Havalimanında Lif takviyeli kompozit donatılı döşeme uygulaması

2.2. PULTRUZYON YÖNTEMİYLE LİF TAKVİYELİ KOMPOZİT DONATILARIN ÜRETİMİ

Pultruzyon yöntemi (Şekil 2.22), malzemenin kalıp boyunca çekilerek üretilmesi esasına dayanır. Pultruzyon hattının çalışma prensibinde; makineden ayrı bir bölümde bulunan elyaflar bobinlerden çekilir. Bu elyaflar ilk olarak matris malzemesi olan reçine içinden geçerek ön kalıp olarak adlandırılan bölümden geçer ve daha sonra içlerindeki hava ve fazla reçineden arındırılır. Ön kalıptan çıkan malzemenin kullanım yerinde atmosfer ve diğer dış etmenlerden korunması için esas kalıba girmeden önce yüzeyi kaplanır. Kalıptan çıkan profiller, paletler tarafından çekilmesi suretiyle sistemin sürekliliği sağlanır ve son işlem olarak istenen uzunluğa gelen malzemenin bıçaklar vasıtası ile kesilmesi sonucu işlem tamamlanmış olur [10]. Boyuna mukavemetin yüksek olduğu bu üretim şeklinde malzemenin enine mukavemetini de artırmak amacı ile özel olarak düğümlü üretilmiş fitil (keçe), dokunmuş ya da farklı aksenel yönlere sahip cam kumaşlar ile kaplanır. Bunların dışında da yüzey düzgünlüğünü ve atmosferik etkileri azaltmak için termoplastik yüzey tülü çok kullanılan takviye malzemesidir. Bu metodun önemli özelliklerinden biri de kullanılan reçineye istenilen özellikleri geliştirmek amacı ile dolgu malzemeleri katılabilmesidir. Maliyeti düşürmek için 3-6 mikron boyutunda olan kalsiyum karbonat (kalsit), alev dayanımı istendiğinde alüminyum hidroksit, korozyon dayanımı istendiğinde kil, elektriksel izolasyon istendiğinde alüminyum trihidrat gibi dolgu maddeleri kullanılabilir. Mevcut lif takviyeli kompozit malzemelerin özellikleri önemli ölçüde özel formülasyonu, bileşenleri ve üretim yöntemine bağlı olarak değişir. Lif takviyeli kompozit malzemelerin özellikleri genellikle üretilen ürünün deneysel testleri ile elde edilir. Genel olarak, lif takviyeli kompozit malzemeler inşaat sektöründe kullanılmak üzere uygun hale getiren bazı özel karakteristiklere sahiptir. Bu özellikler arasında yüksek mukavemet, anti korozyon yapı, hafiflik, yorulma dayanımı, manyetik olmama, elektrik yalıtımı sayılabilir. Tüm lif takviyeli polimer malzemeler çekme etkisinde lineer elastik gerilme-şekil değiştirme davranışı gösterir. Lif takviyeli kompozit malzemelerde bilinmesi gereken kritik bir özellik ise genellikle akma sınırlarının olmamasıdır ve bazı karbon türleri dışında elastisite modülleri çelik ile kıyaslandığında düşüktür [26].



Şekil 2.22. Pultruzyon yönteminin üretim süreci.

Pultruzyon yöntemi ile üretilmiş bazı profil malzemeler Şekil 2.23.'de [26] ve cam lifi, bazalt lifi, karbon lifi gibi liflerin epoksi reçine kullanılarak betonarme yapılarda kullanılan çubuk donatı formunda örnekleri ise Şekil 2.24'de görülmektedir [12].



Şekil 2.23. Pultruzyon ürünü bazı malzemeler.



Şekil 2.24. Pultruzyon yöntemi ile üretilmiş bazı donatı çubukları.

2.3. BETON İLE DONATI ADERANSI

Bilindiği gibi beton ile içerisindeki donatı, meydana gelen etkiler nedeniyle şekil değiştirirler. Bu sırada iki malzeme arasında gerilmelerin geçişi meydana gelir. Arada sıyrılma olmaksızın bu tür gerilme geçişinin ortaya çıkmasına aderans denir

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 [1].

2.3.1. Aderansa etki eden başlıca faktörler

Aderans gerilmesinin birçok parametreye bağlı olduğu bilinmektedir. Örneğin beton karışım dizaynı yarmada çekme dayanımı gibi beton mekanik özelliklerini değiştirmekte ve beton mekanik özellikleri de aderans performansı üzerinde etkileyici bir rol oynamaktadır.

Bir diğer parametre ise kenetlenme boyudur.

TS500’de kenetlenme boyu için verilen Denklem (3.1) incelenecek olursa; betonun çekme dayanımındaki değişim ihtiyaç duyulan kenetlenme boyu üzerinde direk etkenlerden bir tanesidir. Denklemde; l_b kenetlenme boyunu, f_{yd} kullanılan donatının tasarım akma dayanımını ve f_{cdt} ise kullanılan betonun tasarım çekme dayanımını göstermektedir [12].

$$l_b = 0.12 \times \left(\frac{f_{yd}}{f_{cdt}} \right) \times \phi \quad (3.2)$$

Aderans üzerinde beton parametreleri kadar donatı özellikleri de etkindir. Örneğin donatının yüzey niteliği son derece önem taşımaktadır. Korozyona uğramış, yüzeyleri topraklı, çamurlu, yağlı donatıların kullanılması durumunda aderans dayanımı önemli düzeyde düşebilmektedir [28].

Donatının yüzey geometrisinde çok önemli bir aderans parametresidir. Düz donatılarda aderansın bir kısmı beton ile donatı yüzeyi arasındaki kimyasal yapışma sayesinde nervürlü donatılarda ise aderansın çok önemli bir bölümü, dişlerin eğimli yüzeylerinin betona yaslanmasıyla oluşan eğik kuvvetler sayesinde sağlanmaktadır. Bu nedenlerle kullanılacak donatı seçiminde yüzey geometrisi bakımından dişli yani nervürlü donatıların seçilmesi aderansa büyük oranda katkı sağlayacaktır [12], [28].

Donatı özelliklerinden donatı çapının etkisi değerlendirildiğinde ise donatı çapı değiştikçe, kenetlenmeyi sağlayan çevrenin, uygulanan kuvveti etkileyen alana oranı değişmektedir. Yani, donatı çapı arttıkça hem kesit alanı artan donatıya gelen kuvvetin artması sonucu kenetlenme azalmakta, hem de donatı dış kuvvetlerinin oluşturduğu ve yarıma çatlağına sebep olan radyal gerilmelerin artması da söz konusu olmaktadır. Buradan, yarıma kırılmasında, betonda oluşan çekme gerilmelerinin çapla orantılı olarak arttığı ortaya çıkmaktadır.

Bilindiği gibi teknolojik gelişmelerin bir sonucu olarak her alanda yeni kompozit ürünler ortaya çıkmaktadır. Kompozit ürünler arasında lifli donatı çubukları da yer almaktadır. Çelikten farklı olarak üretilen donatıların üretildiği malzemelerde aderansa etki eden bir değişken olarak düşünölmelidir.

Ayrıca kenetlenme boyu, pas payı, sargı donatısı, donatıların konumu da aderansı etkileyen parametrelerdir [12]. [28].

2.3.2. Aderans deneyleri

Aderans deneyleri genelde dış aderans denilen direkt aderansla ilgili özellikleri (kenetlenme, bindirmeli ekleme, sınır gerilme) konu alan çekip-çıkarma (pull-out) deneyleri ile iç aderans denilen çatlama özelliklerini konu alan kiriş deneyleri olmak üzere iki türdür. Yaygınlığı daha az olan itip-çıkarma (push-out) deneyleri de yapılmaktadır. Çekip çıkarma deneyleri; direk çekip-çıkarma ve dışmerkez çekip-çıkarma şeklindedir. Kiriş deneyleri arasında ise en yaygın olarak kullanılanları, Bureau of Standards Deneyi, Texas Deneyi, Standard Belçika Mafsallı Kiriş Deneyi ve büyük boyutlu betonarme kirişler üzerinde yapılan kiriş çatlama deneyi'dir [28], [29], [30], [31].

3. LİTERATÜR ÖZETİ

Bu bölümde lif takviyeli kompozit donatılarla ilgili olarak ulusal ve uluslararası kaynaklarda yer alan çeşitli çalışmalar özetlenmiştir.

Gu vd. betonların çelik ve GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymer-Cam Lifli Güçlendirilmiş Polimer) 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. Deneysel sonuçları en optimum donatının, dış genişliği 0.8 mm ve dış yüksekliği 1 mm olan donatılar olduğunu göstermiştir [32].

Dong vd. bazalt FRP (Lifli Güçlendirilmiş Polimer) 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 [33].

Wu vd. gerçekleştirdikleri çalışmada, aderans davranışını arttırmada yeni bir metot olarak kalsiyum sülfat (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 sülfat ilave ederek hem çelik hem de cam elyaf takviyeli yapay donatıların aderans performansını 41% oranında geliştirmişlerdir [34].

Dong vd. çelik-FRP kompozit donatısı ile deniz kumlu ve dere kumlu olarak üretilen betonlar arasındaki aderans dayanımlarını okyanus şartlarını dikkate alarak incelemişlerdir. Kıyaslama yapılabilmesi amacı ile çelik donatılar da kullanılmıştır. Biri deniz suyuna batırma diğeri deniz suyu ile ıslanma kuruma olmak üzere iki çeşit çevresel etki incelenmiştir. Toplam 66 çekip-çıkarma numunesi hazırlanmış ve beton yaşı baz alındığında 30-60 ve 90 günlük testler uygulanmıştır. Bu çalışmadaki test sonuçlarına göre ıslanma kuruma çevresel şartında, tüm yaşlardaki numunelerde aderans dayanımı artmıştır. Bununla birlikte aynı şartlardaki çelik donatıda yüzeyde paslanmalar oluşmuş ve aderans dayanımı düşüş eğilimi göstermiştir. 40°C’de deniz suyuna daldırma çevresel şartında, taze oksijenin azalması sebebi ile çelik donatıdaki paslanma süreci yavaşlarken, çelik-FRP kompozit donatısının beton ile aderansında düşüşler görülmüştür [36].

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 [36].

Yan vd. GFRP donatıların inşaat sektöründe altyapılardaki bozulmalara alternatif bir çözüm olarak kullanılabilceğini, korozyona dayanıklı beton yapılarda kullanılacak GFRP için en önemli parametrelerden birinin aderans karakteristikleri olduğunu belirterek daha önce yapılmış çalışmalar yardımı ile göçme modu ve aderans dayanımı üzerine yoğunlaşan ve 682 çekip-çıkarma deneyini içeren kapsamlı bir araştırma yapmışlardır. Araştırma kapsamında aderans dayanımı-sıyrılma ilişkisi analiz edilmiştir. Bunlara ilave olarak aderansta azalmalara sebep olan donma-çözülme, ıslanma-kuruma, alkali çözeltileri ve yüksek sıcaklık çevresel etkileri de sunulmuştur [37].

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 karışımda dört farklı geri dönüşüm agrega oranı kullanılmıştır. Çalışma sonunda, beton basınç dayanımlarında ve aderans davranışlarında önemli bir farkın olmadığı görülmüştür [38].

Karim vd. gerçekleştirdikleri çalışmada FRP boyuna donatı ve fretlerin eleman davranışına etkilerini incelemişlerdir. Toplam 5 adet 205 mm çapında 800 mm yüksekliğinde kolon aksel 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 aksel yüklemeye - aksel deformasyon davranışını incelemek için de bir analitik model geliştirilmiştir [39].

