

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

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**CAM ELYAF TAKVİYELİ POLİMER DONATI İLE BETON ARASINDAKİ
ADERANS DAYANIMININ ARAŞTIRILMASI**

Mehmet ŞEKER

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ŞANLIURFA
2019**

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

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**CAM ELYAF TAKVİYELİ POLİMER DONATI İLE BETON ARASINDAKİ
ADERANS DAYANIMININ ARAŞTIRILMASI**

Mehmet ŞEKER

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ŞANLIURFA
2019**

Dr.Öğr.Üyesi Zeynep ALĞIN'ın danışmanlığında, Mehmet ŞEKER'in hazırladığı “**Cam Elyaf Takviyeli Polimer Donatı İle Beton Arasındaki Aderans Dayanımının Araştırılması**” konulu bu çalışma 18/06/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

İmza

Danışman :Dr. Öğr. Üyesi Zeynep ALĞIN

Üye :Prof. Dr. Murat PALA

Üye :Doç. Dr. Kasım MERMERDAŞ

Bu Tezin İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yapıldığını ve Enstitümüz Kurallarına Göre Düzenlendiğini Onaylıyorum.

Doç. Dr. İsmail HİLALİ
Enstitü Müdürü

Bu Çalışma HÜBAK Tarafından Desteklenmiştir.
Proje No: 18243

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

İÇİNDEKİLER	5
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	v
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	5
3.MATERYAL ve YÖNTEM.....	13
3.1. Materyal.....	13
3.1.1 Çimento.....	13
3.1.2 Agregası.....	13
3.1.3 Kimyasal katkı	15
3.1.4 Cam elyaf takviyeli polimer (CETP) donatı	15
3.2. Yöntem	17
3.2.1. Numunelerin üretimi	17
3.2.2. Sıyırılma deneyi	26
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	28
4.1. Donatı çapındaki değişimin aderans dayanımına etkisi	28
4.2. Beton dayanımının aderans dayanımı üzerindeki etkisi	31
4.3 Yüksek sıcaklığın aderans dayanımı üzerindeki etkisi	33
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	38
ÖZGEÇMİŞ	42

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

CAM ELYAF TAKVİYELİ POLİMER DONATI İLE BETON ARASINDAKİ ADERANS DAYANIMININ ARAŞTIRILMASI

Mehmet ŞEKER

**Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Dr.Öğr.Üyesi Zeynep ALĞIN
Yıl: 2019, Sayfa: 42**

Elyaf takviyeli polimer donatılar, yüksek korozyon direncine ve çekme dayanımına sahip olmasının yanında hafif bir malzeme olmasından dolayı, geleneksel çelik donatının yerine kullanılabileceği düşünülmektedir. Elyaf takviyeli polimerlerin, betonun içinde donatı olarak kullanılabilirliğindeki en kritik sorunlardan biri de aderans (kenetlenme) kapasitesidir. Elyaf takviyeli polimer donatılar ile beton arasındaki aderans dayanımı birçok faktöre bağlıdır. Bu faktörlerden bazıları betonun dayanımı, donatının türü, çapı, gömülme derinliği ve yüzey özellikleridir. Bu tez çalışmasında, cam elyaf takviyeli polimer (CETP) donatıların çapındaki değişimin, beton dayanımının ve yüksek sıcaklığın, donatı ile beton arasındaki aderans dayanımı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çalışmada ilk olarak 18 mm, 16 mm, 14 mm, 12 mm çaplarında donatılar, C20 ve C40 beton sınıfında ayrı ayrı hazırlanan beton numunelere aksel olarak yerleştirilmiş olup numunelere sıyırılma testi uygulanarak donatı çapındaki ve basınç dayanımındaki değişimin aderans dayanımı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında, 12 mm ve 16 mm çaplarında cam elyaf takviyeli polimer donatılar kullanılarak iki farklı beton sınıfı için numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan bu numunelerden referans numuneleri kontrol sıcaklığı 25°C olan ortamda, diğer numuneler ise 150 °C ve 250 °C sıcaklıklara 3 saat maruz kaldıktan sonra sıyırılma testi yapılarak bu sıcaklık değişimlerinin, beton ile CETP donatı arasındaki aderans dayanımı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Yapılan test sonuçlarına göre donatının çapı arttıkça aderans dayanımında artış olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanında betonun basınç dayanımı arttıkça CETP donatı ile beton arasında aderans dayanımının da arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca yüksek sıcaklığa maruz kalan numunelerde sıcaklık artışının CETP donatı ile beton arasındaki aderansı olumsuz etkilediği belirlenmiştir.

ANAHTAR KELİME: Cam elyaf takviyeli polimer donatı, basınç dayanımı, aderans dayanımı, sıcaklık etkisi

ABSTRACT

MScThesis

INVESTIGATION OF BOND STRENGTH BETWEEN CONCRETE AND GLASS FIBRE REINFORCED POLYMER REBAR

**Harran University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering**

**Supervisor: Assist. Prof. Dr. Zeynep ALGIN
Year: 2019, Page: 42**

Due to the fundamental features of fibre reinforced polymer (FRP) bars such as higher corrosion resistance and tensile strength, their utilisation in concrete instead of the conventional steel rebar provides a lightweight composition. One of the most critical problems in the use of FRP bars as reinforcement in concrete is the adherence capacity. Bond strength between FRP bar and concrete depends on many factors. Some of these factors are the strength of concrete, the type of FRP bar and its diameter, the embedment depth and surface properties. In this MSc thesis, the effects of bar diameter, the strength of concrete and the high temperature on the bond strength between glass FRP bars and concrete were investigated. In the first stage of the experimental study, the glass FRP bars having the diameters of 18 mm, 16 mm, 14 mm and 12 mm were placed axially in the concrete samples produced with the concrete strength classes of C20 and C40. The effects of bar diameter and concrete strength on the bond strength between bar and concrete were investigated using the pull-out test. In the second stage of the study, the samples with two strength classes were prepared based on the glass FRP bars having the diameters of 12 mm and 16 mm. After the samples were exposed to the temperatures of 25°C, 150°C and 250 °C for 3 hours, the effect of the temperature change on the bond strength between concrete and glass FRP bar was investigated in this stage. The test results reveal that the bond strength is improved as the glass FRP bar diameter increased, the compressive strength of concrete has a positive influence on the bond strength between glass FRP bar and concrete. Furthermore, it was also underlined that high temperature adversely affects the bond strength between glass FRP bars and concrete.

KEY WORDS: Glass fiber reinforced polymer bar, compressive strength, bond strength, temperature effect

TEŞEKKÜR

Bu yüksek lisans tezi Dr. Öğr. Üyesi Zeynep ALĞIN danışmanlığında tamamlanmıştır. Çalışmadaki emeği ve katkılarından dolayı öncelikle danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Zeynep ALĞIN'a, değerli hocalarım, Doç. Dr Kasım MERMERDAŞ, Prof. Dr. H. Murat ALĞIN, Doç. Dr. Recep Kadir PEKGÖKGÖZ'e ve bu süreçte her türlü desteğini esirgemeyen aileme desteklerinden dolayı teşekkürlerimi sunarım.



ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 3.1. Karışımlarda kullanılan agregalar	14
Şekil 3.2. Plutruzyon metodunun prosesi	16
Şekil 3.3. Çalışmada kullanılan CETP donatıları	16
Şekil 3.4. Karışımların hazırlanmasında kullanılan karıştırıcı	18
Şekil 3.5. Taze beton çökme deneyi	19
Şekil 3.6. Beton dökümünde kullanılan kalıplar	20
Şekil 3.7. CETP donatıların küp kalıplara yerleşimi	20
Şekil 3.8. Numunelerin sarsma tablasında vibrasyona tabi tutulması	21
Şekil 3.9. Numunelerin kür havuzunda kür edilmesi	22
Şekil 3.10. Etüvde numunelerin yüksek sıcaklığa maruz bırakılması	23
Şekil 3.11. Numune sıyırılma testine hazırlık şeması.....	24
Şekil 3.12. Numunelere (40x40x4 mm) çelik plaka ve çelik başlığın montaj edilmesi	25
Şekil 3.13. Numunelerin sıyırılma testi konfigrasyonu	26
Şekil 3.14. Sıyırılma deneyi düzeneği	27
Şekil 4.1. Farklı CETP donatı çapları ve C20 beton sınıfı için aderans dayanımı-sıyırılma grafiği.....	28
Şekil 4.2. Numunelerin sıyırılma testinde yarılması	29
Şekil 4.3. Farklı CETP donatı çapları ve C40 beton sınıfı için aderans dayanımı-sıyırılma grafiği.....	30
Şekil 4.4. C40 beton sınıfındaki numunelerde CETP donatılardaki nervürlerin aşınması	31
Şekil 4.5. Ø12 CETP donatısı için C20 ve C40 beton sınıflarındaki numunelerin aderans dayanımı-sıyırılma grafiği	32
Şekil 4.6. Ø14 CETP donatısı için C20 ve C40 beton sınıflarındaki numunelerin aderans dayanımı-sıyırılma grafiği	32
Şekil 4.7. Ø16 CETP donatısı için C20 ve C40 beton sınıflarındaki numunelerin aderans dayanımı-sıyırılma grafiği	33
Şekil 4.8. Ø18 CETP donatısı için C20 ve C40 beton sınıflarındaki numunelerin aderans dayanımı-sıyırılma grafiği	33
Şekil 4.9. Ø12 CETP donatısı ve C20 beton sınıfı için farklı sıcaklık etkisindeki numunelerin aderans dayanımı-sıyırılma grafiği.....	34
Şekil 4.10. Ø12 CETP donatısı ve C40 beton sınıfı için farklı sıcaklık etkisindeki numunelerin aderans dayanımı-sıyırılma grafiği.....	34
Şekil 4.11. Ø16 CETP donatısı ve C20 beton sınıfı için farklı sıcaklık etkisindeki numunelerin aderans dayanımı-sıyırılma grafiği.....	35
Şekil 4.12. Ø16 CETP donatısı ve C40 beton sınıfı için farklı sıcaklık etkisindeki numunelerin aderans dayanımı-sıyırılma grafiği.....	35
Şekil 4.13. Yüksek sıcaklık etkisine maruz kalan numunelerdeki CETP donatılarının renk değişimi	36
Şekil 4.14. Yüksek sıcaklık etkisine maruz kalan numunelerdeki CETP donatıların nervür deformasyonu	37

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 3.1. Çimento kimyasal kompozisyonları.....	13
Çizelge 3.2. Agregâ fiziksel özellikleri.....	14
Çizelge 3.3. Agregâ elek analizi tablosu.....	15
Çizelge 3.4. CETP donatı özellikleri ve performans değerleri.....	17
Çizelge 3.5. Beton karışımındaki malzeme miktarları.....	18



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

FTP	Fiber Takviyeli Polimer
CETP	Cam Elyaf Takviyeli Polimer
AETP	Aramid Elyaf Takviyeli Polimer
KETP	Karbon Elyaf Takviyeli Polimer
BETP	Bazalt Elyaf Takviyeli Polimer
FRP	Fibre Reinforced Polymer
ACI	America Concrete Institute
τ	Aderans Dayanımı
P	Maksimum Çekme Kuvveti
L	Donatı Gömülme Derinliği
d	Donatı Çapı
CaOH ₂	Kalsiyum Hidroksit



