



**POLİMERİK İNŞAAT DONATILARININ
KİMYASAL ANKRAJ PERFORMANSININ
ARAŞTIRILMASI**
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Necmettin TÜRKAY
Danışman
Prof. Dr. Tayfun UYGUNOĞLU
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ŞUBAT 2020

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**POLİMERİK İNŞAAT DONATILARININ KİMYASAL ANKRAJ
PERFORMANSININ ARAŞTIRILMASI**

NECMETTİN TÜRKAY

Danışman

Prof. Dr. TAYFUN UYGUNOĞLU

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Şubat 2020

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

13/02/2020


İmza
Necmettin TÜRKAY

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

POLİMERİK İNŞAAT DONATILARININ KİMYASAL ANKRAJ PERFORMANSININ ARAŞTIRILMASI

Necmettin TÜRKAY

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Tayfun UYGUNOĞLU

Betonarme yapılarda yapı elemanlarının bazı durumlarda taşıma gücünü yerine getiremiyor olmasının sonucu olarak, güçlendirme ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Yapıların güçlendirilmesinde çeşitli yöntemler olmakla birlikte, en sık kullanılan aşamalardan biri filiz ekimi olarak bilinen ile donatının betona ankrajı yöntemidir. Genellikle güçlendirme çalışmalarında ankraj elemanı olarak inşaat çeliği kullanılmakta olup, nervür etkisine bağlı yüksek yapışma dayanımlarının olması sebebi ile mevcut yapıların onarım ve güçlendirilmesinde tercih edilmektedirler. Ankraj elemanı olarak inşaat çeliği, mevcut betona sonradan açılan deliklere kimyasal yapıştırıcılar kullanılıp filiz ekimi yapılmaktadır. Ülkemizdeki güçlendirme ihtiyacı olan yapılar incelendiğinde gerek anormal çevre koşulları gerekse çelik donatının betonarme eleman içerisindeki korozyonu sebebi ile yapılarda ciddi sorunların oluştuğu görülmektedir. Bu sebep ile literatürdeki bu alanda yapılmış çalışmalar incelendiğinde, korozyon etkilerine karşı, çözüm olabilmesi adına alternatif olabilecek farklı tipte kompozit donatıların performanslarının araştırılmasının da son yıllarda önem kazandığı görülmektedir.

Günümüz inşaat mühendisliği yapılarında sadece metalik değil aynı zamanda polimerik donatılarda, dayanıklılık nedenlerinden dolayı tercih edilmektedirler. Ancak bu malzemelerin çelik donatılar gibi kimyasal ankraj uygulamalarında nasıl bir davranış sergiledikleri yapılan çalışmalarda tam anlamıyla ortaya konulamamıştır.

Bu tez çalışmasında daha yüksek mukavemete sahip, korozyona dayanıklı son yıllarda özellikle kıyı yapılarında, zemin ve saha betonlarında, tünellerde kullanımı yaygınlaşan cam elyaftan imal edilmiş farklı çaplardaki polimerik donatıların (GFRP), inşaat çeliği (ST) ve bazalt donatıları (BFRP) ile ankraj aderans dayanımları karşılaştırılmıştır. Farklı çaplarda ve farklı derinliklerdeki deney numuneleri üzerinde eksenel çekip çıkarma deneyi ile performans araştırması yapılmıştır.

Betona sonradan yerleştirilen ve tek tip yapıştırıcı kullanılarak düşük dayanımlı ve normal dayanımlı betonlar üzerinde imal edilen bu 3 farklı tipteki donatının aderans dayanımları ve sıyrılma değerleri ayrı ayrı hesaplanmış, deney sonuçları grafikler ile ortaya konmuştur. Elde edilen bulgulara göre, ankraj donatısı kenetlenme boyu arttıkça aderans dayanımının azaldığı görülmüştür. Ayrıca, polimerik donatıların inşaat demirine göre daha iyi ankraj dayanımına sahip oldukları gözlenmiştir. Çelik donatılarda olduğu gibi polimerik donatıların da beton dan çıkarmak için gerekli yük miktarının donatı çapı, beton sınıfı ve gömme derinliğine bağlı olarak değiştiği gözlenmiştir. Düşük dayanımlı betonlar üzerinde Ø14 çaplı donatıları betondan çıkarmak için gerekli yük miktarının polimerik donatılarda (GFRP), çelik donatılardan (ST) yaklaşık %11 daha az, bu oranın Ø20 çaplı donatılarda ise %6,4 daha fazla olduğu görülmüştür. Normal dayanımlı betonlar üzerinde ise benzer özellik tespit edilmiştir.

2020, xi + 71 sayfa

Anahtar Kelimeler: Kimyasal ankraj, Aderans dayanımı, Basınç dayanımı, Polimerik donatı

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

INVESTIGATION OF CHEMICAL ANCHORAGE PERFORMANCE OF POLYMERIC REBAR

Necmettin TÜRKAY

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

Supervisor: Prof. Tayfun UYGUNOĞLU

As a result of the fact that the building elements are unable to perform the carrying power in some cases, the need for reinforcement occurs. Although there are several methods in strengthening structures, one of the most commonly used stages is the method of anchoring the concrete of its equipment with what is known as sprout cultivation. Construction steel is usually used as anchorage element in retrofitting operations and is preferred for repair and strengthening existing structures due to high adhesion resistance due to ribbed effect. As an anchorelement, construction steel is used in the holes opened later on to the existing concrete, using chemical adhesives and planting sprouts. When examining the structures that need strengthening in our country, it is seen that serious problems occur in the structures due to both abnormal environmental conditions and the corrosion of steel equipment in the reinforced concrete element. For this reason, when studies in this field are examined in this field, it is important in recent years to investigate the performance of different types of composite equipment, which may be an alternative to corrosive effects, in order to be a solution. is seen.

Today's civil engineering structures are preferred not only for metallic but also for their polymeric equipment, for durability reasons. However, it has not been fully demonstrated in the studies of how these materials behave in chemical anchorage applications such as steel reinforcements.

In this thesis study, polymeric equipment (GFRP) of different diameters made of glass fiber, which has been used in mosques, especially coastal structures, ground and field

concrete, which has been widely used in tunnels, has been with higher strength and corrosion resistant in recent years. steel (ST) and basalt equipment (BFRP) and anchor aderans resistance resistance sequentive sequentive resistance. Performance research was carried out with axial extraction experiment on experimental samples of different diameters and different depths.

The adhesion strengths and stripping values of these 3 different types of equipment, which are placed on the concrete afterwards and manufactured on low-strength and normal strength dwelling concreteusing uniform adhesives, are calculated separately with graphs has been put forward. According to the findings, the aderansity resistance decreased as anchorage equipment increased during the clamping length. In addition, polymeric equipment has a better anchorstrength than the rebar. As with steel equipment, polymeric equipment has been observed to vary depending on the size of the equipment, the concrete class and the depth of the burial. On low-strength concretes, the amount of load required to remove Ø14-diameter equipment from the concrete was found to be approximately 11% less in polymeric equipment (GFRP), steel equipment (ST), and 6.4% more in Ø20-diameter equipment. Similar characteristics have been detected on normal strength dwelling concretes.

2020, xi + 71 pages

Keywords: Chemical anchors, adherence strength, compressive strength, polymeric reinforcement,

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve tez yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Tayfun UYGUNOĞLU' na, deneysel çalışmalarımı gerçekleştirme sürecinde hazır beton temini ve kimyasal epoksi malzemesi desteğini sağlayan Aslan Gayrimenkul Aş. şirketine, Çanakkale Tacettin Aslan Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi şantiyesi proje koordinatörümüz Sayın Murat Albuga' ya, test işlemleri ve deney sonuçlarının alınmasında yardımcı olan Geomp yapı laboratuvarı, Kale test yapı laboratuvarı çalışanlarına ve deney numunelerinin hazırlanması, ankraj deliklerinin açılması, donatı filiz ekimi işlerinin yapılması gibi deneysel çalışmalarımda yardımlarını esirgemeyen İnşaat teknikeri Kadir Koşar, Tacettin Aslan Meslek Lisesi şantiyesindeki diğer çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca manevi desteklerini esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

Necmettin TÜRKAY
Afyonkarahisar, 2020

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	x
RESİMLER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ.....	4
2.1 Giriş.....	4
2.2 Lifle Güçlendirilmiş Polimer (FRP) Malzeme Türleri.....	5
2.2.1 Karbon Lifle Güçlendirilmiş Polimerler (CFRP)	5
2.2.2 Cam Lifle Güçlendirilmiş Polimerler (GFRP).....	6
2.2.3 Bazalt Lifle Güçlendirilmiş Polimerler (BFRP)	7
2.3 Literatürde Yapılmış Olan Çalışmalar	8
2.4 Yapılan Çalışmalar ile İlgili Standartlarda Verilmiş Denklemler	23
3. MATERYAL ve METOT	25
3.1 Kullanılan Malzemeler	25
3.1.1 Çimento.....	25
3.1.2 Agregalar	25
3.1.3 Çelik (S420 sınıfı) Donatı.....	26
3.1.4.Cam Lifli Donatı	27
3.1.5 Bazalt Lifli Donatı	28
3.1.6 Kimyasal Ankraj Yapıştırıcısı	29
3.2 Beton Üretimi.....	30

3.2.1 Beton Numune Kalıplarının Hazırlanması	30
3.2.2 Beton Numunelerinin Yerinde Dökülmesi	31
3.2.3 Deney Numunelerinin Hazırlanması	31
3.3 Donatıların Ankrajlanması	32
3.3.1 Beton Numunelerinin Delgi İşlemi ve Temizliğinin Yapılması	33
3.4 Aderans Deneyleri.....	35
4. BULGULAR	37
4.1 Donatı Tipinin Ankraj Sıyrılma Yüküne Etkisi	37
4.2 Beton Dayanımının Ankraj Sıyrılma Yüküne Etkisi.....	40
4.3 Donatı Çapının Ankraj Çekme Yüküne Etkisi.....	41
4.4 Ankraj Derinliğinin Sıyrılma Yüküne Etkisi	44
4.5 Ankraj Derinliğinin Aderansa Etkisi.....	50
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	56
6. KAYNAKLAR.....	59
ÖZGEÇMİŞ.....	66
EKLER	67

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

L_a	Ankraj gömme derinliği
$\emptyset$	Ankraj çapı
N	Ankraj çekme kuvveti
Δ	Yer değiştirme (mm)
n	Ankraj sayısı
D	Ankraj delik çapı
S420	Sıcak haddeleme donatısı
f_{ck}	Beton numunesi küp basınç dayanımı
f_{ctk}	Beton çekme dayanımı
C16/20	Beton basınç dayanım sınıfı (Düşük Dayanımlı)
C25/30	Beton basınç dayanım sınıfı (Normal Dayanımlı)
P_A	Cam elyaf katkılı GFRP donatısı (A Serisi kodlaması)
P_B	Cam elyaf katkılı GFRP donatısı (B Serisi kodlaması)
B_B	Bazalt lifli BFRP donatısı (B Serisi kodlaması)
$\mathcal{C}_A$	Çelik donatı ST (A Serisi kodlaması)
$\mathcal{C}_B$	Çelik donatı ST (B Serisi kodlaması)
FRP	Lifle Güçlendirilmiş Polimerler
GFRP	Cam Lif ile Güçlendirilmiş Polimerler
BFRP	Bazalt Lif ile Güçlendirilmiş Polimerler
CFRP	Karbon Lif ile Güçlendirilmiş Polimerler

Kısaltmalar

ACI	Amerikan Beton Komitesi
DBYBHY	Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
TSE	Türk Standartları Entitüsü
TS EN 12390-1	Sertleşmiş Beton Deneyleri-Kalıp-Şekil ve Boyut standartları
TS EN 12350-1	Taze Betondan Numune Alma Standartları
TS 706 EN 12620	Beton Agregaları-fiziksel özellikleri
TS 708	Çelik-Betonarme için donatı çeliği mekanik özellikleri

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1	Kimyasal ankrajların çekme etkisi altında çeşitli göçme metotları.	2
Şekil 2.1	Lifle güçlendirilmiş polimer donatıların gerilme-şekil değiştirme eğrileri (Tearwe 1995).	5
Şekil 3.1	Cam lifli (GFRP) donatı (İnt.Kyn.2).	27
Şekil 3.2	Bazalt donatısı (İnt. Kyn. 3).	28
Şekil 3.3	Kimyasal yapıştırıcı türü.	29
Şekil 4.1	Ankraj yapılan GFRP' lerin düşük dayanımlı betonlardan sıyrılma davranışları.	37
Şekil 4.2	Ankraj yapılan inşaat demirinin düşük dayanımlı betonlardan sıyrılma davranışları.	38
Şekil 4.3	Ankraj yapılan GFRP' lerin normal dayanımlı betonlardan sıyrılma davranışları.	38
Şekil 4.4	Ankraj yapılan inşaat demirinin normal dayanımlı betonlardan sıyrılma davranışları.	39
Şekil 4.5	Ankraj yapılan BFRP'lerin düşük ve normal dayanımlı betonlardan sıyrılma davranışları.	39
Şekil 4.6	Düşük dayanımlı betonlarda donatı tipine göre ankrajların sıyrılma miktarı.	40
Şekil 4.7	Normal dayanımlı betonlarda donatı tipine göre ankrajların sıyrılma miktarı.	40
Şekil 4.8	Düşük dayanımlı betonlarda donatı tipine göre ankrajlama işlemine çap etkisi.	42
Şekil 4.9	Normal dayanımlı betonlarda donatı tipine göre ankrajlama işlemine çap etkisi.	42
Şekil 4.10	Beton dayanım sınıfına göre Ø10 çaplı farklı tipteki donatıların aderans etkisi.	43

Şekil 4.11 GFRP' lerin ankraj derinliğine bağlı düşük dayanımlı betondan sıyrılma davranışları.	44
Şekil 4.12 Çelik donatıların ankraj derinliğine bağlı düşük dayanımlı betondan sıyrılma davranışları.	45
Şekil 4.13 BFRP' lerin ankraj derinliğine bağlı düşük dayanımlı betondan sıyrılma davranışları.	45
Şekil 4.14 GFRP' lerin ankraj derinliğine bağlı normal dayanımlı betondan sıyrılma davranışları.	46
Şekil 4.15 Çelik donatıların ankraj derinliğine bağlı normal dayanımlı betondan sıyrılma davranışları.	46
Şekil 4.16 BFRP' lerin ankraj derinliğine bağlı normal dayanımlı betondan sıyrılma davranışları	47
Şekil 4.17 Farklı tipteki ve derinlikteki ankraj elemanlarının düşük dayanımlı betondan sıyrılma davranışları	48
Şekil 4.18 Farklı tipteki ve derinlikteki ankraj elemanlarının normal dayanımlı betondan sıyrılma davranışları.	49
Şekil 4.19 GFRP' lerde (Ø14) kimyasal ankraj derinliği etkisi.	52
Şekil 4.20 Çelik donatılarda (Ø14) kimyasal ankraj derinliği etkisi.	52
Şekil 4.21 BFRP' lerde (Ø10) kimyasal ankraj derinliği etkisi	53
Şekil 4.22 Düşük dayanımlı betonlarda ankraj donatısı yüzey alanına bağlı yük değerleri.	54
Şekil 4.23 Normal dayanımlı betonlarda ankraj donatısı yüzey alanına bağlı yük değerleri.	54

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1 Çimentolara ait fiziksel ve kimyasal özellikler.	25
Çizelge 3.2 Beton deney agregalarının fiziksel ve mekanik özellikleri.	26
Çizelge 3.3 Ankraj elemanı çelik donatısı için mekanik ve kimyasal özellikleri.	27
Çizelge 3.4 Cam lifli (GFRP) donatının çekme etkisi altında özellikleri (Özşahin, 2015).	28
Çizelge 3.5 Ankraj elemanı Bazalt donatısı mekanik özellikleri.	28
Çizelge 3.6 Kimyasal yapıştırıcının karakteristik özellikleri.	30
Çizelge 3.7 1 m ³ düşük dayanımlı ve normal dayanımlı beton için malzeme miktarları.	31
Çizelge 3.8 C16-C25 sınıfı betonlar için basınç deneyi sonuçları.	32
Çizelge 3.9 Seri-A için donatı çaplarına bağlı kullanılan matkap uçları.....	33
Çizelge 3.10 Seri-B için donatı çaplarına bağlı kullanılan matkap uçları.....	33
Çizelge 4.1 Seri-A için grup ortalamasına bağlı yük-aderans dayanımı sonuçları.	50
Çizelge 4.2 Seri-B için grup ortalamasına bağlı yük-aderans dayanımı sonuçları.	51

RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa
Resim 1.1 West Virginia eyaletinde GFRP donatılı bir yol yapımı (İnt. Kyn.1).....	3
Resim 3.1 Deney numuneleri kalıp hazırlığı.....	30
Resim 3.2 Ankraj numunelerinin adlandırılması.	33
Resim 3.3 Betonlara ankraj deliği açılması.....	34
Resim 3.4 (a) Ankraj elemanlarının deney numunelerine ankre edilmesi ve (b) ankre edilmiş betonlardan bir görünüm.....	35
Resim 3.5 Çekme cihazı üzerinde deney aparatı ile deney numunesinin yerleşimi.	36

1. GİRİŞ

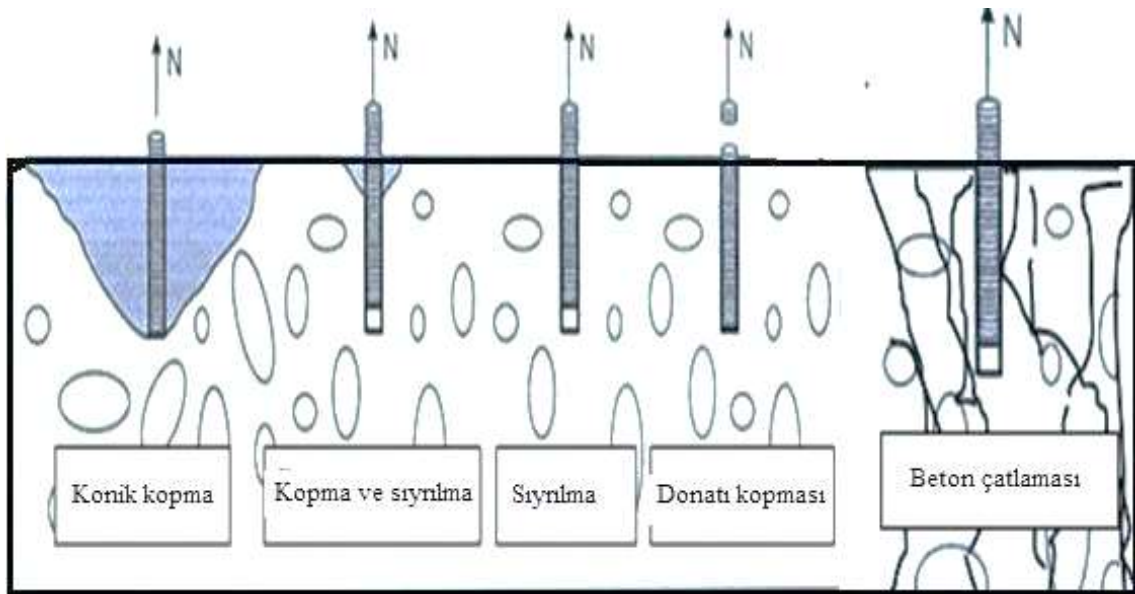
Ülkemizde depreme dayanıklılığı yeterli düzeyde olmayan yapılar; önemli fay hatları üzerinde yer almaları sebebi ile onarım ve güçlendirme ile ilgili çalışmaların gerekliliğini her doğal afet sonrasında artırmaya devam etmektedir. Yakın tarihimizde en çok can kaybının yaşanmış olduğu 1999 Marmara depremi de mevcut yapıların büyük bir bölümünün mühendislik uygulamaları adına gerekli hizmeti almamış olması ve bazı durumlarda taşıma gücünü yerine getirememesi sebebi ile güçlendirme ihtiyacını ortaya çıkarmaktadır. Bu tür yapıların güçlendirilmesinde kimya sanayinin de gelişmesiyle son 25 yılda yapılan çeşitli uygulamalar ankraj sistemlerinde kendini göstermektedir. Yapılarda güçlendirme amaçlı olarak çok sık kullanılan yöntemlerden birisi; filiz ekimi olarak bilinen donatının betonarme elemana kimyasal yapıştırıcılar vasıtası ile sonradan ankre edilmesidir. Yapı kimyasalları ile hazırlanan bir ankraj deliğine donatının yapıştırılması olarak tarif edilebilecek kimyasal ankrajlar, uygulama avantajları ve detay serbestliği ile yapıların onarım ve güçlendirme uygulamalarında sıklıkla kullanılmaktadır.

Ankraj uygulamasının yapılacağı beton özellikleri, ankraj elemanının beton / betonarme eleman üzerindeki geometrik konumu, komşu ankrajların birbirine yakınlıkları, ankraj derinliği, ankraj çapı, ankraj çubuğunun çapı, ankraj uygulamasında kullanılan kimyasal yapıştırıcının özellikleri, ortam sıcaklığı, ankraj deliklerinin hazırlanması ve fiziksel durumları, ankrajların maruz kalacağı yükler vb. farklı değişkenler ankrajların davranışları üzerinde etkilidir (Özturan vd. 2004).

Gerek ülkemizde gerekse yurt dışında bu alanda yapılmış olan literatür çalışmaları incelendiğinde, betona sonradan yerleştirilen kimyasal ankrajlar üzerindeki mekanik etkiler ve aderans etkilerini belirlemek için çeşitli deney yöntemleri ile birçok çalışma yapıldığı görülmektedir. En yaygın kullanılan yöntemin ise eksenel çekip çıkarma yöntemi olduğu bilinmektedir. Literatürdeki kimyasal ankrajların eksenel çekme etkisi altında yapılan davranışları incelendiğinde ise; betonun sınıfına, kullanılan kimyasalın tipine, ankraj geometrisine ve ankraj donatısı dayanımına bağlı olarak çeşitli göçme metodları ile karşılaşılmıştır. Bu alanda yapılan çalışmalar sonucunda deney numuneleri

üzerinde eksenel çekme kuvveti (N) uygulanmış, çekme yüküne karşı kimyasal ankraj deney numuneleri üzerinde;

- a) Konik şeklinde beton kopması
- b) Betonda kopma ve donatı sıyrılması
- c) Ankraj elemanı sıyrılması
- d) Ankraj elemanının kopması
- e) Beton çatlaması şeklinde 5 farklı tipte göçme olduğu gözlenmiştir (Şekil 1.1).



Şekil 1.1 Kimyasal ankrajların çekme etkisi altında çeşitli göçme metotları.

Kimyasal ankraj uygulamalarının yaygın olarak kullanıldığı günümüz inşaat mühendisliği yapılarında sadece metalik donatı değil; aynı zamanda lifle güçlendirilmiş polimerlerin (FRP) kullanımı da yaygınlaşmıştır. Bu donatılar çeşitli durabilite ve yapılardaki korozyon nedenlerinden dolayı yurt dışındaki inşaat uygulamalarında olduğu gibi son yıllarda ülkemizde de tercih edilmektedir. Resim 1.1 de GFRP donatılı bir yol yapım çalışması örneği verilmiştir.



Resim 1.1 West Virginia eyaletinde GFRP donatılı bir yol yapımı (İnt. Kyn.1).

Ancak bu malzemelerin çelik donatılar gibi kimyasal ankraj uygulamasında nasıl davrandıkları detaylı bir şekilde ortaya konmamıştır. Bu tezin amacında, farklı tipteki polimerik, bazalt ve çelik donatı malzemelerinin kimyasal ankraj uygulamalarındaki aderans dayanımlarını karşılaştırmak ve buna bağlı olarak uygulamalarda ideal olan donatı gömme derinliğini ortaya koymaktır. Bu amaçla, deneysel çalışmalar gerçekleştirilerek bu tez çalışması oluşturulmuştur. Tezin ilk bölümlerinde yapılan çalışmalara yer verilirken, diğer bölümlerde gerçekleştirilen çalışmalar hakkında detaylı bilgiler sunulmuştur. Elde edilen bulgular tartışıldıktan sonra, çalışmadan elde edilen genel sonuçlar tezin sonunda özetlenmiş durumdadır.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

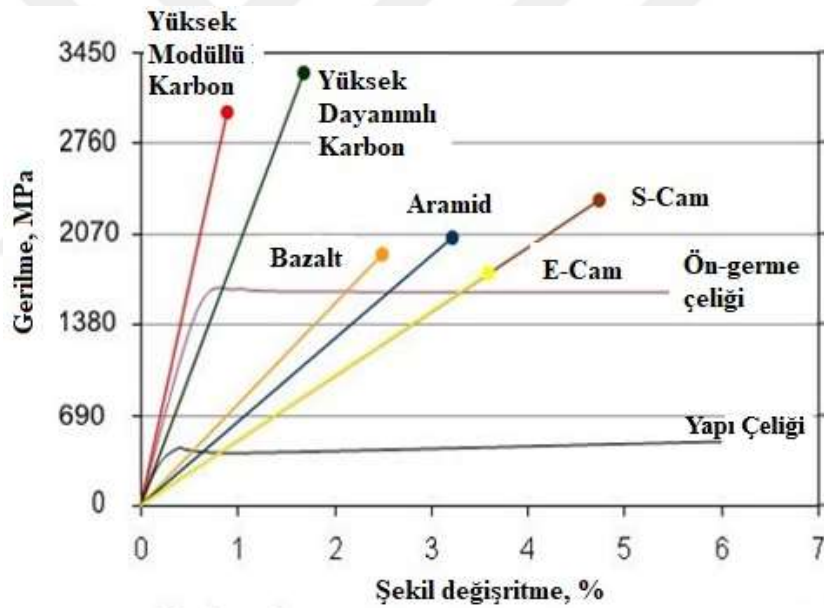
2.1 Giriş

Polimerik donatılar olarak bilinen Lifle Güçlendirilmiş Polimer (FRP)' lerin ilk kez kullanımı 1975 yılında Rusya'da gerçekleştirilmiştir (Garden ve Holloway, 1998, Holloway 2010). FRP veya tanınan diğer adıyla lifle güçlendirilmiş plastikler, polimerin rijitlik ve mukavemeti, sentetik veya doğal lifler kullanılarak doğrudan iyileştirilmiş malzemeler olarak kabul edilmektedir (Holloway 2010). Yapıları daha dayanıklı ve güçlü yapmak için kullanılan FRP'lerin klasik inşaat donatı çubuklarından 8 kat daha üstün mekanik özelliklere sahip olabildiği bilinmektedir. Cam Lifle Güçlendirilmiş Polimerler (GFRP) 9 metre ön gerilmeli kirişlerde kullanılabilir (Tearwe 1995). 1980'li yıllarda, Avrupa da köprü restorasyonu ve güçlendirilmesinde kullanılan çelik plakaların yerine FRP donatıların kullanıldığına dair literatürde çalışmalar mevcuttur.