Wang vd. yapmış oldukları çalışmada bazalt lifli donatıların çimentolu kompozitlerdeki aderans performanslarını donatı çapı, kenetlenme boyu ve paspayı parametrelerini dikkate alarak araştırmışlardır. 5,5 mm'den 73 mm'ye kadar değişen paspayı kullanılan çalışmada elde edilen bulgulara göre donatı çapındaki artış aderans performansını düşürmekte, paspayındaki artış aderansı olumlu etkilemektedir. 5,5 mmpaspayı kullanılan numunelerde ise betonda yarıma oluşmakta ve paspayının 20 mm'yi aşması durumunda ise paspayının aderansa etkisi ihmal edilebilir düzeye gelmektedir [40].

Zhang vd. yaptıkları çalışmada NSM-FRP'nin beton elemanların güçlendirilmesi için kullanılan etkili bir teknik olduğunu belirtmiş; kompozitlerin gelişimi açısından, gerilmenin FRP donatı ile beton arasındaki transferinin aderans davranışı için çok önemli olduğunu vurgulamışlardır. Çalışma kapsamında NSM FRP donatı ile beton arasındaki aderans kaybı performansı toplam 22 test çalışması ile incelenmiştir. Aderans performansına etki edeceği düşünülen parametreler değiştirilerek çalışılmıştır. İki farklı çap, iki farklı tür FRP donatı, altı farklı aderans boyu ve üç farklı beton sınıfı kullanılmıştır. Kopma-göçme şekilleri, yük-sehim eğrileri, FRP donatıdaki gerilme dağılımları, FRP donatı ve epoksi ara yüzündeki yerel aderans gerilmeleri detaylı şekilde analiz edilmiştir [41].

Calvet vd. yaptıkları çalışmada çevresel etkilerin (donma-çözünme 5°C, 20°C, 40°C ve 80°C) farklı yüzey özelliklerine sahip karbon elyaf takviyeli polimer donatıların aderans dayanımlarına etkilerini incelemişler ve bu sonuçları betonarme donatıları ile

karşılaştırmışlardır. Çalışmanın sonunda farklı yüzey özeliğine sahip donatıların aderans dayanımlarında önemli farklılıklar olduğu belirlenmiştir. Bunun yanında farklı sıcaklıkların karbon elyaf takviyeli polimer donatılarda kullanılan reçinelerin yapısını değiştirmesinden dolayı aderans davranışlarında yine önemli farklılıklar gözlemlenmiştir [42].

Islam vd. farklı şartlar altındaki yüksek dayanımlı beton bloklara gömülen GFRP donatılar üzerinde bir araştırma yapmış ve 180 çekip-çıkarma deneyi gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada kullanılan değişkenler donatı çapı ($\text{Ø}6$ ve $\text{Ø}12$ mm), kenetlenme boyu (donatı çapına oranla 4 ve 6 kat), donatının ucunun şekli (düz ve başlıklı) ve beton paspayı tabakası kalınlığıdır. Çalışmanın sonucunda aderans gerilmesi beklenildiği gibi, kenetlenme boyu ve donatı çapı ile ters orantılıdır. Buna ek olarak küçük paspayı tabakası kalınlığı aderans dayanımı üzerinde büyük etkiler göstermiştir. Ayrıca dişli GFRP donatıların aderans dayanımları düz donatılara kıyasla daha yüksektir [43].

Ding vd. çelik lif ve makro-propilen liflerin FRP çubuk ve beton üzerindeki etkileri çalışmışlardır. Bulgular beton içerisindeki makro ölçekli lif veya hibrit liflerin hem aderans dayanımına hem de bağ tokluğuna katkıda bulunduğunu göstermiştir. Özellikle çelik lifin hibrit ve PPA ile kullanımı; FRP li betonun bağ davranışı üzerinde önemli bir pozitif katkı sağlamıştır. Sonuçlardan FRP'li betonlarda hibrit lif ile güçlendirilmiş betonun, çelik donatılı betona denk ya da daha iyi sonuçlar verdiği anlaşılmaktadır [44].

Lin ve Zhang beton içerisindeki FRP donatıların aderans, sıyrılma modellerinin ölçülmesi ile ilgili olarak bir derleme çalışması yapmışlardır. Bu çalışmada beton içindeki FRP donatılar ile ilgili olarak günümüzde kullanılan aderans-sıyrılma modellerinden birkaçı hakkında bilgi verilmiş ve bu modellerin doğru ve hatalı yanları tartışılmıştır [45].

Beycioğlu yapmış olduğu çalışmada öncelikle mineral katkı olarak uçucu kül ve yüksek fırın cürufu, viskozite düzenleyici toz katkı olarak ise kalsit içeren 19 farklı karışıma sahip kendiliğinden yerleşen beton üretmiştir. Bu karışımlar içerisinde seçilen ve ikame malzemesi içermeyen referans, uçucu kül ikameli ve yüksek fırın cürufu ikameli kendiliğinden yerleşen yüksek performanslı betonlarla üretilen mafsallı kirişler aracılığıyla bazalt lifli, cam lifli ve çelik donatıların aderans performanslarını karşılaştırmıştır. Çalışmada bazalt lifli donatıların çelik donatı ile birlikte hem 28 günlük hemde 90 günlük kür süresi sonunda betonlardan hiç sıyrılmadığı, cam lifli

donatının ise elik donatının akma sınırına dahi gelmeden sıyrılmalar göstererek koptuğu deneysel olarak ortaya konulmuştur. Çalışma sonunda donatıların yüzey özelliklerinin aderansa etkisi ile ilgili öneriler getirilmiştir [12].

Ekiz yapmış olduğu çalışmada, cam elyaf takviyeli donatı çubuklarının aderansını ve yapısal elemandaki performansını araştırmıştır. Sonuç olarak cam elyaf takviyeli donatıların yüzey özelliğinin, kirişlerde eğilme dayanımı ile donatı-beton aderansı üzerine etkili olduğunu ortaya koymuştur [13].



4. MATERYAL VE METOT

4.1. MATERYAL

Çalışmada eğilmede aderans deneyleri gerçekleştirilen kirişlerin üretiminde kullanılan beton karışımlarında bağlayıcı olarak CEM I 42,5 R tipi çimento, agrega olarak kırmataş kalker esaslı ince (0-4.75 mm) ve iri (4.75-12.7 mm) agrega, işlenebilirliği arttırmak için düşük kalsiyumlu uçucu kül, karışım suyu olarak Düzce ili şehir şebeke suyu ve TS EN 934-2'ye uygun süperakışkanlaştırıcı kimyasal katkı kullanılmıştır. Aderans deneyleri için ise 8 mm ve 12 mm çaplarında çelik donatı ve bazalt lifli kompozit donatı kullanılmıştır. Çalışmanın bu bölümünde, kullanılan tüm malzemelere ait özellikler detaylı olarak açıklanmıştır.

4.1.1. Agrega

Çalışmada kullanılan betonların üretiminde Düzce ili Yığılca ilçesinden Kapucuoğlu firması tarafından çıkarılan kalker esaslı kırmataş agrega kullanılmıştır. Kullanılan kırmataş 0-4.75 mm boyutlarında ince ve 4.75-12.7 mm boyutlarında iri agrega olmak üzere iki sınıftır. Kullanılan agregaların yoğunlukları iri agrega için $2,72 \text{ g/cm}^3$ ve ince agrega için ise $2,70 \text{ g/cm}^3$ olup su emme değerleri ise iri agrega için %0,6 ince agrega için ise %2,3 olarak belirlenmiştir.

4.1.2. 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 üretici tarafından elde edilen kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 4.1.'de sunulmuştur.

Çizelge 4.1. Kullanılan CEM I 42,5 R 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 genişmesi (mm)	1
CaO	64.72	Yoğunluk (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	Basınç dayanımı (MPa)	
K ₂ O	0.51	7 gün	44.6
Kızdırma kaybı	3.83	28 gün	55.3
Çözünmeyen kalıntı	0.63	90 gün	62.4
Serbest CaO	1.52		

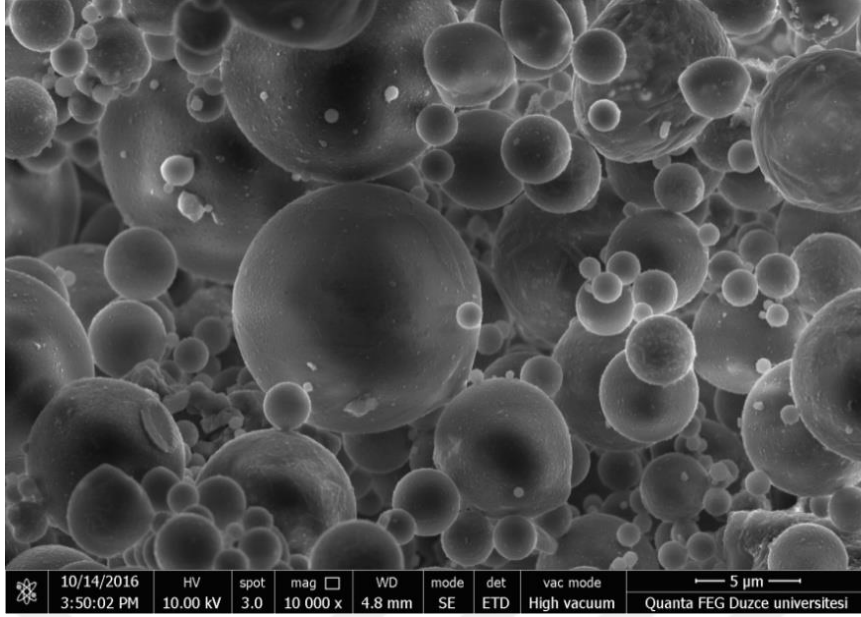
4.1.3. Mineral katkı

Çalışmada, üretilen betonların işlenebilirliğini arttırmak amacıyla Düzce İlinde bulunan Yiğitler Hazır Beton Tesisi tarafından temin edilen düşük kalsiyumlu uçucu kül kullanılmıştır. Kullanılan UK'ya ait üretici tarafından elde edilen kimyasal ve fiziksel özellikler Çizelge 4.2'de görülmektedir.

Çizelge 4.2. Çatalağzı termik santralinden temin edilen uçucu kül'e (UK) 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	
Yoğunluk	2,09
Özgül yüzey (cm ² /g)	4252

Kullanılan uçucu kül düşük kalsiyumlu uçucu kül olup küresel taneciklere sahip olması nedeniyle betonların işlenebilirliğini arttırmış ve mafsalı kiriş kalıplarına kolay yerleşmesini sağlamıştır. Kullanılan UK'nın yüzey formunu gösteren SEM görüntüsü Şekil 4.1.'de verilmiştir.



Şekil 4.1. Kullanılan UK'ya ait SEM görüntüsü.

4.1.4. Kimyasal katkı

Betonların üretiminde kullanılan kimyasal katkı AYDOS Yapı Kimyasalları tarafından üretilen süper akışkanlaştırıcı beton katkısıdır. Katkının özellikleri Çizelge 4.3'de görülmektedir.