1. GİRİŞ

Günümüzde teknolojinin gelişmesiyle özellikle inşaat mühendisliği bilim dalında kullanılan yapı malzemeleri konusunda önemli gelişmeler meydana gelmiştir. Bu gelişmelerin en önemlisi yapıların ana yapı taşı olan beton alanında olmuştur. Beton; çimento, su, agrega ve kimyasal ve mineral katkı maddelerinin belli oranlarda homojen olarak karıştırılmasından oluşur. Betonun hacimsel olarak %(65-70)'i agrega, %(10-15)'i çimento, %(15-20)'i sudur (Demiryürek, 2007). Beton; başlangıçta plastik kıvamda olup şekil verilebilen, zamanla dayanımını kazanan bir yapı malzemesidir. Beton ilk 28 günde dayanımının yaklaşık %95'ni kazanır. Mukavemetini kazanmış beton; basınç dayanımı yüksek fakat çekme dayanımı oldukça zayıf bir yapı malzemesidir. Çekme dayanımı düşük bir yapı malzemesinden taşıyıcı yapı elemanları oluşturmak oldukça zor ve maliyetlidir. Zamanla yapılan araştırmalar sonucunda betonun düşük çekme dayanımını iyileştirmek için sünek çelik donatılar kullanılmıştır. Bu iki malzemenin birlikte kullanımı iyi sonuçlar vermiş olup, mühendislik açısından da en uygun çözüm yolu olmuştur. Beton ve çeliğin birlikte kullanılmasından oluşan bu kompozit yapı malzemesi “betonarme” olarak adlandırılmıştır (Yılmaz, 2006). Bu iki malzemenin birbiriyle iyi derecede uyumu yapı sektöründe çok yönlü yapıların güvenli bir şekilde yapılmasına olanak sağlamıştır. Betonarme yapılarda kullanılan çelik donatı betondaki önemli çekme gerilmelerini karşılayarak yapı elemanlarında sünekliliği önemli derecede arttırarak yapıya çok yönlü fonksiyonellik katmıştır. Çelik donatısı bu önemli avantajlarının yanında önemli bir dezavantaja sahiptir. Buda çelik donatısının zaman içerisinde çevresel etkiler sonucu korozyona uğramasıdır (Kaftan, 2006). Çelik donatı korozyonu; çevresel etkiler nedeniyle oluşan elektrokimyasal süreç sonunda metalin doğada bulunan diğer bileşikler ile tepkime yaparak metalin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin değişim olayıdır. Betonun bünyesinde yer alan portland çimentonun hidrasyonu sonucu ortaya çıkan $(CaOH)_2$ bileşeni donatı etrafında bir alkali ortam oluşturur. Bu alkali ortam çelik donatılarının üzerinde bir film tabakası oluşturarak demirin korozyonunu engeller (İlca, 2008). Her ne kadar bu durum demir donatının korozyonunu engelleyici etki yapsada, betonun servis ömründeki diğer etkenler; kalitesiz malzeme kullanımı, su/çimento oranı, agrega gradasyonu, yaş betonun

yerleştirilme esnasında gösterilen hassasiyet, betonun priz alma sürecindeki kürlenme şartları, zamanla dış etkilere (deprem, sarsıntı, mekanik yorgunluk, sıcaklık değişiklikleri vb.) dolayı meydana gelmiş kılcal veya başka türde çatlaklar sonucu su, kükürt, oksijen, klorür, sülfat, CO₂, nitrojen oksit vb. maddelerin betonun bünyesinde bulunan donatılarla kimyasal reaksiyona girmesi daha da kolaylaşır. Betona nüfuz eden bu maddeler, çelik ile kimyasal tepkime yaparak donatı korozyonunu meydana getirir. Meydana gelen bu korozyon sonucu donatı çapında kayıplar meydana gelerek, donatının mekanik özelliklerinin de yitirilmesi olayı gerçekleşir. Bunun sonucunda yapı elemanlarında çekme gerilmelerini ve kesme kuvvetlerini karşılayan donatının yapıdaki fonksiyonunu yitirmesi demektir.

Donatı korozyonunun yapıda öncelikle yaptığı en olumsuz etki aslında beton ve donatı arasında meydana getirdiği aderans kaybıdır. Aderans; iki malzeme arasında relatif kaymanın olmaması ve daimi olan bağ kuvvetine denir (Yılmaz, 2006). Betonarme yapılarda donatıda meydana gelebilecek çap kayıpları, aşınma, yüksek sıcaklık etkisiyle genleşme vb. kimyasal ve fiziksel etkiler, hem donatıların kendi arasında, hem de betonla olan aderansını önemli ölçüde olumsuz etkiler. Meydana gelebilecek aderans kayıpları yapının dinamik ve statik yükler altında ciddi ve önlenemez hasarlara yol açabilir. Bu hasarların giderilmesi ve onarılması oldukça zor ve maliyetlidir. Korozyondan dolayı ülkemizde her yıl çok büyük miktarlarda çelik ve demir kaybedilmekte ve kullanılamaz hale gelmektedir. Korozyon sonucu kaybedilen metal kendi maliyetinin çok üstünde ekonomik zarara neden olmaktadır. Bu nedenle bilim insanları bu denli hayatın her aşamasında kullanılan bu materyalin bu zayıf yönünü iyileştirme veya bu malzemeye alternatif daha iyi malzemeleri araştırma ve geliştirme çabası içine girmişlerdir. Yapının ömrünü önemli derecede olumsuz etkileyen çelik donatısının bu zayıf yönünü iyileştirmek için çeşitli yöntemler denenmiştir. Bu yöntemlerden bazıları katodik koruma, korozyon inhibitörlerin kullanımı, yüzeyi epoksi kaplanmış donatının kullanımı ve en önemli gelişme ise geleneksel inşaat çeliğine alternatif olarak antikorozyon donatılarının kullanılması olarak düşünülmüştür.

Bu antikorozyon donatılar fiber takviyeli polimerdir (FTP). FTP donatılarının kullanımı, hem yapı onarımında hem de yeni yapılan yapılarda son zamanlara kadar sınırlıydı. Bunun en önemli nedeni donatılarla ilgili sınırlı sayıda çalışma ve teknik bilginin mevcut olmasıydı fakat son zamanlarda yapılan önemli çalışmalarla FTP donatılarının kullanımını son yıllarda gittikçe arttırmıştır. FTP kullanımı özellikle ABD’de köprülerdeki korozyona karşı mücadelede kullanılmıştır. ABD’de FTP donatıları kullanılarak pek çok önemli proje başarıyla gerçekleştirilmiştir. Ayrıca bununla ilgili Amerikan Beton Enstitüsü (ACI) tarafından 2001’de FTP donatılarının kullanımıyla ilgili ilk tasarım rehberi ACI.4401R.01 yayınlanmıştır. Daha sonra 2006 yılında güncellenerek ACI.4401R.06 yayınlanmıştır. FTP donatılar gerek mekanik gerekse fiziksel olarak çelik donatıdan farklıdır. FTP geleneksel çelik donatıya göre avantajları; yüksek antikorozyon, yüksek çekme dayanımı, düşük birim ağırlık, zayıf ısı ve elektrik iletkenliğidir. Geleneksel çeliğe göre dezavantajları ise çekme gerilmesi altında akma yapmadan kopması ve düşük elastisite modülüdür. Polimer matris malzemesinin liflerle takviye edilmesiyle üretilen FTP kompozitler üretildikleri malzemeye göre farklı dayanım ve farklı şekil değiştirme özelliklerine sahip olabilmektedirler. Bunlar; karbon elyaf takviyeli polimer (KETP), cam elyaf takviyeli polimer (CETP), aramid elyaf takviyeli polimer (AETP), bazalt elyaf takviyeli polimer (BETP) donatılardır. CETP donatılarının üretim maliyetleri, diğer FTP donatı türleri olan KETP, AETP, BETP donatı türlerinden daha düşük olduğu için beton yapılarda takviye olarak kullanımı daha popülerlik kazanmıştır. FTP donatılarının özellikle yüksek sıcaklıklar altında davranış belirsizliklerinden dolayı diğer yapı türlerinde yaygın kullanıldığı kadar, binalardaki kullanımı fazla değildir. Bunun temel sebebi FTP kompozit donatıların anizotropik yapıya sahip olmalarıdır. Bu sebeple çelikten farklı olarak enine ısı genleşme katsayısı ile boyuna genleşme katsayıları farklıdır. Yaklaşık olarak enine genleşme katsayıları boyuna genleşme katsayılarının 3 katıdır (El-Gamal, 2014). Bu farklılık sıcaklık artışlarında betonda enlemesine daha büyük çatlak oluşumuna neden olacak radyal baskılar üretir. Bu baskı donatı ve beton arasındaki bağın bozulmasına yol açar. Bu nedenle yüksek sıcaklıkların FTP donatılar üzerinde etkisi ciddi bir şekilde araştırılmalıdır, çünkü FTP donatıların yangın performansı hala literatürde kapsamlı bir şekilde ele alınmamıştır.

Beton ve donatı arasındaki bağ davranışı betonarme yapıların en önemli konularından biri olup, yapısal özellikler, donatı ve beton özellikleri gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. Elyaf takviyeli polimer donatıların, yüksek korozyon dayanımına, yüksek çekme dayanımına ve hafif bir malzeme olma özelliklerine sahip olması nedeniyle, geleneksel çelik donatının yerine kullanılabilmesi düşünülmektedir. Elyaf takviyeli polimerlerin, betonun içinde donatı olarak kullanılabilirliğindeki en kritik sorunlardan biri de aderans (kenetlenme) kapasitesidir. Bu proje çalışmasında, cam elyaf takviyeli polimer donatı çapının, beton dayanımının ve yüksek sıcaklığın aderans dayanımına nasıl etki ettiği kapsamlı bir şekilde araştırılmıştır.

Bu çalışmada; C20/25 ve C40/50 beton sınıflarında ve her beton sınıfı için ayrı ayrı 4 farklı çaptaki cam elyaf takviyeli plastik (CETP) donatıları ile hazırlanan numunelerin beton ve donatı arasındaki aderans dayanımları sıyırılma testiyle araştırılmıştır. Böylece çaptaki ve beton dayanımındaki değişimin donatı ile beton arasındaki aderans dayanımına etkisi incelenmiştir.

Ayrıca C20/25 ve C40/50 beton sınıflarında ve her beton sınıfı için ayrı ayrı 12 mm ve 16 mm çapındaki CETP donatısı ile oluşturulan numuneler 3 farklı sıcaklığa (25, 150, 250 °C) maruz bırakıldıktan sonra soğumaya bırakılan numuneler sıyırılma testine tabi tutulmuştur. Yapılan bu test ile yüksek sıcaklığın beton ve donatı arasındaki aderans dayanımına etkisi incelenmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Ekiz (2013), çalışmasında çelik ile Cam Elyaf Takviyeli Polimer (CETP) donatıların aksenel çekme dayanımı, aderans ve kiriş eğilme dayanımı testlerini yapmıştır. Aksenel çekme deneyinde 8 mm ve 12 mm çapında donatılar kullanılmıştır. Yüzeyi düz, nervürlü ve yüzeyi kum kaplı CETP donatılardan ve çelikten ayrı ayrı 3'er adet numune test edilmiştir. Yapılan aksenel çekme testinde çelikten sonra en iyi çekme dayanımını düz yüzeyli CETP donatı vermiştir. Yapılan aderans testinde ise farklı iki beton sınıfında, 8 mm çapında donatılar kullanılmıştır. 25 cm uzunluğundaki donatılar beton numunelerin merkezine aksenel olarak gömülmüş olup çalışmada her donatı çeşidi için 3'er adet numune hazırlanmıştır. Daha sonra numunelere sıyrılma testi uygulanmıştır. Sıyrılma testinde en iyi sonuç çelik donatı vermiştir. Çelik donatısından sonra en iyi sonuç yüzeyi kumlu CETP donatılı numunelerde elde edilmiştir. Yüzeyi kumlu donatılar; düz ve nervürlü CETP donatılara göre %40 daha fazla sıyrılma direnci göstermiştir. Eğilme testlerinde en iyi sonuç çelik donatılı numunelerden sonra yüzeyi kumlu CETP donatılı numunelerden elde edilmiştir. Yapılan bu çalışmada çekme deneylerinde CETP donatıların çelik donatılar gibi iyi sonuçlar verdiği ifade edilmiştir. Ayrıca CETP donatıların aderansını artırmak için yüzey özelliklerini değiştirmek gerektiği ve donatı yüzeyinin kumlanması aderansı olumlu yönde etkilediği sonucuna varılmıştır.