Amerika' da ise yaklaşık 25 yıldır FRP kompozitler yapısal güçlendirme çalışmalarında uygulanmış ve bu süreçte güçlendirme projelerinin temel malzemelerinden birisi olarak kabul edilmiştir. Proje mühendisleri, güçlendirme ve restorasyon projeleri hazırlarken, geleneksel güçlendirme malzemeleri olan çelik donatı ve çerçevelerin yerine FRP'leri kullanmaya başlamış ve bu durum çok yaygın hale gelmiştir. FRP' ler çoğunlukla betonarme, ahşap, çelik ve yığma yapıların güçlendirilmesinde donatı olarak çalıştırılır (Al-Sunna vd. 2012). FRP' ler, çeliğe göre çok daha üstün çekme dayanımına sahip olmasının yanı sıra, ağırlık olarak çeliğin ancak %25'i kadardır (Holloway 2010). FRP' lerin betonarme yapıların güçlendirilmesinde kullanılırken uyulması gereken kuralları içeren teknik şartname ilk olarak 1996 yılında Japon' lar tarafından ortaya konulmuştur (Teng vd. 2002, Burgoyne 2007). Yapısal olarak aşırı yüklemeye maruz kalmış taşıyıcı elemanlar, FRP malzemelerle güçlendirilebilmektedir (Tearwe 1995, Sergio vd. 2001, Huiming vd. 2015). Geçen yıllarda, FRP' lerin kullanımının oldukça arttığı görülmüş, bu artışın önümüzdeki yıllarda da süreceği tahmin edilmektedir.

2.2 Lifle Güçlendirilmiş Polimer (FRP) Malzeme Türleri

İnşaat mühendisliğinde kullanılan FRP kompozitler, pultrizasyon tekniği yardımı ile ilgili liften elde edilir. Karbon liften Karbon Lifle Güçlendirilmiş Polimer (CFRP), cam liften Cam Lifle Güçlendirilmiş Polimer (GFRP) ve bazalt liften Bazalt Lifle Güçlendirilmiş Polimer (BFRP) elde edilir (Ammar 2014, Baniyabat ve Patniak 2013). BFRP'ler, sektördeki üretici firmaların düşük üretim kapasitelerinden dolayı, fiyat olarak diğer FRP'lere göre daha yüksek olsa da; fiyatı, sağlamış olduğu mükemmel dayanım, yüksek alkali direnci ve neredeyse sonsuz hammadde kaynağı nedeniyle makul kabul edilmektedir. Şekil 2.1' de FRP türleri ve çelik donatı çubuğuna ait gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisi gösterilmiştir (Tearwe 1995).



Şekil 2.1 Lifle güçlendirilmiş polimer donatıların gerilme-şekil değiştirme eğrileri (Tearwe 1995).

2.2.1 Karbon Lifle Güçlendirilmiş Polimerler (CFRP)

Karbon lifler 5-10 mikron çaplarda olabilmektedir. Karbon lifler, karbon atomlarının kristal yapıda uzun eksen boyunca kimyasal olarak bağlanması sonucunda oluşmakta, bu kristal yerleşimde karbon liflere yüksek mukavemet/hacim özelliği sağlamaktadır (Brena

vd. 2001, Meier 2012). CFRP' ler oldukça hafif ve güçlü olup yüksek çekme dayanımı ve dayanım/ağırlık değerlerine sahiptir. Çelik ile karşılaştırıldığında ağırlıkça çeliğin ancak %20 si kadardır. CFRP' ler çelik gibi çok yüksek elastisite modülü değerlerine sahip olduğu için uzay ve altyapı endüstrilerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. CFRP' ler yüksek dayanımlı karbon liflerden oluştuğu için yüksek dayanımlı, matris ise lifleri bir arada tutmak için genellikle polimer reçine esastır. Her ne kadar CFRP' ler çeliğe göre %50-60 oranında ağırlıkta azalmaya yol açsa da fiyatı çeliğe göre 2 ile 10 kat arası daha yüksektir (William 2000). ACI (2007), ACI (2008) ve Ammar (2014), CFRP' lerin 20 °C de normal nem ortamı ve maksimum çekme dayanımının %80'i kadar bir yükte 3000 saat yükleme sonucunda sünme birim şekil değıştirmesinin %0.01 olduğunu rapor etmiştir. CFRP' ler betonarme yapıların, özellikle de köprülerin güçlendirilmesi için geliştirilmiştir (Sergio vd. 2001).

2.2.2 Cam Lifle Güçlendirilmiş Polimerler (GFRP)

Cam lifler veya literatürde bilinen diğ er adıyla fiberglas, kompozit yapı iç erisine ağırlıkça %0,5 ile %2 arasında katılır ve fiberglasla güçlendirilmiş polimer olarak tanımlanır (Lubin 1975). GFRP, bir polimer türü olup, polimerin dayanım ve rijitliğini artırmak için cam lifler kullanılmış tır (Ashby ve Jones 2006, Callister 2007). Reçine lifin tamamlayıcı elamanı olarak matrise katılır, cam lif ve plastik malzemenin birlikteliğini ve beraber çalışmasını sağlar (Mitchell, 2004). GFRP' ler 1930 yılların ortalarından beri inşaat sektöründe yaygın kullanılmakta olup özellikleri polimer matrisin türü, lif miktarı, lif dağılım yapısı ve lif-matris kaynaşmasına bağı lı olarak değ işmektedir (Cabral-Fonseca 2005). GFRP' ler çok yüksek dayanım/ağırlık, 9,67 kg/m² ile 19,52 kg/m² arasında değ işen düşük ağırlık, yüksek tuzlu su, kimyasal etki ve alkali ortam dirençlerine sahiptir. İlaveten, GFRP' ler mükemmel ısı yalıtımı, ısıl direnç ve düşük maliyet özelliklerine sahiptir (Landesmann vd. 2015). GFRP plakaların kalınlıklarının 6,35 mm'den büyük olması durumunda ankrajların dayanımlarında %40 ile %100 arasında artış meydana gelmektedir (Saadatmanesh ve Ehsani 1991). GFRP' lerin sünme birim şekil değ iştirmesi yaklaşık olarak %0,3–%1 arasındadır (Francesca vd. 2006). GFRP' ler genellikle köprü, kubbe, taşıyıcı çerçeve sistemler veya yığma yapı duvarlarında kullanılır (Correia 2004).

2.2.3 Bazalt Lifle Güçlendirilmiş Polimerler (BFRP)

Bazalt koyu renkli mafik püskürük bir kayadır. Volkanik taşların dünyada en yaygın bulunan türü olup, bu kayanın türünün %90'dan fazlasını oluşturmaktadır. Erimiş lavların soğuma şekli bu kayaların mikro yapısını önemli ölçüde etkilemektedir. Eğer lavların soğuma hızı yavaş ise bazalt düzenli atomik dağılıma (kristal yapı) sahip olmakta, eğer soğuma hızlı gerçekleşirse düzenli olmayan atomik dağılıma (amorf-camsı) sahip olmaktadır. Mineralojik bakış açısı ile bazalt plajiyoklas, piroksen (doğal kalsiyum, magnezyum ve demir silikatları) ve Olivin (Sarımsı yeşil renkli, cam parıltılı, magnezyum ve demirli silikat, peridot) silikatlarından oluşur. Bazalt kimyasal olarak %45-52 SiO₂, %9-19 Al₂O₃, %6-15 FeO+Fe₂O₃, %5-13 CaO, %6-12 MgO, %2-11 Na₂O, K₂O ve %0,5-2 TiO₂ değerlerine sahiptir.

Bazaltlar içermiş oldukları SiO₂ oranına bağlı olarak adlandırılırlar. SiO₂ %42 ye kadar olanlar alkali, %43-46 arası olanlar orta asidik, %46 dan fazla SiO₂ oranına sahip olanlar ise asidik bazalt olarak adlandırılırlar. Sadece asidik bazaltlar lif üretiminde kullanılabilir çünkü bazalt filamentlerin kimyasal stabilitesi ve sünekliği, bazaltın SiO₂ oranı ile doğrudan ilişkilidir. SiO₂ oranı arttıkça kimyasal stabilite ve süneklik artış göstermektedir. Bazaltın yapısındaki Al₂O₃ miktarı da bazalt filamentlerin kimyasal stabilitesini artırmaktadır. CaO, MgO ve TiO₂ miktarları bazalt filamentlerin su ve korozyon direnci üzerinde etkindir (Singha 2012). Uzun yıllardır, bazalt, karo yapımı ve mimari uygulamalarda döşeme elmanı olarak kullanılmaktadır. Yüksek aşınma direncinden dolayı endüstriyel uygulamalarda çelik tüp elemanların dolgusunda kullanılmaktadır. Kırılmış olarak ise beton agregası olarak kullanımı yaygındır. Geçtiğimiz yıllarda ise bazaltın donatı olarak kullanımının uygun olduğu ortaya konulmuştur (Singha 2012, Dhand vd. 2015). Bazalt taşının ekstrüzyon yöntemi ile lif haline getirilmesi çalışmaları 1920 yılında başlamış, 1922 de ABD de ilk patent alımı gerçekleşmiştir (Dhe 1922). 1960 yıllarda Sovyetler birliği bazalt lifleri, askeri ve uzay çalışmalarında kullanmak için ilk sürdürülebilir bazalt lif üretim teknolojisini uygulamaya aldı. Bazalt lif üretimi temel olarak bazalt taşının eritme fırınına konulmasından önce ısıtılması ve sonrasında ise stabil camsı bir yapının elde edilmesi şeklindedir. Bazalt lif kullanımı, inşaat mühendisliği uygulamalarında, özellikle yapıların

restore ve güçlendirmesi, ısı ve akustik yalıtımı ve titreşim azaltıcılar olarak, gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır. Literatürde birçok çalışma bazalt lifler kullanılarak elde edilen bazalt lifle güçlendirilmiş polimerin betonarme yapı elamanlarında donatı olarak kullanılabileceğini göstermiştir. Aşağıdaki bölümde, lifle güçlendirilmiş polimerlerin özellikle bazalt lifle güçlendirilmiş polimerlerin (kısaca bazalt donatıların) inşaat mühendisliği alanında kullanımları ile alakalı literatürde yapılmış olan çalışmalardan örnekler sunulacaktır.

2.3 Literatürde Yapılmış Olan Çalışmalar

Wang vd. (2015), bazalt lifle güçlendirilmiş polimer donatılarla uzama sertleşmesi gösteren yüksek performanslı çimento esaslı kompozitlerin (Engineered cementitious composite) çekip çıkarma (pull-out) aderans ilişkisini aydınlatabilmek maksadı ile deneysel bir çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışma, çekip çıkarma testi, donatı çapı, donatı kenetlenme boyu, donatı çevresi matris örtü kalınlığı (cover thickness) ve malzeme matris özellikleri parametre olarak belirlenerek gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda çekip çıkarma dayanımının genellikle bazalt lifle güçlendirilmiş donatının kesme dayanımı ile ilintili olduğunu görülmüştür. Numunelerin çoğunda donatı kopmasının gerçekleşmediği, numunelerin çatlak oluşturarak kırıldığı görülmüştür. Donatı çevresi matris örtü kalınlığı 5.5 mm olan numunelerde yarmada çekme kırılmasının olduğu görülmüştür. Çimento matrisi ile bazalt lifle güçlendirilmiş donatı arasındaki aderans dayanımının, donatı çapı arttıkça azaldığı, aynı zamanda, donatı çapı arttıkça daha düşük kenetlenme boyuna sahip olan numunelerin daha yüksek çekip çıkarma direncine sahip olduğu, kenetlenme boyu ile ortalama çekip çıkarma dayanımı arasında doğrusal bir ilişkinin varlığı tespit edilmiştir. Çekip çıkarma dayanımının donatı çevresi matris örtü kalınlığının artması ile arttığı, ancak örtü kalınlığının 20 mm en fazla olmasının bir etkisinin olmadığı görülmüştür.

Deng vd. (2018), çelik donatı ile uzama sertleşmesi gösteren yüksek performanslı çimento esaslı kompozitlerin bağ dayanımı, aderans ilişkisini ortaya çıkarabilmek için deneysel bir çalışma planlamıştır. Bu çalışmada, deneysel parametreler olarak, donatı yüzeyi (düz, pürüzlü), donatı çapı, donatı çevresi matris örtü kalınlığı, uzama sertleşmesi

gösteren yüksek performanslı çimento esaslı kompozitin dayanımı ve Polivinil alkol (PVA) lif yüzdesi belirlenmiştir. Çalışmada 10 adet uzama sertleşmesi gösteren yüksek performanslı çimento esaslı kompozit grubu, 2 adet ise normal betonla üretilmiş kontrol grubu oluşturulmuştur. Çalışma sonucunda, uzama sertleşmesi gösteren yüksek performanslı çimento esaslı kompozitlerin içerisine gömülmüş olan düz donatıların aderans dayanımının normal betonla üretilmiş olanlara göre 1,71 kat daha fazla olduğu görülmüştür. Deforme donatılı numunelerde, uzama sertleşmesi gösteren yüksek performanslı çimento esaslı kompozitlerin, iç çatlak oluşumu ve PVA liflerin çatlak köprüleme özelliklerinden dolayı çekip çıkarma testi sırasında oldukça sünek davrandıkları, hâlbuki normal betonlarla üretilen numunelerde gevrek yarıma işleminin gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Uzama sertleşmesi gösteren yüksek performanslı çimento esaslı kompozitlerin dayanımlarının 27.7 MPa' dan 57.2 MPa 'a yükselmesi ile aderans dayanımının 2,14 kat arttığı görülmüştür. Çalışmada, ayrıca, kritik nispi donatı çevresi matris örtü kalınlığının 3.41 olduğu belirlenmiştir.

Ayrıca, yapı tasarımı ve nümerik simülasyonlar için çok önemli olan aderans dayanımı-sıyrılma miktarı ilişkisinin düzgün olduğu görülmüştür. Üretim esnasında ankraj gömülü olarak üretilmiş olan normal ve çelik lifli betonlar, monolitik çekme yüklemesine maruz bırakılmıştır. Beton numune kalınlığı, beton dayanımı ve ilave edilen çelik lif miktarının ankraj kapasitesine etkileri araştırılmıştır. Deney sonuçları ankraj kapasitesi, ankraj sünekliği ve rijitliği, kırılma modu ve geometrisi yönlerinden değerlendirilmiştir. Aynı zamanda, elde edilen deneysel sonuçlar, Beton Kapasite Metodu (Concrete Capacity Method) kullanılarak elde edilen teorik verilerle doğrulanmıştır. Ankraj kapasitesi ve sünekliğinin, beton elamanın kalınlığının artması ile hafifçe arttığı, ankraj rijitliğinin ise hafifçe azaldığı görülmüştür.

Betonarme elamanın kalınlığının etkisinin aksine, deneysel sonuçlar, beton basınç dayanımının artması ile ankraj sünekliği, ankraj kapasitesi ve rijitliğinin belirgin bir şekilde arttığını göstermiştir. Ankraj kapasitesi ve sünekliğinin ilave edilen çelik lif miktarının artması ile kayda değer şekilde arttığı görülmüştür. Çelik lif ilaveli betonların iyileşen eğilmede çekme dayanımı ve maksimum çatlak gelişimi etkisi nedeni ile lifli betonların ankraj kapasitesi ve sünekliğinde artış meydana geldiği belirtilmiştir. Normal

beton numuneleri içerisinde ankre edilmiş ankraj çubukların ölçülen dayanım değerleri ortalamasının, Beton Kapasite Yöntemi ile tahmin edilen değerlerden, numune kalınlığının artması ile 1 ile 1.17 değerleri arasında arttığı belirlenmiştir. Çelik lifli betonlarda ise bu oranın numune kalınlığı ve beton dayanımına bağlı olarak 1.29 ile 1.51 değerleri arasında değiştiği görülmüştür (Nilforoush vd. 2017).

Çalışkan ve Aras (2017), tarafından yapılan çalışmada, farklı kimyasal yapıştırıcı, ankraj çapı ve gömülme derinliğinin ankraj çekme dayanımı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. 25 MPa basınç dayanımı değerine sahip olan beton bloklara ankraj çubukları yerleştirilmiştir. Çapları 12, 16, 20 ve 24 mm olan nervürlü donatılar ankraj çubuğu olarak belirlenmiştir. Gömülme derinlikleri ise, kullanılan ankraj çubuk çaplarının 5, 10, 15 ve 20 katı olarak belirlenmiştir. Ankraj çubuklarının ankre edileceği ankraj deliklerinin genişliği, ankraj çubuk çapından 4 mm büyük olacak şekilde oluşturulmuştur. Çalışma kapsamında, dört epoksi, üç polyester, iki epoksi akrilik ve bir de vinil ether olmak üzere 10 farklı kimyasal yapıştırıcı kullanılmıştır. Çalışmadan elde edilen yük-yer değiştirme grafiği değerleri kullanılarak eksenel yük kapasitesi, kırılma modu, başlangıç rijitliği, yer değiştirme, süneklik oranı ve enerji yutma kapasitesi değerleri hesaplanmış ve genel ankraj performansları ile alakalı değerlendirmeler yapılmıştır. Ayrıca ankraj kapasite ve dizayn dayanımları ACI 318'e (2008) göre de hesaplanmıştır. Sonuçlar, kullanılan kimyasal katkı türünün etkisinin 16, 20 ve 24 mm çaplı ankraj çubuklarında belirgin olduğunu, daha düşük çaplı ankraj çubukları kullanımında, kimyasal yapıştırıcı türünün etkisinin belirgin olmadığı belirlenmiştir. Ayrıca, en iyi durabilite değerlerinin epoksi kimyasal yapıştırıcılarla elde edildiği, ideal gömülme derinliğinin, 10Ø ankrajlar için 16 mm, 15-20 Ø olan ankrajlar için ise 20 ve 24 mm çaplı ankrajların olduğu belirlenmiştir.

Bazalt lifle güçlendirilmiş donatılar yeni bir malzeme olup, bu malzemenin betonarme yapılar içerisindeki davranışının geleneksel çelik donatılarla davranış farkının ortaya konulması, farklılık ve sınırlarının belirlenmesi çok önemlidir. Urbaniska vd. (2013), tarafından yapılan çalışmada, eğilme yüklemesine maruz bırakılan bazalt lifli çubuklarla güçlendirilmiş basit kirişlerin, çelik donatılarla güçlendirilmiş basit kirişlere göre eğilme dayanımlarının nasıl değiştiği araştırılmıştır. C30/37 beton sınıfına sahip olan basit kirişler, mekanik özellikleri direk çekme testi ile belirlenmiş olan 8 mm çaplı bazalt

donatılarla güçlendirilmiştir. Deneysel çalışmada yük-yer değiştirme ve çatlak gelişimi sonuçları elde edilmiştir. Sonuçlar, bazalt donatılı basit kirişlerin yük-yer değiştirme davranışının çelik donatılı olanlara göre değişik karakterde olduğunu, aynı zamanda bazalt donatı çubuklarının çekme yönteminin ankraj kalitesi ve tipi üzerinde önemli etkiye sahip olduğunu göstermiştir.

Bassam vd. (2017), betona sonradan ilave edilen inşaat demiri ankraj elemanlarının çekme davranışları üzerinde araştırma yapılmıştır. 8,10 ve 12mm olmak üzere 3 farklı çapta ankraj elemanı kullanılmıştır. Deneysel çalışmada 15x30 cm' lik silindirik numuneler üzerinde 4 farklı tip yapıştırıcı kullanılmış olup, 10Ø, 15Ø ve 20Ø derinliklerde çıkan sonuçlar kontrol numuneleri ile karşılaştırılmıştır. Deneysel çalışma sonucunda kimyasal yapıştırıcıların kullanılmasıyla harç tipi bağlayıcılardan daha iyi performans gösterdikleri görülmüştür. Çekme yük değerinin donatı çapı ve ankraj gömme derinliğinin artmasıyla arttığını göstermişlerdir. Daha büyük demir çapının bağlayıcı malzeme be ankraj elemanı ara yüzeyinde daha yüksek mukavemete sebep olduğundan 12mm üstü çaparda genellikle betonun çatlaması ile sonuçlandığını, 8mm ve daha az çaplı donatılarda ise konik göçme türünün meydana geldiğini belirtmişlerdir.

Rami vd. (2017), tarafından yapılan çalışmada, yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılmış olan lifle güçlendirilmiş polimerlerin mekanik özellikleri ve bu liflerle beton arasında oluşan aderans ilişkisi araştırılmıştır. Üç farklı lifle güçlendirilmiş polimer donatı, bazalt, karbon ve cam, 10Ø çelik donatı çubuğu kullanılarak deneysel bir çalışma programı oluşturulmuştur. Test sonuçları, 450 °C ye kadar yüksek sıcaklığı maruz bırakılan lifle güçlendirilmiş polimer donatıların mekanik özelliklerinde ciddi düşüşler olduğunu, daha yüksek sıcaklıklarda ise cam ve bazalt liflerle güçlendirilmiş polimer donatıların eriyerek çekme dayanım kapasitelerini tamamen kaybettikleri görülmüştür. 325 °C kritik sıcaklığına ulaşıldığında lifle güçlendirilmiş polimer donatıların çekme dayanımları elastisite modüllerinde sırası ile %55 ve %30 a varan düşüşlerin meydana geldiği belirtilmiştir. Yüksek sıcaklıklarda, mekanik özelliklerde ve aderans dayanımında meydana gelen düşüşün lifle güçlendirilmiş donatılarda, çelik donatılara göre çok daha belirgin olduğu, aderans dayanımında azalışın lifle güçlendirilmiş polimer donatılarda, 325°C sıcaklıkta, %81,5'a kadar yükseldiği belirlenmiştir. Deneysel sonuçlar baz

alınarak, yüksek sıcaklık sonrası lifle güçlendirilmiş polimer donatıların aderans dayanımı-sıyrılma ilişkisi tahmini için ampirik bir model önerilmiş, önerilen modelle deneysel sonuçlar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişkinin olduğu görülmüştür.

Maranan vd. (2015), tarafından yapılan çalışmada, kumla kaplı cam lifle güçlendirilmiş polimer donatılar ekilerek üretilmiş olan geopolimer betonların ankraj başlığının aderans dayanımı üzerindeki ilişkisi çekip çıkarma testi kullanılarak araştırılmıştır. Düz ve başlıklı cam lifle güçlendirilmiş 12.7, 15.9 ve 19 mm çaplı polimer donatılar, gömülme boyu l_d (başlıklı donatılarda $0\phi + l_{ah}$, $5\phi + l_{ah}$, $10\phi + l_{ah}$, düz donatılarda ise 5ϕ ve 10ϕ), l_{ah} ankraj başlık uzunluğu, olacak şekilde belirlenmiştir. Deneysel sonuçlar, ankraj başlığının cam lifle güçlendirilmiş polimer donatılı geopolimer betonların ankraj kapasitesini artırmada etkili bir yöntem olduğunu göstermiştir. Başlıklı ankraj çubuğu kullanımının, kumla kaplı cam lifle güçlendirilmiş polimer donatıların ankraj kapasitesini %49 ile %77 arasında artırdığı görülmüştür. Dahası, sadece ankraj başlığının yapılmasından kaynaklanan mekanik taşıma gücü kapasitesinin artışı ile kumla kaplı cam lifle güçlendirilmiş polimer donatı çubuklarının nominal çekme dayanımı yaklaşık olarak %45 artış göstermiştir. Bu deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlarla, literatürdeki diğer çalışmalardan elde edilmiş olan deneysel sonuçlar karşılaştırıldığında, cam lifle güçlendirilmiş polimer donatılarla üretilmiş geopolimer betonların aderans dayanımının, normal betonlara göre oldukça yüksek olduğu görülmüştür.

Turker vd. (2016), tarafından yapılan çalışmada, normal beton kullanılarak üretilmiş olan beton bloklara, üretim esnasında ankre edilmiş çelik donatı çubuklarının etrafına ekilen çelik vidaların, monotonik yükleme altında çekip çıkarma dayanımını nasıl etkilediği araştırılmıştır. Beton blok basınç dayanımı, gömülme boyu ve ankraj donatı çubuğu çapı sabit tutularak, ankraj çubukları etrafına ekilen çelik vida sayısı, ankraj çubuğu ile çelik vidalar arasındaki uzaklık deneysel parametreler olarak belirlenmiştir. Çelik vidalar, ankraj donatı çubuğu etrafına 10 ve 20 cm çaplarında olacak şekilde 4, 6 ve 8 adet olarak ekilmiştir. Çalışma sonucunda, çelik vida ekilmesinin, ankraj donatısının çekip çıkarma dayanımını önemli ölçüde artırdığını, dahası, çelik vida sayısının artması ile çekip çıkarma dayanımı arasında doğrusal ilişki olduğu görülmüştür. Fakat çekip çıkarma

dayanımının, ankraj çubuğu etrafına ekilen çelik vida tabaka sayısı ile ilgisinin olmadığı ortaya konulmuştur.