Çizelge 4.3. 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 %		

4.1.5. Karışım suyu

Tüm beton karışımlarının üretiminde karışım suyu olarak içilebilir nitelikte olan Düzce ili şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

4.1.6. Çelik donatı ve bazalt lifli kompozit donatılar

Çalışmada çap (Ø) olarak 8 mm ile 12 mm'lik standart nervürlü çelik ve bazalt lifli yapay kompozit olmak üzere iki çeşit donatı kullanılmıştır. Gerçekleştirilen aderans deneylerinde kullanılan bazalt lifli kompozit donatı Spinteks Tekstil İnşaat Sanayi ve

Ticaret A.Ş.'den temin edilen helisel sargılı yüzey özelliğine sahip donatılardır. Kullanılan bazalt lifli donatının fiziksel, mekanik ve termal özellikleri Çizelge 4.4.'de görülmektedir. Çizelge 4.4.'deki veriler firma tarafından üreticiden temin edilen verilerdir. Çalışmada kullanılan bazalt lifli kompozit donatı ile çelik donatının birlikte görseli Şekil 4.2.'de yer almaktadır.

Mafsallı kiriş yöntemi ile aderans deneylerinde temel prensiplerden bir tanesi de eğilme esnasında betonda kesme çatlağının oluşmamasını sağlamaktır. Bu amaçla BS 4449:2005+A2:2009'da tanımlanan ve Şekil 4.5.'de şematik olarak gösterilen kesme donatıları hazırlanmıştır. Kesme gerilmesini engellemek amacıyla Ø6 ile Ø8 lik nervürlü çelik donatılar kullanılmıştır. Hazırlanan kesme donatıları Şekil 4.6.'da görülmektedir.

Çizelge 4.4.Üretici tarafından sağlanan basalt lifli kompozit donatı çubuğunun fiziksel, mekanik ve termal özellikleri.

Özellikleri	Değerler
Gerilme Direnci (MPa)	1100
Elastikiyet Modülü (MPa)	70000
Yoğunluk (g/cm ³)	1.9
Isı İletkenlik Katsayısı (W/mK)	0.35-0.59
Lineer Genleşme Katsayısı	1
Uzama (Poisson) (%)	2.2
Korozyon Direnci	No rusting



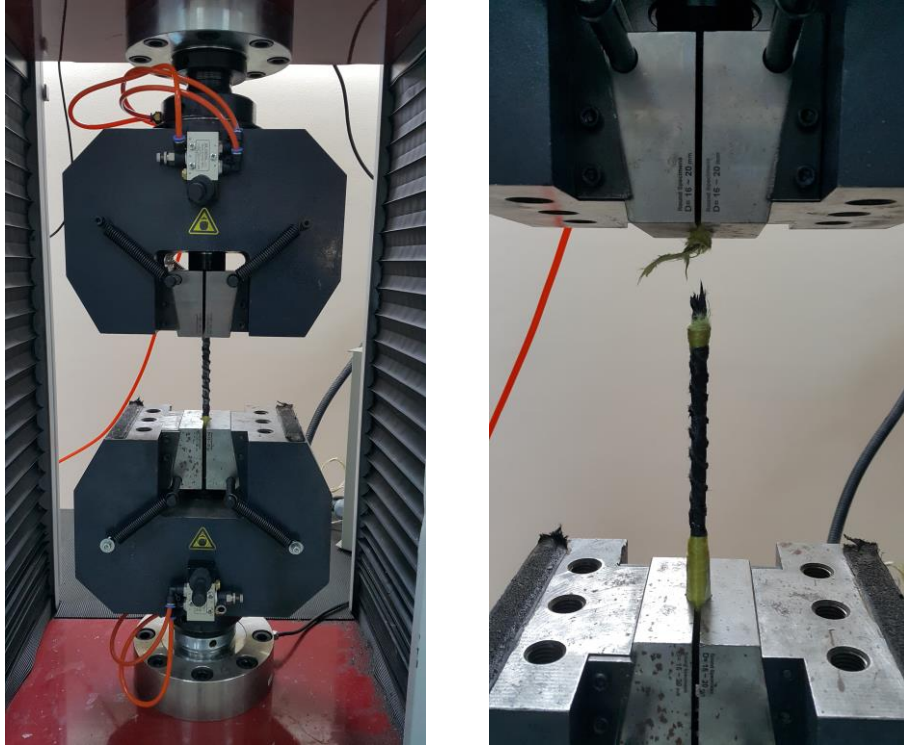
Şekil 4.2. Çalışmada kullanılan çelik donatı ve bazalt lifli kompozit donatı.

4.2. METOT

Çalışmada mafsallı kiriş numuneleri kullanılarak çelik donatı ile bazalt lifli kompozit donatının beton ile olan aderans performanslarının belirlenmesi ve iki malzemenin karşılaştırılması amaçlanmıştır. Deneysel çalışmada öncelikli olarak kirişlerin üretimi için kullanılmak üzere C30 dayanım sınıfında ve BS EN 12350-2 standardına göre S4 slump sınıfındaki yüksek işlenebilirliğe sahip beton karışımı tasarlanmıştır. Tasarlanan beton karışımında işlenebilirliğin yüksek seçilmesindeki amaç betonların mafsallı kiriş üretimi için kalıplara kolay yerleşmesini sağlamaktır. Tasarlanan beton ile üretilen mafsallı kiriş numuneleri üzerinde BS 4449:2005+A2:2009 standardına uygun olarak eğilmede aderans deneyleri gerçekleştirilmiş ve donatıların aderans performansları elde edilen yük-sıyrılma verileri üzerinden karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Tez kapsamında gerçekleştirilen deneysel aşamalar bu bölümde detaylandırılmıştır.

4.2.1. Donatıların çekme testi

Epoksi ile başlıklama yapılmış bazalt lifli kompozit donatı üzerinde gerçekleştirilen çekme deneyine ait görsel Şekil 4.3'de görülmektedir. Çekme deneyinde 100 ton kapasiteli Universal çekme cihazı kullanılmış olup çekme deneyi esnasındaki yük ve boy değişimleri cihazın yazılımı yardımıyla bilgisayara kaydedilmiştir.



Şekil 4.3. Donatı çekme testinin uygulanışı.

4.2.2. Beton tasarımı ve karışım oranlarının belirlenmesi

Çalışmada geleneksel beton olarak C30 dayanım sınıfındaki beton TS 802 standardına göre tasarlanmış ve mafsalı kiriş numunelerinin üretiminde kullanılmıştır. Tasarlanan betona ait karışım oranları Çizelge 4.5.'de görülmektedir.

Çizelge 4.5. 1m³ Beton karışımındaki malzeme miktarı

Malzeme	Hacim (dm ³)	Yoğunluk	Miktar (kg/m ³)
Çimento	95	3.17	300
Düşük Kalsiyumlu Uçucu Kül	23	2.2	50
Su	196	1	196
İnce Agregası (0-5)	403	2.66	1073
İri Agregası (5-15)	269	2.68	721
Süperakışkanlaştırıcı	4.25	1.07	4.55

4.2.3. Taze beton çökme deneyi

Aderans deneylerinde kullanılan mafsalı kiriş kalıplarının boyutları ve standardında tanımlanan şekilde kalıpların içerisine konulan kesme donatıları göz önünde bulundurularak betonun kalıplar içerisine kolayca yerleşebilmesini sağlamak amacıyla S4 (160–210 mm) kıvam sınıfında akıcı bir beton üretimi tercih edilmiştir. Üretilen betonlar üzerinde taze beton deneylerinden olan çökme (slump) deneyi standardına uygun olarak gerçekleştirilmiş ve bu deney aracılığıyla deneme karışımlarının S4 kıvam sınıfına uygunluğu tespit edilmiştir. Tasarlanan betonda slump deneyi uygulaması Şekil 4.4.'de görülmektedir.



Şekil 4.4. Slump deneyi ile betonun kıvam sınıfının tayini.

$$(P \times l) \div 2 = F \times h \quad (4.1)$$

eşitliği yazılır. Üretilen kirişlerde $l=25$ cm. ve $h=10$ cm. olduğundan;

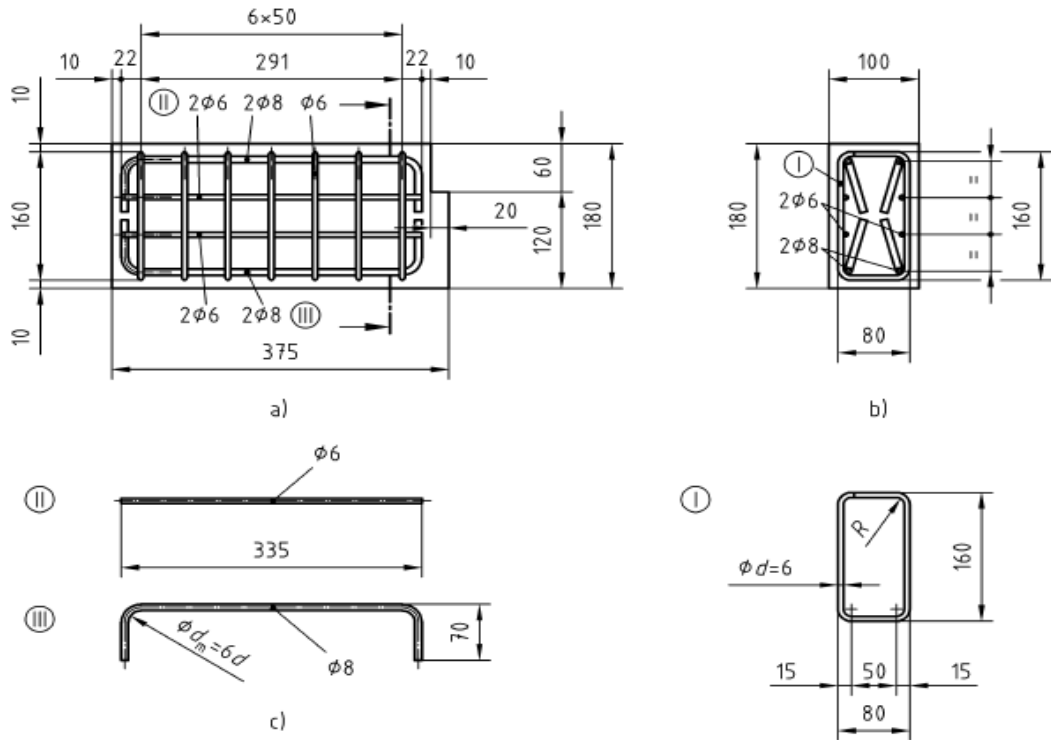
$$F = 1,25 \times P \quad (4.2)$$

eşitliği kullanılarak donatıdaki F kuvveti pistondan gelen P kuvveti yardımıyla dolaylı olarak elde edilmiş olur. [12]

Donatıdaki F kuvvetleri bulunduktan sonra bu F kuvvetlerine karşılık gelen sıyrılma değerleri ise Şekil 4.4.'de görüldüğü gibi kirişin her iki ucuna bağlanan Potansiyometrik Cetvel'ler yardımıyla bilgisayara aktarılmaktadır.

4.2.6. Mafsallı kiriş numunelerinin üretimi ve kür uygulaması

Mafsallı kiriş yöntemi ile aderans deneylerinde temel prensiplerden bir tanesi de eğilme esnasında betonda kesme çatlağının oluşmamasını sağlamaktır. Bu amaçla hazırlanan kesme donatılarının detayı Şekil 4.6'de, hazırlanan kesme donatıları Şekil 4.6.'de görülmektedir.