Polat ve ark. (2017), yapmış oldukları çalışmada çelik ve CETP donatılarını kademeli artışlarla 800 °C sıcaklığa kadar bekletmişlerdir. Çalışmada CETP donatılar yüksek sıcaklığa maruz bırakıldıktan sonra aksenel çekme testine tabi tutularak malzemenin mekanik özellikleri kıyaslanmıştır. Ayrıca beton küp numuneler ise sıcaklık etkisinden sonra basınç testine tabi tutulmuşlardır. Beton küp içerisine aksenel olarak gömülmüş CETP ve çelik donatılar ise sıyrılma testine tabi tutulmuşlardır. Basınç dayanımı deneyi sonucunda, beton küp numunelerin 600 °C'ye kadar basınç dayanımlarının %55'ni kaybettiği, 800°C'ye kadar ise dayanımlarının %88'ini kaybettiği görülmüştür. Yalın halde sıcaklığa maruz

bırakılan çelikte ve CETP donatılarında sıcaklık etkisi sonrası şu şekilde bir sonuç elde edilmiştir; çelikte 600 °C'ye kadar akma dayanımında bir değişiklik gözlenmezken, 800 °C'de %30'luk bir kayıp gözlemlenmiştir. CETP donatısında ise 300°C'ye kadar ciddi bir kayıp meydana gelmiş olup, 600° C'de ise malzeme tamamen yok olmuştur. Sıyırılma testinde ise betonun içine donatı çapının 5 katı kadar gömülmüş olup geri kalan kısmı ise boş bir plastik borunun içinde serbest bırakılmıştır. Numuneler 800 °C'ye kadar sıcaklığa kademeli bir şekilde maruz bırakılmıştır. Betonun dışındaki donatı kısmında direkt sıcaklıktan etkilenmemesi için sıva kaplama yapılmıştır. Elde edilen sonuçlarda çelik donatılı numunelerde 400 °C'ye kadar %30'luk bir kayıp olurken, 600 °C'ye kadar %50'lik bir kayıp gözlemlenmiştir. Daha yüksek sıcaklıklarda ise aderans tamamen kaybolmuştur. Betona gömülü CETP donatılarda ise 250 °C'ye kadar aderans kayıplarında %30'luk bir kayıp söz konusu olup, 400 °C'ye kadar %50'lik bir aderans kaybı söz konusu olmuştur. Çalışmada 600 °C'den daha yüksek sıcaklıklarda ise CETP donatı ve beton arasındaki aderans tamamen kaybolmuştur.

El-Gamal (2014), tarafından yapılan çalışmada farklı sürelerde ve farklı sıcaklık etkisine maruz bırakılan numunelerde beton ile CETP donatı arasındaki aderans kaybı incelenmiştir. Çalışmada 800 mm uzunluğunda CETP donatıları 200x200x200 mm ebatlarındaki beton küp numunelerin merkezine yerleştirilmiş olup gömülme derinliği 40 mm'dir. Donatının geri kalan kısmı ise kılıf içinde serbest tutulmuştur. Hazırlanan numunelerin beton basınç dayanımı 60 MPa'dır. Kullanılan CETP donatıların çapı ise 8 mm olarak belirlenmiştir. Donatıların çekme esnasında başlık kısımlarının ezilmemesi için içi kimyasal esaslı epoksi doldurulmuş çelik başlıklar monte edilmiştir. Çalışmada 100, 200 ve 350 °C sıcaklıkta ve her sıcaklıkta 1, 2, 3'er saat maruz bırakılan 39 numunenin aderans dayanımı INSTRON test cihazı ile belirlenmiş olup, beton numunelerin alt kısmına monte edilen LVDT(Linear Variable Differential Transformer) ölçüm cihazı ile donatının sıyırılma miktarı ölçülmüştür. Yapılan deney sonuçları verilerine göre CETP donatılarda sıcaklık seviyesi ve etki süresi arttıkça aderansın azaldığı anlaşılmıştır. Maksimum aderans kaybı 350 °C sıcaklık değerindeki 2 ve 3 saatlik maruziyetlerde meydana gelmiştir. Bu aderans kaybı yaklaşık %50 olarak tespit edilmiştir. Ayrıca betona gömülü

donatılarda 100 ve 200 °C sıcaklık maruziyetinden sonra herhangi bir renk değişikliği gözlenmemiştir. Çalışmada 300 °C’de 1 saat bekleyen donatılar sarı renge, 3 saat sonrada kahverengine dönüşmüştür. Bu renk değişimi donatı ile beton arasındaki bağ kuvveti kaybı ile ilişkilidir.

Aydın (2019), yapmış olduğu çalışmada çelik ve 3 farklı türdeki (CETP, KETP, AETP) FTP donatılarının çekme dayanımlarını, eksenel çekme deneyi ile incelemiştir .Yapılan eksenel çekme deneyleri sonucunda en yüksek çekme dayanımı AETP donatısında, 760 MPa olarak kaydedilmiştir. Diğer donatılardaki çekme dayanımları sırasıyla; KETP donatısında 720 MPa, çelik donatısında 673 MPa ve CETP donatısında ise 630 MPa olarak ölçülmüştür. Sonuçlara bakıldığında tüm FTP donatıların maksimum çekme dayanımları, çelik donatısının akma dayanım değerinden yüksek oldukları görülmüştür. Bu yapılan deneyde donatılarda meydana gelen birim deformasyonlar karşılaştırıldığında ise %29.8 birim deformasyonla çelik donatısında en büyük birim deformasyon meydana gelmiştir. Çelik donatısından sonra en büyük birim deformasyon %14.6 ile AETP donatısında meydana gelmiştir. Bunu %11 birim deformasyonla KETP donatısı izlemiştir. En az birim deformasyonun meydana geldiği donatı türü ise %10.3 birim deformasyonla CETP donatısıdır. Bu çalışmada ayrıca nervürlü CETP, yüzeyi kumlanmış CETP, nervürlü AETP, nervürlü KETP ve nervürlü çelik olmak üzere 5 farklı donatı türünün beton ile aderansını incelemek için hazırlanan numunelere sıyırılma deneyleri uygulanmıştır. Numunelere eksenel olarak yerleştirilen donatılar 12 mm çapında ve 300 mm uzunluğundadır. Bu deneyde hazırlanan numuneler C20, C30, C40 beton sınıflarında ayrı ayrı hazırlanmıştır. Her donatı türü için 3’er adet numune hazırlanarak, toplamda 45 adet beton numune sıyırılma deneyine tabi tutulmuştur. Yapılan deneyler sonucunda beton dayanım sınıfı arttıkça beton ile donatılar arasındaki aderansın arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca en iyi aderans nervürlü CETP donatısında tespit edilmiştir. Yüzeyi kumlu CETP donatısında kum ile donatı iskeleti arasındaki zayıflıklardan dolayı kum tabakasındaki dökülmelere bağlı sıyırılmalar meydana gelmiştir.

Özşahin ve ark. (2015), yapmış oldukları çalışmada, sonlu elemanlar yönteminin kullanıldığı ATENA bilgisayar yazılımı ile modellenen betonarme kirişlerde, normal çeliğin ve FTP donatılı numunelerin eğilme etkisi altındaki davranışlarını incelemişlerdir. Bu çalışmada kirişler; 3 boyutlu olarak tasarlanmıştır. Bu kirişler geleneksel çelik, KETP, CETP, AETP donatılı olmak üzere her donatı türü için ayrı ayrı tasarlanmıştır. Kirişler C30/37 beton sınıfında ve 2 adet 18 mm çapında donatı kullanılarak oluşturulan numunelerin tekil yük etkisinde doğrusal olmayan analizleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda FTP donatılarının geleneksel çelikten daha yüksek çekme dayanımlarına sahip olmalarına rağmen, çekme gerilmelerinin çok altındaki değerlerde basınç bölgelerindeki betonda ezilme ve göçmelerin meydana geldiği ifade edilmiştir. Ayrıca FTP donatıların çekme etkisinde kopma gerçekleşmeden önce plastik davranış göstermedikleri tespit edilmiştir. FTP donatılı modellerin geleneksel çelik donatılı modellere göre daha hızlı çatlak oluşumunun ve çatlak büyüklüğünün daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.

Hamad ve ark. (2017), iki bölümden oluşan deneysel bir çalışma yapmışlardır. Çalışmanın ilk bölümünde çelik, nervürlü CETP, yüzeyi kumlanmış KETP, nervürlü BETP olmak üzere 4 çeşit donatı yüksek sıcaklığa maruz bırakıldıktan sonra eksenel çekme deneyine tabi tutulmuşlardır. Bu çalışmada kullanılan donatılar 10 mm çapında ve 600 mm uzunluğundadır. Bu çalışmada her donatı türü için 18 adet numune kullanılmış olup, 3 tanesi oda sıcaklığında bırakılıp test edilmiştir. Geri kalan numuneler ise her sıcaklıkta 3'er numune olacak şekilde 125, 250, 325, 375 ve 450 °C sıcaklıklarına 30 dakika maruz bırakıldıktan sonra oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır. Tüm donatıların her iki ucuna 200 mm uzunluğunda, 42 mm çapında ve 4 mm cidar kalınlığına sahip çelik boruların içi epoksi ile doldurularak eksenel çekme testine tabi tutulmuştur. Yapılan test sonuçlarına göre; 325 °C'e kadar CETP, BETP donatılarında çekme dayanımları ve elastisite modülündeki azalmalar sırasıyla % (45-55) ve (%20-30) olup ve bu azalmalar doğrusaldır. Yüzeyi kumlanmış KETP donatısında ise 325-450 °C sıcaklıkları arasında %37'sini koruyabilmiştir, 450 °C sıcaklığında ise büyük bir kayıp gözlemlenmiştir. 450 °C'de tüm FTP numuneler tamamen hasar görmüş ve mekanik açıdan test edilememiştir. Oysa çelik donatı 450

°C’de FTP donatılarına göre sıcaklıktan çok etkilenmemiştir, çekme dayanımı ve elastite modülünde sırayla %5.3 ve %7.7’lik kayıplar söz konusu olmuştur. Çalışmanın ikinci bölümünde ise, C40/50 sınıfında üretilen beton numunelerin orta kısmına eksenel olarak yerleştirilen 10 mm çapındaki 4 tür donatı ile üretilen 60 adet küp numune 23, 125, 250, 325 °C sıcaklıklarına ayrı ayrı fırında 3 saat boyunca tutulmuştur. Daha sonra bu numuneler oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır. Soğuma işleminden sonra test için uzunluğu 100 mm, çapı 20 mm ve iç cidar kalınlığı 3 mm çelik boru ile donatıya başlık yapılmış ve test makinesinde sıyrılmaya tabi tutulmuşlardır. Yapılan testler sonucunda 23, 125, 250, 325 °C sıcaklıklarda, sırasıyla çelik donatıda %0, %5.5, %20, %27.2, nervürlü CETP donatıda %0, %27.4, %51.2, %79.2, BETP donatısında %0, %21.8, %61.9, %79.9 ve KETP donatısında %0, %16, %43.6, %81.5 aderans kayıpları gözlemlenmiştir. Bu çalışmada FTP donatılarının betonla aderansının büyük bir bölümünü kaybettiikleri kritik sıcaklığın 325 °C olduğu tespit edilmiştir.