Çelik donatının paslanması, çelik donatılı betonarme yapıların uzun vadeli performansını azaltmakta, bakım maliyetlerini artırmaktadır. Lifle güçlendirilmiş polimer donatılar, çelik donatıya alternatif olarak geliştirilmiştir. Fakat lifle güçlendirilmiş polimer donatıların kullanımı, yüksek ilk yatırım maliyeti, düşük elastisite modülü ve kırılma olmaları nedeni ile kısıtlıdır. Bu nedenle, bazalt lifle güçlendirilmiş polimer-çelik hibrit donatı alternatif olarak sunulabilmektedir. Önerilen hibrit donatı (çelik donatı, bazalt lifle güçlendirilmiş polimerler kullanılarak kaplanmaktadır) betonarme yapılarda paslanmaya karşı dayanıklı alternatif oluşturabilmektedir (Ma vd. 2019). Çelik donatının negatif özellikleri hibrit donatı ile düşük maliyetli olarak azaltılarak kullanılabilirliği daha da etkin hale gelebilecektir. Dört adet bazalt lifle güçlendirilmiş polimer-çelik hibrit donatı ve yedi adet cam lifle güçlendirilmiş polimer donatı kullanılarak deneysel bir çalışma programı oluşturulmuş, donatı çubuklarının çekme dayanımları belirlenmiştir (Ma vd. 2019). Sonuçlar, hibrit donatının daha dengeli çekme özelliklerine sahip olduğu, hibrit donatının çekme dayanımının çelik donatıya göre %47 arttığını, lifle güçlendirilmiş polimer donatıların sorunlu bir özelliği olan elastisite modülünde ise %167 kadar iyileşme olduğunu göstermiştir. Aynı çalışmada, lifle güçlendirilmiş polimer donatıların yüzeyleri dört farklı yüzey iyileştirme malzemesi ile kaplanmış, belirtilen yüzey iyileştirmelerinin aderans dayanımlarını nasıl etkilediği çekip çıkarma deneyi ile belirlenmiştir. Kumla yüzeyi iyileştirilmiş olan donatıların en yüksek aderans dayanımına fakat daha kırılma yapıya sahip olduğu görülmüştür.

Henin vd. (2019), iki farklı yüzey iyileştirme uygulamasının (tek ve iki tabakalı kum kaplama), bazalt lifle güçlendirilmiş polimer donatıların aderans dayanımını nasıl etkilediğini, ilk olarak 12 adet çekip çıkarma deney numunesi (her yüzey kaplama uygulaması için 6 adet numune), ikinci olarak da 11 adet kiriş numunesi (üç adet tek tabakalı kum kaplı bazalt lifle güçlendirilmiş polimer donatılı, üç adet iki tabakalı kumla kaplı bazalt lifle güçlendirilmiş polimer donatılı, üç adet bazalt lifle güçlendirilmiş polimer donatı demetli, iki adet ise çelik donatı çubuklu) üreterek araştırmışlardır. Üretilen numuneler, farklı yüzey kaplama uygulamasının aderans dayanımını nasıl

etkilediğini belirlemek için çekip çıkarma deneyine tabii tutulmuştur. Çalışma sonucunda, yüzey iyileştirme uygulamasının aderans ve eğilme dayanımı üzerinde oldukça etkili, ayrıca elde edilen deneysel sonuçların ACI 440 (2012) ve ISIS (2007) uyumlu olduğu görülmüştür (Henin vd. 2019).

Bazalt lifle güçlendirilmiş polimer donatıların, betonarme elamanların çekme bölgesinde uygulanması ve etkilerinin ortaya konulması ile alakalı çalışmalar da yapılmıştır (Sim vd. 2005, Ouyang et al. 2012, Gribnial et al. 2015). Sim vd. (2005), bazalt lifle güçlendirilmiş polimer elamanların boyutlarının dayanım üzerindeki etkisi ile ilgili yapmış oldukları çalışmada, akma noktası, nihai dayanım ve akma sonrası süneklik değerlerinde kompozit tabaka sayısının atması ile artış meydana geldiğini ortaya koymuştur. Bulunan sonuçlar Quyang vd. (2012) tarafından yapılan çalışmada elde edilen sonuçlarla uyumludur. Özellikle, bazalt lifle güçlendirilmiş polimer tabakanın birden (kalınlık 0.5 mm ve toplam kiriş uzunluğunun %80'i) üç tabakaya çıkması durumunda akma yükünün %15 den %27 ye yükseldiği, görülmüştür. Bazalt lifle güçlendirilmiş polimer tabaka-betonarme elemanın aderans boyunun değiştirilmesinin (toplam kirişin boyunun %80'inden fazla olması durumunda) yük-deplasman davranışını önemli ölçüde etkilemediği görülmüştür.

Gribniak vd. (2015) bazalt lifle güçlendirilmiş polimer tabakalar ile donatıları çekme bölgesinde birlikte kullandıklarında süneklikte ortalama olarak %30, minimum ise %13 artış meydana geldiğini göstermiştir. Test edilen tüm numuneler dikkate alındığında, eğilme deneyinde kırılma mekanizmasının, bazalt lifle güçlendirilmiş polimer levha-betonarme eleman aderans bölgesinde meydana gelmediği görülmüştür. Bazalt lifle güçlendirilmiş polimerlerin eğilme bölgesindeki mekanik performanslarının, akma ve nihai dayanım açısından, camla ve karbon liflerle güçlendirilmiş olanlara göre göreceli olarak daha az olduğu görülmüştür. Örneğin, karbon lifle güçlendirilmiş polimer donatı kullanımının, eğilme yükünde %17 den %50 ye (çelik donatı oranına bağlı olarak) kadar artış gösterdiği, cam lifle güçlendirilmiş polimer tabakaların bazalt lifle güçlendirilmiş olanlara göre daha etkili olduğu belirlenmiştir. Karbon ve bazalt lifle güçlendirilmiş polimer donatı kullanılan betonarme elamanlarda, hiçbir zaman, katastropik dayanım azalmasının meydana gelmediği, sadece göreceli olarak küçük deplasman oluşumlarında, daha düşük süneklik değerlerinin elde edildiği görülmüştür (Ceroni 2010).

Lifle güçlendirilmiş polimer donatıların eğilme bölgesinde etkisi, polimer donatı ile beton elamanın çok iyi bağ yapması ile alakalıdır. Bu bağlamda, literatürde, bazalt lifle güçlendirilmiş polimer donatı-beton elaman ara yüzey bağ performansının nasıl olduğunu ortaya çıkarmak için bağ koparma testi çalışmaları yapılmıştır (Nerilli ve Vairo 2018). Sonuçlar, esnek yapıştırma uygulamalarının, lifle güçlendirilmiş polimerler-beton ara yüzey bağ kapasitesini artırmada daha etkin olduğunu, düşük yükleme seviyelerinde cam lifle güçlendirilmiş polimer-beton ara yüzey bağ kapasitesinin bazalt lifli olanlara göre daha iyi olduğu, fakat kopma enerjisinin her iki lifle güçlendirilmiş polimerler için neredeyse aynı olduğunu göstermiştir.

Janus vd. (2018), farklı yüzey iyileştirme uygulamalarının FRP' lerin aderans dayanımı ile ilgili yapmış oldukları çalışmada kum yüzey iyileştirme uygulamalı nervürlü donatıların farklı gerilme dağılım davranışına sahip olduğunu göstermiştir. İlgili çalışmada, bu tip FRP donatıların aderans davranışını karşılaştırmak maksadı ile deneysel bir çalışma yapılmıştır. Direk çekip-çıkarma deneyi, aderans dayanımı ve serbest uç sıyrılma değerlerini belirlemek maksadı ile uygulanmış, bu deney yöntemi, yöntemin basitliği, önceki yapılmış olan çalışmalarda elde edilen sonuçlarla kendi yaptıkları deneysel sonuçları karşılaştırabilme ve donatı çevresi matris örtü kalınlığı parametresinin kolayca modifiye edilebilmesi nedenleri ile seçilmiştir. Direk çekip-çıkarma deneyi sonuçlarından, donatı çevresi matris örtü kalınlığının, betonarme elamanın aderans dayanımı üzerinde kayda değer etkiye sahip olduğu, donatı çevresi matris örtü kalınlığı minimum olduğunda, nihai aderans dayanımı ve serbest uç sıyrılma (free-end slip) değerlerinde önemli düşüslere yol açtığı görülmüştür. Nervürlü ve kumla yüzey iyileştirme uygulamasına maruz bırakılmış donatıların aderans dayanımının neredeyse çelik donatı aderans dayanımına eşdeğer olduğu tespit edilmiştir. Kumla yüzey iyileştirme uygulamasına maruz bırakılmış donatıların, aderans dayanımının nervürlü olanlarla karşılaştırıldığında, nervürlü donatıların daha yüksek aderans dayanımı, serbest uç sıyrılma değeri, dolayısıyla da daha sünek olduğu görülmüştür. Daha az oranda kumla yüzey iyileştirme uygulamasına sahip olan donatıların aderans dayanımında %15 azalma olduğu belirlenmiştir.

Topçu vd. (2015), yaptıkları çalışmada ankraj donatısının çapı ve ankraj derinliğinin çekme dayanımına olan etkilerini belirlemek amaçlı deneysel araştırma yapmışlardır. Bu çalışma kapsamında ankraj donatı çapının, ankraj delik çapının ve ankraj derinliğinin göçme yükü üzerinde etkileri araştırılmıştır. Deneysel çalışmada 30 adet ankraj grubu üzerinde çekme testi yapılmıştır. Ankraj çubuğu olarak 14, 16 ve 18 mm çapında S420 sınıfı donatılar kullanılmış olup, epoksi esaslı kimyasal yapıştırıcı ve C25/30 sınıfı beton kullanılmıştır. Deneysel çalışma sonucunda ankraj donatı çaplarına göre sıyrılma yüklerinin arttığı gözlenmiştir. Donatı çapının 6mm ve 8 mm fazlası olacak şekilde açılan deliklere gömülen donatılarda çapın 14 mm'den 18 mm ye çıkmasıyla gerekli yük miktarı sırasıyla %85 ve %67 oranında artığı gözlenmiştir. Ankraj donatı çapının 14mm den 18 mm ye artmasıyla sıyrılma yükünün 10 ve 12 kat açılan derinlikler için ortalama %47 artış olduğu gözlenmiştir. Ankraj çapı miktarının D+6mm den D+8 mm ye artmasıyla 14,16 ve 18 mm lik donatılar için sırasıyla, %10, %9 ve %8 oranında artış elde edilmiştir.

El Refai vd. (2015), BFRP donatıların betonla olan aderans davranışını araştırmışlardır. Çalışma kapsamında, BFRP donatılar kullanılarak otuz altı adet, GFRP donatılar kullanılarak ise 12 adet silindir şekilli beton numunesi üretilmiş ve çekip-çıkarma deneyine tabi tutulmuştur. Polimer donatı türü (bazalt, cam), donatı çapı ve donatı gömülme boyu deneysel parametreler olarak belirlenmiştir. Bazalt ve cam lifle güçlendirilmiş polimer donatıların aderans dayanımı-sıyrılma eğrisinin benzer özellikler gösterdiği, bazalt lifle güçlendirilmiş polimer donatılı numunelerin ortalama aderans dayanımının, cam lifle güçlendirilmiş polimer donatılı numunelerin %75 i kadar olduğu görülmüştür. Bazalt lifle güçlendirilmiş polimer donatılı numunelerin tümünün kopmasının, donatı dış yüzeyi ile takip eden iç tabaka ara yüzeyinden kaynaklandığı görülmüştür. Deney sonuçları, BFRP donatıların betonarme elamanlarda kullanılabilirlik açısından, GFRP donatılara alternatif olabileceğini göstermiştir.

Mazılıgüney (2007), yapmış olduğu çalışmada, düşük dayanımlı betonlar üzerinde kimyasal ankrajların çekme davranışlarını incelemiş olup deneysel çalışma İstanbul Tuzla'daki 1982 yılında inşa edilmiş bir yapı üzerinde gerçekleştirilmiştir. Deneylerde 16 mm ve 20 mm çaplı STIII a inşaat çeliği ve Sikadur 31 kimyasal yapıştırıcı kullanılmıştır. Ankraj gömme derinlikleri 10,15 ve 20Ø referans alınıp toplamda 60 adet ankraj

numunesi ile deney gerçekleştirilmiştir. Ankraj delik çapları ise $\varnothing+4\text{mm}$ olacak şekilde tasarlanmıştır. Deneysel çalışma çekme testine tabi tutulmuş tüm ankrajların ayrı ayrı göçme yükleri belirlenmiştir. Sonuç olarak ortalama aderans dayanımlarının $\varnothing16\text{ mm}$ çapı donatılar için 7,37 MPa, $\varnothing20\text{ mm}$ çaplı donatılar için 8,5 MPa olduğu tespit edilmiştir. Ankraj çapının çekme davranışları için en etkili bir parametre olduğu sonucuna varılmıştır.

Pecce vd. (2001), cam lifle güçlendirilmiş polimer donatıların aderans davranışının nasıl olduğunu ortaya koyabilmek maksadı ile deneysel bir çalışma oluşturmuşlardır. Belirtilen donatılarla üretilen numuneler üzerinde gerçekleştirilen çekip-çıkarma deneyi sonuçlarından elde ettikleri aderans dayanımı-sıyrılma eğrisi ile birlikte polimer donatıların elastisite modülü ve çekme dayanımı değerlerini belirlemiştir. Ayrıca, elde ettikleri deney sonuçlarını kullanılarak oluşturdukları konstitüf bir aderans dayanımı-sıyrılma nümerik modeli önermiştir. Çalışma sonucunda, iki farklı kopma mekanizmasının oluştuğu, kenetlenme boyunun donatı çapının beş katına eşit olması durumunda direk olarak donatı sıyrılmasının gerçekleştiği, halbuki donatı kenetlenme boyunun donatı çapının 20 veya 30 katı olması durumunda donatı kopması olayının gerçekleştiği görülmüştür. Kenetlenme boyunun donatı çapının on katı olması durumunda donatı kopma olayının başlangıç sıyrılma olayı ile birlikte gerçekleştiği, özellikle, kenetlenme boyunun donatı çapının 10 katı olması durumunda donatı yüzeyindeki nervürlerin aderans yükünü paylaştığı belirlenmiştir. Deforme çelik donatının aksine, yükleme ucunda meydana gelen sıyrılma değerinin, serbest uç sıyrılma değerinden belirgin bir şekilde fazla olduğu görülmüştür.

Tighiouart vd. (1998), lifle güçlendirilmiş polimer donatıların aderans dayanımını çelik donatı aderans dayanımı ile karşılaştırmıştır. İki farklı lifle güçlendirilmiş polimer donatı kullanarak, toplamda 64 adet kiriş numune üretilmiş ve aderans dayanımı testine tabi tutulmuştur. Deneysel tasarım yapılırken, dört farklı nominal donatı çapı (12.7, 15.9, 19.1 ve 25.4 mm) ve üç farklı kenetlenme boyu (kullanılan donatı çapının 6, 10 ve 16 katı olacak şekilde) kullanılmıştır. Deneysel tasarımda, ayrıca, üç farklı beton derinliği (200, 600 ve 1000 mm) kullanılarak ta 18 farklı çekip-çıkarma numunesi üretilmiştir. Deney sonuçları, uygulanan çekme yükünün, kenetlenme boyunun artması ile donatının çekme

dayanımına yaklaştığını, cam lifle güçlendirilmiş polimer donatıların, çelik donatı aderans dayanımından daha düşük olduğunu göstermiştir. Lifle güçlendirilmiş polimer donatıların ortalama maksimum aderans dayanımının, kenetlenme boyuna bağlı olarak 5,1 ile 12,3 MPa arasında değiştiği görülmüştür. Cam lifle güçlendirilmiş polimer donatıların çelik lifli olanlara göre daha düşük aderans dayanımına sahip olduğu, üst bölge donatı (top bar effect) etkisinden kurtulabilmek için 1,3 gibi bir düzeltme faktörü kullanılması gerektiği önerilmiştir. Beana vd. (2009), CSA S806-02 (2002) ve ACI 440.3R-04 (2004) standardına uygun olarak üretmiş oldukları 88 numune üzerinde çekip-çıkarma deneyi gerçekleştirmiştir. Deneysel tasarımda, kenetlenme boyu, donatı çapının beş katı olacak şekilde sabit tutularak, karbon ve cam lifle güçlendirilmiş polimer ve çelik donatılar kullanılmıştır. Donatı yüzey özellikleri, donatı çapı ve beton dayanımının aderans dayanımı-sıyrılma eğrisi üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Ayrıca, aderans dayanımı-sıyrılma eğrisinin azalan bölümlerinin değişimini açıklayabilmek için literatürde önerilmiş olan analitik modeller kullanılmış, analitik modelleri kalibre etmek için ise donatı çapına bağlı olarak yeni denklemler önerilmiştir. Çalışma sonucunda, beton basınç dayanımı arttıkça, aderans dayanımı, kopma modu ve kopma yüzeyinde değişiklik meydana geldiği görülmüştür. Yüzey iyileştirme uygulaması aderans davranışı analiz edildiğinde, farklı yüzey iyileştirme uygulamasının farklı aderans mekanizması oluşturduğu görülmüştür. Dahası, donatı yüzey iyileştirme uygulamasının aderans dayanımı üzerinde, basınç dayanımı kadar etkili olmadığı görülmüştür. Deneysel sonuçlar, donatı çapı büyüdükçe aderans dayanımının azaldığını, fakat başlangıç sünekliğinin donatı çapından kayda değer olarak etkilenmediğini göstermiştir. Cam lifle güçlendirilmiş polimer donatıların sıyrılma değerlerinin karbon lifle güçlendirilmiş olan polimer donatılardan daha büyük olduğu görülmüştür.

Kanz (1999), lifle güçlendirilmiş polimer donatı-beton aderans mekanizmasını araştırmıştır. Çalışma kapsamında, 12.7 ve 12 mm çaplı beş farklı donatı, değişik yüzey iyileştirme uygulamasına tabi tutularak donatı-beton aderans testine maruz bırakılmış, elde edilen sonuçlar, yüzey iyileştirme uygulamasına maruz bırakılmayan lifle güçlendirilmiş polimer donatı ve deforme olmuş çelik donatı çubuklarının aderans mekanizması ile karşılaştırılmıştır. En yüksek aderans değerleri, yüzeyi reçine ile kalıplanarak aşırı miktarda deforme edilmiş donatı çubukları ile yüzeyine fiber bobin

sarılarak pürüzlendirilmiş donatılardan elde edilmiştir. Elde edilen aderans değerlerinin deforme çelik donatı aderans değerleri ile aynı veya daha yüksek olduğu görülmüştür. Düşük aderans değerleri, düşük mekanik özelliklere sahip olan kalın polimerik tabakalı donatı ile düz yüzeyli donatı çubuklarından elde edilmiştir. Çekip çıkarma yükü-sıyrılma eğrileri karşılaştırıldığı zaman, grafik tepe nokta öncesi ve sonrasının farklı davranışlarda olduğu görülmüştür. Katı matris içerisinde donatı dış yüzeyinde aşırı deformasyon oluşmuş donatıların gevrek davranış gösterdiği, donatı yüzeyi ne kadar pürüzlü ise davranışın o kadar sünek olduğu görülmüştür. Yüzeyi parçacıklarla kaplanmış olan donatıların, yük-sıyrılma eğrisinin sıyrılma-zayıflamasından (slip-weakening) sıyrılma-sertleşmesine (slip-hardening) dönüştüğü görülmüştür.

Benmokrane vd. (1996), cam lifle güçlendirilmiş polimer donatı-beton aderans ilişkisini ortaya çıkarabilmek için deneysel bir çalışma tasarlamıştır. Çalışma kapsamında, çapları 12.7 ile 25.4 mm arasında değişen dört farklı çapta lifle güçlendirilmiş polimer ve çelik donatı kullanılarak yirmi kiriş numune üretilmiştir. Cam lifle güçlendirilmiş polimer donatıların kenetlenme boyu boyunca aderans ve çekme dayanımı değerlerinin nasıl değiştiğini belirlemek için ise 19.1 mm çapında cam lifle güçlendirilmiş polimer donatı kullanılarak beş adet numune üretilmiş, elde edilen sonuçlar ise çelik donatı kullanılarak elde edilen sonuçlarda karşılaştırılmıştır. Çalışma kapsamında, sadece bir çeşit cam lifle güçlendirilmiş polimer donatı kullanılmıştır. Deney sonuçları, çelik donatılarda olduğu gibi, cam lifle güçlendirilmiş polimer donatılarında, donatı çapının aderans dayanımı üzerinde etkin olduğunu göstermiştir. Cam lifle güçlendirilmiş polimer donatıların aderans dayanımının çelik donatı aderans dayanımından %60 ile %90 arasında, kiriş numunelerden edilen aderans dayanım değerlerinin çekip-çıkarma (pull-out) deneyinden elde edilen değerlere göre ise %55 ile %95 oranında az olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, cam lifle güçlendirilmiş polimer donatı kullanılarak üretilen numunelerin aderans dayanımının kenetlenme boyu boyunca doğrusal olmadığı görülmüştür.

Betonarme yapılar alanında, çelik donatı yerine lifle güçlendirilmiş polimer donatıların kullanımı, özellikle bahse konu yapılar korozyon ortamına maruz kalıyorsa, iyi bir alternatif olarak görülmektedir. Lifle güçlendirilmiş polimer donatılar uygulamada kullanılmak isteniyorsa, bu donatıların mekanik özellikleri, özellikle de aderans dayanımı iyice

araştırılmalıdır. Belirtilen nedenlerle, geçtiğimiz yıllarda, lifle güçlendirilmiş polimer donatılarla, donatı- beton aderansı ile ilgili birçok test yapılmış, elde edilen sonuçlar ise deforme çelik donatılarla elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Cosenza vd. (1997), yapmış oldukları çalışmada, lifle güçlendirilmiş polimer donatıların aderans özellikleri ile alakalı son gelişmeleri içeren bir rapor yayınlamıştır. Çalışmada, lif türü, donatı dış yüzeyi (şekil ve matris türü), donatı çapı ve beton basınç dayanımı gibi birçok parametrenin aderans değerleri üzerinde etkisi analiz edilmiştir. Bunlara ilaveten, aderans-sıyırılma davranışı ile alakalı analitik modeller, modellerin deneysel aderans davranışını temsil etme yeterliliği açısından değerlendirilmiştir. Çalışmada, özellikle, Malvar (1994) tarafından önerilmiş olan (lifle güçlendirilmiş polimer donatıların aderans davranışı ile ilgili önerilen ilk model) ve çok iyi bilinen analitik model ile Elgehausen vd. (1983) tarafından çelik donatılar için önerilmiş olup lifle güçlendirilmiş polimer donatılar içinde başarılı bir şekilde uygulanabilen modelin güvenilirliği üzerine yoğunlaşmıştır. Ayrıca, Cosenza vd. (1997) de, birisi aderans-sıyırılma eğrisinin azalan bölgesini, diğeri ise tüm eğriyi temsil etmek üzere iki analitik model önermiştir. Çalışma sonucunda, düz yüzeyli lifle güçlendirilmiş polimer donatıların betonarme yapılar için uygun olmadığı, deneysel olarak elde edilen aderans-sıyırılma eğrisinin, pürüzlü donatı yüzeyinin oluşturmuş olduğu sürtünme mekanizmasının aktivasyonu ve beton çevresinin çatlaksız olması nedeni ile düşük aderans dayanımı değerlerine sahip olduğu görülmüştür. Lif türü ve reçine özelliklerinin, aderans dayanımı üzerinde etkin olduğu, buna karşın, aderans dayanımının beton basınç dayanımı değişiminden etkilenmediği görülmüştür. Kum kaplı sürekli lifli donatıların, aderans direncinin iyi olduğu, fakat kum taneleri ile donatı ara yüzeyinde ani bir ayrılma meydana geldiği, bunun da gevrek aderans kopmasına yol açtığı belirlenmiştir. Düz donatı yüzeyine spiral yapıştırılması ile elde edilen pürüzlü yüzeyli donatıların, beton kırılmadan, yapıştırılmış olan spiral sargı ile donatının ayrışmasından dolayı, kayda değer bir aderans artışına yol açmadığı belirlenmiştir. Bu nedenle, pürüzlü yüzeyli donatılardan elde edilen sürtünme mekanizması ve kayma gerilmesi değerlerinin düz yüzeyli donatılardan elde edilen değerlere göre biraz daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Epoksi kaplı donatılar, korozyon nedeni ile bozulmaya uğrayan tüm yapı türlerinde kullanılabilmektedir. Köprü ayakları ve park alanları özellikle tuz kaynaklı bozulmalardan önemli ölçüde etkilenmektedir. Yapısal performansın sağlanabilmesi için beton ile çelik donatı arasında aderans çok önemli olup, donatı yüzeyinin kaplanması beton-donatı aderansını azaltabilir. Treece ve Jirsa (1989) yaptıkları çalışmada, üst üste bindirmeli donatılar ile sabit moment bölgesi kirişler kullanılarak deneyler gerçekleştirmiştir. Epoksi kaplı ve epoksi kaplamasız donatıların aderans dayanımları karşılaştırılmıştır. Deneysel tasarımın parametreleri, donatı çapı, beton dayanımı, beton döküm yönü ve kaplama kalınlığı olarak belirlenmiştir.