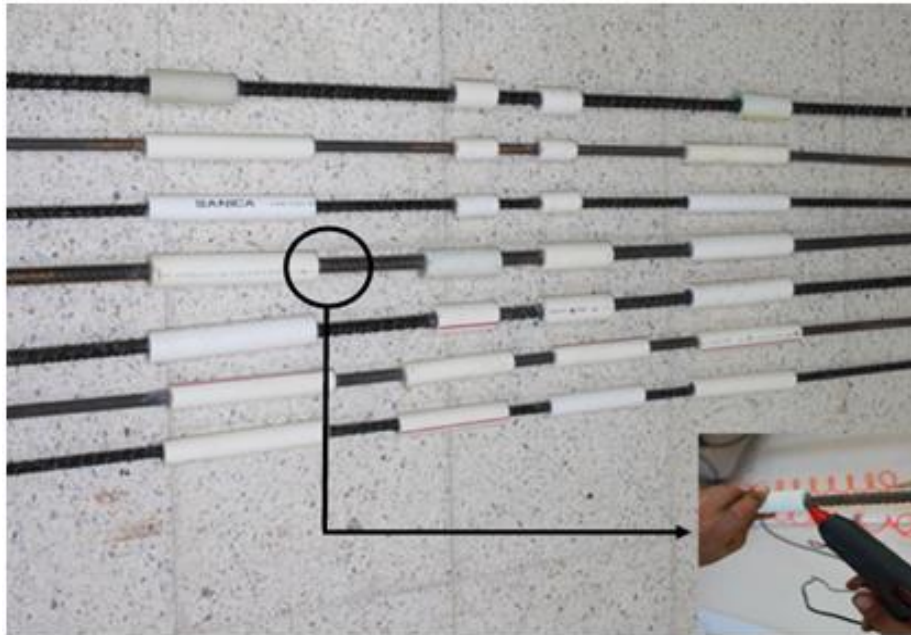


Şekil 4.6. Mafsallı kirişlerde kullanılacak olan kesme donatılarının detayı.



Şekil 4.7. Çalışma kapsamında hazırlanan kesme donatıları.

Daha sonra aderansı belirlenecek olan donatıların betonla olan kenetlenme boylarının sınırlandırılması gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla kılıf olarak kullanılmak üzere donatı çapına göre temin edilen temiz su tesisat boruları betonun içerisinde kalmayacak kısımları belirlemek amacıyla uygun boylarda hazırlanmıştır. Hazırlanan kılıfların iç kısmı, taze betondan herhangi bir malzeme veya karışım suyunun sızması için sıcak silikon kullanılarak doldurulmuştur. Şekil 4.8.'de kılıfların donatı üzerinde kenetlenme boyuna göre ayarlanarak yerleştirilmiş görünümleri verilmiştir.



Şekil 4.8. Kılıfların donatı üzerinde kenetlenme boyuna göre yerleştirilmesi.

Kılıflanarak kenetlenme boyları sabitlenen donatılar önceden yerleştirilen kesme donatılarının arasından geçirilerek kalıplar içerisine yerleştirilmiştir. Kalıba yerleştirilen donatının detayı Şekil 4.9.'da görülmektedir.



Şekil 4.9. Donatıların kalıba yerleştirilmesi.

Tüm bu işlemler tamamlandıktan sonra kalıpların içerisine beton dökümü gerçekleştirilmiştir. Beton dökümünde laboratuvar tipi beton vibrasyon masası kullanılarak betonların kalıp içerisine yerleşmesi sağlanmıştır. Üretilen tüm kirişler 24 saat kalıp içerisinde bekletildikten sonra kalıplar sökülerek 28 gün boyunca günde iki kez sulanarak kür uygulanmıştır. Kür süresini tamamlayarak aderans deneylerine hazır hale getirilmiş mafsallı kiriş numuneleri Şekil 4.10.'da görülmektedir.



Şekil 4.10. Kür uygulamasından sonra aderans testine hazır hale getirilmiş mafsallı kirişler.

4.2.7. Mafsallı kiriş numunelerinin kodlanması

Üretilen tüm kirişlerde, kullanılan donatının türü, donatı çapı ve kenetlenme boyunu temsil edecek bir kodlama kullanılmıştır. Üretilen kirişlerden bazalt donatı kullanılarak

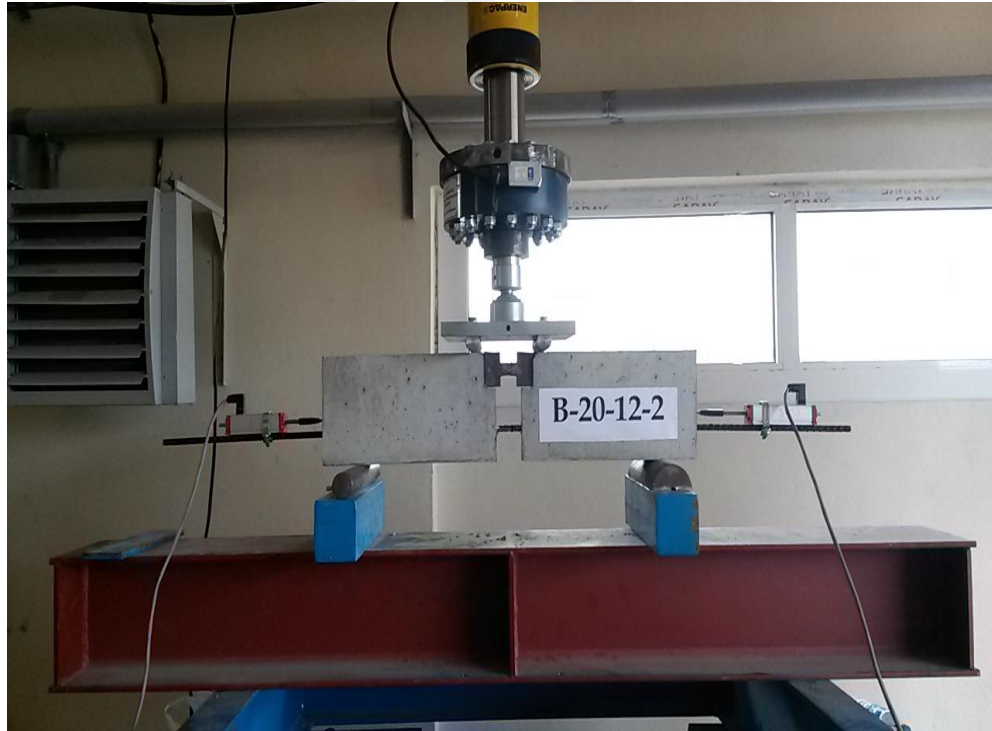
20 Ø kenetlenme boyu ve Ø 8 donatı çapı ile üretilen kirişlerden ikinci numuneye ait kodlama kullanılan kodlamaya örnek olarak Çizelge 4.6.'de verilmiştir. Çalışmadaki tüm kodlamalarda kullanılan harf ve rakamların tanımları ise yine Çizelge 4.6.'de detaylandırılmıştır.

Çizelge 4.6. Üretilen kirişlerde, kullanılan donatının türü, donatı çapı ve kenetlenme boyunu gösteren örnek bir kodlama.

B-20-08-2			
İlk Harf	İkinci Rakam	Üçüncü Rakam	Dördüncü Rakam
Donatı Türü	Kenetlenme Boyu	Donatı Çapı	Numune Sırası
B – BAZALT	10 – 10 Ø	08 – Ø 8	1 – 1. Deney numunesi
S – ÇELİK	20 – 20 Ø	12 - Ø 12	2 – 2. Deney numunesi

4.2.8. Mafsallı kirişler üzerinde aderans deneylerinin gerçekleştirilmesi

Hazırlanan tüm kirişler BS 4449:2005+A2:2009 standardında tanımlanan ve Şekil 4.4.'de şematik olarak gösterilen biçimde Şekil 4.11.'de görülen yükleme çerçevesine yerleştirilmiştir.

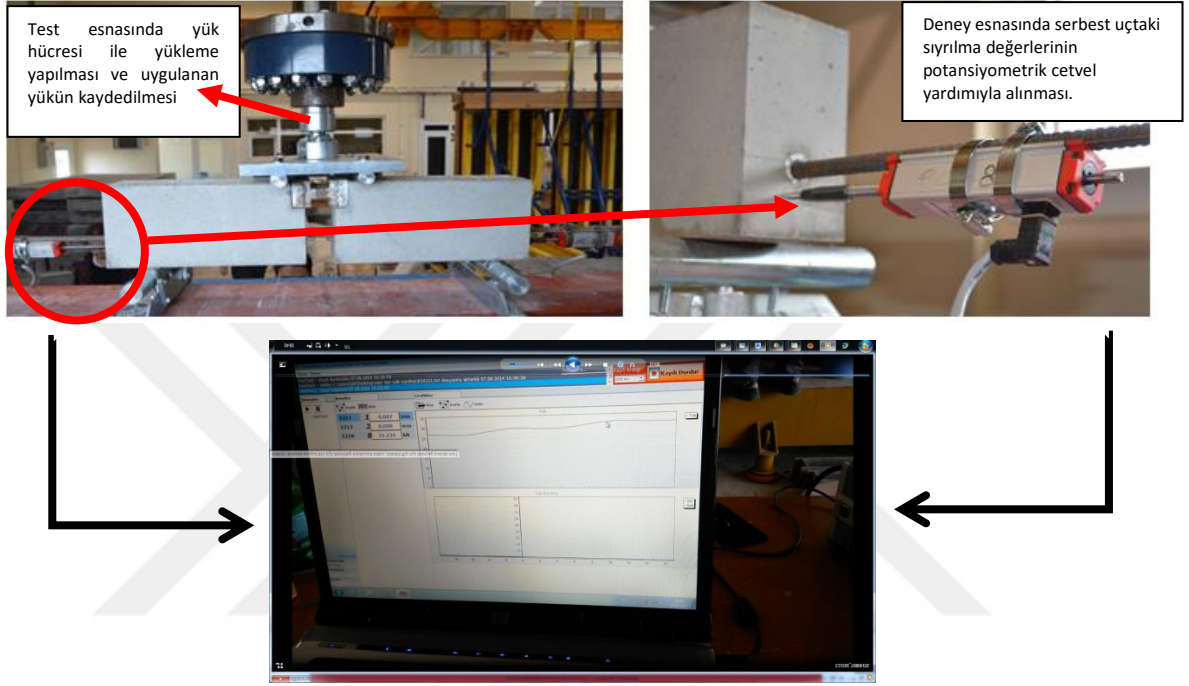


Şekil 4.11. Mafsallı kiriş deney yönteminin uygulanması [21].

Şekil 4.11.'da görüldüğü gibi yükleme çerçevesine yerleştirilmiş olan kirişlere hidrolik yükleme prensibiyle çalışan 100 ton kapasiteli yük hücresi aracılığıyla düşey yük uygulanmış ve kirişler eğilmeye zorlanmıştır. Yüklemede mesnetlerden bir tanesi hareketli bir tanesi ise sabit mesnet olarak yerleştirilmiştir. Kirişlere uygulanan yükler

yük hücresi yardımıyla ve donatıların betondan sıyırılma miktarları ise potansiyometrik cetveller yardımıyla bilgisayara aktarılmıştır. Kullanılan potansiyometrik cetveller 0.013 mm hassasiyete sahiptir. Kirişin orta kısmına ise momenti sıfırlamak ve donatılara gelecek yükleri hesaplamak amacıyla çelik bir mafsal yerleştirilmiştir.