Saleh ve ark. (2012), yapmış oldukları çalışmada, yüzeyi kaplamalı, kaplamasız 12 mm çapındaki nervürlü CETP donatılara farklı sıcaklık ve farklı maruziyet süreleri sonrası eksenel çekme deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Birinci durumda CETP donatıları kaplamasız ve 1000 mm uzunluğunda, ikinci durumda ise her tarafı 4 mm beton örtüsüyle kaplanmış durumda ve 1080 mm uzunluğundadır. Numuneler farklı süre zarflarında ve farklı sıcaklık değerlerine tabi tutulduktan sonra deneyler gerçekleştirilmiştir. İlk olarak numuneler 100, 200, 300 °C sıcaklıklarında ve her sıcaklık düzeyinde 3 farklı süre boyunca (1, 2, 3 saat) bekletilmiştir. Sıcaklık maruziyetinden sonra soğumaya bırakılan numuneler eksenel çekme testine tabi tutulmuşlardır. Test sonuçlarına göre çıkan sonuçlar şu şekildedir; sıcaklık derecesinin ve maruz kalma süresinin artması, eksenel çekme dayanımını azaltmıştır. Beton kaplı CETP donatılarda çekme dayanım kayıpları %3.1-%35.1 arasında değişirken, beton kaplı olmayan numunelerde çekme dayanım kayıpları ise %9.7-%41.9 arasında değişmiştir. Numunelerin 4 mm beton örtüsüyle kaplanması, çekme dayanımı kayıplarını kaplamasız CETP donatılara kıyasla %16-%68 arasında azaltmıştır. Maruz kalma sürelerine bakılmaksızın yapılan beton kaplamasının daha düşük sıcaklık (100 °C) seviyesinde etkili olduğu görülmüştür. Daha yüksek sıcaklık

seviyelerinde (200 ve 300 °C) kaplama daha az etkili olmuş ve çekme dayanımı kayıpları sırayla %31.5 ve %18.6 oranlarında azalmıştır.

Lee ve ark. (2007), yapmış oldukları çalışmada CETP donatısı ve çelik donatıları ile hazırlanan farklı beton sınıflarındaki numunelerde, betonla CETP donatı arasındaki aderans dayanımlarını incelemişlerdir. Çalışmada kullanılan donatılar 12.7 mm çapında ve 810 mm uzunluğunda olup donatılar beton numunelerin merkezine aksel olarak yerleştirilmiştir. Beton basınç dayanımları 25 MPa ve 92 MPa arasında değişen, 6 farklı beton dayanım sınıfında numuneler hazırlanmıştır. Çalışmada hazırlanan 54 adet numune daha sonra 28 gün kür havuzunda muhafaza edildikten sonra sıyırılma deneyine tabi tutulmuşlardır. Test sonuçlarına göre beton dayanımı arttıkça tüm donatı tiplerinde beton ile donatılar arasındaki aderans artmıştır. Çelikteki aderans dayanımı artışı diğer CETP donatılardan daha fazla olmuştur. Deney sonucunda numuneler incelendiğinde çelik donatılı numunelerde donatı çevresindeki beton ezilmesi sonucu numunelerde kırılmaların meydana geldiği görülmüştür. CETP donatılı numunelerde bu kırılmalar ise genellikle donatı dış tabakadaki nervürler, elyaf ve reçineler arasındaki bozulmalardan kaynaklanmıştır. Aderans dayanımı ile beton dayanımı arasında 0.3'lük bir katsayının olduğu sonucuna varılmıştır.

Masmoudi ve ark. (2011), yapmış oldukları çalışmada farklı 2 çaptaki CETP donatısı ile hazırlanmış küp numuneler kuru ortamda, 20, 40, 60, 80 °C sıcaklıklarda 4 ve 8 aylık zaman periyotlarında ayrı ayrı bekletilerek donatı ile beton arasında meydana gelecek aderans kayıplarını sıyırılma deneyi ile incelemişlerdir. Çalışmada 8 mm ve 16 mm çaplarında CETP donatılar kullanılmıştır. Kullanılan beton dayanımı 30 ± 3 MPa'dır. Dökülen numuneler 28 gün 20 °C'de kür havuzunda bekletildikten sonra referans numuneleri 20 °C kuru ortamda, diğer numuneler ise ayrı ayrı 40, 60, 80 °C 'deki bekletme odalarında 4 ay ve 8 ay boyunca bekletilmişlerdir. Test sonuçlarına göre hem 8 mm hem de 16 mm çaplarındaki numunelerde 60 °C'e kadarki tüm sıcaklık ve zaman periyotlarında aderans kaybı yaşanmamıştır. 80 °C sıcaklıkta 8 mm çapındaki donatılı numunelerde referans numunelere göre 8 ay sonunda maksimum %10'luk bir aderans kaybı olmuştur. 16

mm çapındaki donatılı numunelerde bu aderans kaybı maksimum %14 olarak tespit edilmiştir. Tüm numunelerde 8.ayın sonuna kadar donatılarda herhangi bir bozulma gözlenmemiştir. Ayrıca çap artkça aderans dayanımının düştüğü tespit edilmiştir.

Hao ve ark. (2009), yapmış oldukları çalışmada farklı nervür geometrisine sahip CETP donatılarının beton ile aderansı incelenmiştir. Çalışmada 8 mm, 10 mm ve 12 mm çaplarındaki CETP donatıları kullanılmıştır. CETP donatıların nervür derinliği, çapının %3- %9'u arasında değişmiştir. Nervürler arası boşluk miktarı ise donatı çapının 0.5-3 katı arasında değişmektedir. Çalışmada 30 MPa basınç dayanımındaki 15x15x15 beton küp numunelerin içine eksenel olarak yerleştirilmiş, 550 mm uzunluğunda ve 4d gömülme derinliğinde donatı bulunan 90 adet CETP donatılı numune hazırlanmıştır. Yapılan sıyırılma testi sonuçlarına göre en iyi aderans dayanımının nervür derinliğinin donatı çapının %6'sı oranında olduğu numunelerde meydana gelmiştir.

Abbasi ve ark. (2008), yapmış oldukları çalışmada üç farklı tipteki CETP donatının alkali ortam ve farklı sıcaklıklar etkisi altında elastisite modülü ve aderans dayanımındaki değişimler incelenmiştir. Çalışmada 400 mm uzunluğunda ve 12.7 mm çapında CETP donatılar çapının 5 katı kadar beton numunelerin merkezine yerleştirilmiştir ve sıyırılma testi esnasında numunelerin baş kısmının ezilmemesi için 70 mm uzunluğunda çelik başlık yapılmıştır. Hazırlanan numunelerin bir kısmı pH değeri 7 olan musluk suyundan oluşan su ortamında 1, 4 ve 8 ay boyunca bekletilmişlerdir. Numunelerin diğer kısmı pH değeri 12.5 olan NaOH çözeltisi ortamında 1, 4 ve 8 ay boyunca bekletilmişlerdir. Tüm numuneler 15-20 °C sıcaklıkta belirtilen ortamlarda ve belirtilen süreler boyunca tutulmuşlardır.. Daha sonra belirtilen sürelerde bu ortamlarda bekletilen numuneler 20-25, 40, 60, 80, 120 °C sıcaklıklarına maruz bırakıldıktan sonra sıyırılma deneyine tabi tutulmuşlardır. Yapılan deneylerde elde edilen sonuçlara göre alkali ortamda bekleme süresinin artması beton ile CETP donatılar arasındaki aderans dayanımına olumlu etki yapmıştır. Sıcaklık artışının CETP donatı ile beton arasındaki aderans dayanımı üstünde olumsuz etkisi olduğu gözlemlenmiştir. En yüksek aderans dayanımları 8 aylık pH değeri 12.5 olan alkali ortamda beklemiş ve en düşük sıcaklıklığa maruz

bırakılmış numunelerde meydana gelmiştir. En düşük aderans dayanımları ise Ph değeri 7 olan musluk suyundan oluşan ortamda bekletilmiş ve 120 °C sıcaklığa maruz bırakılmış numunede meydana gelmiştir.



3.MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1 Çimento

Tez içeriğinde yapılan tüm deney çalışmalarında özgül ağırlığı 3.14 gr/cm^3 olan CEM-I 42.5R tipi Portland çimentosu kullanılmıştır. Çimentoya ait kimyasal özellikler Çizelge 3.1’de sunulmuştur.

Çizelge 3.1. Çimento kimyasal kompozisyonları

Malzeme Kompozisyonları	Çimento
SiO ₂ (%)	18.66
Al ₂ O ₃ (%)	4.44
Fe ₂ O ₃ (%)	3.85
CaO (%)	62.43
MgO (%)	3.13
SO ₃ (%)	2.81
K ₂ O (%)	0.59
Na ₂ O (%)	0.20
Kızdırma Kaybı(%)	3.07

3.1.2 Agrega

Beton karışımlarında Şekil 3.1’de görülen 3 tip agrega kullanılmıştır. Agregalar kalker esaslı kırma taştır. Karışımlarda kullanılan agrega dane çapları; (0-7) mm, (7-15) mm, (15-25) mm aralığındadır. Kullanılan agregaların fiziksel özelliklerden doygun yüzey kuru birim ağırlık ve su emme oranları Çizelge 3.2’de verilmiştir. Her bir agregaya uygulanan elek analizi deneyinin sonuçları ve karışım agregasına ait elek analizi sonuçları Çizelge 3.3’de verilmiştir.



Şekil 3.1. Karışımlarda kullanılan agregalar

Çizelge 3.2. Agrega fiziksel özellikleri

Agregalar	Doygun Yüzey Kuru Birim Ağırlık (gr/cm ³)	Su emme oranı (%)
Kırma Kum (0-5) mm	2.58	2.4
Kırma Taş 1 (7-15) mm	2.52	2.9
Kırma Taş 2 (15-25) mm	2.60	2.0

Çizelge 3.3. Agrega elek analizi tablosu

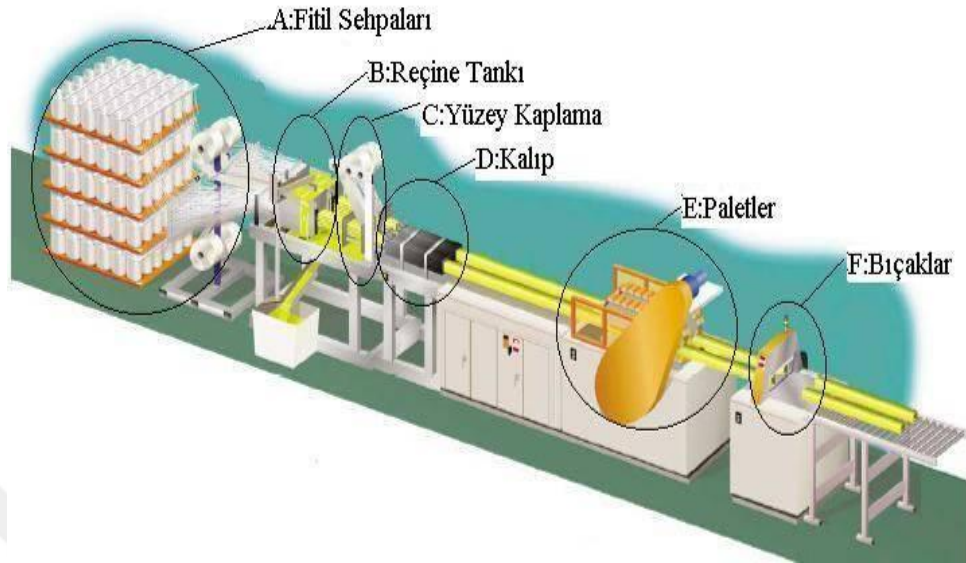
Agrega Elek Analizi								
Agrega Tipi	Elekler (mm)							
	31.5	16	8	4	2	1	0.5	0.25
Kırma Kum	100	100	100	87	66	48	36	26
Kırma Taş 1	100	100	56	3	2	0	0	0
Kırma Taş 2	100	42	0	0	0	0	0	0
Karışım Agregası	100	84	65	48	37	26	20	14