Beycioğlu ve Aruntaş (2014) tarafından bazalt lifle güçlendirilmiş polimer donatı ile çelik donatının, 28 günlük basınç dayanımları ortalama 75 MPa, 90 günlük dayanımları ise ortalama 80 MPa olan yüksek dayanımlı betonlar arasındaki aderans ilişkisi üzerine çalışılmıştır. Çalışma kapsamında, Belçika mafsallı kiriş üretilmiş ve donatıların kenetlenme boyu 20Ø olarak sabit tutulmuştur. Çalışma sonucunda, kullanılan her iki donatı türünün de beton ile aderansını kaybetmeyerek kopma anına kadar beton ile aderansını devam ettirdiği görülmüştür. Yapılan çalışma ile Belçika mafsallı kirişin yüksek dayanımlı betonların aderans davranışını belirlemede kullanılabileceğini, kenetleme boyu uzun tutularak lifle güçlendirilmiş polimer donatıların çekme dayanımlarını belirlemede alternatif bir yöntem olabileceğini göstermiştir.

Sonradan yerleştirilmiş kimyasal ankrajların çekme ve kesme dayanımlarının araştırılması için deneysel bir çalışma yapılmıştır (Epackachi vd. 2015). Deneysel program, tekli, 4, 6 ve 9' aralıklı gruplar halinde 150 mm ve 200 mm aralıklı olacak şekilde yerleştirilmiş 42 numuneden oluşturulmuştur. Tasarım parametreleri, gruptaki ankraj sayısı ve ankrajlar arası mesafe olarak belirlenmiştir. Çekme ve kesme kuvveti-deplasman ilişkisi ve kimyasal ankrajların uygulanan yüke karşı göstermiş oldukları kopma mekanizmasının nasıl olduğu araştırılmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar, literatürde mevcut olan ampirik modellerle karşılaştırılmıştır. Ollgaard vd. (1971) ve Eligehausen vd. (2006) tarafından önerilen modellerin, çekme ve kesme kapasitelerini, istatistiksel olarak anlamlı kabul edilecek düzeyde doğru tahmin edebildiği, ACI 318-14 tarafından önerilen modelin ise çekme ve kesme kapasitelerini deneysel olarak elde edilen

verilerden daha düşük tahmin edebildiği görülmüştür. Deneysel sonuçlar, tekli kimyasal ankrajların çelik donatı kopması ve donatının betonla birlikte konik (cone-bond failure) şekilde yerinden ayrılması şeklinde gerçekleştiğini, grup olarak yerleştirilmiş ankrajlarda ise konik yarıma şekilde bağ kopmasının meydana geldiğini göstermiştir. Tekli ve grup şeklinde yerleştirilmiş olan kimyasal ankrajların, kesme yükü altında donatı kırılmasına maruz kaldığı gözlemlenmiştir. Ankrajlar arası mesafenin, kimyasal ankrajların çekme kuvveti değerlerini kayda değer şekilde etkilediği fakat kesme kuvveti değerlerinde, çalışılan ankraj aralıkları kapsamında, çok düşük bir etkiye yol açtığı belirlenmiştir. Ayrıca, kimyasal ankrajların kesme deformasyon kapasitesinin, çekme deformasyon kapasitesinden çok yüksek olduğu belirlenmiştir.

Achillides ve Pilakoutas (2004) cam, karbon, aramid ve hibrit liflerle güçlendirilmiş polimer donatılı betonları direk çekip-çıkarma deneyine tabi tutarak, aderans davranışlarını araştırmıştır. Deneysel tasarımda, kenetlenme boyu, donatı türü, donatı şekli, donatı yüzey özellikleri, donatı çapı ve beton basınç dayanımı olarak belirlenmiş, toplamda 130'dan fazla küp numunesi, yarılmaya müsaade edilmeden, çekip-çıkarma deneyine maruz bırakılmıştır. Normal betonlarda, lifle güçlendirilmiş polimer donatıların aderans kopma davranışının, deforme çelik donatı aderans kopma davranışından, polimer donatıların yüzeyindeki reçine yoğun tabakada meydana gelen deformasyondan dolayı, oldukça farklı olduğu belirlenmiştir. Karbon ve cam lifle güçlendirilmiş polimer donatıların aderans dayanım gelişiminin, deforme çelik donatı aderans dayanımı gelişimi ile benzer fakat biraz düşük olduğu belirlenmiştir. Çekip-çıkarmada yük-sıyrılma eğrisi, çelik ve lifle güçlendirilmiş polimer donatıların temel farklılıklarını ortaya çıkarmıştır. Lifle güçlendirilmiş polimer donatıların aderans kopma mekanizmasının, deforme çelik donatının kopma mekanizmasından oldukça farklı olduğu, basınç dayanımı 30 MPa' dan büyük olan betonlarda, kırılmanın sadece beton da değil, parçalı olarak donatı yüzeyinde de olduğu gözlemlenmiştir. Bu nedenle, lifle güçlendirilmiş polimer donatıların aderans dayanımının, beton basınç dayanımı ile kontrol edilemediği, fakat polimer donatıların yüzeyindeki reçine yoğun tabakada laminar kesme dayanımından etkilendiği görülmüştür. Basınç dayanımı 15 MPa' dan az olan betonlarda, donatı deformasyonundan önce betonun ezildiği, aderans dayanımının ise beton kesme dayanımı tarafından kontrol edildiği tespit edilmiştir. Lifle güçlendirilmiş polimer donatıların kimyasal yapışma ve

serbest uç sıyrılma değerlerinin birbiri ile ilişkili olduğu, bu ilişkinin aderans dayanımının %80' ninden düşük olduğu durumlarda geçerli olduğu belirlenmiştir. Karbon ve cam lifle güçlendirilmiş polimer donatıların aderans dayanımları arasında belirgin bir fark olmadığı, aramit ve hibrit donatının biraz daha düşük aderans dayanım değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir. Çekip-çıkarma deneyinde, donatı gömülme boyu arttıkça aderans dayanımında azalma olduğu, küçük çaplı donatıların büyük çaplı donatılardan daha yüksek aderans dayanım değerine sahip olduğu görülmüştür. Karesel donatıların dairesel donatılardan %25 daha fazla aderans dayanım değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Yapılan çalışmalardan görüldüğü gibi, lifle güçlendirilmiş polimer donatıların aderans dayanımının çelik donatılı olanlara göre farklılık gösterdiğini ortaya çıkmaktadır. Benzer şekilde, betonarme yapıların temel davranış parametrelerinden biri olan ve betona sonradan ilave edilen ankraj donatıların aderans dayanımının, FRP donatıların kullanımı durumunda nasıl olabileceğinin daha iyi anlaşılabilmesi gereklidir. Bu amaçla gerçekleştirilen deneysel çalışmalar bir sonraki bölümde sunulmuştur.

2.4 Yapılan Çalışmalar ile İlgili Standartlarda Verilmiş Denklemler

Yapı elemanlarının öngörülen çekme ve basınç gerilmelerini güvenle taşıyabilmesi, istenilen davranışı sergileyebilmesi için donatıların betona kenetlenmesi gerekmektedir. Bu kenetlenme ile yeterli aderansın sağlanması adına TS 500/ Şubat 2000' de nırvürlü çubuklar için denklem 2.1 kullanılarak hesaplanabileceğı belirtilmiştir.

$$l_b = 0,12 \frac{f_{yd}}{f_{ctd}} \emptyset \geq 20\emptyset \quad (2.1)$$

Bu bağıntıda;

l_b =Kenetlenme boyu

f_{yd} =Boyuna donatı tasarım akma dayanımı

f_{ctd} =Beton tasarım eksenel çekme dayanımı

$\emptyset$ =Boyuna donatı çapını ifade etmektedir.

TS 500/Şubat 2000'de çeşitli beton sınıfları ve dayanımlarının belirlenmesiyle denklem 2.2 kullanılarak karakteristik eksenel çekme dayanımının elde edilebileceğı belirtilmiştir.

$$f_{ctk} = 0,35\sqrt{f_{ck}} \quad (2.2)$$

Bu bağıntıda;

f_{ctk} = Beton eksenel çekme dayanımı

f_{ck} = Beton basınç dayanımı



3. MATERYAL ve METOT

3.1 Kullanılan Malzemeler

3.1.1 Çimento

Deneyler için kullanılan hazır beton Çanakkale Çetinkaya beton firmasından temin edilmiş olup, beton karışımında Akçansa Çimento ya ait CEMII/A-LL 42,5R tipi çimento kullanılmıştır. Bu çimentoya ait üretici fabrikasından elde edilen kimyasal analiz sonuçları Çizelge 3.1 de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Çimentolara ait fiziksel ve kimyasal özellikler.

Analiz Özellikleri	Miktarı
Çözünürlük kalıntısı (%)	0.51
Blaine sayısı (n)	3662
Kızdırma kaybı (%)	4.93
Özgül ağırlık (g/cm ³)	3.08
SiO ₂ (%)	18.47
Al ₂ O ₃ (%)	4.53
Fe ₂ O ₃ (%)	3.20
CaO (%)	62.38
MgO (%)	2.23
SO ₃ (%)	3.16
A.Z (%)	4.93
Cl (%)	0.01
S.CaO (%)	1.55

3.1.2 Agregalar

Kompozit bir yapı malzemesi olan betonun yapısının yaklaşık %70 ini kum, çakıl ve kırma taş agrega oluşturmaktadır. Beton yapıların yüksek dayanımlı olması için; beton bünyesinin büyük bölümünü oluşturan agregaların nitelikli olması, istenilen basınç

dayanımına sahip olması ve çevresel etkilere karşı dirençli olması da betonun dayanımı açısından ayrı bir önem taşımaktadır.

Bu tez çalışmasındaki beton bileşeni olarak kullanılan agrega malzemesi, Akbeton Maden Nakliyat San. Tic. Ltd. Şirketinin işletmesi altındaki Taşoba Mevkii Derbetbaşı köyü Ezine-Çanakkale bölgesinden temin edilmiştir. Bu bölgedeki ocaktan numune olarak alınan kireçtaşı kayaçları akredite kuruluş tarafından incelenmiş numunelerin fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. TS 706 EN 12620 beton agregaları standardında belirtilen özelliklere uygun olduğunu ve beton agregalarının yapı malzemesi olarak kullanılabileceği üretici firma tarafından yaptırılan analizler ile tespit edilmiş sonuçlar Çizelge 3.2 de verilmiştir.

Çizelge 3.2 Beton deney agregalarının fiziksel ve mekanik özellikleri.

Agrega Numunesi	Tane Yoğunluğu gr/cm ³	Su Emme Oranı %	İri Agregaların Parçalanmaya Karşı Direnci (Los Angeles) %	Çok İnce Malzeme Oranı (0,063mm'den Geçen) %
Kırma kum (0-5mm)	2,68	1	----	13,6
Kırma taş (5-15mm)	2,70	0,5	27	----
Kırma taş (15-25 mm)	2,71	0,3	27	----

3.1.3 Çelik (S420 sınıfı) Donatı

TS 708 (2010' da tanımlanmış betonarme çelikler akma dayanımlarına göre en düşük akma dayanımı 420 MPa, yüzey şekillerine göre ise nervürlü olan betonarme çelikleridir. Bu tez çalışmasındaki S420 sınıfı donatılar Ø6, Ø8, Ø10, Ø14 ve Ø20'lik olmak üzere seri-A ve seri-B grup numuneleri için toplam 5 çapta inşaat çeliği kullanılmıştır. İçdaş Demir Çelik AŞ' den temin edilmiş olan çelik donatıların mekanik ve kimyasal özellikleri Çizelge 3.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.3 Ankraj elemanı çelik donatısı için mekanik ve kimyasal özellikleri.

Mekanik Özellikler	Donatı Çapları			
	Ø 6	Ø 8	Ø 14	Ø 20
AkmaDayanımı (Re-MPa)	487	477.5	512.7	477
ÇekmeDayanımı (Rm-MPa)	560	588.2	669.6	616.7
Çekme Dayanımı/Akma Dayanımı (Rm/ Re)	1.15	1.23	1.30	1.29
Kopma uzaması (%)	20.1	21.4	17.6	20.7
Maksimum yükte toplam uzama (%-Agt)	10.3	10.7	10.5	11.5
Birim ağırlık (kg/m)	0.222	0.395	1.209	2.45
Kimyasal Özellikler	Ø 6	Ø 8	Ø 14	Ø 20
C	0.20	0.21	0.28	0.22
MN	0.70	0.65	1.04	1.02
SI	0.16	0.17	0.15	0.17
P	0.020	0.021	0.016	0.028
S	0.022	0.025	0.004	0.014
NI	0.11	0.12	0.18	0.13
CR	0.10	0.10	0.12	0.12
CU	0.38	0.45	0.38	0.47
N	0.010	0.010	0.010	0.011

3.1.4.Cam Lifli Donatı

Bu tez çalışmalarında kullanılan cam lif ile güçlendirilmiş (GFRP) donatı malzemesi Ø6, Ø8, Ø10, Ø14 ve Ø20 lik farklı çaplarda Polikom şirketinden temin edilmiştir. GFRP donatının çekme etkisi altındaki mekanik özellikleri Çizelge 3.4’ te verilmiştir.



Şekil 3.1 Cam lifli (GFRP)donatı (İnt.Kyn.2).

Çizelge 3.4 Cam lifli (GFRP) donatının çekme etkisi altında özellikleri (Özşahin 2015).

Parametre	GFRP
Akma Gerilmesi (MPa)	Akma Yok
Çekme Dayanımı (MPa)	483~1600
Elastisite Modülü (MPa)	35000~51000
Akma Şekil Değiştirme (%)	Akma Yok
Kopma Şekil Değiştirme(%)	1.2~3.1

*Lif hacim oranları (0.5-0.7 için

**GFRP: Cam lif takviyeli polimer, CFRP: Karbon lif takviyeli polimer, AFRP: Aramid lif takviyeli polimer

3.1.5 Bazalt Lifli Donatı

Bazalt donatısı lif biçiminde ince uzantılı elyafların çeşitli bağlayıcılar kullanılarak nervürlü inşaat demiri formuna getirilmesi ile oluşturulan kompozit yapılı bir mühendislik malzemesidir.



Şekil 3.2 Bazalt donatısı (İnt. Kyn. 3).

Bu tez çalışması için kullanılacak olan bazalt donatısı Spinteks Tekstil İnşaat Sanayi ve Tic. Aş.' den temin edilmiştir. Bazalt donatısının mekanik özellikleri Çizelge 3.5’de verilmiştir.

Çizelge 3.5 Ankraj elemanı Bazalt donatısı mekanik özellikleri.

Mekanik Özellikleri	Miktarı
Elastisite modülü (MPa)	70000
Çekme dayanımı (MPa)	1100
Kopmada uzama (%)	3.5
Yoğunluk (gr/cm ³)	1.9

3.1.6 Kimyasal Ankraj Yapıştırıcısı

Epoksi uygulamalarındaki ilk çalışmalar 1930' larda Almanya ve İsviçre'de yapılmıştır. Genel olarak inşaat sektöründe güçlendirmelerde kullanımı 1948 yılında 2 adet sertleşmiş betonun birbirine bağlanmasında yapıştırıcı olarak kullanılması ile başlamıştır.

Kimyasal ankraj uygulamalarının yapıldığı yapı elemanları veya deney numuneleri üzerinde beton ile donatı ara yüzeyinde yer alan epoksi esaslı kimyasal yapıştırıcı, ankraj elemanının betona tutunmasını sağlamaktadır. Ankrajlar, etkisi altında kaldıkları kuvveti, ankraj derinliği boyunca oluşan aderans ile betona aktarırlar. Ankraj elemanı ile beton arasındaki yük aktarımının sağlam olabilmesi yapıştırıcı türü ve kıvamı da önemli bir etken sayılmaktadır. Seçilecek olan kimyasal yapıştırıcı türü ile donatı beton ara yüzeyinde oluşacak yapışma dayanımı açısından ankraj elemanı ile betonun birlikte çalışmasına büyük katkı sağlayacaktır. Kimyasal ankraj sistemleri için piyasada çok farklı epoksi çeşitleri yer almaktadır. Bunlar tek bileşenli, iki bileşenli, üç bileşenli, epoksi esaslı, poliester esaslı, akrilat esaslı gibi farklı kullanım yerlerine ve farklı teknik özelliklere sahip yapıştırıcılardır.

Deney için kullanılan yapıştırıcı türü Sika AnchorFix®-S2'dir (Şekil 3.3). Bu ankraj malzemesi modifiye epoksi akrilat esaslı, iki bileşenli stiren içerikli olup, orta dereceli yüklere karşı dayanıklı sika ürünü kartuş tipi bir ankraj malzemesidir. Yapıştırıcı türünün kartuş tipi ambalaj olarak seçilmesinin temel sebebi de kullanım amacına göre uygun karışım oranında ile oluşabilecek hataları en asgari düzeyde tutabilmektir. Bu malzemeye ilişkin üretici firma teknik föylerinden alınan teknik bilgiler Çizelge 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.3 Kimyasal yapıştırıcı türü.

Çizelge 3.6 Kimyasal yapıştırıcının karakteristik özellikleri.

Teknik Özellikleri

Bileşen sayısı	2 bileşenli (A+B)
Karışım oranı(hacimsel)	A bileşeni : B bileşeni =10:1
Karışım yoğunluğu	1.7 kg/l (A+B bileşeni karışımı)
Renk	Açık gri
Tam sertleşme süresi	7 gün (20 derece)

Mekanik Özellikler

Basınç Dayanımı ~ 75 MPa (7gün, +20°C)	(ASTM D695' e göre)
Eğilme Dayanımı ~ 40 MPa (7gün, +20°C)	(ASTM D790' e göre)
Çekme Dayanımı ~ 13 MPa (7gün, +20°C)	(ASTM D695' e göre)
E-Modülü ~ 3,300 MPa	(ASTM D695' e göre)

3.2 Beton Üretimi

3.2.1 Beton Numune Kalıplarının Hazırlanması

Düşük dayanımlı ve normal dayanımlı 102 adet beton deney numunesi için Çetinkaya firmasından temin edilmiş olan 15x15x15 cm ebatlarında 54 adet standart numune kalıbı, diğer yandan 15x15x20 cm ebatlarında 30 adet, 15x15x25 cm ebatlarında 18 adet olmak üzere toplam 48 adet deney numunesi şekil ve boyut kriterleri açısından TS EN 12390-1'e uygun bir şekilde şantiye sahasında imalatla kullanılan plywood kalıplarından hazırlanmıştır (Resim 3.1).



Resim 3.1 Deney numuneleri kalıp hazırlığı.

3.2.2 Beton Numunelerinin Yerinde Dökülmesi

Deney numunelerinin döküm işleminde daha homojen bir karışım elde etmek ve uygun granülometri açısından hazır beton kullanımı tercih edilmiştir. Taze betondan numune alma işlemi TS EN12350-1'e uygun şekilde gerçekleştirilmiş olup, numuneler alındıkları yerden taşınmadan 28 gün boyunca şantiye koşullarında bekletilmiş 1 hafta süresince su ile kür işlemine tabi tutulmuştur. Malzeme miktarları Çizelge 3.7' de verilmiştir.

Çizelge 3.7 1 m³ düşük dayanımlı ve normal dayanımlı beton için malzeme miktarları.

Malzeme	Tasarım Beton Sınıfı	
	C16/C20	C25/30
Çimento, (kg)	230	315
Su, (lt)	175	170
Polisan 680 Katkı (%1), (lt)	2,3	3,15
0-5 mm Kum, (kg)	1060	980
5-15 mm Kırma Taş, (kg)	395	410
15-25 mm Kırma Taş, (kg)	520	535

3.2.3 Deney Numunelerinin Hazırlanması

Deney için hazırlanan beton kalıplarının yağlama işlemi yapıldıktan sonra TS EN 12390-2 standardına uygun olarak yere dökülmeden temiz bir el arabası vasıtası ile alınmış, bir kürek vasıtası ile iyice karıştırıldıktan sonra numune kalıplarına en az iki tabaka halinde tabaka kalınlığı en fazla 10 cm olacak şekilde, şişleme çubuğu ile her tabakada 25 vuruş uygulayarak sıkıştırma işlemi yapılmıştır. Numune kalıpları beton ile doldurulduktan sonra beton yüzeyi kalıp yüzeyi ile aynı olacak şekilde mala ile düzeltme işlemleri yapılmıştır. Betonun prizi ve sertleşmesi açısından çevre koşullarının da önemli bir parametre olması sebebi ile hazırlanan deney numuneleri taze betondan numune alma aşamasından deney sonuçlarının alınması aşamasına kadar tamamen şantiye koşullarında saklanmış olup kapalı bir oda içerisinde bekletilmiştir.

Deney numuneleri şantiye koşullarında 28 gün bekletildikten sonra 15x15x15 cm' lik küp, 15x15x20' lik ve 15x15x25'lik prizmatik numunelerden düşük dayanımlı (C16/20) ve normal dayanımlı (C25/30) beton sınıfındaki numunelerin karakteristik basınç

dayanımlarını belirlemek amacıyla Çetinkaya beton laboratuvarında deney işlemi gerçekleştirilmiş, 28 günlük basınç dayanım değerleri elde edilmiştir. Basınç dayanım deneyi her sınıf için 6 adet olmak üzere toplam 12 adet deney numunesi üzerinde yapılmıştır. Deney sonuçları olarak düşük dayanımlı beton dayanımının ortalama 23,8 MPa, normal dayanımlı beton dayanımının ise 33 MPa olduğu belirlenmiştir (Çizelge 3.8).

Çizelge 3.8 C16-C25 sınıfı betonlar için basınç deneyi sonuçları.

Deney Sayısı	C16 Sınıfı	C25 Sınıfı
	28 Günlük Beton Basınç Dayanımı (MPa)	28 Günlük Beton Basınç Dayanımı (MPa)
1	24,21	34,46
2	24,19	34,3
3	23,62	33,62
4	23,91	33,94
5	23,85	33,66
6	23,51	33,81
Ortalama	23,88	33,97

3.3 Donatıların Ankrajlanması

Güçlendirme ve onarım ihtiyacı duyan mühendislik yapılarında beton ve beton içerisine sonradan yerleştirilmiş olan ankraj donatısının sıyrılmadan birlikte çalışması, beton numunesi ile ankraj donatısı arasında tam yapışmanın sağlanması bir başka deyişle en fazla çekme kuvvetinin beton ile donatı ara yüzeyindeki yapışma dayanımı ile dengelenmesi gerekmektedir. İşte bu tür ankraj elemanlarının betonarme yapılarda onarım ve güçlendirme amaçlı ilave edilen donatının betona bağlanması işlemi ankrajlama olarak bilinmektedir. Bu çalışmada ankrajlama işlemine başlamadan önce her bir deney numunesin üzerine donatı türü olarak polimerik (P), bazalt (B), çelik (Ç)-seri adı alt indis şekilde-beton dayanım sınıfı-grup numarası yazılarak ankraj deney numunesinin adlandırması yapılmıştır (Resim 3.2).



Resim 3.2 Ankraj numunelerinin adlandırılması.

3.3.1 Beton Numunelerinin Delgi İşlemi ve Temizliğinin Yapılması

Kimyasal ankraj işlemi için hazırlanmış olan toplam 102 adet Seri-A ve Seri-B numunelerinde donatı çaplarına bağlı gömme derinlikleri boyunca farklı çaplarda matkap uçları kullanılarak delgi işlemi gerçekleştirilmiştir. Seri-A grup numuneleri için 10Ø gömme derinliği sabit tutulmuş polimerik ve çelik donatılı numuneler için donatı çaplarına (Ø6- Ø8- Ø14- Ø20) bağlı olarak ayrı ayrı delgi işlemi yapılmıştır. Aynı çapta her bir ankraj elemanı için 6 cm, 8 cm, 14 cm ve 20 cm derinliklerinde ankraj çaplarından 2 mm fazla (Ø+2mm) olacak şekilde deney numuneleri üzerinde delme işi gerçekleştirilmiştir. Donatı çapları ve delgi işlemi için kullanılan matkap uçları Çizelge 3.9 ve Çizelge 3.10’de verilmiştir.

Çizelge 3.9 Seri-A için donatı çaplarına bağlı kullanılan matkap uçları.

SERİ- A				
Donatı çapları	Ø6	Ø8	Ø14	Ø20
Ankraj gömme derinliği(mm)	60 mm	80 mm	140 mm	200 mm
Matkap uçları(Çap)	8 mm	10 mm	16 mm	22 mm

Çizelge 3.10 Seri-B için donatı çaplarına bağlı kullanılan matkap uçları.