Mafsallı kiriş deneyindeki yükleme ve sıyırılma okumalarının alınması ile ilgili detay Şekil 4.12.'da verilmiştir.



5. BULGULAR VE TARTIŞMA

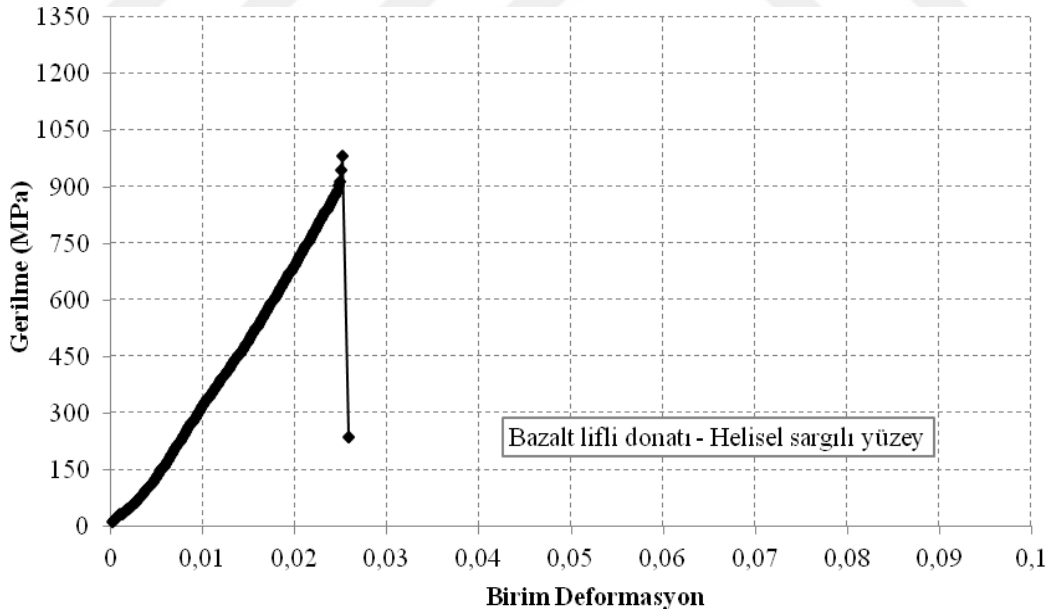
5.1. DONATILARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİ

Çalışmada kullanılan bazalt lifli donatıya epoksi ile başlıklama işlemi yapılarak hem bazalt lifli kompozit donatıda hemde çelik donatıda çekme deneyi gerçekleştirilmiştir. Bulunan değerler Çizelge 5.1'de verilmiştir. Çekme deneyinde çelik donatının akma ve çekme gerilmeleri ve bazalt lifli kompozit donatının ise akma göstermemesi nedeniyle yalnızca çekme mukavemeti belirlenmiştir.

Çizelge 5.1.Çalışmada gerçekleştirilen donatıların çekme deneyine ait bulgular.

Mekanik Özellik	Çelik	Bazalt
Akma dayanımı (MPa)	490	-
Çekme dayanımı (MPa)	570	-
Kopma dayanımı (MPa)	478	980,45

Çekme deneyinde elde edilen bazalt lifli kompozit donatıya ait gerilme-deformasyon grafiği Şekil 5.1'de görülmektedir.



5.2. TAZE VE SERTLEŞMİŞ BETON ÖZELLİKLERİ

Tez çalışmasında aderans deneylerine geçmeden önce tasarlanan betonun S4 (160–210 mm) kıvam sınıfına uygunluğu BS EN 12350-2 standardına göre ve sertleşmiş betonun ise basınç dayanımının ise C30 dayanım sınıfı uygunluğu TS EN 12390-3 standardına göre test edilmiştir. Ayrıca sertleşmiş beton numuneler üzerinde TS EN 12390-6 standardına göre yarmada çekme ve TS EN 1097-6 Standardına göre su emme deneyleri de gerçekleştirilmiştir. Betonlar üzerinde gerçekleştirilen tüm deneylerden elde edilen bulgular Çizelge 5.2.'de görülmektedir. 28 günlük dayanımda elde edilen 37,9 MPa değeri küp numuneye ait olup betonun C30/37 sınıfı yani silindir dayanımı 30 MPa olan beton olduğunu göstermektedir.

Çizelge 5.2. Çalışmada üretilen C30 geleneksel betonunun taze ve sertleşmiş özellikleri.

Özellik	Sonuçlar
Çökme (mm)	190
$f_{c_{küp}}$ (MPa) 7 günlük	25.91
$f_{c_{küp}}$ (MPa) 28 günlük	37.9
Yarmada çekme dayanımı (MPa) 28 günlük	3.84
Su emme (%)	3.41

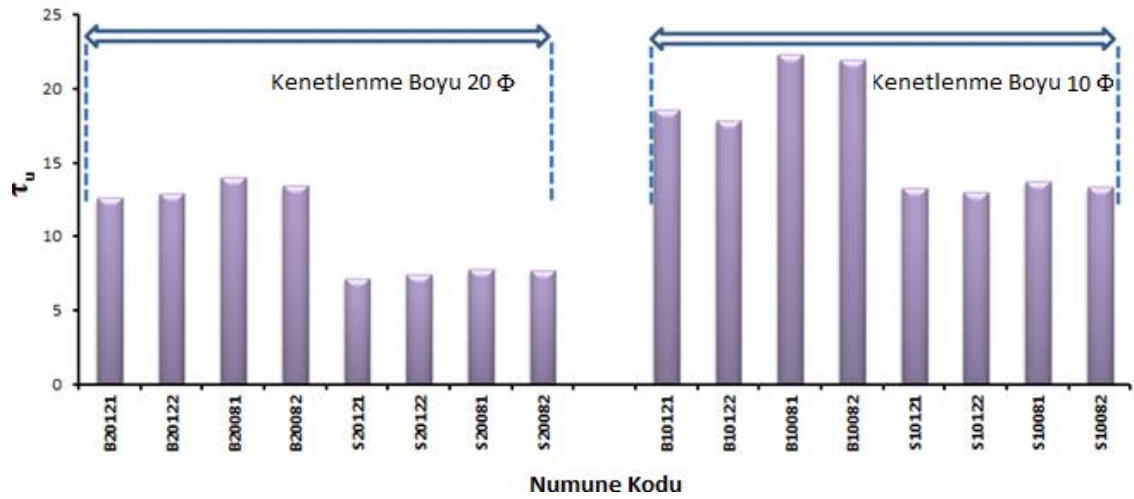
5.3. BETON-DONATI ADERANS ÖZELLİKLERİ

Bilindiği gibi kirişler eğilmeye çalışan elemanlardır ve genel olarak eğilmeye çekme gerilmelerine maruz kalırlar. Eğilmeye zorlanan kirişlerde oluşan dolaylı çekmelerde beton ile donatının aderansı kritik bir mühendislik parametresi rolü oynar. Bu çalışmada da kiriş numunelerde yapılan deneylerin gerçek davranışı yansıtması nedeniyle mafsallı kirişler aracılığıyla beton-donatı aderansı belirlenmiştir. Gerçekleştirilen mafsallı kiriş deneyleri ile donatı-beton aderansı için kirişlerin gerçek davranışını yansıtan bir prensip ortaya konulabilmektedir. Bu bölümde eğilmeye zorlanan mafsallı kiriş numunelerinden elde edilen yüklemeler ile bu yüklemelere karşılık gelen sıyrılma verileri kullanılarak elde edilen yük-sıyrılma grafikleri sunulmuştur. Ayrıca kritik bulgular olarak görülen maksimum yükleme (MY), donatı üzerindeki maksimum gerilme (MG), maksimum aderans gerilmesi (τ_u), maksimum yüke karşılık gelen sıyrılma (MYS), maksimum yüklemeye ortalama sıyrılma (MYS-ORT) ve deneyin sonlama türü (donatının kopması

ile deneyin sonlanması DK ve aderans kopması ile deneyin sonlanması AK) ile ilgili bulgularda detaylı olarak sunulmuştur.

5.3.1. Bazalt lifli ve çelik donatının aderans performansı

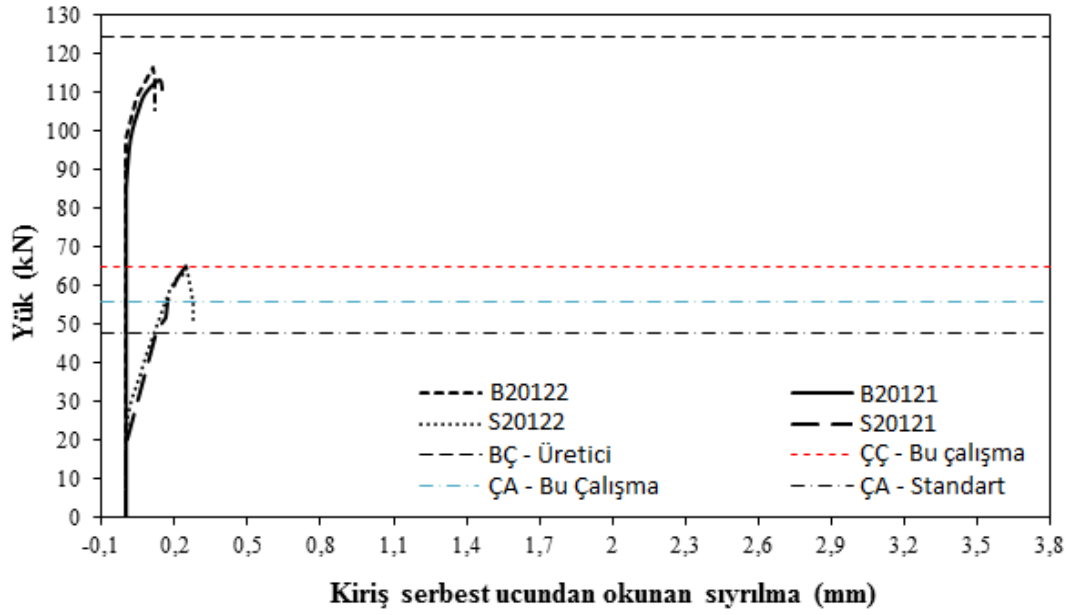
Eğilme deneyleri ile aderansı belirlenen donatılarda iki farklı kenetlenme boyu tercih edilmiştir. Bunlardan bir tanesi TS500 tarafından önerilen ve donatı çapının 20 katını temsil eden 20 Ø kenetlenme boyudur. Çalışmadaki deneylerde 20 Ø kenetlenme boyunda hiç sıyrılma oluşmaması ihtimali düşünülerek, donatıların aderans performansının karşılaştırılmasını sağlamak amacıyla yönetmeliğe ilave olarak ikinci bir kenetlenme boyu da kullanılmış ve 10 Ø kenetlenme boyuna sahip numuneler içinde eğilmede aderans deneyleri gerçekleştirilmiştir. Kenetlenme boyu ile donatıda hesaplanan maksimum aderans gerilmesi (T_u) değerleri arasındaki ilişki Şekil 5.2.'de görülmektedir.