3.1.3 Kimyasal katkı

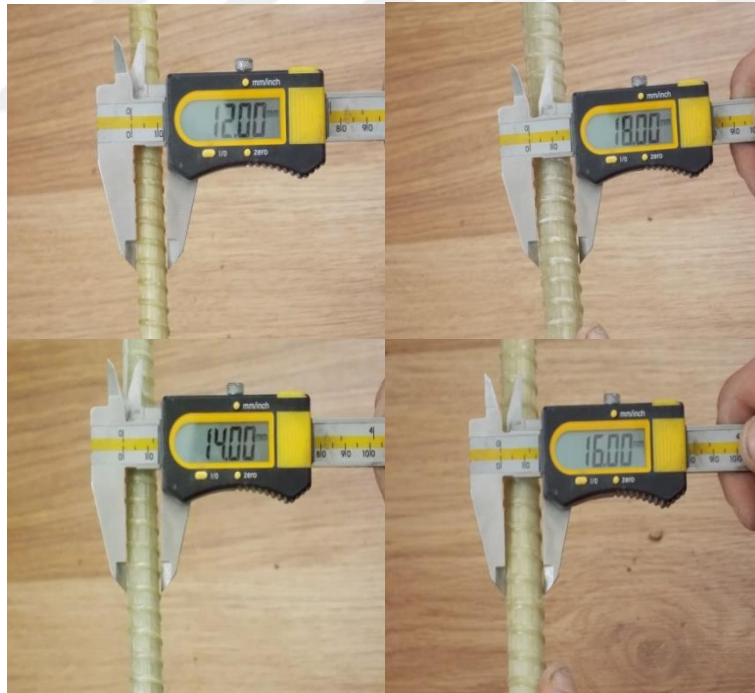
Karışımlarda işlenebilirliği artırmak için LYKSOR Yapı Kimyasalları A.Ş tarafından üretilen DEXP 328 hiper akışkanlaştırıcı katkı türü kullanılmıştır. Kullanılan katkının birim ağırlığı 1.02 gr/cm³ tür.

3.1.4 Cam elyaf takviyeli polimer (CETP) donatı

Bu tez çalışmada pultrüzyon yöntemiyle üretilmiş CETP donatılar kullanılmıştır. Şekil.3.2.'de pultrüzyon yönteminin aşamaları görülmektedir. Pultrüzyon metodu cam elyaf malzemesinin bir reçine matrisi ile birleştirilerek 120 - 150 °C 'ye kadar ısıtılmış bir kalıptan çekilmesi yöntemidir (Ekiz, 2013). Kullanılan CETP donatıları Turaş A.Ş. tarafından üretilmiştir. Çalışmada Şekil 3.3'de görülen 4 farklı çapta CETP donatısı kullanılmıştır. Bu donatı çapları 12 mm, 14 mm, 16 mm ve 18 mm'dir. Deneylerde kullanılan tüm çaptaki CETP donatılar 400 mm uzunluğundadır. CETP donatısının mekanik özellikleri ve performans değerleri üretici firmadan alınmış olup, Çizelge 3.4'te sunulmuştur.



Şekil 3.2. Plutruzyon metodunun prosesi



Şekil 3.3. Çalışmada kullanılan CETP donatıları

Çizelge 3.4. CETP donatı özellikleri ve performans değerleri

Temel Gereklar	Ürün Özellikleri	Performans Değerleri
Mekanik Dayanım ve Stabilitite	Çekme Dayanımı	Min 800 MPa
	Young Modülü(Elastisite Modülü)(%20-%50 çekme gerilmesinde) MPa	27000-29800
	Betonla Yapışma Gerilimi	Min 12 MPa
	Alkali Ortamda Mukavemet	Min 600 MPa
	Alkali ortamdan sonra beton ile yapışma gerilimi	Min 10 MPa
	Enine çekme dayanımı	Min 200 MPa
	Uzunlamasına termal genleşme	2.2×10^{-7} (1°C)

3.2. Yöntem

3.2.1. Numunelerin üretimi

Bu tez çalışmasında malzeme karışım oranları belirlendikten sonra beton karışımlar hazırlanmaya başlanılmıştır. Karışımlarda Şekil 3.4.'de görülen 25 dm³ kapasiteli laboratuvar tipi beton karıştırıcı kullanılmıştır. Beton karışımlar C40 ve C20 olmak üzere iki farklı beton sınıfı için hazırlanmıştır. Her iki beton sınıfına ait malzemelerin karışım oranları Çizelge 3.5'de verilmiştir.



Şekil 3.4. Karışımların hazırlanmasında kullanılan karıştırıcı

Çizelge 3.5. Beton karışımındaki malzeme miktarları

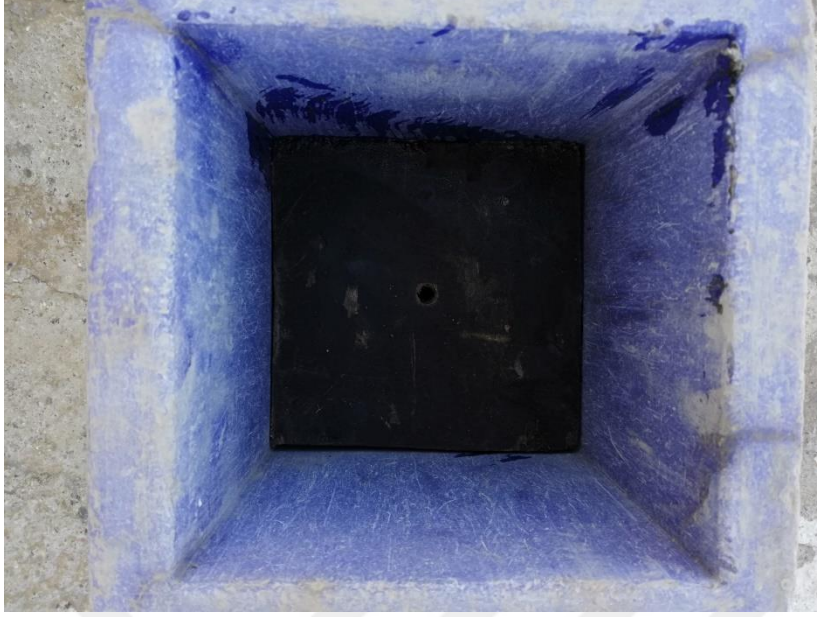
Beton Sınıfı	1 m ³ için miktar (kg)						
	Doğal Kum	Kırma Taş 1	Kırma Taş 2	Çimento	Su	Su/Çimento	Kimyasal Katkı (%)
C20	875	403	548	290	190	0,65	0,9
C40	920	275	465	450	180	0,40	1.2

Çizelge 3.5.'deki verilen iki dayanım sınıfına ait beton karışımının kıvamını belirlemek için çökme testi yapılmıştır (Şekil 3.5.). Yapılan çökme testinde C20 beton sınıfındaki karışımlarında ortalama çökme 170 mm, C40 beton sınıfında ise ortalama çökme 100 mm olarak elde edilmiştir.



Şekil 3.5. Taze beton çökme deneyi

Sıyırılma deneyi için beton numuneler hazırlanmadan önce Şekil 3.6.'da görülen 150x150x150 mm'lik plastik küp kalıplara CETP donatısını merkezlemek için, orta kısmında 10 mm çapında delik bulunan 150x150x20 mm ebatlarında playwood plaka yerleştirilmiştir. Beton kalıplar yağlandıktan sonra 400 mm uzunluğunda kesilmiş CETP donatılar dik bir şekilde küp kalıpların içine yerleştirilmiştir (Şekil 3.7).



Şekil 3.6. Beton dökümünde kullanılan kalıplar



Şekil 3.7. CETP donatıların küp kalıplara yerleşimi

Üretilen beton karışımlar Şekil 3.8.'de görüldüğü gibi kalıplara üç aşamada yerleştirilmiş olup sarsma tablasında titreşim uygulanarak sıkıştırılması sağlanmıştır. Daha sonra üst yüzeyleri düzeltildikten sonra prizini almaya bırakılmıştır.



Şekil 3.8. Numunelerin sarsma tablasında vibrasyona tabi tutulması

Hazırlanan beton numuneler dökümden bir gün sonra kalıplardan çıkarıldıktan sonra 28 gün boyunca Şekil 3.9'da görüldüğü gibi 23 ± 2 °C' deki kür havuzunda bekletilmiştir. Çizelge 3.5.'deki karışım oranları kullanılarak her bir dayanım sınıfı için 72 adet olmak üzere toplamda 144 adet numune üretilmiştir.



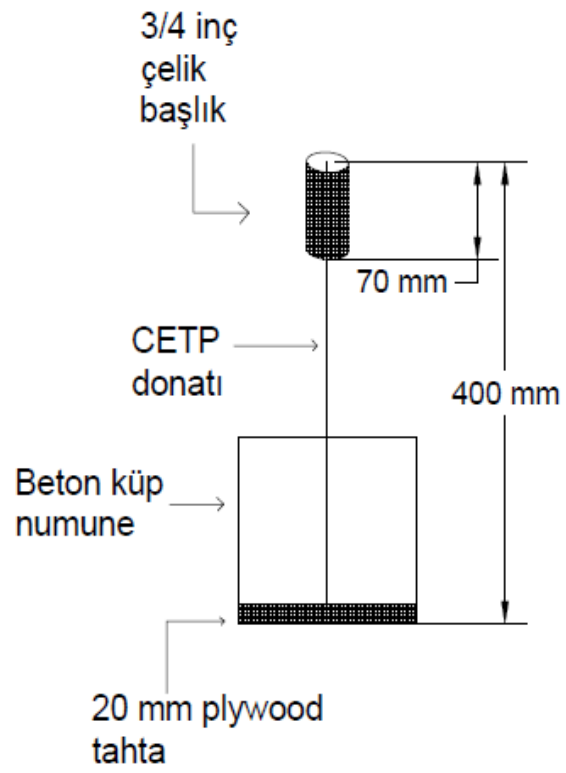
Şekil 3.9. Numunelerin kür havuzunda kür edilmesi

Tüm numuneler kür havuzlarında 28 günlük dayanımlarını kazandıktan sonra kuru ortamda birkaç gün bekletildikten sonra, sıyrılma testi için gerekli hazırlıklara başlanılmıştır. Yüksek sıcaklıklara maruziyetin aderans dayanımı üzerindeki etkisinin incelenmesi için deney aşamasından önce, 12 adet numune referans numunesi olarak 25 °C oda sıcaklığında bekletilmiş olup, 12’şer adet numune 150 ve 250 °C sıcaklıktaki etüvde 3 saat bekletildikten sonra oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır (Şekil 3.10.). Sıcaklık etkisinin araştırıldığı numunelerde 12 mm ve 16 mm olmak üzere 2 farklı çapta CETP donatı kullanılmıştır.



Şekil 3.10. Etüvde numunelerin yüksek sıcaklığa maruz bırakılması

Çekme cihazının çenelerinin deney esnasında CETP donatıyı ezmemesi için, numuneler sıyrılma deneyine tabi tutulmadan önce, CETP donatıya dış çapı 26.9 mm, iç çapı 21.1 mm ve cidar kalınlığı 2,9 mm olan çelik boru kimyasal esaslı epoksi kullanılarak yapıştırılmıştır (Şekil 3.11.).