SERİ -B									
Donatı	GFRP			BFRP			Çelik		
Ankraj derinliği (mm)	100 mm	150 mm	200 mm	100 mm	150 mm	200 mm	100 mm	150 mm	200 mm
Matkap uçları (Çap)	16mm			12mm			16mm		

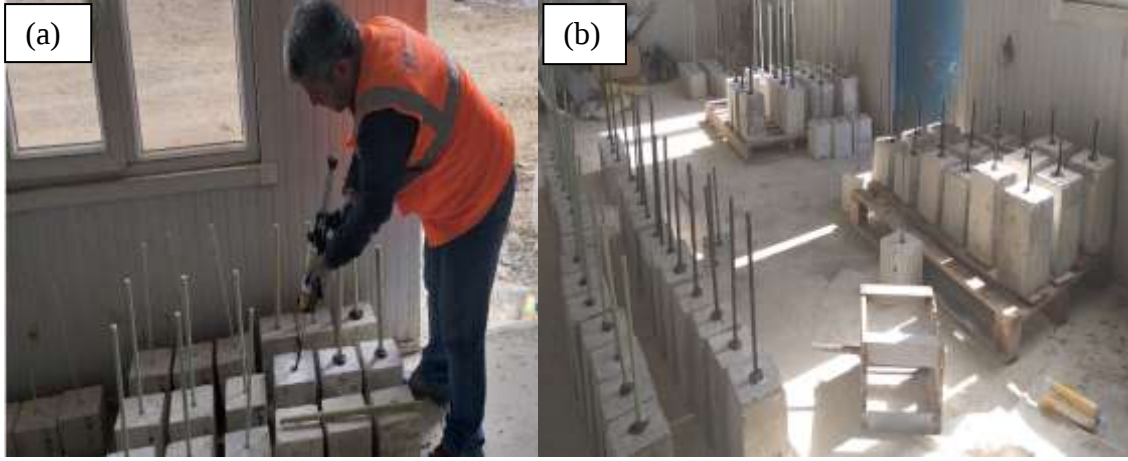
Ankraj deliklerinin gömme derinlikleri (L_a) 60 mm, 80 mm, 100 mm, 140 mm, 150 mm ve 200 mm olacak şekilde ayarlanmıştır. Seri-A için Ø6, Ø8, Ø14 ve Ø20 lik ankraj donatısı, Seri-B de ise, polimerik ve çelik numuneler için Ø10 ve Ø14' lük donatılar kullanılmıştır. Bazalt numunesi için ise piyasadan temin edilme durumuna bağlı kalınarak Ø10' luk donatı tercih edilmiştir. 100 mm, 150 mm ve 200 mm ankraj gömme derinliği için deney numuneleri hazırlanmıştır (Resim 3.3).



Resim 3.3 Betonlara ankraj deliği açılması

Yapılan delgi işlemi sonrasında (ankraj işlemi gerçekleştirilmeden önce) delgi işlemimin derinliğine bağlı, betona gömülü kısımda, donatı kenetlenmesi kadar mesafenin temizliğinin de yapılması önem taşıdığından dolayı basınçlı hava yardımı ile iç yüzeyde toz tanecikleri kalmayana kadar tamamen temizlenmiştir. Bu sebeple delgi boyunca donatı yapışma yüzeyinin temiz ve kuru olması ankraj dayanımının artış göstermesine katkı sağlayacaktır. Temizliği iyi yapılmamış numunelerin delgi iç yüzeylerinde donatı ile betonun birlikte çalışması için kullanılan kimyasal yapıştırıcı, delik duvarında yeteri kadar yapışma yüzeyi oluşturamaz. Böylece en düşük yük seviyesinde dahi yapışma dayanımını kaybeder, ankraj çubuğu ise yerleştirildiği yapı elemanı içerisinde sıyrılma şeklinde çıkabilmektedir.

Beton numuneler üzerine açılan ve temizlenen deliklere epoksi yardımı ile sonradan çelik, bazalt ve polimerik donatılar yerleştirilmiştir (Resim 3.4.a-b).



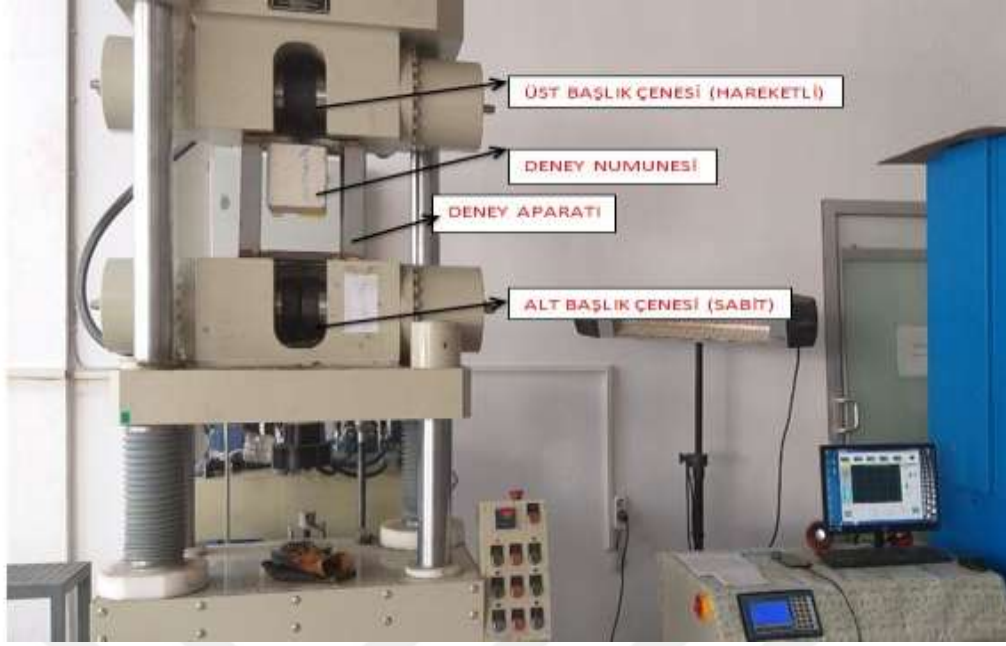
Resim 3.4 (a) Ankraj elemanlarının deney numunelerine ankre edilmesi ve (b) ankre edilmiş betonlardan bir görünüm.

3.4 Aderans Deneyleri

Ankraj deliklerin temizlenmesi sonrasında kimyasal ankraj reçinesi dökülüp daha sonra donatı elemanları bu kimyasal bağlayıcı içeren deliklere ankre edilmiştir. En az 7 gün sonra polimerik, bazalt ve çelik donatılı deney elemanları çekme testine tabi tutulmuştur. Tüm deney numuneleri üzerinde aderans dayanımlarının tespiti için çelik çekme cihazı ile çekip-çıkarma (pull-out) yöntemi kullanılmıştır. Deney aşamasında her üç donatı tipinin de beton ile yapacağı aderans dayanımları hesaplama yöntemleri kullanılarak belirlenmiş aderans-sıyrılma grafikleri elde edilmiştir. Aderans dayanımının hesaplanmasında aşağıda verilen denklem (3.1) kullanılmıştır:

$$f_a = \frac{P}{2\pi r h} \quad (3.1)$$

Denklemden, f_a , aderans dayanımı (MPa); P , çekme yükü (N); r , donatı yarı çapını (mm) ve h , ankraj derinliğini (mm) simgelemektedir.



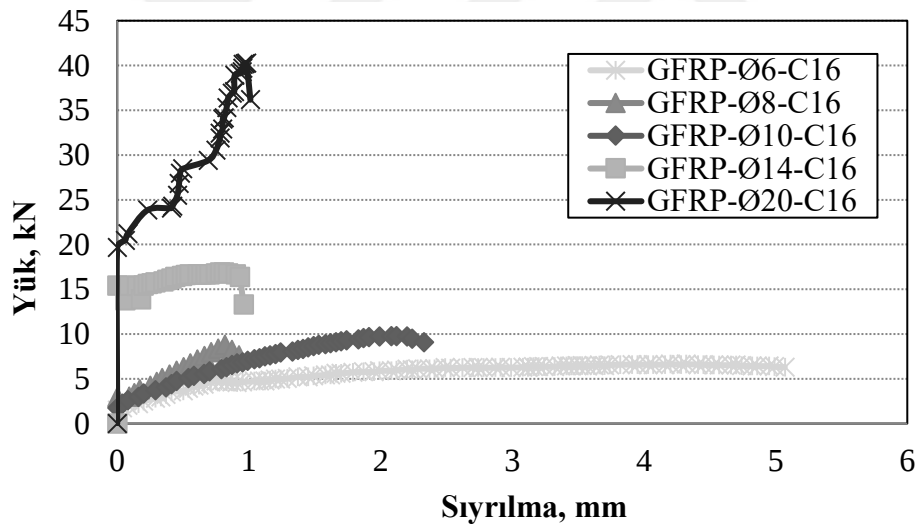
Resim 3.5 Çekme cihazı üzerinde deney aparatı ile deney numunesinin yerleşimi.

Elde edilen sonuçlar günümüzde yapıların güçlendirilmesinde de yaygın olarak kullanılan çelik donatıların performansları ile karşılaştırılmıştır. Mevcut yapıların güçlendirilmesinde kullanılan çelik donatılar yerine aynı gömme boylarında polimerik donatıların kimyasal ankraj olarak kullanılmaları durumunda betonla olan aderans dayanımları araştırılmıştır. Yine kimyasal ankraj deneyleri sonrasında her bir farklı beton dayanımı ve donatı tipine göre çelik donatı referans alınarak, kimyasal ankraj dayanımları karşılaştırılacak her bir donatı tipi için gömme derinlikleri ortaya konmuştur.

4. BULGULAR

4.1 Donatı Tipinin Ankraj Sıyrılma Yüküne Etkisi

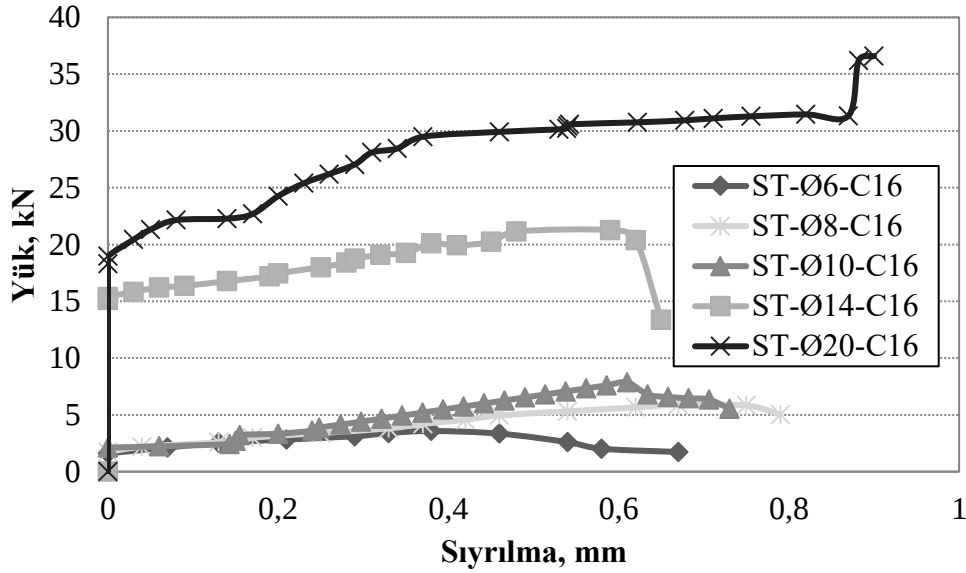
Kimyasal ankraj yöntemiyle ankrajlanan GFRP ve çelik (ST) donatıların beton içerisinden çekip çıkarma deneyleri sırasında elde edilen aderans gerilmelerine karşılık beton içerisinden yük-sıyrılma grafikleri donatı çap değerlerine göre aşağıda Şekil 4.1-Şekil 4.2' de düşük dayanımlı betonlar için; Şekil 4.3-Şekil 4.4'de normal dayanımlı betonlar için verilmiştir. BFRP donatıların betondan sıyrılma davranışları da, tek çapta donatı olduğundan, Şekil 4.5' te düşük ve normal dayanımlı betonlar için karşılaştırılmıştır. Yük-sıyrılma grafikleri olarak üç numuneden ortalama değere yakın olan örnek olarak seçilmiştir. Her seri için üç numune değerinin ortalaması karşılaştırma grafikleri olarak sunulmuştur.



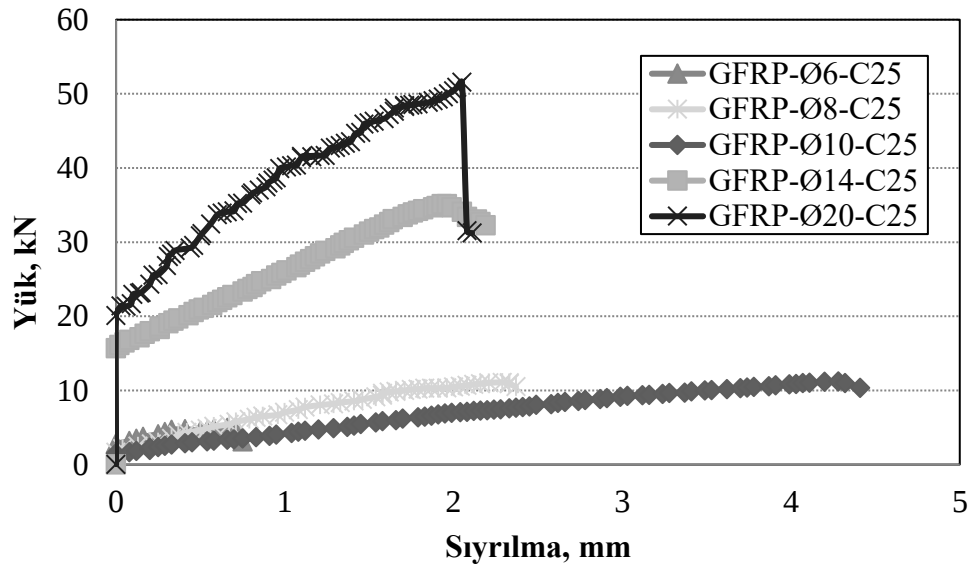
Şekil 4.1 Ankraj yapılan GFRP' lerin düşük dayanımlı betonlardan sıyrılma davranışları.

Düşük ve normal dayanımlı betonlara ankre edilen donatıların hepsi için de donatı çapının artmasıyla birlikte donatıyı betondan çıkarabilmek için uygulanacak yük değerlerinin arttığı görülmektedir. Bunun en önemli nedeni, donatı çapının artmasıyla birlikte artan yüzey alanından dolayı daha fazla donatı yüzeyi beton içerisinde yer almakta ve bunun sonucu olarak da uygulanacak yük değerinin artmasına neden olmaktadır. Bir diğer bulgu da, beton dayanımının artmasıyla birlikte aynı çaptaki donatının betondan çıkarılabilmesi

için daha fazla yük uygulanması gerektiğidir. Betonun dayanımının artmasıyla birlikte donatıyla olan mekanik aderansı da artmış ve böylece donatının beton içerisinden sıyrılması daha güç hale gelmiştir.

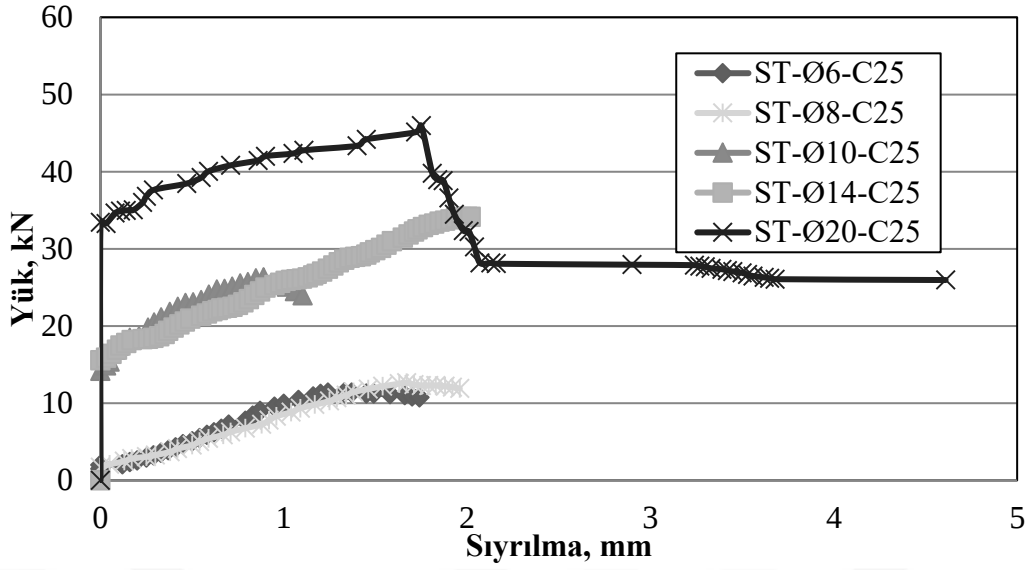


Şekil 4.2 Ankraj yapılan inşaat demirinin düşük dayanımlı betonlardan sıyrılma davranışları.



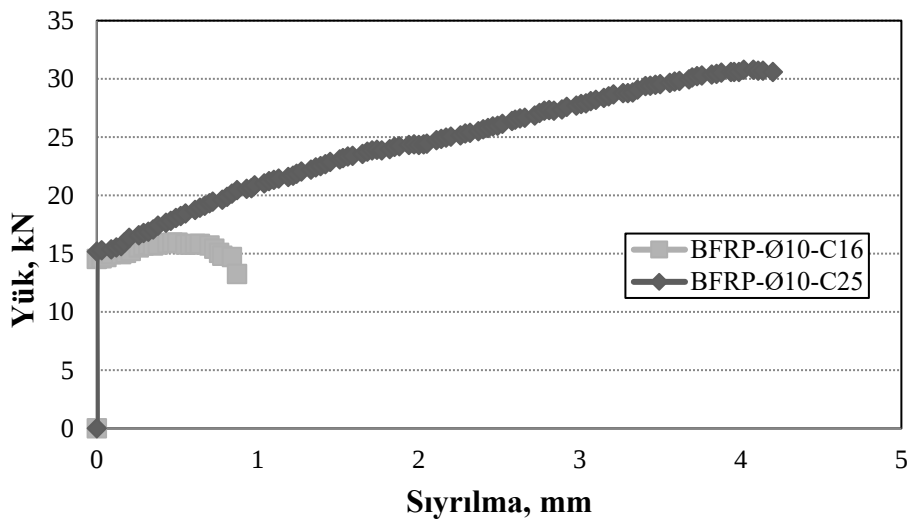
Şekil 4.3 Ankraj yapılan GFRP' lerin normal dayanımlı betonlardan sıyrılma davranışları.

Küçük çaplı donatılarda kimyasal yapıştırıcı etkisinin ankraj çekme yükünü fazla etkilemediği de görülmektedir. Kimyasal yapıştırıcı türünün yük değerine etkisinin 14mm çaplı donatı sonrasında ortaya çıkmaktadır (Çalışkan ve Aras 2017).



Şekil 4.4 Ankrage yapılan inşaat demirinin normal dayanımlı betonlardan sıyırılma davranışları.

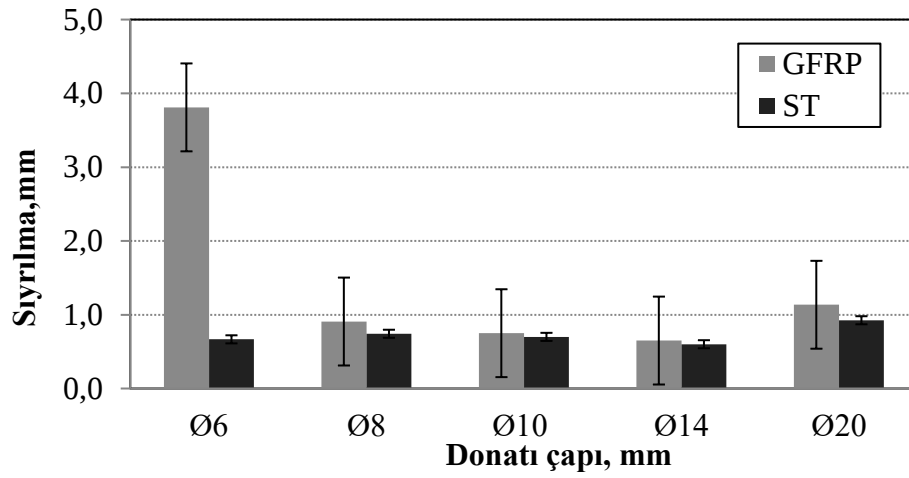
Betonun dayanımındaki artıştan dolayı BFRP donatılarının da betondan çekip çıkarılması için gerekli kuvvetin artmasına neden olmuştur (Şekil 4.5). Diğer yandan sıyırılma miktarları da dikkate alındığında, C25/30 sınıfındaki betonlarda BFRP' lerin çekilmesi sırasında C16/20 sınıfındaki betonlardan çekilen BFRP' lere göre daha fazla sıyırılma miktarı elde edilmiştir. Normal dayanımlı betonlara ankrajlanan BFRP'ler düşük dayanımlı betonlardakine göre yaklaşık 4 kat daha fazla sıyırılma uzaması davranışı göstermişlerdir.



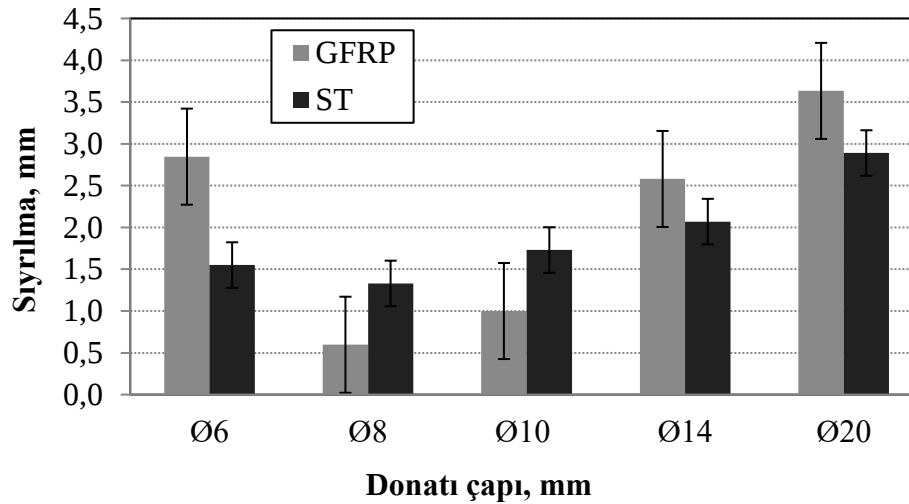
Şekil 4.5 Ankrage yapılan BFRP'lerin düşük ve normal dayanımlı betonlardan sıyırılma davranışları.

4.2 Beton Dayanımının Ankraj Sıyırılma Yüküne Etkisi

Şekil 4.6 ve Şekil 4.7' de de sırasıyla düşük ve normal dayanımlı betonlardan farklı tipteki (GFRP ve ST) donatıların ankraj elemanları çaplarına göre sıyırılma miktarları görülmektedir. Düşük dayanımlı betonlarda en fazla sıyırılma uzaması 6 mm çaplı GFRP donatılarda elde edilirken, genel olarak diğer çaptaki her iki donatı sınıfında uzama değerleri 1 mm altında değerler almıştır. Çelik donatıda ise en fazla sıyırılma uzaması yine 1 mm altında olarak 20 mm çaplı donatıların sıyırılması sırasında kaydedilmiştir.



Şekil 4.6 Düşük dayanımlı betonlarda donatı tipine göre ankrajların sıyırılma miktarı.



Şekil 4.7 Normal dayanımlı betonlarda donatı tipine göre ankrajların sıyırılma miktarı.

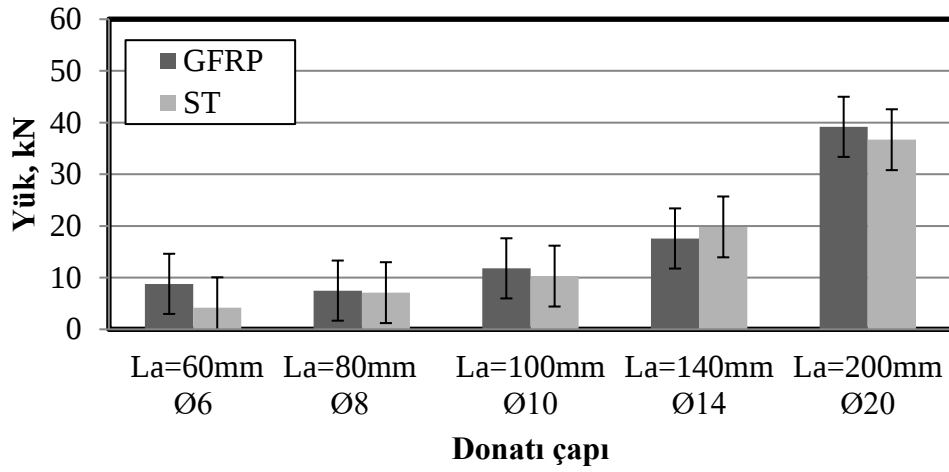
Normal dayanımlı betonlardan ankraj donatılarının çekilmesi sırasında daha fazla sıyrılma değerleri elde edilmiştir. Bu betonlarda genel olarak, donatı çapı arttıkça sıyrılma miktarı da arttığı gözlenmektedir. Hem beton dayanımının artması hem de gömülen derinliğin çapla birlikte orantılı olarak artmasından dolayı donatılar, ankre edildikleri betonlardan çekilmeleri sırasında daha fazla uzama göstermişlerdir. Bu durum GFRP ve çelik donatının her ikisi için de benzer olmakla birlikte, Ø14 ve Ø20' lik donatılarda GFRP' ler çeliklere göre daha fazla sıyrılma uzaması göstermişlerdir. Olası yüklemeler altında donatıların betondan sıyrılmaları sırasında bir miktar uzama yaparak sıyrılmaları, yapının göçmesini haber vermesi açısından önemlidir. Uzama yapmadan oluşan sıyrılmalar ise yapının ani göçmesine neden olacaktır.