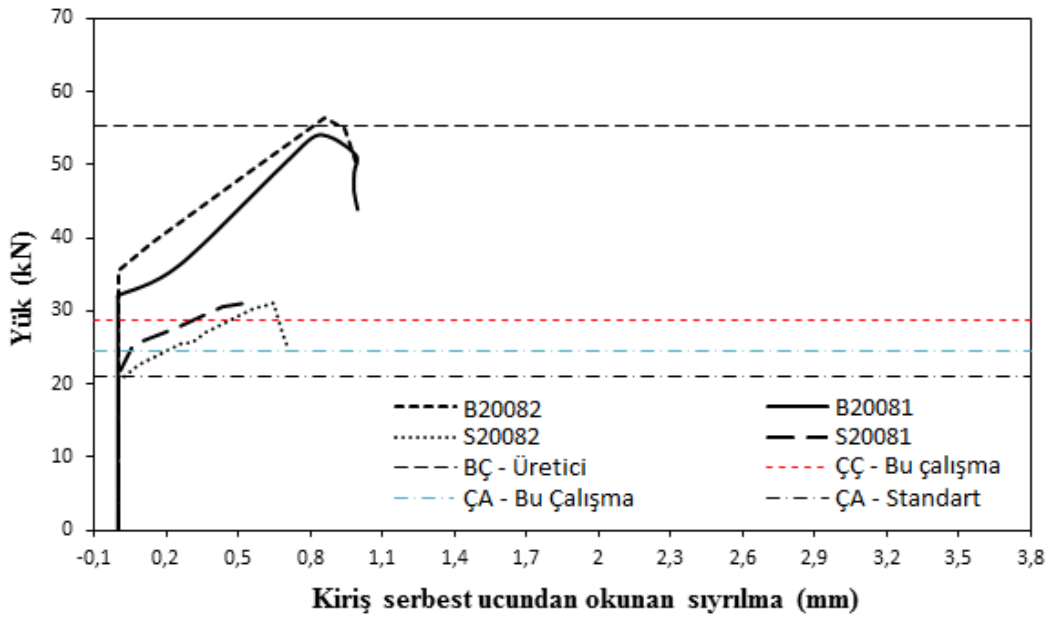
Şekil 5.2. Kenetlenme boyuna bağlı maksimum ortalama aderans gerilmesi değerleri.

Şekil 5.2.'de görüldüğü gibi 20 Ø kenetlenme boyu kullanılan numunelerde en büyük aderans gerilmesine B20081 ve B20082 kodlu 8 mm çaplı bazalt lifli kompozit donatı kullanılan kirişlerde ulaşılmıştır. 20 Ø kenetlenme boyunda en düşük aderans gerilmesi ise S20121 ve S20122 kodlu 12 mm çaplı çelik donatı kullanılan kirişlerden elde edilmiştir. Şekil 5.1'deki bulgular 10 Ø kenetlenme boyu kullanılan numunelerde yorumlanacak olursa, en büyük aderans gerilmesine B10081 ve B10082 kodlu 8 mm çaplı bazalt lifli kompozit donatı kullanılan kirişlerde ve en düşük aderans gerilmesine ise S10121 ve S10122 kodlu 12 mm çaplı çelik donatı kullanılan kirişlerde ulaşıldığı görülmektedir.

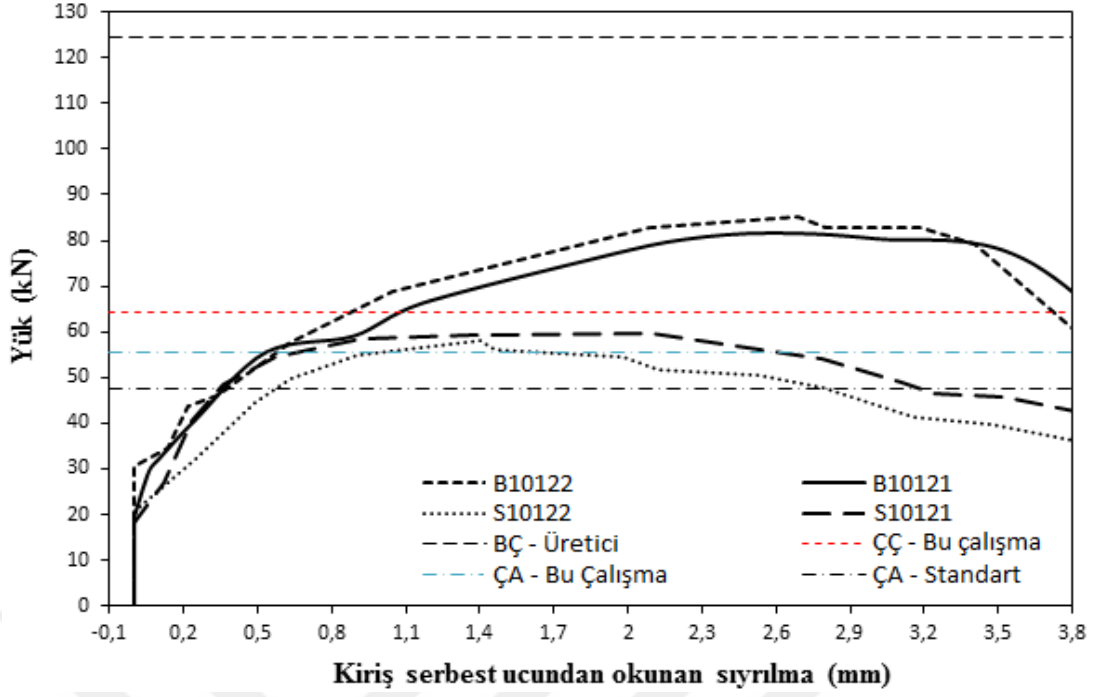
Aderans deneylerinde kirişlere uygulanan yükler ve yüklerle karşılık gelen sıyrılmalar için ise yük-sıyrıma grafikleri oluşturulmuştur. Kenetlenme boyu 20 Ø donatı çapı 12 mm olan kirişlere ait yük-sıyrıma ilişkisi Şekil 5.3.'de, kenetlenme boyu 20 Ø donatı çapı 8 mm olan kirişlere ait yük-sıyrıma ilişkisi Şekil 5.4.'de, kenetlenme boyu 10 Ø donatı çapı 12 mm olan kirişlere ait yük-sıyrıma ilişkisi Şekil 5.5.'de ve kenetlenme boyu 10 Ø donatı çapı 8 mm olan kirişlere ait yük-sıyrıma ilişkisi de Şekil 5.6.'da görülmektedir.



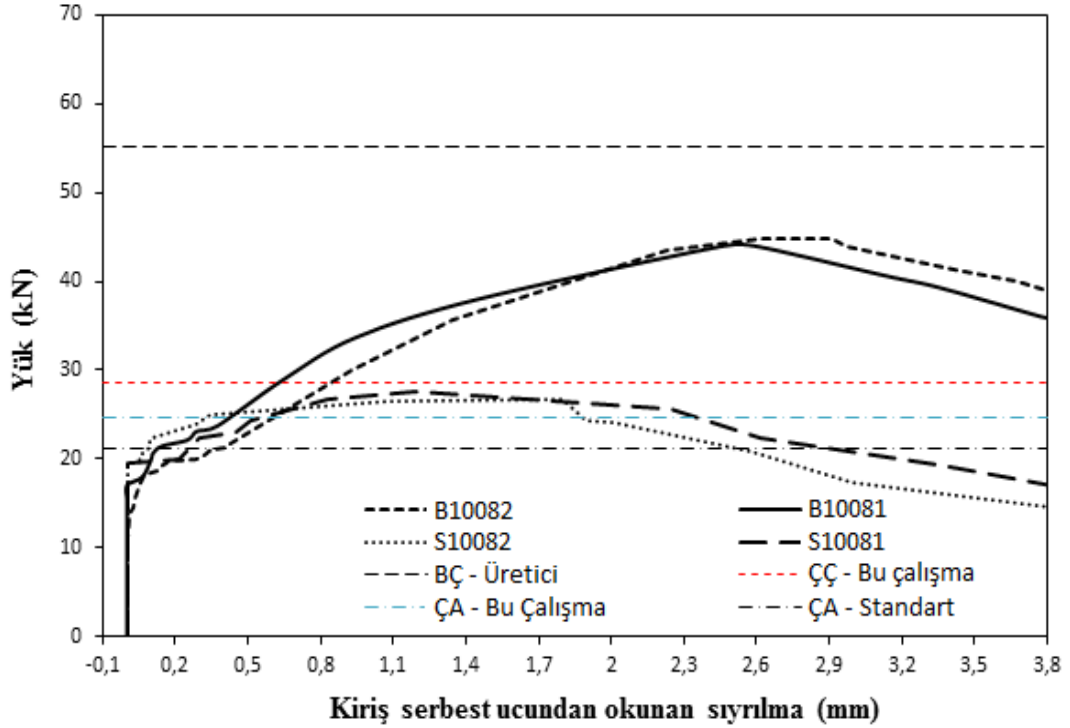
Şekil 5.3. Kenetlenme boyu 20 Ø ve donatı çapı 12 mm olan kirişlerde uygulanan yük ile sıyrıma verileri arasındaki ilişki.



Şekil 5.4. Kenetlenme boyu 20 Ø ve donatı çapı 8 mm olan kirişlerde uygulanan yük ile sıyrıma verileri arasındaki ilişki.



Şekil 5.5. Kenetlenme boyu 10 Ø ve donatı çapı 12 mm olan kirişlerde uygulanan yük ile sınırlama verileri arasındaki ilişki.



Şekil 5.6. Kenetlenme boyu 10 Ø ve donatı çapı 8 mm olan kirişlerde uygulanan yük ile sınırlama verileri arasındaki ilişki.

Yük-sıyrılma ilişkilerini yorumlamada yardımcı olması amacıyla grafikler üzerinde çelik donatı ile ilgili bazı parametrelerde sınır değerler olarak verilmiştir. Grafik üzerinde verilen bu parametreler şu şekildedir;

- Bu çalışmada kullanılan çelik donatının akma dayanımına ulaşıldığı andaki yük (ÇA-Bu çalışma)
- Bu çalışmada kullanılan çelik donatının çekme dayanımına ulaşıldığı andaki yük (ÇÇ-Bu çalışma)
- Standart S420 çeliğinin akma dayanımına ulaşıldığı andaki yük (ÇA-Standart)
- Bu çalışmada kullanılan ve üretici tarafından belirlenen bazalt lifli kompozit donatının çekme dayanımına ulaşıldığı andaki yük (BÇ-Üretici)

Ayrıca bu çalışmadaki çelik donatıya ait akma ve çekme gerilmelerine denk gelen yük değerlerinde tüm kirişlerden potansiyometrik cetveller aracılığıyla elde edilen sıyrılma verileri 20 Ø kenetlenme boyu için Çizelge 5.3.'de ve 10 Ø kenetlenme boyu için ise Çizelge 5.4.'de verilmiştir.

20 Ø kenetlenme boyu için Çizelge 5.2.'de görülen bulgular değerlendirilecek olursa; bazalt lifli kompozit donatı Ø 8 ve Ø 12 çaplarında kullanıldığında betonlardan hiç sıyrılmamış, çelik donatı ise Ø 8 çapında kullanılması durumunda bu çalışmadaki çelik donatının akma gerilmesine denk gelen yüklerde ortalama 0,116128 mm, bu çalışmadaki çelik donatının çekme gerilmesine denk gelen yüklerde ortalama 0,373433 mm ve Ø 12 çapında yine çelik donatı kullanılması durumunda ise bu çalışmadaki çelik donatının akma gerilmesine denk gelen yüklerde denk gelen yüklerde ortalama 0,135491mm ve bu çalışmadaki çelik donatının çekme gerilmesine denk gelen yüklerde ortalama 0,241153 mm sıyrılma göstermiştir. Bu bulgular 20 Ø kenetlenme boyu kullanılması durumunda bazalt lifli kompozit donatının çeliğe oranla daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Çizelge 5.3. 20 Ø kenetlenme boyunda (ÇA-Bu çalışma) ve (ÇÇ-Bu çalışma)'ya denk gelen yüklerde sıyrılma değerleri.