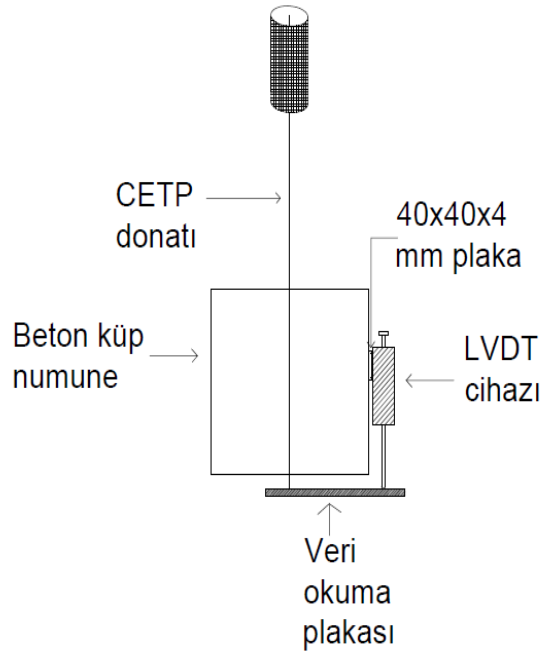


Şekil 3.11. Numune sıyırılma testine hazırlık şeması



Şekil 3.12. Numunelere (40x40x4 mm) çelik plaka ve çelik başlığın montaj edilmesi

Deney esnasında sıyırılma miktarının okunmasını yapacak LVDT cihazının numuneye sabitlenmesi için ise 40x40x4 mm ebatlarında çelik plaka numunelere kimyasal esaslı epoksi ile yapıştırılmıştır (Şekil 3.12.). Başlık ve plaka montajının tamamlanmasından sonra her deney başlangıcında numunelerdeki donatının yüklenmemiş ucundaki kısmına sıyırılmanın okunabilmesi için Şekil 3.13.'de gösterildiği gibi veri okuma plakası montaj edilmiştir.



Şekil 3.13. Numunelerin sıyırılma testi konfigrasyonu

3.2.2. Sıyırılma deneyi

Cam elyaf takviyeli polimer donatı ile hazırlanan beton numunelerin aderans dayanımı deneysel olarak üç aşamada incelenmiştir. Birinci aşamada CETP donatı çapındaki değişimin aderans dayanımı üzerindeki etkisi incelenmiştir. İkinci aşamada beton dayanımının CETP donatısı ile beton arasındaki aderans dayanımına etkisi araştırılmıştır. Üçüncü aşamada ise yüksek sıcaklığın aderans dayanımı üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Hazırlanan numunelere uygulanan sıyırılma deneyinde geleneksel donatı çekme cihazına monte edilen çelikten yapılmış özel bir aparat kullanılmıştır. Sıyırılma deneyinde kullanılan çekme cihazının hızı 2 mm/dk olarak belirlenmiştir. Yapılan sıyırılma deneyi düzeneği Şekil 3.14.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.14. Sıyırılma deneyi düzeneği

Yük, çekme cihazının elektronik yük hücresi ile ölçülmüştür. CETP donatısının serbest ucundaki sıyırılma ise yüksek hassasiyetli LVDT ile ölçülmüştür. Uygulanan yükler ve LVDT okumaları veri kayıt cihazı ile otomatik olarak kaydedilmiştir. CETP donatı ve beton arasındaki aderans dayanımı Denklem 3.1'e göre hesaplanmıştır.

$$\tau = \frac{P}{\pi \times l \times d} \quad (3.1)$$

Burada;

τ : Aderans dayanımı (N/mm²)

P: Maksimum çekme kuvveti (N)

l: Donatı gömülme derinliği (mm)

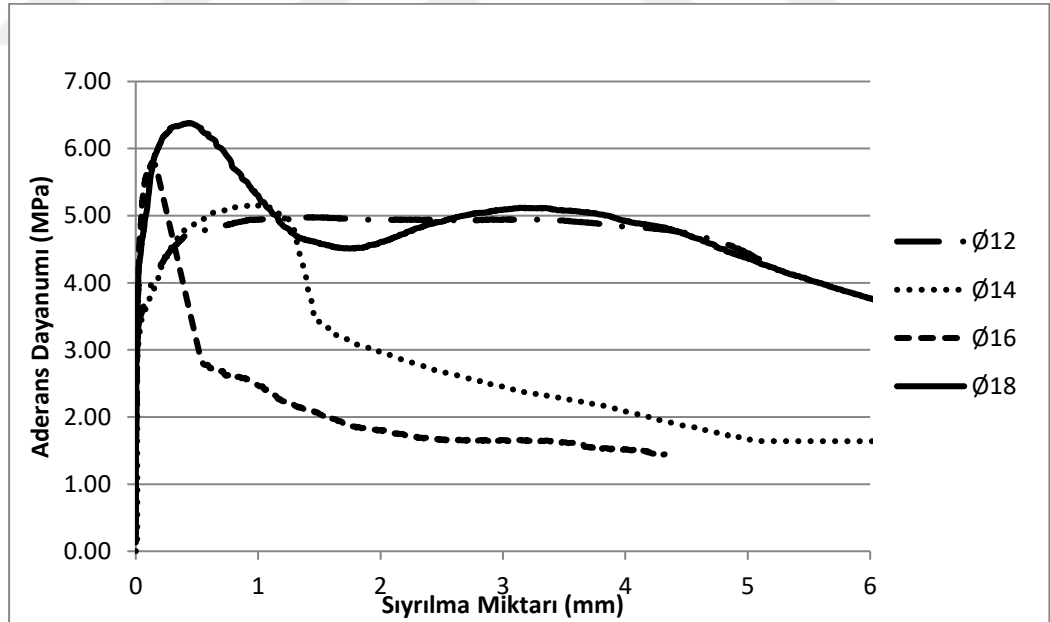
d: Donatı çapı (mm)

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Cam elyaf takviyeli donatı ile hazırlanan beton numunelerin aderans dayanımı deneysel olarak üç aşamada incelenmiştir. Birinci aşamada 12, 14, 16 ve 18 mm çaplarındaki CETP donatısı ile üretilen beton numunelerde aderans dayanımı incelenmiştir. İkinci aşamada C20 ve C40 beton sınıflarının CETP donatısı ile beton arasındaki aderans dayanımına etkisi araştırılmıştır. Üçüncü aşamada ise yüksek sıcaklığın (25, 150 ve 250 °C) aderans dayanımı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Deneysel çalışma sonucunda elde edilen bulgular 3 başlık halinde aşağıda sunulmuştur.

4.1. Donatı çapındaki değişimin aderans dayanımına etkisi

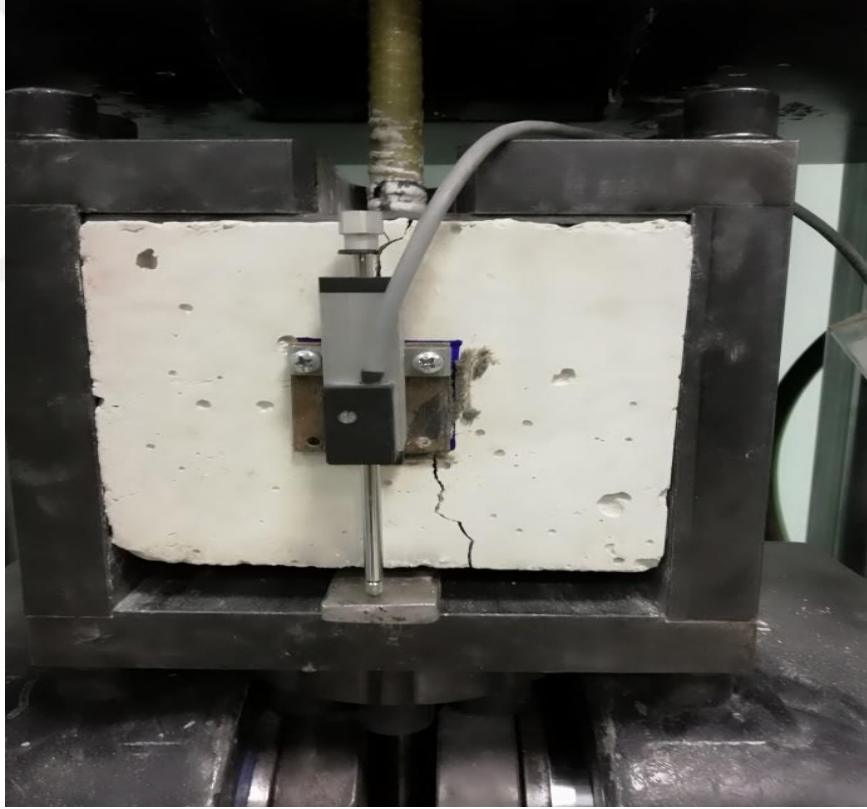
C20 beton sınıfı için 12, 14, 16 ve 18 mm çaplarına sahip CETP donatısı ile üretilen numunelerin sıyırılma deneyinden elde edilen aderans dayanımı - sıyırılma grafikleri Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1. Farklı CETP donatı çapları ve C20 beton sınıfı için aderans dayanımı-sıyırılma grafiği

C20 beton sınıfında, bütün numunelerde yapılan sıyırılma testlerinde donatıda herhangi bir kopma meydana gelmeden donatıların betondan sıyırılması

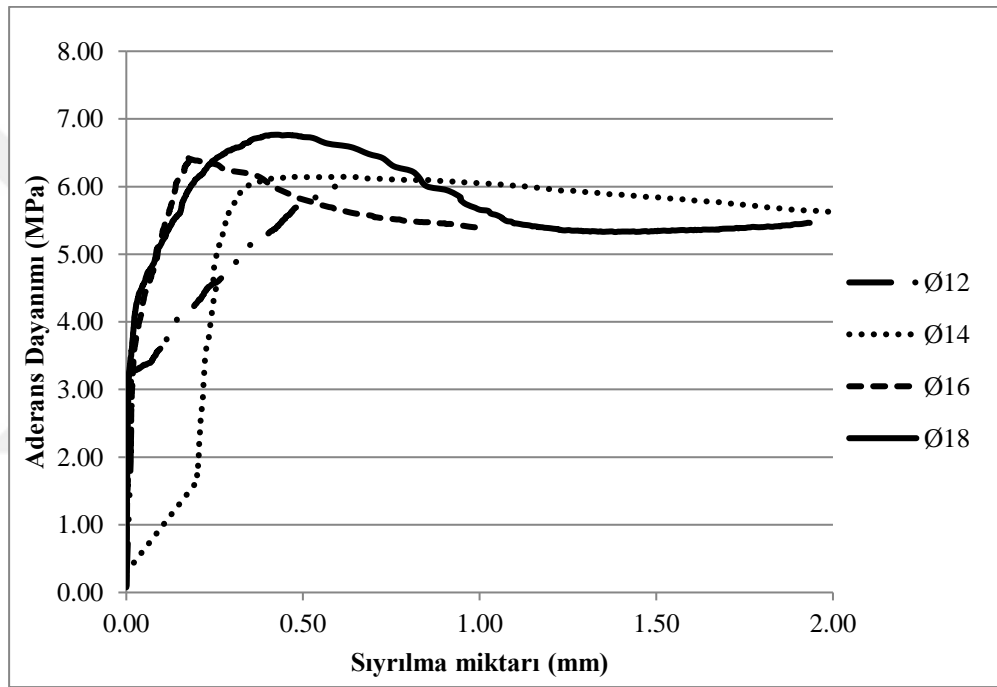
gerçekleşmiştir. Sıyırılma deneyinde 12 mm ve 14 mm çapının kullanıldığı numunelerde en büyük aderans gerilmelerinde betonda yarıлма meydana gelmezken, 16 mm ve 18 mm çapında donatıların kullanıldığı numunelerde en büyük aderans gerilmesinin görüldüğü seviyelerde Şekil 4.2.'de görüldüğü gibi betonda yarılmalar meydana gelmiştir. Çalışmanın bu bölümünde yapılan deneylerde en büyük aderans dayanımı 18 mm çapında CETP donatısının kullanıldığı numunelerde 6.38 MPa olarak elde edilmiştir. Bunu 5.79 MPa aderans dayanımıyla 16 mm çapındaki donatıya sahip numune izlemiştir. 14 mm çapındaki donatının kullanıldığı numunelerde aderans dayanımı 5.15 MPa olarak ölçülmüştür. En düşük aderans dayanımı 12 mm çapındaki donatının kullanıldığı numunelerde 4.97 MPa olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.2. Numunelerin sıyırılma testinde yarıılması