4.3 Donatı Çapının Ankraj Çekme Yüküne Etkisi

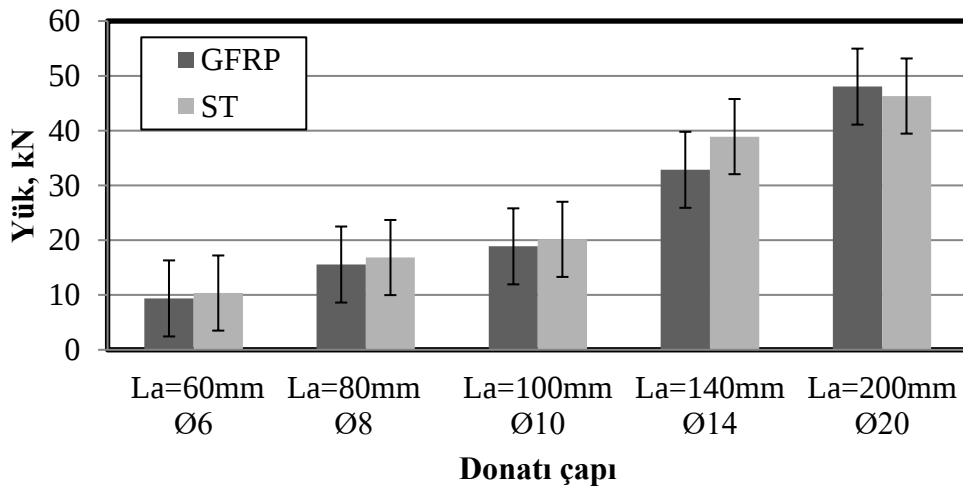
Beton içerisine ankre edilen donatıların çekilmeleri sırasında elde edilen yük değerleri donatı yüzey alanına oranlanarak aderans dayanımları belirlenmiştir. Donatı çapının ankraj çekme yüküne olan etkisi de düşük dayanımlı betonlar için Şekil 4.8' de GFRP ve çelik (ST) donatılar kullanılmaları durumunda karşılaştırmalı olarak verilmektedir. En küçük çaptaki donatılarda en az çekme yükü elde edilirken, donatı çapı arttıkça ankraj çekme yükünde de artış olduğu görülmüştür. Bu artışın en önemli nedeni, gömme derinliği etkisi ile birlikte, betonla donatı arasındaki yapışma yüzey alanının artmasıdır. Donatı ile beton arasına yapışma için ilave edilen kimyasal yapıştırıcının yüzey alanı miktarı da donatı çevresince artmıştır. Dolayısıyla, artan yapışma yüzeyi aderans dayanımının azalmasıyla sonuçlanmaktadır. Ancak, GFRP donatı çapının Ø6' dan daha fazla olması durumunda ankraj çekme yükündeki artış neredeyse 4,5 kat iken, Ø20' lik donatılarda çapın artmasıyla her iki sınıf beton için GFRP' lerdeki yük artışı görülmektedir. Çelik donatılar için de benzer durumun gözlemlendiği belirtilebilir. Tüm çap değerleri için polimerik donatılarda elde edilen çekme yükü değeri az da olsa çelik donatıların çekme yükünden daha fazladır. Buradan, polimerik donatıların kimyasal yapıştırıcıyla betona çelik donatılara göre daha iyi yapıştırıldıkları sonucuna ulaşılmaktadır.

Beton dayanımının C25/30 sınıfında olması durumunda ankrajlanan donatıların çap değerine bağlı olarak aderans dayanımları incelendiğin de ise (Şekil 4.9), yine donatı

çapının artmasıyla birlikte düzenli ve belirgin bir şekilde aderans dayanımlarının azaldığı açıkça görülmektedir. Donatı çapının Ø6' dan Ø20' ye artmasıyla birlikte aderans dayanımları her iki tipteki donatı için de yaklaşık %50 oranında azalmıştır. Düşük dayanımlı betonlarda olduğu gibi, normal dayanımlı betonlarda da polimerik donatıların ankrajlamadaki aderans dayanımları tüm çap değerlerinde çelik donatılardan daha yüksek değerlerde elde edilmiştir. Diğer yandan, yine tüm çap değerleri için, beton dayanımı arttığında aderans dayanımlarının da daha yüksek değerleri aldığı iki grafiğin karşılaştırılmasından görülebilir.

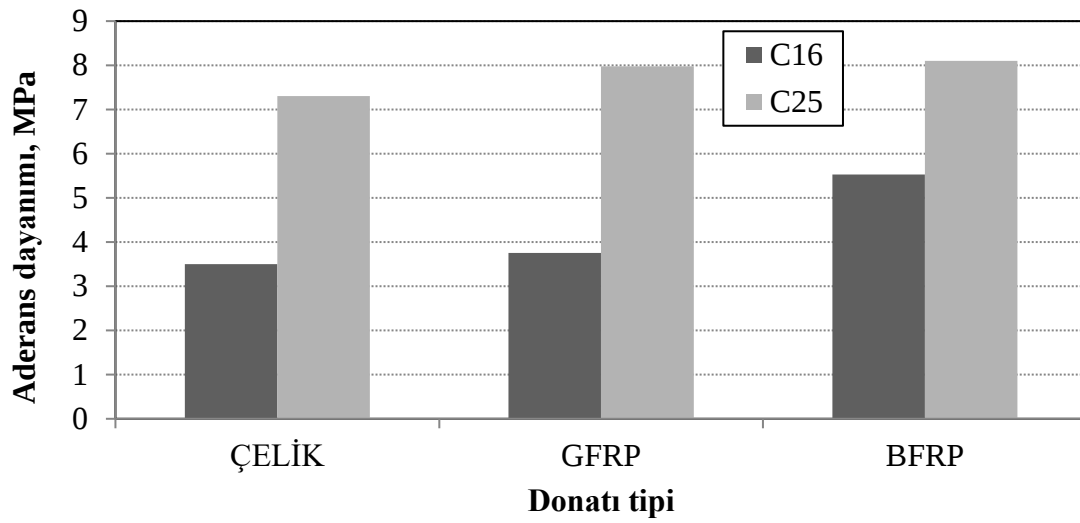


Şekil 4.8 Düşük dayanımlı betonlarda donatı tipine göre ankrajlama işlemine çap etkisi.



Şekil 4.9 Normal dayanımlı betonlarda donatı tipine göre ankrajlama işlemine çap etkisi.

Şekil 4.10' da Ø10 çaplı farklı donatıların beton dayanım sınıfına göre aderans dayanımları açısından karşılaştırılması görülmektedir. Betonun dayanım sınıfı dikkate alındığında, tüm donatı tiplerinde betonun basınç dayanımı arttığında donatıyla arasındaki aderans dayanımını da arttırmıştır. Çelik ve GFRP' deki artış yaklaşık olarak %100 oranındayken, BFRP' deki artış oranı yaklaşık %45 oranındadır. Beton basınç dayanımını düştükçe kimyasal ankrajdaki aderans dayanımını da azalmaktadır.

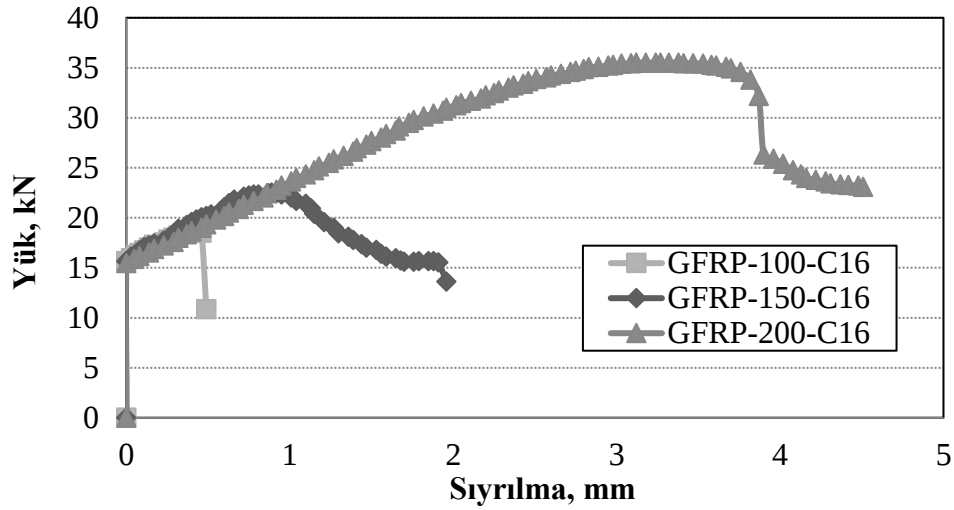


Şekil 4.10 Beton dayanım sınıfına göre Ø10 çaplı farklı tipteki donatıların aderans etkisi.

Kimyasal ankrajlama işleminde sabit çaptaki farklı donatı tipleri karşılaştırıldığında ise normal dayanımlı betonlarda en düşük aderans dayanımı çeliklerde elde edilirken, GFRP' de çeliklere göre %11 oranında, BFRP' lerde ise yine çeliklere göre yaklaşık %12 oranında daha yüksek aderans dayanımını elde edilmiştir. Düşük dayanımlı betonlarda da benzer durum söz konusu olup, en yüksek aderans dayanımının elde edildiği BFRP' lerde çeliğe göre artış oranı yaklaşık %57 oranındadır. Diğer bir değişle, özellikle düşük dayanımlı betonlarda kimyasal ankrajlama işlemlerinde bazalt donatı seçilmesi durumunda daha yüksek kenetlenme değerleri elde edilecektir. Donatı tiplerine göre BFRP ile GFRP' lerdeki aderans dayanımları birbirine yakın değerler vermiştir. Bu aderans dayanımı ilişkisi El Refai vd.(2015) araştırma sonuçları ile benzerlik göstermektedir. Donatı çapının 14mm' den 20 mm' ye artması ile düşük dayanımlı betonlardaki çekme yükünün artış miktarının yaklaşık %85 oranında arttığı görülmüştür (Topçu vd. 2015).

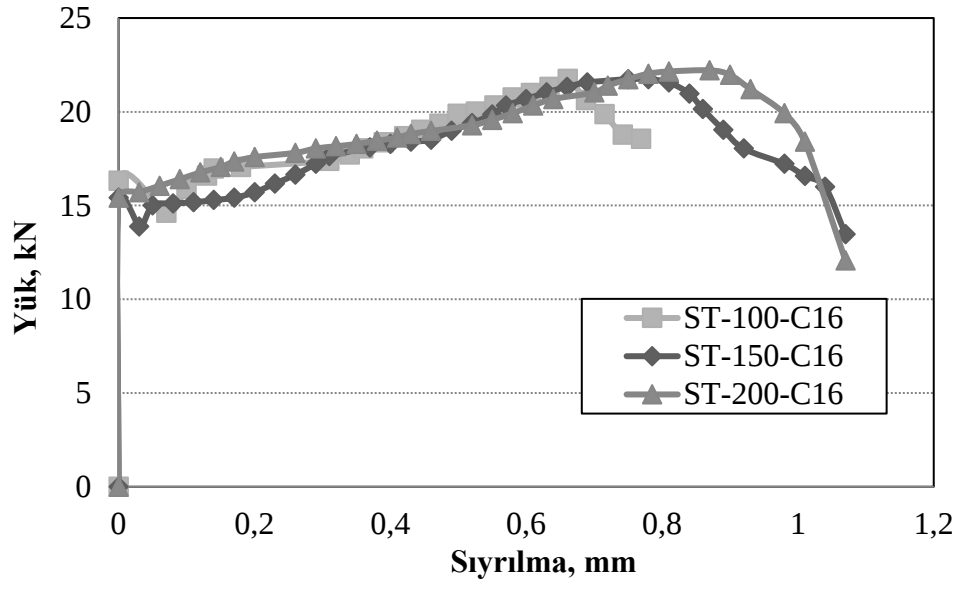
4.4 Ankraj Derinliğinin Sıyrılma Yüküne Etkisi

Kimyasal ankrajlamada donatının gömme derinliğinin etkisi de araştırılmış olup, sabit bir donatı çapı için uygulana yüke karşılık sıyrılma davranışlarıyla ilgili elde edilen bulgular düşük dayanımlı betonlar için Şekil 4.11-Şekil 4.13’ de ve normal dayanımlı betonlar için de Şekil 4.14-Şekil 4.16’ da ortalama değerlere yakın numunelerden seçilerek verilmiştir. Her iki beton dayanım sınıfında ve tüm farklı tipteki donatılarda gözlenen ortak bulgu, donatı ankraj derinliğinin arttırılmasıyla, donatıları betondan çıkartmak için gerekli yük değerinin giderek artması olmuştur. Daha fazla ankraj derinliği daha fazla yük uygulanmasını gerekli hale getirmiştir. Yine genel olarak, ankraj derinliği arttıkça sıyrılma sırasındaki uzama miktarının da arttığı gözlenmiştir.

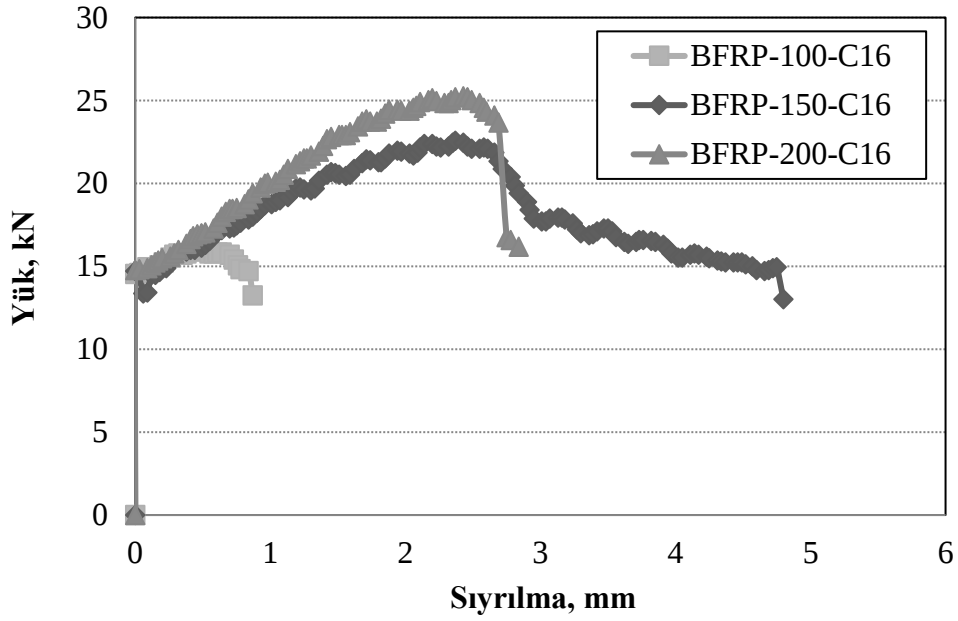


Şekil 4.11 GFRP'lerin ankraj derinliğine bağlı düşük dayanımlı betondan sıyrılma davranışları.

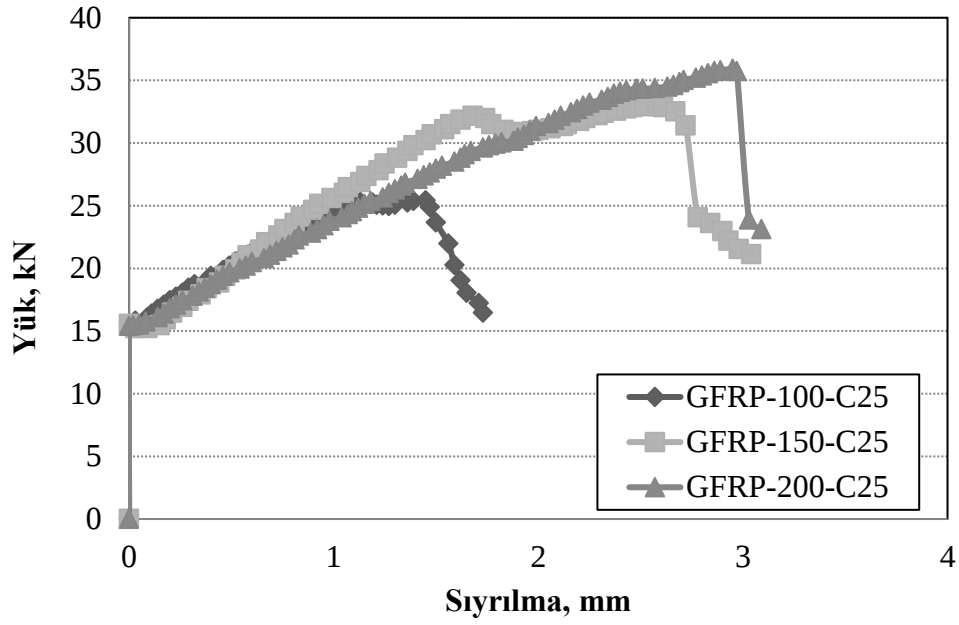
Ankraj derinliğine bağlı donatı ile beton arasındaki kenetlenme boyu 100 mm ve daha az olduğunda genellikle ankraj numunelerinde beton kopmasına bağlı direk sıyrılma durumları gözlenmiştir. Pecce vd. (2001) yaptığı çalışmada da kenetlenme boyunun 10Ø olması durumunda donatı kopma olayının sıyrılmayla birlikte gerçekleştiği ve donatı yüzeyindeki nervürlerin aderans yükünü paylaştığı belirlenmiştir.



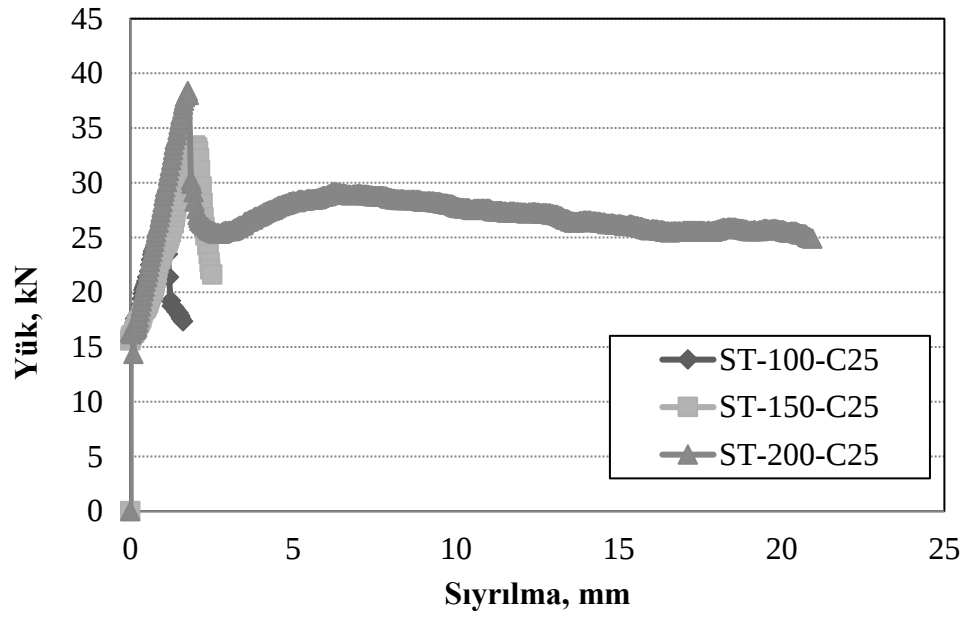
Şekil 4.12 Çelik donatıların ankraj derinliğine bağlı düşük dayanımlı betondan sıyrılma davranışları.



Şekil 4.13 BFRP' lerin ankraj derinliğine bağlı düşük dayanımlı betondan sıyrılma davranışları.



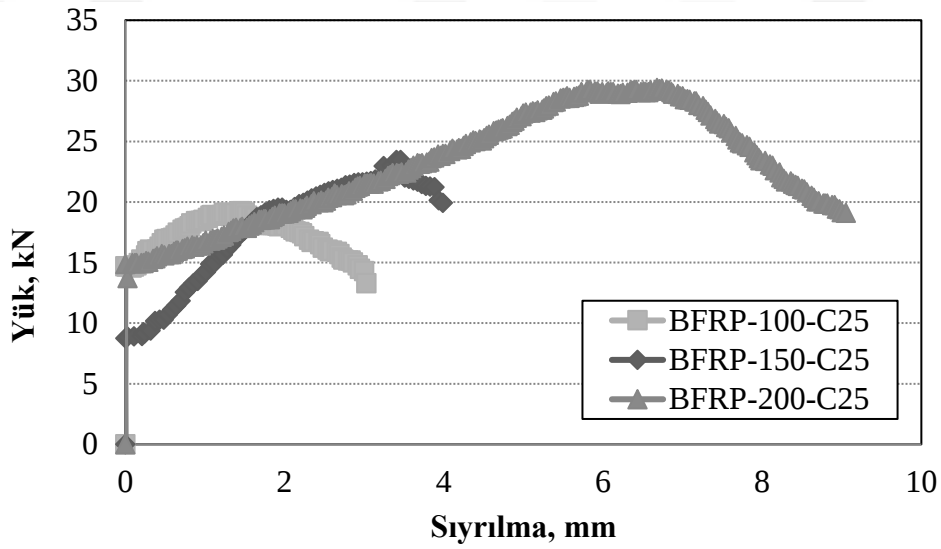
Şekil 4.14 GFRP' lerin ankraj derinliğine bağlı normal dayanımlı betondan sıyrılma davranışları.



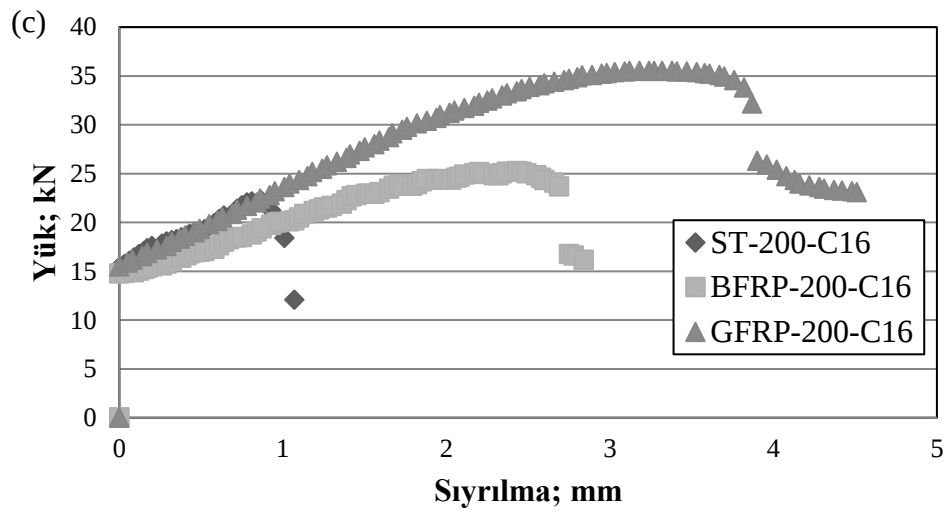
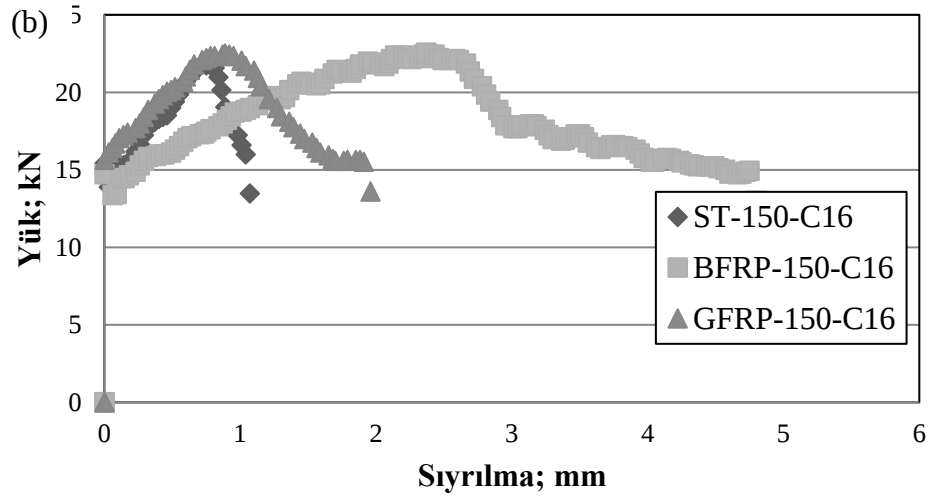
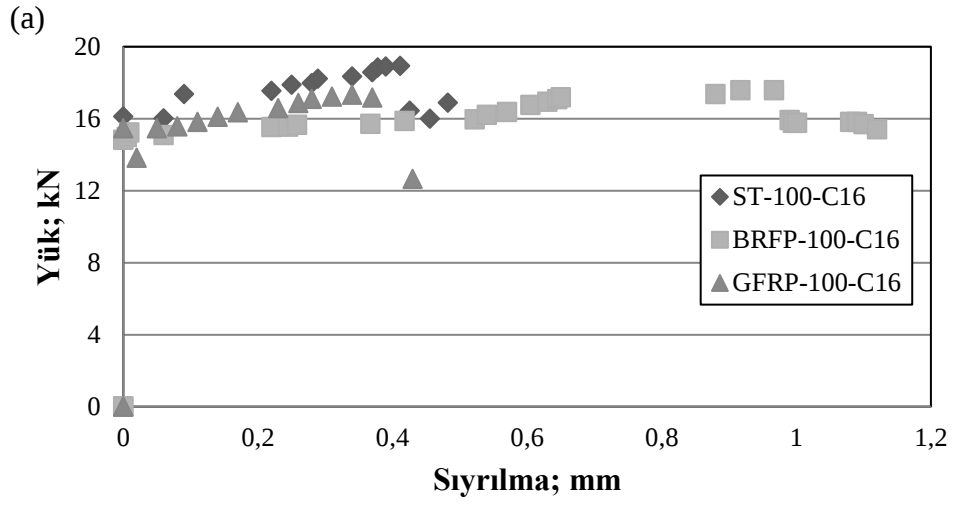
Şekil 4.15 Çelik donatıların ankraj derinliğine bağlı normal dayanımlı betondan sıyrılma davranışları.