Numune kodu	(ÇA-Bu çalışma)'ya denk gelen yükte sıyrılma(mm)	(ÇÇ-Bu çalışma)'ya denk gelen yükte sıyrılma (mm)
B-20-08-1	0	0
B-20-08-2	0	0
Ortalama	0	0
B-20-12-1	0	0
B-20-12-2	0	0
Ortalama	0	0
S-20-08-1	0,186332	0,300535
S-20-08-2	0,045924	0,446332
Ortalama	0,116128	0,373433
S-20-12-1	0,111799	0,24777
S-20-12-2	0,159184	0,234537
Ortalama	0,135491	0,241153

10 Ø kenetlenme boyu için verilen Çizelge 5.3'deki bulgular değerlendirilecek olursa; bazalt lifli kompozit donatı Ø 8 çapında bu çalışmadaki çelik donatının akma gerilmesine denk gelen yükte ortalama 0,497256 mm, bu çalışmadaki çelik donatının çekme gerilmesine denk gelen yükte ise ortalama 0,712057 mm ve yine bazalt lifli kompozit donatı Ø 12 çapında kullanıldığında ise bu çalışmadaki çelik donatının akma gerilmesine denk gelen yükte ortalama 0,563554 mm, bu çalışmadaki çelik donatının çekme gerilmesine denk gelen yükte ortalama 1,024031 mm sıyrılma göstermiştir. Çelik donatı ise Ø 8 çapında akmasına denk gelen yükte ortalama 0,422369 mm ve Ø 12 çapında kullanıldığında ise yine akmasına denk gelen yükte ortalama 1,046882 mm sıyrılma göstermiştir. Bunun yanı sıra Çizelge 5.3.'de görüleceği üzere çelik donatıda hem Ø 8 hem de Ø 12 çapında donatının çekme gerilmesine denk gelen yüke ulaşmadan donatının betonla olan aderansı tamamen kopmuştur.

Çizelge 5.4. 10 Ø kenetlenme boyunda (ÇA-Bu çalışma)ve (ÇÇ-Bu çalışma)'ya denk gelen yüklerde sıyrılma değerleri.

Numune kodu	(ÇA-Bu çalışma)'ya denk gelen yükte sıyrılma (mm)	(ÇÇ-Bu çalışma)'ya denk gelen yükte sıyrılma (mm)
B-10-08-1	0,597174	0,83642
B-10-08-2	0,397339	0,587699
Ortalama	0,497256	0,712057
B-10-12-1	0,587755	0,916483
B-10-12-2	0,539354	1,13158
Ortalama	0,563554	1,024031
S-10-08-1	0,527472	AK
S-10-08-2	0,317267	AK
Ortalama	0,422369	-
S-10-12-1	0,602615	AK
S-10-12-2	1,49115	AK
Ortalama	1,046882	-

*AK = Çelik donatının çekme dayanımına denk gelen yüke ulaşmadan aderansı koptu

Tüm kiriş numunelerinde deney sırasında elde edilen MY, MG, τ_u , MYS, MY-ORTS ve deneyin sonlama türü (DST) olan DK ile AK sonuçlarına ait bulguların tamamı Çizelge 5.5.'de görülmektedir.

Çizelge 5.5. Mafsallı kiriş deneylerinden elde edilen tüm veriler.

Numune kodu	MY (kN)	MG (MPa)	τ_u (MPa)	τ_u ortalama	MYS (mm)	MY-ORTS (mm)	DST
B-20-08-1	56.35	1121.56	14.02	13.74	0.833958	0.889427	DK
B-20-08-2	54.06	1075.88	13.45		0.9448952		DK
B-20-12-1	113.92	1007.77	12.60	12.75	0.129042	0.119665	DK
B-20-12-2	116.65	1031.96	12.90		0.110288		DK
S-20-08-1	31.17	620.49	7.76	7.75	0.548395	0.597364	DK
S-20-08-2	31.11	619.23	7.74		0.646332		DK
S-20-12-1	64.8	573.27	7.17	7.31	0.249281	0.250858	DK
S-20-12-2	67.25	594.9	7.44		0.252435		DK
B-10-08-1	44.92	894.02	22.35	22.15	2.91334	2.740845	AK
B-10-08-2	44.11	877.92	21.95		2.56835		AK
B-10-12-1	83.84	741.7	18.54	18.19	2.74662	2.680145	AK
B-10-12-2	80.62	713.17	17.83		2.61367		AK
S-10-08-1	27.49	547.27	13.68	13.51	1.19529	1.518475	AK
S-10-08-2	26.81	533.71	13.34		1.84166		AK
S-10-12-1	60.13	531.94	13.30	13.13	1.68856	1.50903	AK
S-10-12-2	58.59	518.34	12.96		1.3295		AK

Çizelge 5.5.'de görüldüğü üzere 20 Ø kenetlenme boyunda tüm numunelerde donatının kopması (DK) nedeniyle ve 10 Ø kenetlenme boyunda ise donatı-beton aderansının kopması (AK) nedeniyle deney sonlanmıştır. Çizelge 5.5'deki bulgulara göre 20 Ø kenetlenme boyunda 13,74 MPa ile ve 10 Ø kenetlenme boyunda ise 22,15 MPa ile en büyük ortalama aderans gerilmeleri Ø 8 çapındaki bazalt lifli donatılarda elde edilmiştir.

Bulgular aderans gerilmeleri açısından değerlendirildiğinde; 20 Ø kenetlenme boyunda donatı kopana kadar, Ø 12 çapındaki bazalt lifli donatının 12,75 MPa ile çelikten %77,3, Ø 8 çapındaki donatılarda ise %74,4 daha yüksek bir aderans gerilmesini karşıladığı görülmektedir. 10 Ø kenetlenme boyunda ise beton-donatı aderansı kopana kadar, Ø 12 çapındaki bazalt lifli donatı 18,19 MPa ile çelikten %38,5, Ø 8 çapındaki donatılarda ise % 63,9 daha yüksek bir aderans gerilmesini karşıladığı görülmektedir.

Ayrıca 20 Ø kenetlenme boyundaki numunelerde donatılar kopana kadar Ø 8 çapındaki sıyrıma miktarları Ø 12 çapındaki sıyrılmalara göre daha yüksek bulunmuştur (bazalt donatıda Ø 8 = 0.889427 mm > Ø 12 = 0.119665 mm, çelik donatıda Ø 8 = 0.597364 mm > Ø 12 = 0.250858 mm). Ø 8 ve Ø 12 çapındaki donatılarda 10 Ø kenetlenme

boyunda da beton-donatı aderansı tamamen kopana kadar elde edilen sıyrılma değerleri $\varnothing 8$ çapındaki donatının $\varnothing 12$ 'ye göre daha yüksek olduğunu göstermektedir.



6. SONUÇ VE ÖNERİLER

6.1. SONUÇLAR

- Bazalt lifli kompozit donatının çekme (kopma) dayanımı çeliğin akma dayanımından 2 kat çekme dayanımından ise 1,72 kat daha yüksektir.
- Hem bazalt lifli kompozit donatıda hem de çelik donatıda kenetlenme boyunun artması ile donatı beton arasındaki kayma gerilmesi düşmektedir. Bu sonuç donatı ile beton temas yüzeyindeki artışın beton-donatı arasındaki kayma gerilmesi aktarımını düşürmesinden kaynaklanmaktadır.
- Aynı kenetlenme boyunda, Ø 8 çapındaki donatılarda oluşan sıyrılmaların Ø 12 çapındaki donatılarda oluşan sıyrılmalara göre daha yüksek olması da yine kayma gerilme aktarımının azalmasından kaynaklanmaktadır.
- Bazalt lifli kompozit donatı kullanılacak projelerde çeliğe oranla daha düşük kenetlenme boyuna ihtiyaç duyulacağı görülmektedir.
- Ø 12 çapındaki çelik donatının akma dayanımına ulaşıldığında Ø 8 çapındaki bazalt lifli kompozit donatıdan 0,6174232 mm sıyrıma elde edilmiştir. Ø 12 çapındaki çelik donatının akma dayanımının %72'sine ulaşıldığında ise Ø 8 çapındaki bazalt lifli kompozit donatıda hiç sıyrıma olmamıştır. Bu durum bazalt donatı kullanılması düşünülen projelerde 20 Ø kenetlenme boyu ile C30 ve üzeri beton kullanıldığında çeliğe kıyasla daha düşük çaplarda bazalt donatının kullanılabilmesi öngörülebilir.

6.2. ÖNERİLER

- Bazalt lifli kompozit donatının çelik donatı ile maliyet açısından karşılaştırılması üzerine yapılacak çalışmalar faydalı olabilir.
- Bazalt lifli kompozit donatı, çelik donatı gibi süneklik özelliğine sahip olmadığı için inşaat mühendisliğinde kullanımının sınırlı olabileceği düşünüldüğünde çok kapsamlı bir araştırma ve öngörü ile tercih edilebilir.

- Bazalt lifli kompozit donatı gibi yapay donatıların çok farklı yüzey özelliklerinde üretilebilmesi nedeniyle (kumlanmış yüzeyli, helisel sargılı yüzeyli vb.) donatı yüzey formunun aderansa etkisi üzerine çalışmalar yapılabilir.
- Bazalt lifli kompozit donatı gibi yapay donatıların yüksek sıcaklığa maruz kalan betonarme sistemlerde kullanımının içereceği riskler üzerine çalışılabilir.
- Bazalt lifli kompozit donatı gibi yapay donatıların pH'ı yüksek olan beton içerisindeki alkali direnci üzerine çalışmalar yapılabilir.



7. KAYNAKLAR

- [1] Z. Celep, *Betonarme yapılar*, 6. Baskı, İstanbul, Türkiye, Beta Dağıtım, 2011.
- [2] A. Dinç, "Kendiliğinden yerleşen çelik lif donatılı betonların mekanik davranışına su/ince malzeme oranı ve lif dayanımının etkisi," Yüksek lisans tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2007.
- [3] Ö. Aydın, "Beton yapılarda donatı korozyonunun önlenmesine yönelik tedbirlerin araştırılması," Doktora tezi, Metalurji Ve Malzeme Mühendisliği, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2012.
- [4] A.R. Boğa, "Uçucu küllü betonarme elemanlarda donatı korozyonunun hızlandırılmış yöntemlerle araştırılması," Yüksek lisans tezi, Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, 2005.
- [5] H. Yiğiter, "Betonarme donatısında klorid korozyonu gelişiminin elektrokimyasal yöntemlerle belirlenmesi," Doktora tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 2008.
- [6] H. Durgun, "Diatomit ve zeolit ikameli beton içerisindeki donatı korozyonunun elektrokimyasal empedans spektroskopisi (eis) yöntemi ile incelenmesi," Yüksek lisans tezi, Düzce Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği, Düzce, Türkiye, 2015.
- [7] F. Aköz, "Betonarme yapılarda donatı korozyonuna neden olan faktörler ve alınacak önlemler," *Korozyon bilimi ve mühendisliği, Korozyon*, İstanbul, Türkiye, 2012, vol. 19, pp. 1-3.
- [8] H. Böhni, "Corrosion in Reinforced Concrete Structures", *Wood head Publishing*, Limited. 2005.
- [9] R. Okelo and R. Yuan, "Bond Strength of Fiber Reinforced Polymer Rebars in Normal Strength Concrete" *Journal of Composites for Construction*, 2005, vol. 9, pp. 203–213.
- [10] H. Y. Aruntaş, A. Beycioğlu ve S. Subaşı "Yeni Nesil Lif Takviyeli Polimer Betonarme Donatı Çubukları" *7th International Advanced Technologies Symposium*, İstanbul, Türkiye, 2013.
- [11] Anonim, (18.12.2016). [Online]. Erişim: <http://fiberglass-rebar.blogspot.com.tr/2015/06/core-samples-from-txdot-sierrita-de-la.html>.
- [12] A. Beycioğlu, "Kendiliğinden yerleşen betonlarda beton ile donatı aderansı ilişkisinin araştırılması," Doktora tezi, Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2013.
- [13] Y. Ekiz, "Yapı elemanlarında çelik donatı yerine cam elyaf takviyeli plastik (CTP) kullanılması" Yüksek lisans tezi, Yapı Eğitimi Bölümü, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, 2013.