C40 beton sınıfında, 12, 14, 16 ve 18 mm çaplarına sahip CETP donatısı ile üretilen numunelerin sıyırılma deneyinden elde edilen aderans dayanımı sıyırılma

grafikleri Şekil 4.3.'te verilmiştir. Şekil 4.3'ten en büyük aderans dayanımının 18 mm çapında donatı kullanılan numunelerde olduğu görülmektedir. 12, 14, 16 ve 18 mm çaplarına sahip CETP donatısı ile üretilen numunelerden elde edilen aderans dayanımları sırasıyla 6.01, 6.14, 6.44 ve 6.76 MPa'dır. C40 beton sınıfı için tüm çaptaki CETP donatılarında herhangi bir kopma meydana gelmeden betondan sıyrılmalar meydana gelmiştir. Ancak yapılan deneylerde CETP donatılarındaki nervürlerin önemli oranda aşındığı hatta iskeletinden ayrıldığı görülmüştür (Şekil 4.4.).



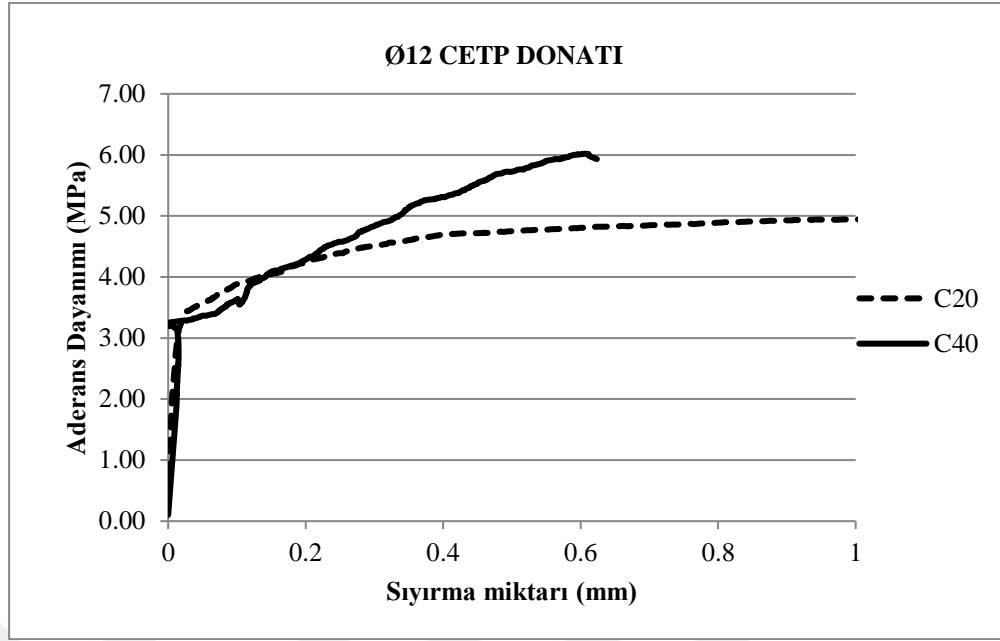
Şekil 4.3. Farklı CETP donatı çapları ve C40 beton sınıfı için aderans dayanımı-sıyrılmaya grafiği



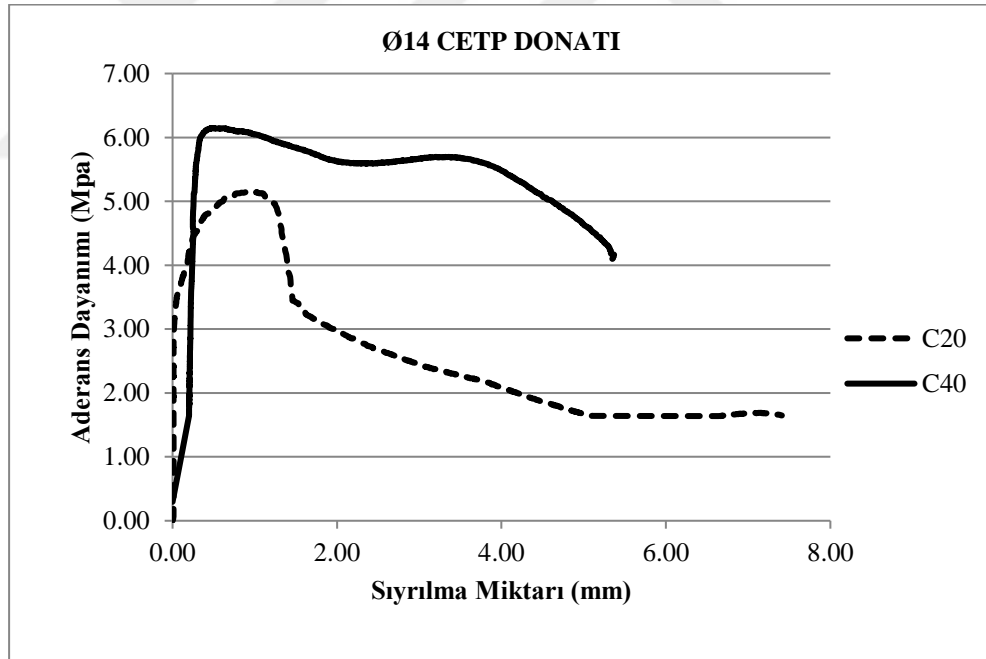
Şekil 4.4. C40 beton sınıfındaki numunelerde CETP donatılardaki nervürlerin aşınması

4.2. Beton dayanımının aderans dayanımı üzerindeki etkisi

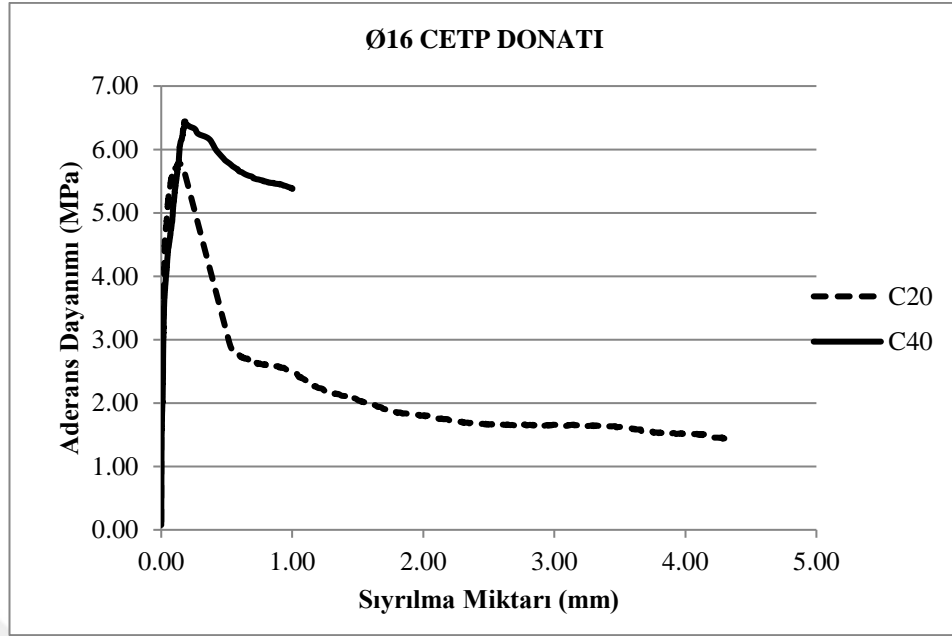
Çalışmanın bu bölümünde, 18, 16, 14 ve 12 mm çapları için C20 ve C40 beton sınıflarının, aderans dayanımına etkisi ayrı ayrı incelenmiştir. Sıyırılma deneyinden elde edilen aderans dayanımı-sıyırılma grafikleri her bir çap için ayrı ayrı Şekil.4.5-4.8'de verilmiştir. Tüm grafikler incelendiğinde CETP donatılı numunelerde beton basınç dayanımı artıkça aderans dayanımının arttığı gözlemlenmiştir. Aderans dayanımındaki bu artış, 18-16 mm çapında donatı kullanılan numunelerde %5 ve %10 iken, 14-12 mm çapında donatı kullanılan numunelerde ise aderans dayanımındaki bu artış oranı %16 ve %17'dir. Ayrıca deneylerde ince çaptaki donatıların kullanıldığı numunelerdeki sıyırılmaların kalın çaplı donatıların kullanıldığı numunelere göre daha erken başladığı gözlemlenmiştir.



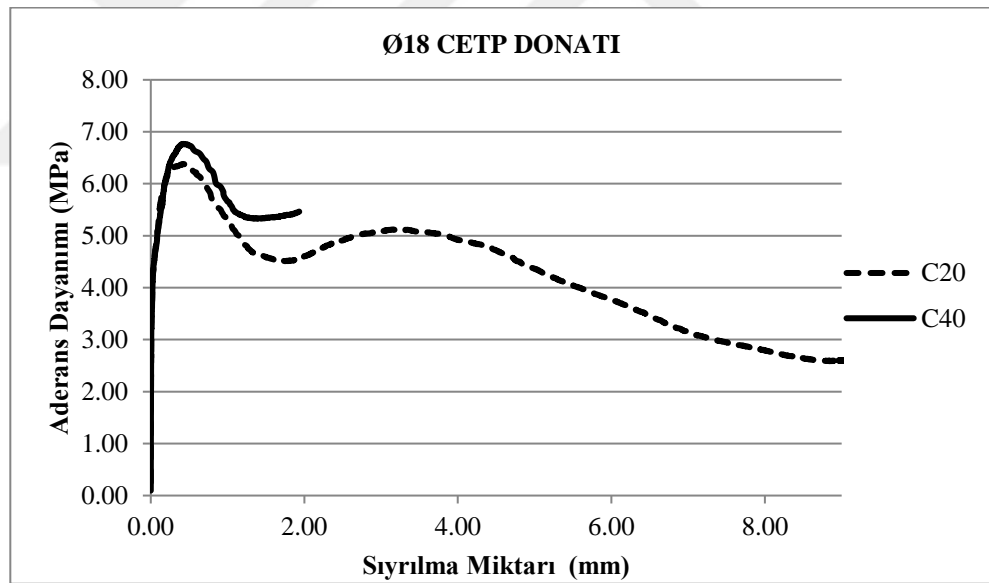
Şekil 4.5. Ø12 CETP donatısı için C20 ve C40 beton sınıflarındaki numunelerin aderans dayanımı-sıyırılma grafiği



Şekil 4.6. Ø14 CETP donatısı için C20 ve C40 beton sınıflarındaki numunelerin aderans dayanımı-sıyırılma grafiği



Şekil 4.7. Ø16 CETP donatısı için C20 ve C40 beton sınıflarındaki numunelerin aderans dayanımı-sıyırma grafiği