Düşük dayanımlı ve normal dayanımlı betonlar ile üretilen aynı derinliklerdeki Çelik, Bazalt ve Polimerik donatılı numunelerin yük-sıyrılma etkisi altındaki davranışları sırasıyla Şekil 4.17 ve Şekil 4.18' de karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Burada 100 mm

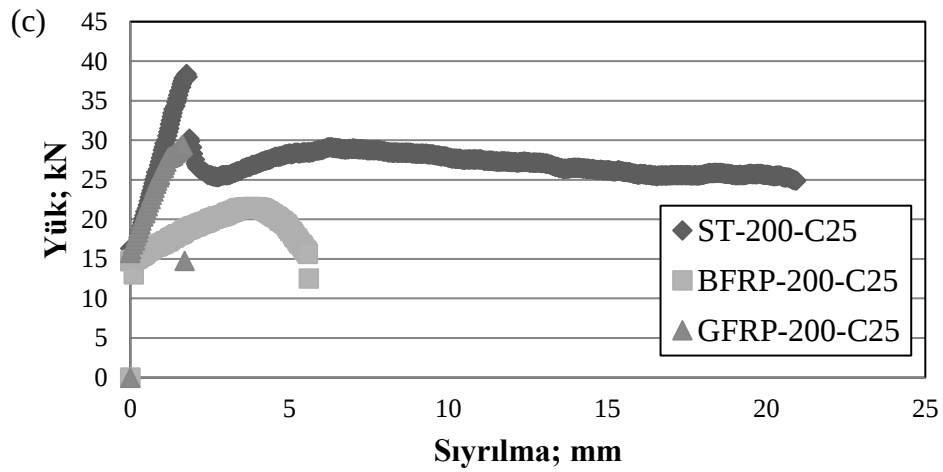
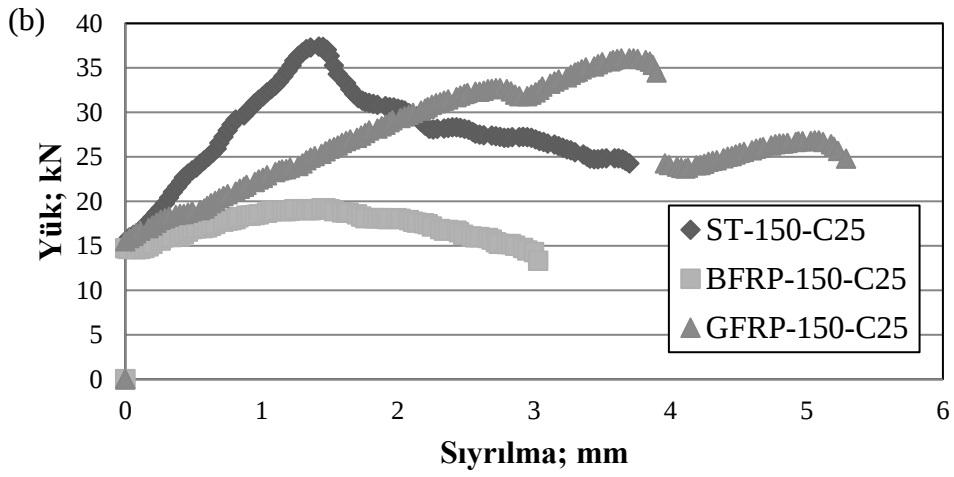
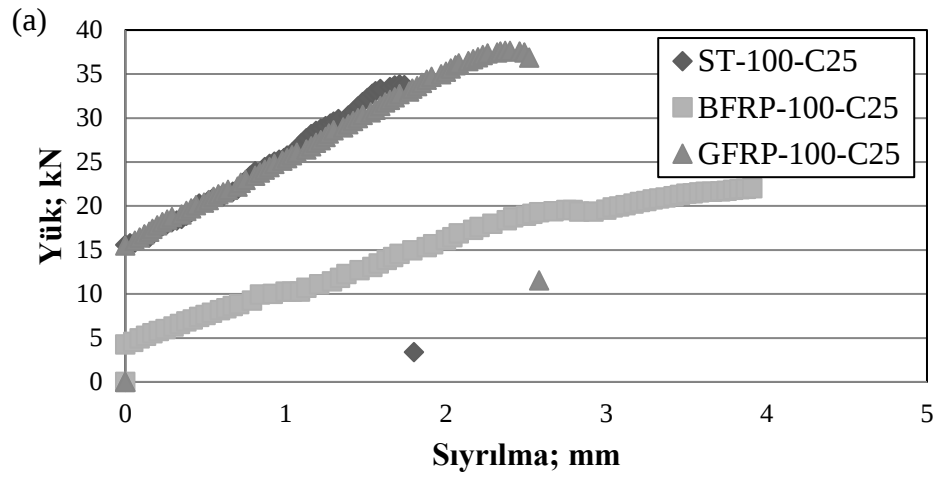
derinlik için donatıları betondan çıkaracak gerekli yük miktarı birbirine çok yakın olmasına rağmen, GFRP donatılı numunelerin daha az sıyrılma gerçekleştirdiği görülürken, sıyrılma miktarının derinlik etkisinin 200 mm olması ile artan çekme yükü miktarı ile GFRP donatılı numunelerde BFRP ve ST donatılı numunelerden daha fazla sıyrılma gerçekleşmiştir. Derinlik etkisi 150 mm olduğunda ise ST ve GFRP donatılı numunelerde BFRP donatılı numunelere göre daha az sıyrılmanın olduğu görülmüştür (Şekil 4.17). Donatıların beton içerisine daha derin yerleştirilmesi ile betonla donatı yüzeyi arasındaki kenetlenme daha fazla olduğundan donatının betondan çekilmesi sırasında daha fazla sıyrılma miktarı elde edilmiştir (Rasoul 2017).



Şekil 4.16 BFRP' lerin ankraj derinliğine bağlı normal dayanımlı betondan sıyrılma davranışları



Şekil 4.17 Farklı tipteki ve derinlikteki ankraj elemanlarının düşük dayanımlı betondan sıyrılma davranışları



Şekil 4.18 Farklı tipteki ve derinlikteki ankraj elemanlarının normal dayanımlı betondan sıyırılma davranışları.

4.5 Ankraj Derinliğinin Aderansa Etkisi

Ankrajlanan donatıların betondan çıkartılması için uygulanan ortalama yük değerleri donatı yüzey alanlarına oranlanarak, normal ve düşük dayanımlı betonlar için aderans dayanımları elde edilmiştir (Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2). Çizelgelerde verilen her bir deney sonucu üç adet deney numunesinin aritmetik ortalamasından oluşmaktadır.

Çizelge 4.1 Seri-A için grup ortalamasına bağlı yük-aderans dayanımı sonuçları.

SERİ-A							
NO	NUMUNE KODU	DONATI		DERİNLİK [10φ]	ÇEKME TESTİ (PULL-OUT)		ADERANS DAYANIMI (MPa) $f_a = \frac{P}{2\pi r h}$
		ÇAPI	TİPİ		YÜK(KN)	UZAMA (mm)	
1	Pa-φ6-C16	φ6	GFRP	La=60mm	8,8	3,3	7,78
2	Pa-φ6-C25	φ6	GFRP	La=60mm	9,38	2,47	8,29
3	Pa-φ8-C16	φ8	GFRP	La=80mm	7,49	0,78	3,72
4	Pa-φ8-C25	φ8	GFRP	La=80mm	15,56	1,74	3,73
5	Pa-φ14-C16	φ14	GFRP	La=140mm	17,58	0,34	2,86
6	Pa-φ14-C25	φ14	GFRP	La=140mm	32,85	1,61	5,33
7	Pa-φ20-C16	φ20	GFRP	La=200mm	39,18	0,83	3,12
8	Pa-φ20-C25	φ20	GFRP	La=200mm	48,03	3,43	3,82
1	Ça-φ6-C16	φ6	ST	La=60mm	4,18	0,54	3,70
2	Ça-φ6-C25	φ6	ST	La=60mm	10,36	1,25	9,16
3	Ça-φ8-C16	φ8	ST	La=80mm	7,10	0,8	3,53
4	Ça-φ8-C25	φ8	ST	La=80mm	16,84	1,09	8,37
5	Ça-φ14-C16	φ14	ST	La=140mm	19,82	0,44	3,22
6	Ça-φ14-C25	φ14	ST	La=140mm	35,10	1,89	5,70
7	Ça-φ20-C16	φ20	ST	La=200mm	36,69	0,83	2,92
8	Ça-φ20-C25	φ20	ST	La=200mm	46,31	2,48	3,68

Ankrajlama derinliğine bağlı olarak ortalama aderans dayanımı değerleri GFRP donatılar için Şekil 4.19' da, çelik donatılar (ST) için Şekil 4.20' de ve BFRP donatılar için de Şekil 4.21' de beton dayanım sınıfına göre karşılaştırılmıştır. Tüm donatı tiplerinde, ankraj derinliği arttıkça aderans dayanımları azalma eğiliminde olmuştur (Mazılıgüney 2007). Bu azalma miktarı beton dayanımının artmasıyla daha belirgin hale gelmiştir. Bu değerlendirme Achillides ve Pilakoudes (2004) deneysel bulgulardan elde edilen sonuç

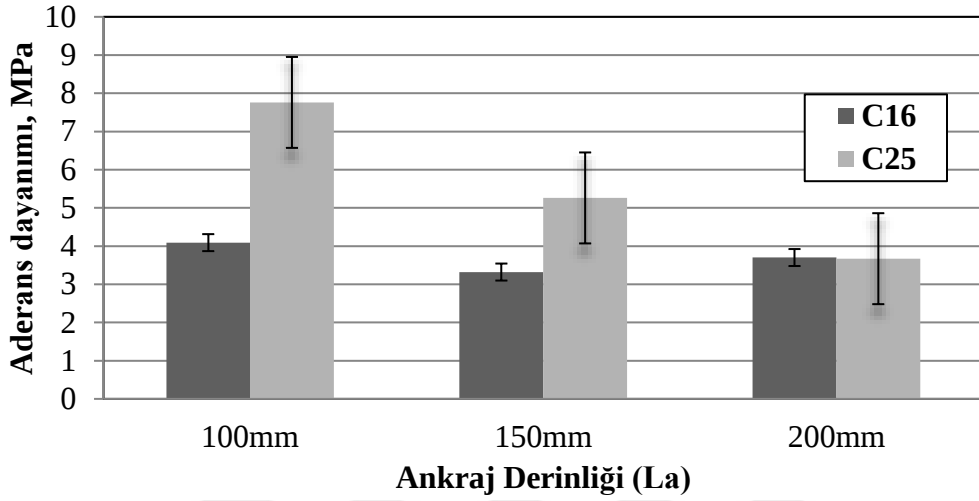
ile uyuşmaktadır. Örneğin, GFRP' li C16/20 sınıfındaki betonlarda ankraj derinliğinin 100 mm' den 200 mm' ye artırılmasıyla aderans dayanımı değeri %9,5 oranında azalırken, bu azalmanın C25 betonunda yaklaşık %52,7 oranında olduğu görülmüştür (Şekil 4.19). Aynı şekilde elde edilen bulgular çelik (ST) donatılar için %28,16, bazalt (BFRP) donatılar içinde %21,74 aderans azalmasını ortaya koymuştur (Şekil 4.20). Normal dayanımlı betonlarda ise çelik (ST) donatılar için %20,65, bazalt (BFRP) donatılar içinde %48,15 aderans azalması gözlenmiştir (Şekil 4.21).

Çizelge 4.2 Seri-B için grup ortalamasına bağlı yük-aderans dayanımı sonuçları.

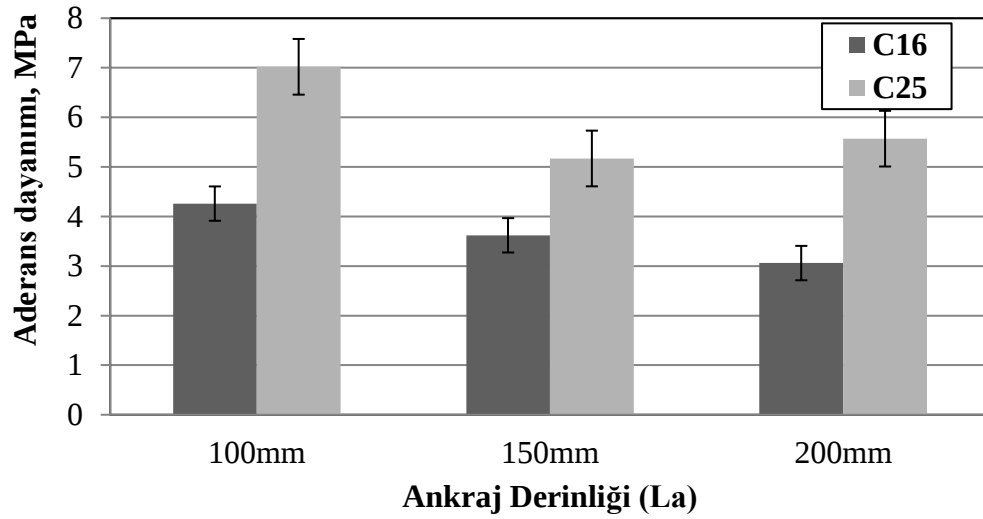
SERİ-B							
NO	NUMUNE KODU	DONATI		DERİNLİK (La)	ÇEKME TESTİ(PULL-OUT)		ADERANS DAYANIMI (MPa)
		ÇAP	TİPİ		YÜK (KN)	UZAMA (mm)	$f_a = \frac{P}{2\pi r h}$
1	Pb-10φ-C16	φ14	GFRP	100mm	17,99	0,36	4,09
2	Pb-10φ-C25	φ14	GFRP	100mm	34,10	2,29	7,76
3	Pb-15φ-C16	φ14	GFRP	150mm	21,91	0,95	3,32
4	Pb-15φ-C25	φ14	GFRP	150mm	34,67	2,79	5,26
5	Pb-20φ-C16	φ14	GFRP	200mm	32,59	2,4	3,70
6	Pb-20φ-C25	φ14	GFRP	200mm	32,26	1,7	3,67
1	Bb-10φ-C16	φ10	BFRP	100mm	16,88	1,01	5,37
2	Bb-10φ-C25	φ10	BFRP	100mm	25,43	4,29	8,09
3	Bb-15φ-C16	φ10	BFRP	150mm	16,70	0,4	3,54
4	Bb-15φ-C25	φ10	BFRP	150mm	18,84	2,96	4,00
5	Bb-20φ-C16	φ10	BFRP	200mm	24,39	3,56	3,88
6	Bb-20φ-C25	φ10	BFRP	200mm	26,40	6,59	4,20
1	Çb-10φ-C16	φ14	ST	100mm	18,73	0,49	4,26
2	Çb-10φ-C25	φ14	ST	100mm	30,88	1,16	7,02
3	Çb-15φ-C16	φ14	ST	150mm	23,91	1,2	3,62
4	Çb-15φ-C25	φ14	ST	150mm	34,14	3,7	5,17
5	Çb-20φ-C16	φ14	ST	200mm	26,91	2,94	3,06
6	Çb-20φ-C25	φ14	ST	200mm	49,03	6,46	5,57

Ankraj derinliğinin artırılmasıyla yapışma yüzeyi de arttırılmış ve bunun sonucu olarak da donatıların çekmesine göre nispeten zayıf olan yapışma yüzey alanının artmasıyla birlikte daha düşük çekme gerilmelerinde donatılar beton içerisinden sıyrılarak çıkmışlardır. Donatı tipleri açısından dikkate alındığında ise, ankraj çapı Ø14, ankraj derinliği 100mm ve normal dayanımlı betonlardan elde edilen deneysel sonuçlar, en yüksek aderans dayanımları GFRP ve BFRP' lerde ve en düşük aderans dayanımları da

eliklerde olduğunu göstermiştir. Düşük dayanımlı betonlarda ankraj derinliğinin 200mm olması halinde ise GFRP’ lerde 3,70 MPa, BFRP’ lerde 3,88 MPa, ST’ lerde 3,06 MPa aderans dayanımı elde edilmiş. Aderans dayanımları genel olarak beton dayanım sınıfına ve ankrajlama derinliğine göre farklılık göstermiştir.



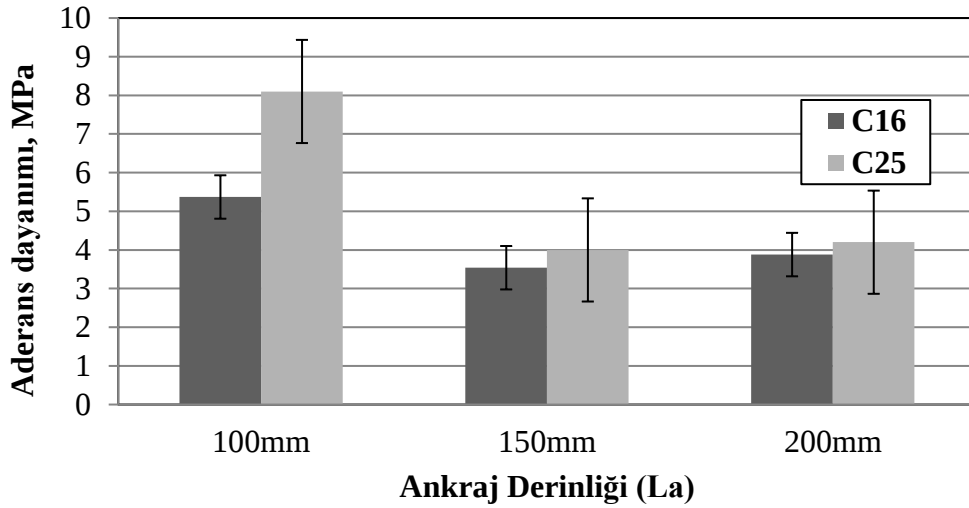
şekil 4.19 GFRP' lerde (Ø14) kimyasal ankraj derinliği etkisi.



şekil 4.20 elik donatılarda (Ø14) kimyasal ankraj derinliği etkisi.

DeneySEL çalışmalardan elde edilen bulgular ile lifle güçlendirilmiş polimer donatıların ortalama aderans dayanımlarının 3 MPa ile 8,5 MPa arasında değiştiği görülmüştür. İdeal

olan ankraj gömme derinliğinin TS 500’ deki kenetlenme boyları da dikkate alınarak 10Ø gömme derinliği olan ankrajlarda 14 mm ve üstü donatı çapı kullanılarak oluşabileceği yapılan deney sonuçlarından anlaşılmıştır. Bu durum literatürdeki Çalışkan ve Aras 2017 yaptıkları çalışmada elde ettikleri ideal gömme derinliği tespiti ile de uyumludur.



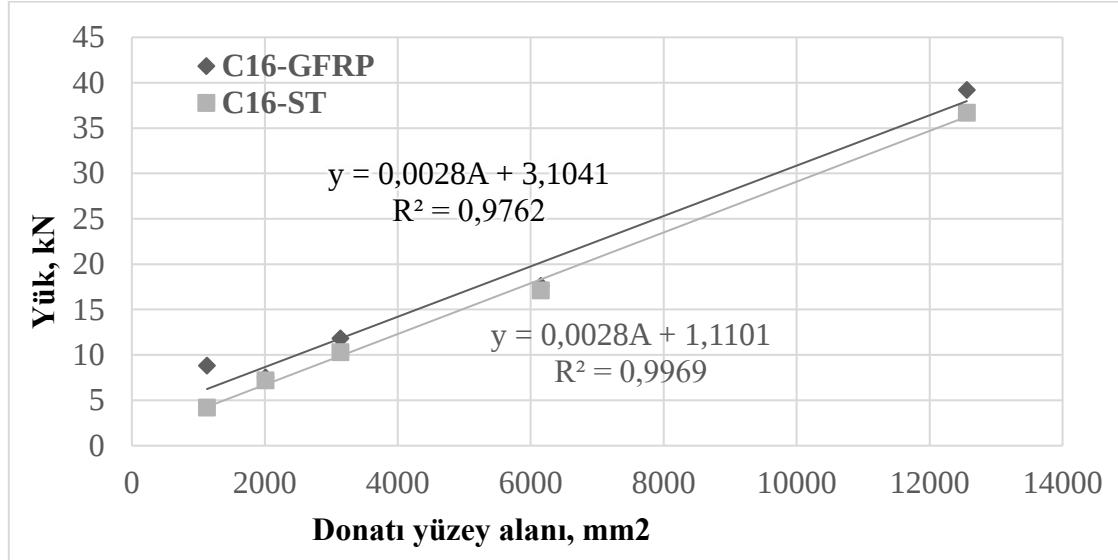
Şekil 4.21 BFRP' lerde (Ø10) kimyasal ankraj derinliği etkisi

Betonlarda kimyasal ankraj işlemi yapılması sırasında ankrajlanan donatının çekme yükü değerleri ile betona gömülen donatının yapışmada etkili olan yüzey alanı ilişkilendirilerek düşük ve normal dayanımlı betonlar için sırasıyla Şekil 4.22 ve Şekil 4.23’ de GFRP ve çelik donatıların kullanımları için sunulmuştur. Düşük dayanımlı betonlarda her iki donatı tipi için, ankraj çekme yükü donatı yüzey alanı arasında yaklaşık %99 korelasyon katsayısına sahip ilişkiler elde edilmiştir. Buna göre, C16 sınıfındaki düşük dayanımlı betonlara polimerik veya çelik donatı ankrajı yapılması istenmesi durumunda aşağıdaki denklem (4.1) ve denklem (4.2) kullanılarak mevcut donatı çapına ve ankraj derinliğine bağlı elde edilecek ankraj çekme yükünün belirlenmesi mümkündür.

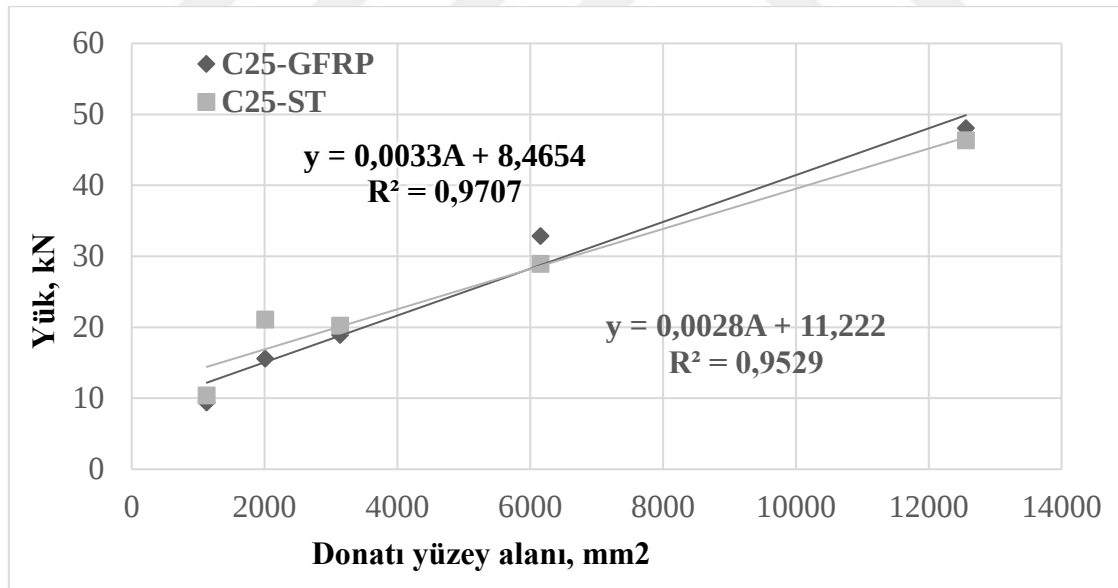
$$y = 0.0028A + 3.1041 \quad (\text{GFRP donatılar için}) \quad (4.1)$$

$$y = 0.0028A + 1.1101 \quad (\text{ST donatılar için}) \quad (4.2)$$

Çekme yükünün tahmin edilmesi ile denklem 3.1 kullanılarak GFRP ve ST ankraj numuneleri için aderans dayanımı da belirlenebilecektir.



Şekil 4.22 Düşük dayanımlı betonlarda ankraj donatısı yüzey alanına bağlı yük değerleri.



Şekil 4.23 Normal dayanımlı betonlarda ankraj donatısı yüzey alanına bağlı yük değerleri.

Ankraj çekme yükü ile donatı yüzey alanı arasındaki ilişki C25/30 sınıfındaki normal dayanımlı betonlarda da anlamlı düzeyde olup, korelasyon katsayıları yaklaşık %98 düzeyindedir. Diğer bir ifadeyle güvenilirlik derecesi C16/20 sınıfındaki betonlarda elde

edilen korelasyon ilişkisi kadar yüksektir. Normal dayanımlı betonlarda yapılacak ankrajlama işlemi için de yüzey alanına (gömme derinliği) bağlı olarak aşağıdaki denklem (4.3) ve denklem (4.4) kullanılarak, yük değerleri elde edilebilir, aderans dayanımları sırasıyla GFRP ve çelik donatılar için belirlenebilir.

$$y = 0.0033A + 8.4654 \quad (\text{GFRP donatılar için}) \quad (4.3)$$

$$y = 0.0028A + 11.222 \quad (\text{Çelik donatılar için}) \quad (4.4)$$

Her iki tip beton sınıfı için yukarıda verilen bağıntılar kullanılarak ayrıca, yönetmelik veya şartnamelerde istenilen aderans dayanımı için çapı belli olan donatının ankraj yapılacak derinlik değerine bağlı yük değerleri de elde edilebilecektir. Çalışma kapsamında BFRP donatılar tek çap sınıfında olduğundan yük-yüzey alanı ilişkileri elde edilememiş olsa da, özellikle normal dayanımlı betonlar için GFRP ve BFRP aderans dayanımları oldukça yakın olduğundan, denklem (4.3) BFRP' li donatılar için de kullanılabilir.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, epoksi türü kimyasal yapıştırıcı ile polimerik donatı olarak cam elyafla güçlendirilmiş fiber donatı (GFRP) ile bazalt elyafla güçlendirilmiş fiber donatı (BFRP) ile inşaat donatısı (ST) betona kimyasal ankraj yapılmış ve çekip-çıkartma testine tabi tutulmuşlardır. Beton sınıfı olarak, ülkemizdeki depreme dayanıksız yapıların ortalama beton dayanım sınıfını temsil etme açısından düşük dayanımlı (C16/20) ve normal dayanımlı (C25/30) beton numunelere sonradan ankrajlama işlemi yapılmıştır. Deneylerden elde edilen bulgular aşağıdaki şekilde ifade özetlenmiştir.