- [14] Quayyum, S., "Bond behaviour of fibre reinforced polymer (frp) rebars in concrete" M.S. thesis, The College of Graduate Studies (Civil Engineering), The University of British Columbia, United States. 2010.
- [15] B. Özşahin, A. Mülayim ve O. Arkoç, "Betonarme Yapı Elemanlarında Lif Takviyeli Polimerlerin Kullanımı," 9. *Uluslararası Sinan Sempozyumu*, Edirne, Türkiye, 2015.
- [16] M. Schürch, P. Jost, "GFRP Soft -Eyefor TBM Breakthrough: Possibilities with a Modern Construction Material" *Tunneling and Underground Technologies Magazine*, vol. 2, pp. 11, 2015.
- [17] A. Beycioğlu, ve H. Y. Aruntaş, "Bazalt Lifli Donatının Yüksek Dayanımlı Betondaki Aderans Performansı" *Bartın Üniversitesi Mühendislik ve Teknoloji Bilimleri Dergisi*, vol. 2, pp. 83-96, 2014.
- [18] Anonim, (18.12.2016). [Online]. Erişim:
http://aslanfrp.com/Aslan100/Aslan100_Waterfront-Marine.html.
- [19] A. Nanni, A. De Luca , and HJ. Zadeh, "Reinforced Concrete with FRP Bars", *Mechanic sand Design*, Chemical Rubber Company Press, Taylor & Francis Group, 2014.
- [20] Anonim, (18.12.2016). [Online]. Erişim:
http://aslanfrp.com/Aslan100/Aslan100_GFRP_Bridges.html.
- [21] Anonim, (18.12.2016). [Online]. Erişim:
http://aslanfrp.com/aslan100/soft-eye_opening.html.
- [22] Anonim, (11.12.2016). [Online]. Erişim:
<http://www.railway-technology.com/news/newsalpine-completes-first-subway-tunnel-singapore-downtown-line>.
- [23] Anonim, (15.12.2016). [Online]. Erişim:
<http://en.firepworld.com/case/vienna-international-airport>.
- [24] Anonim, (25.12.2016). [Online]. Erişim:
<http://en.firepworld.com/case/airport-zurich>.
- [25] Anonim, (15.12.2016). [Online]. Erişim:
<http://www.dub.by/metalloprokat/kompozitnaya-armatura.html>
- [26] M. Sarıbiyık, "Hafif Yapı Tasarımında Pultrüzyon Metodu ile Üretilen Cam Elyaf Takviyeli Plastiklerin Kullanılması", *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Gazi Üniversitesi, vol. 22, pp. 199-205, 2007.
- [27] Anonim, (15.12.2016). [Online]. Erişim:
<http://www.fastecinternational.com/products>.
- [28] M. E. Arslan, "Eğilmede taşıyıcı hafif beton-donatı aderansının geleneksel beton-donatı aderansı ile karşılaştırılması olarak incelenmesi," Yüksek lisans tezi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye, 2007.

- [29] A. Benli, "Kendiliğinden sıkışan betondaki donatı aderansının deneysel ve sayısal olarak incelenmesi," Doktora tezi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye, 2007.
- [30] U. Ersoy, ve G. Özcebe, "*Betonarme: Temel ilkeler TS-500-2000 ve Türk Deprem Yönetmeliğine (1998) göre hesap*" II. baskı, İstanbul, Türkiye, Evrim Yayınevi, 2001.
- [31] H. Dahil, "Yüksek performanslı beton-donatı aderansının geleneksel beton-donatı aderansı ile karşılaştırılmalı olarak incelenmesi," Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, 2001.
- [32] X. Gu, B. Yu and M. Wu, "Experimental study of the bond performance and mechanical response of GFRP reinforced concrete," *Construction and Building Materials*, vol. 114, pp. 407-415, 2016.
- [33] Z. Dong, G. Wuand, and Y. Xu. "Experimental study on the bond durability between steel-FRP compositebars (SFCBs) and seas and concrete in ocean environment," *Construction and Building Materials*, vol. 115, pp. 277-284, 2016.
- [34] C. Wu, Y. Bai and S. Kwon, "Improved bond behavior between GFRP rebar and concrete using calcium sulfoaluminate," *Construction and Building Materials*, vol. 113, pp. 897-904, 2016.
- [35] Z. Dong, G. Wu, B. Xu, X. Wang, and L. Taerwe, "Bond durability of BFRP bars embedded in concrete under sea water condition sand the long-term bond strength prediction," *Materials & Design*, vol. 92, pp. 552-562, 2016.
- [36] 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*, vol. 121, pp. 278-284, 2016.
- [37] F. Yan, Z. Lin and M. Yang, "Bond mechanism and bond strength of GFRP bars to concrete: A review," *Composites Part B: Engineering*, vol. 98, pp. 56-69, 2016.
- [38] 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*, vol. 106, pp. 449-460, 2016.
- [39] H. Karim, M. N. Sheikh and M. N. S. Hadi, "Axialload-axial deformation behaviour of circular concrete columns reinforced with GFRP bars and helices," *Construction and Building Materials*, vol. 112, pp. 1147-1157, 2016.
- [40] H. Wang, X. Sun, G. Peng, Y. Luo, and Q. Ying, "Experimental study on bond behaviour between BFRP bar and engineered cementitious composite," *Construction and Building Materials*, vol. 95, pp. 448-456, 2015.
- [41] H. Zhang, L. He and G. Li, "Bond failure performances between near-surface mounted FRP bars and concrete for flexural strength ening concrete structures," *Engineering Failure Analysis*, vol. 56, pp. 39-50, 2015.
- [42] I. Calvet, V., Valcuende, M., Benlloch, J. and J. Cánoves, "Influence of moderate temperatures on the bond between carbon fibrer ein forced polymer bars (CFRP) and concrete," *Construction and Building Materials*, vol. 94, pp. 589-604, 2015.

- [43] S. Islam, H. M. Afefy, K. Sennah and H. Azimi, "Bond characteristics of straight- and headed-end, ribbed-surface, GFRP bars embedded in high-strength concrete," *Construction and Building Materials*, vol. 83, pp. 283-298, 2015.
- [44] Y. Ding, X. Ning, Y. Zhang, F. Pacheco-Torgal and J. B. Aguiar, "Fibres foren hancing of the bond capacity between GFRP rebarand concrete," *Construction and Building Materials*, vol. 51, pp. 303-312, 2014.
- [45] X. Lin, and Y. X. Zhang, "Evaluation of bond stress-slip models for FRP rein forcing bars in concrete," *Composite Structures*, vol. 107, pp. 131-141, 2014.



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Soyadı, Adı : SEİS, Muhammet
Doğum tarihi ve yeri :1975-DÜZCE
Görevi : M.E.B. Teknik Öğretmen (İnşaat Teknolojileri)
e-mail : mmseis@hotmail.com

Eğitim

<u>Derece</u>	<u>Eğitim Birimi</u>	<u>Mezuniyet tarihi</u>
Yüksek lisans	: Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Ens. Yapı Eğitimi ABD.	2012
Lisans	: AİBÜ Düzce Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi	1997
Lise	: Düzce Teknik ve Endüstri Meslek Lisesi /Yapı Ress. Bölümü	1992
Yabancı Dil	: İngilizce	

Yayımlar

SCI-E Kapsamındaki Yayınlar

Seis Muhammet, Beycioğlu Ahmet (2015). Bond Performance of Basalt Fiber- Reinforced Polymer Bars in Conventional Portland Cement Concrete: A. Relative Comparison with Steel Rebar Using the Hinged Beam Approach. Scienceand Engineering of Composite Materials, Doi: 10.1515/secm-2015-0210.

Katıldığı Komisyonlar

Milli Eğitim Bakanlığı Ders Programı Geliştirme Komisyonu (Harita-Tapu-Kadastro Alanı)

İl Milli Eğitim Danışma Kurulu

Okul-Kurum İçi Katıldığı Çalışma ve Etkinlikler

AB. LDV. Proje Ekibi

Okul Gelişim Yönetim Ekibi (OGYE) Komisyonu

Katıldığı Kurslar

İş Piyasası ve Alan Araştırması Verilerinin Yorumlanması Yöntem ve Teknikleri Kursu.

İş Piyasası Alan Araştırması Yöntem ve Teknikleri Kursu.

Bilgisayar Destekli Mimari Çizim Kursu.

Bilgisayar Destekli Çizim Kursu (Autocad).

Bilgisayar Destekli Tasarım (3DS Max-Temel Seviye) Kursu.

Microsoft Ofis Excel Makro Yazımı Kursu.

Dış Cephe Kaplamacılığı Kursu.

Seramik Yer ve Duvar Karosu Kaplamacılığı Kursu.

Seramik Yer ve Duvar Karosu Kaplamacılığı Kursu-Çanakkale Seramik.

Kuru Yapı Sistemleri Kursu- Knauf.

Alçıpan Bölme Duvar Uygulamaları-Knauf.

İçten ve Dıştan Isı Yalıtımı Uygulamaları-Knauf.

Tavan Sistemleri Uygulamaları-Knauf.

Bilgisayar Laboratuvarı (CAD/GIS) ve Harita ve Kadastro Cihazları Kullanımı Kursu (II).

Mapinfo Professional Yazılımı Temel ve İleri Seviye Eğitimi-Başarsoft.

GeoCad Temel Seviye Kullanıcı Eğitimi-Borat Sayısal Haritacılık Sistemleri.

Beton, Çimento ve Agrega Uygulamaları Kursu.

KATILDIĞI KONFERANS-SEMİNERLER

Modül Yazma Teknikleri Semineri.

Araştırma Yöntem ve Teknikleri Semineri.

Meslek Analizi ve Modüler Program Geliştirme Semineri.

Meslek Standartlarını Belirleme Semineri.

Diksiyon-Samsun MEB.

İnsan Hakları ve Demokratik Vatandaşlık Eğitimi Semineri-Düzce MEB.

Özel Eğitim Hizmetleri Semineri.

Çalışanların Temel İş Sağlığı ve Güvenliği Eğitimi Kursu.

Okul Sağlığı Semineri.

Depremle Savaş Derneği-Düzce Belediyesi- Deprem-Binalarımız-Güçlendirme ve Önlemler.

İzgören Akademi-At Şu Adımı Semineri.