- Kimyasal ankrajlama sonuçları incelendiğinde, çelik donatılarda olduğu gibi polimerik donatılarda da ankrajlama sonrası betondan sıyrılma yükü ve miktarının donatı tipi, donatı çapı, beton sınıfı ve gömme derinliği gibi birçok parametreye bağlı olarak değiştiği görülmüştür.
- Düşük dayanımlı betonlara ankraj yöntemiyle sonradan yerleştirilen donatıların hepsi için de donatı çapının artmasıyla birlikte donatıyı betondan çıkarabilmek için uygulanacak yük değerlerinin arttığı görülmektedir. Polimerik donatıları betondan çıkartabilmek için gerekli yük miktarı Ø6 çaplı donatılardan Ø20 çaplı donatılara kadar, Ø14' lük donatılarda birbirine yakın değer ile çelik donatıların çekme yükü üstünlüğü olsa bile, çap arttıkça çelik donatılara uygulanandan daha fazla yük uygulanması gerektiği gözlenmiştir. Normal dayanımlı betonlarda ise Ø20 çaplı donatılarda yine polimerik donatıları betondan çıkarmak için çelik donatılardan daha fazla çekme yükünün gerektiği görülmüştür.
- Donatıların betondan çekilip çıkartılması sırasında düşük dayanımlı betonlarda tüm donatı tipleri yaklaşık 1 mm civarında sıyrılma davranışı gösterirken, normal dayanımlı betonlarda sıyrılma miktarı çap artışına bağlı olarak artış göstermiştir. En düşük sıyrılma miktarı 8 mm çaplı donatılarda elde edilirken, en fazla sıyrılma miktarı da 20 mm çaplı donatılarda elde edilmiştir.
- En küçük çaptaki donatılarda en fazla aderans dayanımı elde edilirken, donatı çapı arttıkça aderans dayanımı da azalmıştır. Bu azalmanın en önemli nedeni, betonla donatı arasındaki yapışma yüzey alanının artmasıdır. Düşük dayanımlı betonlarda

Ø20 mm çaplı GFRP ve çelik (ST) donatılar kıyaslandığında çapın artmasıyla çelik (ST) donatılardaki aderans dayanımı polimerik donatılara (GFRP) göre yaklaşık %17 oranında azalma göstermiştir.

- Tüm çap değerleri için polimerik donatılarda elde edilen aderans dayanımı düşük dayanımlı betonlarda az da olsa çelik donatıların aderans dayanımından daha fazladır. Normal dayanımlı betonlarda da polimerik donatıların ankrajlamadaki aderans dayanımları tüm çap değerlerinde çelik donatılarinkinden daha yüksek değerlerde elde edilmiştir. Buradan, polimerik donatıların kimyasal yapıştırıcıyla betona çelik donatılara göre daha iyi yapıştırıldıkları sonucuna ulaşılmaktadır.
- Betonun dayanım sınıfı dikkate alındığında, tüm donatı tiplerinde betonun basınç dayanımı arttığında donatıyla arasındaki aderans dayanımını da artmıştır. Beton sınıfının C16' dan C25' e yükselmesiyle çelik ve GFRP' deki artış yaklaşık olarak %100 oranındayken, BFRP' deki artış oranı yaklaşık %45 oranındadır. Beton basınç dayanımı düştükçe kimyasal ankrajdaki aderans dayanımı da azalmaktadır.
- Kimyasal ankrajlama işleminde sabit çaptaki farklı donatı tipleri karşılaştırıldığında ise normal dayanımlı betonlar ve 100 mm ankraj derinliği için aderans dayanımı, GFRP' de 7,76 MPa ile çeliklere göre yaklaşık %10 oranında, BFRP' lerde ise yine çeliklere göre %13 oranında daha yüksek aderans dayanımı elde edilmiştir. Düşük dayanımlı betonlarda da en yüksek aderans dayanımının elde edildiği BFRP' lerde çeliğe göre artış oranı yaklaşık %21 oranındadır.
- Kimyasal ankrajlamada donatının gömme derinliğinin etkisi de araştırılmış olup, donatı ankraj derinliğinin arttırılmasıyla, donatıları düşük ve normal dayanımlı betondan çıkartmak için gerekli yük değerinin giderek artmaktadır.
- Ankraj derinliği arttıkça hem düşük hem de normal dayanımlı betonda neredeyse tüm donatı tipleri için sıyrılma sırasındaki uzama miktarının da arttığı gözlenmiştir.
- Tüm donatı tiplerinde, ankraj derinliği arttıkça aderans dayanımları azalma eğiliminde olmuştur. Bu azalma miktarı beton dayanımının artmasıyla daha belirgin hale gelmiştir. Ankraj derinliğinin arttırılmasıyla yapışma yüzeyi de arttırılmış ve bunun sonucu olarak da donatıların çekmesine göre nispeten zayıf olan yapışma yüzey alanının artmasıyla birlikte daha düşük çekme gerilmelerinde donatılar beton içerisinden sıyrılarak çıkmışlardır.

- Düşük ve normal dayanımlı betonlarla her iki donatı tipi için, yük ile donatı yüzey alanı arasında yüksek korelasyon katsayısına sahip ilişkiler elde edilip bağıntılar önerilmiştir. Bu bağıntıların kullanılmasıyla, yönetmelik veya şartnamelerde istenilen aderans dayanımı için çapı belli olan donatının, yük değerleri ve ankraj yapılacak derinlik değeri de elde edilebilecektir.
- Deneysel çalışmada polimerik, çelik, bazalt donatılar için ankraj delik çapları $\varnothing+2$ mm ile sabit tutulmuştur. Ankraj delik çapının da deney sonuçlarına etkisinin olduğu düşünülmekte olup, delik çapının $\varnothing+4$ mm, $\varnothing+6$ mm olduğu durumlarda da deneysel araştırmaların yapılması önerilmekte olup, elde edilen bulguların literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Sonuç olarak, günümüzde özellikle durabilite açısından risk taşıyan betonarme elemanlarda kullanımı oldukça yaygınlaşmaya başlayan polimerik donatıların, mühendislik yapılarında korozyon sorunlarına karşı, kimyasal ankrajlamadaki aderans ve çekme yükü değerlerinde gösterdiği üstün performans özellikleriyle, inşaat çeliğine alternatif olarak kullanılabileceği görülmektedir. Ancak bu tür donatıların dezavantajları arasında yer alan akma dayanımının olmaması gibi özelliklerinden dolayı Mühendislik yapılarının temelleri gibi alt yapılarda kullanılmasının, yapıların korozyon etkilerinden korunması ve servis ömrünü uzatmada faydalı olacağı düşünülmektedir.

6. KAYNAKLAR

- Achillides Z, Pilakoutas K, 2004, Bond behavior of fiber reinforced polymer bars under direct pullout conditions, *Journal of Composites for Construction*, 8, 173-181.
- ACI 440 1R-15, 2007, Guide for the design and construction of structural concrete reinforced with FRP bars, American Concrete Institute (ACI), Farmington Hills, MI.
- ACI 440 3R-04, 2004, Guide test methods for fiber-reinforced polymers (FRPs) for reinforcing or strengthening concrete structures, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, USA.
- ACI 440 6M-08, 2008, Specification for carbon and glass fiber-reinforced polymer bar materials for concrete reinforcement. American Concrete Institute (ACI), Farmington Hills, MI.
- ACI Committee 440, 2012, Guide test methods for fiber-reinforced polymers (FRPs) for reinforcing or strengthening concrete structures, American Concrete Institute (ACI), Farmington Hills, MI.
- Al-Sunna R, Pilakoutas K, Hajirasouliha I, Guadagnini M 2012, Deflection behaviour of FRP reinforced concrete beams and slabs: an experimental investigation. *Composite Part B: Engineering*, 43, 2125–2134.
- Ammar M A, 2014, Bond durability of basalt fibre-reinforced polymers (BFRP) bars under freeze-and-thaw conditions, Ph.D Thesis Department of Civil Engineering, Universite Laval, Quebec.
- Ashby M F, Jones D R H, 2006, *Engineering materials 2, An introduction to microstructures, processing and design*, Elsevier's Science and Technology, 3th edition, Oxford, England.
- Baena M., Torres L, Turon A, Barris C, 2009, Experimental study of bond behaviour between concrete and FRP bars using a pull-out test, *Composites Part B, Engineering*, 40, 784-797.
- Banibayat P, Patnaik A, 2013, Creep rupture performance of basalt fiber-reinforced polymer bars, *Journal of Aerospace Engineering*, 28, 04014074-1-9.

- Benmokrane B, Tighiouart B, Chaallal O, 1996, Bond strength and load distribution of composite GFRP reinforcing bars in concrete, *ACI Materials Journal*, 93, 254-259.
- Beycioglu A, Aruntaş Y, 2014, Bazalt lifli donatının yüksek dayanımlı betondaki aderans performansı, *Journal of Engineering and Technological Sciences*, 1, 83-95.
- Brena S F, Bramblett R M, Benouaich M A, Wood S L, Kreger M E, 2001, Use of carbon fiber reinforced polymer composites to increase the flexural capacity of reinforced concrete beams, The University Of Texas at Austin, Research Report no. 1776-1, Texas.
- Burgoyne C, 2007, FRP reinforcement in RC structures, Switzerland: International Federation for Structural Concrete (FIB).
- Cabral-Fonseca S, 2005, Polymeric composite material reinforced with fibers used in civil engineering – Features and application, LNEC, Lisbon, Portuguese.
- Callister W D, 2007, Materials science and engineering: An introduction, John Wiley and Sons, 7th edition, New Jersey, USA.
- Ceroni F, 2010, Experimental performances of RC beams strengthened with FRP materials, *Construction and Building Materials*, 24, 1547-1559.
- Ceroni F, Cosenza E, Gaetano M, Pecce M, 2006, Durability issues of FRP rebars in reinforced concrete members, *Cement and Concrete Composites*, 28, 857-868.
- Correia J P R, 2004, Pultruded glass fiber (GFRP), Application in GFRP composite beams GFRP-concrete in construction Master Thesis, Instituto Superior Tecnico, Portuguese.
- Cosenza E, Manfredi G, Realfonzo R, 1997, Behaviour and modelling of bond of FRP rebars to concrete, *Journal of Composite for Construction*, 1, 40-51.
- CSA S806-02, 2002, Design and construction of building components with fibre reinforced polymers, Canadian Standards Association, Canada.
- Çalışkan Ö, Aras M, 2017, Experimental investigation of behavior and failure modes of chemical anchorages bonded to concrete, *Construction and Building Materials*, 156, 362-375.

- Dhand V, Mittal G, Rhee K Y, Park S J, Hui D, 2015, A short review on basalt fiber reinforced polymer composites, *Composites Part B: Engineering*, 73, 166–80.
- Dhe P, 1922, Filament composed of basalt, U.S. Patent 1438428.
- El Refai A, Ammar M A, Masmoudi R, 2015, Bond performance of basalt fiber-reinforced polymer bars to concrete, *Journal of Composite Construction*, 19, 1-12.
- Eligehausen R, Balogh T, 1995, Behavior of fasteners loaded in tension in cracked reinforced concrete, *ACI Structural Journal*, 92, 365-379.
- Eligehausen R, Popov E P, Bertero V V, 1983, Local bond stress-slip relationships of deformed bars under generalized excitations, Rep. No. 83/23, Earthquake Engineering Research Centre (EERC), Univ. Of California, Berkeley, Calif.
- Epackachi S, Esmaili O, Mirghaderi S R, Behbahani A A T, 2015, Behavior of adhesive bonded anchors under tension and shear loads, *Journal of Constructional Steel Research*, 114, 269-280.
- Garden H N, Hollaway L C, 1998, An experimental study of the influence of plate end anchorage of carbon fibre composite plates used to strengthen reinforced concrete beams, *Composite Structures*, 42, 175-188.
- Gribniak V, Arnautov A K, Kaklauskas G, Tamulenas V, Timinskas E, Sokolov A, 2015, Investigation on application of basalt materials as reinforcement for flexural elements of concrete bridges, *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, 10, 201-216.
- Hailong W, Xiaoyan S, Guangyu P, Yuejing L, Qiming Y, 2015, Experimental study on bond behaviour between BFRP bar and engineered cementitious composite, *Construction and Building Materials*, 95, 448-456.
- Henin E, Tawadrous R, Morcous G, 2019, Effect of surface condition on the bond of Basalt Fiber-Reinforced Polymer bars in concrete, *Construction and Building Materials*, 226, 449-458.
- Hollaway L C, 2010, A review of the present and future utilisation of FRP composites in the civil infrastructure with reference to their important in-service properties, *Construction and Building Materials*, 24, 2419–2445.

- ISIS Manual No. 3, 2007, Reinforced concrete structures with fiber reinforced polymers, ISIS Canada Research Network, University of Manitoba, Winnipeg, MB.
- Janus O, Girgle F, Kostih V, Stepanek, P, 2018, Bond Behavior of FRP Bars in Concrete, Solid State Phenomena, 272, 3-8.
- Katz A, 1999, Bond mechanism of FRP rebars to concrete, Materials and Structures, 32, 761-768.
- Landesmann A, Seruti C A, Batista E M, 2015, Mechanical properties of glass fiber reinforced polymers members for structural applications, Materials Research, 18, 1372-1383.
- Lubin G, 1975, Handbook of fiberglass and advanced plastics composites, RE Krieger Publishing Company, NY.
- Ma G, Huang Y, Aslani F, Kim T, 2019, Tensile and bonding behaviours of hybridized BFRP–steel bars as concrete reinforcement, Construction and Building Materials, 201, 62-71.
- Malvar L J, 1994, Bond stress-slip characteristics of FRP rebars, Rep. TR-2013-SHR, Naval Faculty of Engineering Service Centre, Port Hueneme, California, USA.
- Maranan G B, Manalo A C, Karunasena, Benmokrane, W B, 2015, Pullout behaviour of GFRP bars with anchor head in geopolymer concrete, Composite Structures, 132, 1113–1121.
- Mazılıgüney L, 2007, Betona sonradan yerleştirilen kimyasal ankrajların düşük dayanımlı betonlardaki çekme davranışları, ODTÜ, Fen bilimleri enstitüsü, Yüksek lisans tezi, 98.
- Meier U, 2012, Carbon fiber reinforced polymer cables: why? Why not? What if? Arabian Journal of Science and Engineering, 37, 399-411.
- Mingke D, Jiaojiao P, Hongzhe Sun, 2018, Bond behavior of steel bar embedded in Engineered Cementitious Composites under pullout load, Construction and Building Material, 168, 705-714.
- Mitchell B S, 2004, An introduction to materials engineering and science for chemical and materials engineers, John Wiley and Sons, 1st Edition, New Jersey, USA.

- Nerilli F, Vairo G, 2018, Experimental investigation on the debonding failure mode of basalt-based FRP sheets from concrete, *Composite Part B: Engineering*, 153, 205-216.
- Ning H, Li Y, Hu N, Arai M, Takizawa N, Liu Y, 2015, Experimental and numerical study on the improvement of interlaminar mechanical properties of Al/CFRP laminates, *Journal of Material Processing Technology*, 216, 79–88.
- Ollgaard J G, Slutter R G, Fisher J W, 1971, Shear strength of stud shear connectors in lightweight and normal-weight concrete, *AISC Engineering Journal*, 71, 55–64.
- Ouyang L J, Lu Z D, Chen W Z, 2012, Flexural experimental study on continuous reinforced concrete beams strengthened with basalt fiber reinforced polymer/plastic, *Journal of Shanghai Jiaotong University (Science)*, 17, 613-618.
- Özturan T, Gesoğlu M, Özel M, Güneyisi E, 2004, Kimyasal, Harçlı ve Mekanik Ankrajların Çekme ve Kesme Yükleri Altındaki Davranışları, *İMO Teknik Dergi*, 3105-3124, Yazı 208
- Pecce M, Manfredi G, Realfonzo R, Cosenza E, 2001, Experimental and analytical evaluation of bond properties of GFRB bars, *Journal of Materials and Civil Engineering*, 13, 282-290.
- Rami J A H, Megat Johari M A, Haddad R H, 2017, Mechanical properties and bond characteristics of different fiber reinforced polymer rebars at elevated temperatures, *Construction and Building Materials*, 142, 521-535.
- Rasoul N, Martin N, Lennart E, 2017, Experimental evaluation of tensile behaviour of single cast-in-place anchor bolts in plain and steel fibre-reinforced normal- and high-strength concrete, *Engineering Structures*, 147, 195-206.
- Saadatmanesh H, Ehsani M R, 1991, RC beams strengthened with GFRP plates. I: Experimental study, *Journal of Structural Engineering*, 117, 3417-3433.
- Sim J, Park C, Moon D Y, 2005, Characteristics of basalt fiber as a strengthening material for concrete structures, *Composite Part B: Engineering*, 36, 504-12.
- Singha, K A, 2012, Short review on basalt fiber, *International Journal of Textile Science*, 1, 19–28.

- Taerwe L, 1995, Non-metallic (FRP) reinforcement for concrete structures, Proceedings of the Second International RILEM Symposium vol. 29. CRC Press, 1995
- Tayeh B A, El dada Z M, Shihada S, Yusuf M O, 2017, Pull-out behavior of post installed rebar connections using chemical adhesives and cement based binders, Journal of King Saud University-Engineering Sciences.
- Teng J G, Chen J F, Smith S T, Lam L, 2002, FRP: Strengthened RC structures. Wiley (VCH), 266.
- Tighiouart Z B, Benmokrane B, Gao U D, 1998, Investigation of bond in concrete member with fibre reinforced polymer FRP bars, Construction and Building Materials, 12, 453-462.
- Treese R A, Jirsa J O, 1989, Bond strength of epoxy-coated reinforcing bars, ACI Materials Journal, 86, 167-174.
- Topçu İ B, Uygunoğlu T, Güler M, 2015, Kimyasal ankrajların çekme dayanımına delik çapı ve ankraj derinliğinin etkisi, 2nd International Sustainable Buildings Symposium, Ankara.
- TS 500, 2000, Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları, TSE, Ankara.
- TS 706 EN 12620, 2003, Beton agregaları-Fiziksel özellikleri, TSE, Ankara.
- TS 708, 2010, Çelik-Betonarme için donatı çeliği Bölüm 7.2, Mekanik özellikler, TSE, Ankara.
- TS EN 12350-1, 2002, Taze beton deneyleri Bölüm 1, Numune alma, TSE, Ankara.
- TS EN 12390-1, 2002, Sertleşmiş beton deneyleri Bölüm 1, Deney numunesi ve kalıplarının şekil, boyut ve diğer özellikleri, TSE, Ankara.
- Turker H T, Ozbay E, Balcıkanlı M, 2016, Pullout capacity development of cast in place anchors with embedded studs, Construction and Building Materials, 102, 39–43.
- Urbanskia M, Lapkob A, Garbaczc A, 2013, Investigation on concrete beams reinforced with basalt rebars as an effective alternative of conventional R/C Structures. Procedia Engineering, 57, 1183-1191.

İnternet Kaynakları

- 1- <http://www.aslanfrp.com/Media/Aslan100.pdf>, 20.08.2019
- 2- <http://www.gfrp.fiberglassrebar>, 23.09.2019
- 3- https://www.yapikatalogu.com/kaba-yapi/guclendirici-donati-malzemeleri/spinteks-bazalt-donati_3819, 14.11.2019



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Necmettin TÜRKAY
Doğum Yeri ve Tarihi : Çamkalabak Köyü-1977
Yabancı Dili : İngilizce
İletişim (Telefon/e-posta) : 0(530) 112 73 17
: nturkay_17@hotmail.com

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Edremit Anadolu Lisesi, (1993-1996)
Ön Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, EMYO İnşaat Teknikerliği,
(1997-1999)
Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,
(2015-2017)
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
İnşaat Mühendisliği ABD, (2017-2020)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl:

: Teknotes Aş. İnşaat Teknikeri (2001-2004)
: İçdaş Aş. İnşaat Teknikeri (2004-2008)
: Akenerji Aş. İnşaat Teknikeri (2009-2013)
: İçdaş Aş. İnşaat Mühendisi (2017-Devam ediyor)

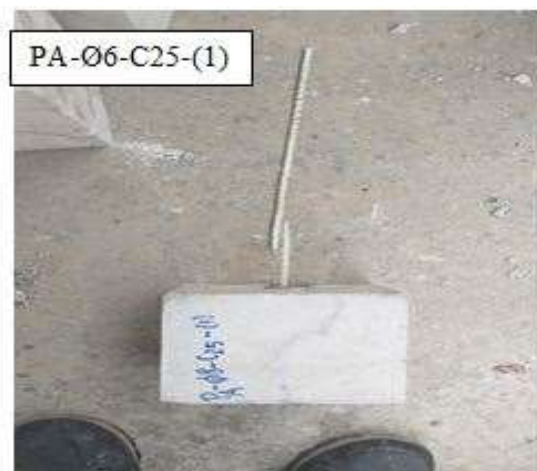
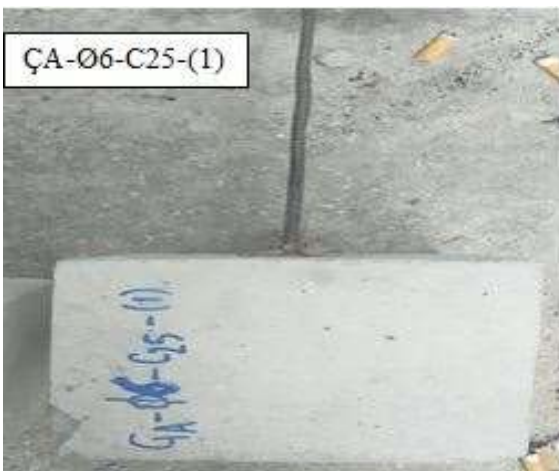
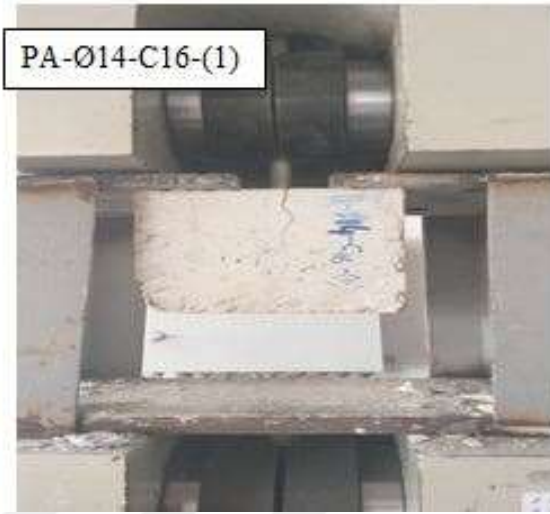
EKLER

EK 1. Deney numunelerinin çekme testi sonrası görüntüleri

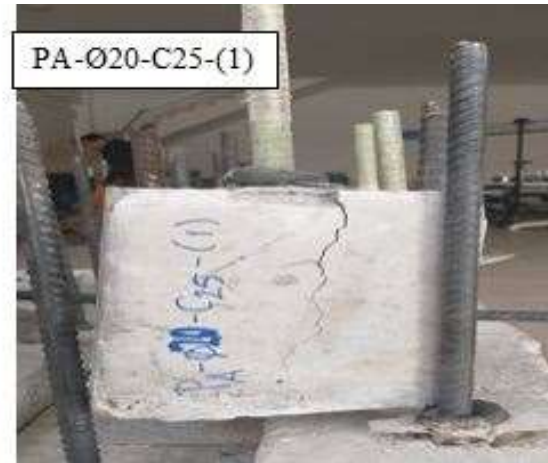
SERİ-A DENEY NUMUNELERİNE AİT GÖRÜNTÜLER



EK.1 (Devam) Deney numunelerinin çekme testi sonrası görüntüleri.

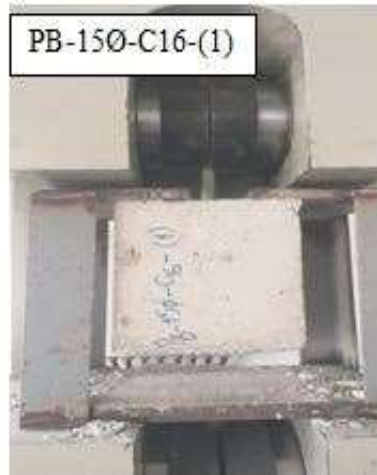


EK.1 (Devam) Deney numunelerinin çekme testi sonrası görüntüleri.



EK.1 (Devam) Deney numunelerinin çekme testi sonrası görüntüleri.

SERİ-B DENEY NUMUNELERİNE AİT GÖRÜNTÜLER



EK.1 (Devam) Deney numunelerinin çekme testi sonrası görüntüleri.