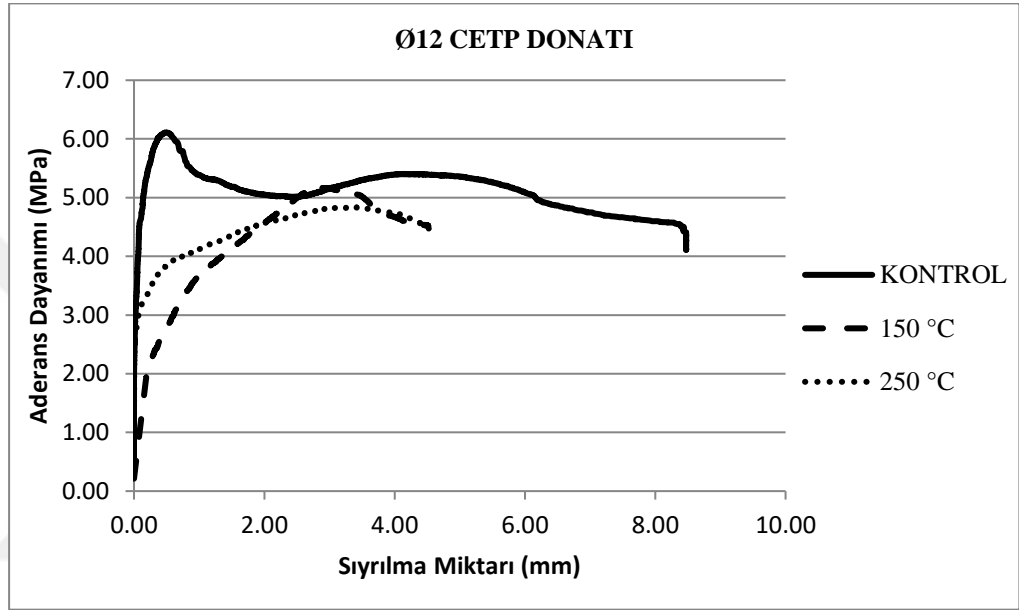
Şekil 4.8. Ø18 CETP donatısı için C20 ve C40 beton sınıflarındaki numunelerin aderans dayanımı-sıyırma grafiği

4.3 Yüksek sıcaklığın aderans dayanımı üzerindeki etkisi

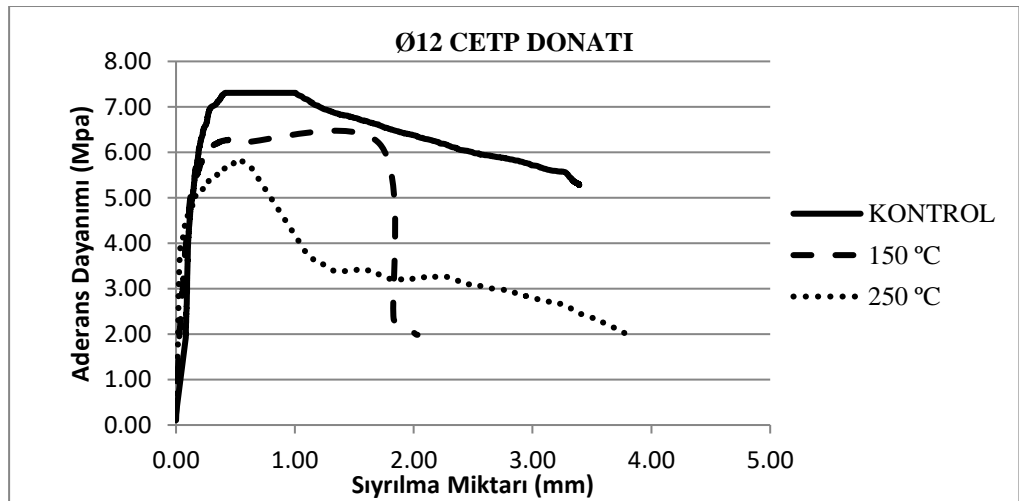
Çalışmanın bu bölümünde 12 ve 16 mm çaplarında CETP donatıları kullanılarak C20 ve C40 beton sınıflarında üretilen numuneler 25 °C, 150 °C ve 250 °C sıcaklıklarına 3 saat süre ile maruz bırakıldıktan sonra oda sıcaklığına

getirilmiştir. Bu numunelere sıyırılma deneyi yapılmış olup yüksek sıcaklığın aderans dayanımı üzerindeki etkisi incelenmiştir.

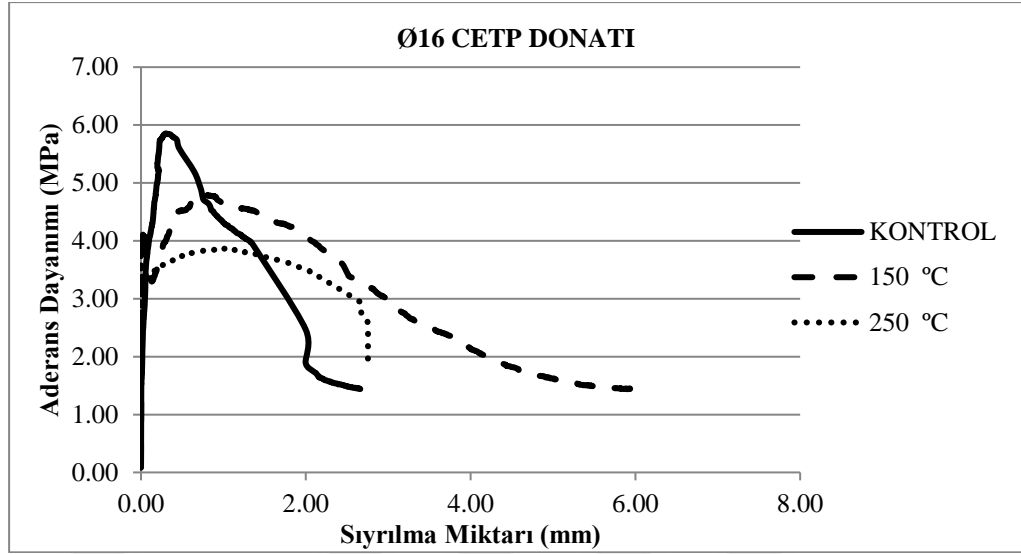
C20 ve C40 beton sınıflarında hazırlanan 12 ve 16 mm CETP donatılı numunelerin farklı sıcaklıklardaki aderans dayanımı-sıyırılma grafikleri sırasıyla Şekil 4.9-4.12’de verilmiştir.



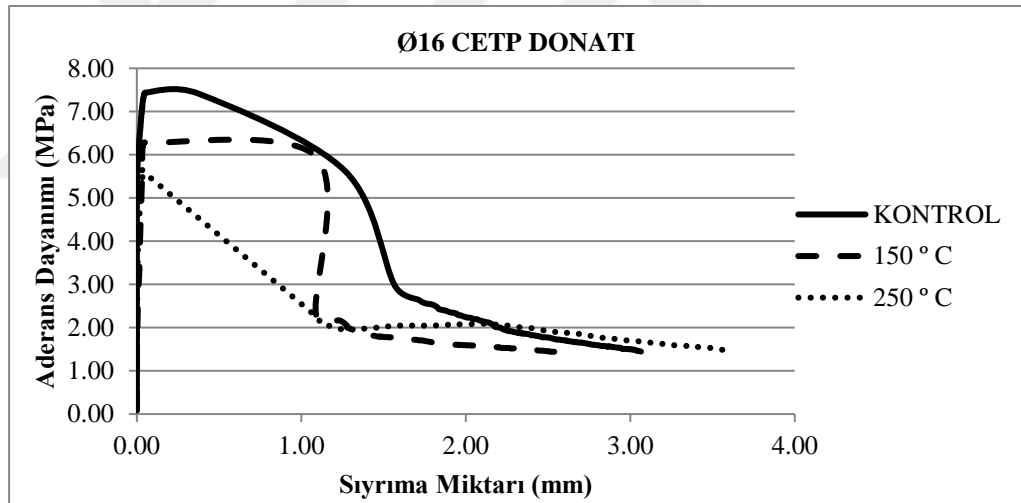
Şekil 4.9. Ø12 CETP donatısı ve C20 beton sınıfı için farklı sıcaklık etkisindeki numunelerin aderans dayanımı-sıyırılma grafiği



Şekil 4.10. Ø12 CETP donatısı ve C40 beton sınıfı için farklı sıcaklık etkisindeki numunelerin aderans dayanımı-sıyırılma grafiği



Şekil 4.11. Ø16 CETP donatısı ve C20 beton sınıfı için farklı sıcaklık etkisindeki numunelerin aderans dayanımı-sıyırılma grafiği



Şekil 4.12. Ø16 CETP donatısı ve C40 beton sınıfı için farklı sıcaklık etkisindeki numunelerin aderans dayanımı-sıyırılma grafiği

Şekil 4.9-4.12 incelendiğinde her iki beton sınıfında da numunelerin maruz bırakıldığı sıcaklık değerleri arttıkça, beton ile CETP donatı arasındaki aderans dayanımının azaldığı görülmektedir. C40 sınıfında üretilen numunelerin 150 °C'deki aderans dayanımında, kontrol numunelerine göre ortalama %14'lük bir azalma, 250 °C'de ise kontrol numunelerine göre ortalama %22'lik bir azalma gözlemlenmiştir. C20 sınıfında üretilen numunelerin 150 °C'deki aderans dayanımında, kontrol

numunelerine göre ortalama %16'lık bir azalma, 250 °C'de ise kontrol numunelerine göre ortalama %26'lık bir azalma gözlenmiştir. Ayrıca deney sonunda numuneler üzerinde yapılan incelemede 250 °C sıcaklığa maruz bırakılan numunelerdeki CETP donatılarında ciddi bir şekilde renk değişiminin olduğu görülmüştür (Şekil 4.13). Sıyırılma deneyinden sonra numunelerden çıkarılan CETP donatılarında nervürün donatıdan ayrıldığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.14.).



Şekil 4.13. Yüksek sıcaklık etkisine maruz kalan numunelerdeki CETP donatılarının renk değişimi



Şekil 4.14. Yüksek sıcaklık etkisine maruz kalan numunelerdeki CETP donatılarının nervür deformasyonu

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, cam elyaf takviyeli polimer donatı çapının, beton dayanımının ve yüksek sıcaklığın cam elyaf takviyeli polimer donatı ve beton arasındaki aderans dayanımına olan etkisi incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmanın sonuçları aşağıda sunulmuştur.

- 1) Çalışmada yapılan sıyrıлма deneylerinde tüm CETP donatıları kopmadan betondan sıyrılmışlardır.
- 2) Beton ile CETP donatı arasındaki aderans dayanımı, çap arttıkça artmıştır. Her iki dayanım sınıfında da en büyük aderans dayanımları 18 mm çapındaki donatının kullanıldığı numunelerde, en düşük aderans dayanımı ise 12 mm çapındaki donatıların kullanıldığı numunelerde elde edilmiştir.
- 3) Beton ile CETP donatı arasındaki aderans dayanımı, beton basınç dayanımı arttıkça artmıştır. Aderanstaki bu artış 18 mm ve 16 mm çapındaki donatılı numunelerde %5 ve %10 iken, 14 mm ve 12 mm çapındaki numunelerde ise %16 ve %17'dir.
- 4) Beton dayanımının aderans dayanım üzerindeki etkisinin incelendiği numunelerde, C40 beton sınıfına sahip numunelerde beton dayanımının yüksek oluşundan dolayı donatı nervürlerinde ciddi tahribatlar meydana geldiği gözlemlenmiştir.
- 5) C40 sınıfında üretilen numunelerin 150 °C'deki aderans dayanımında, kontrol numunelerine göre ortalama %14'lük bir azalma, 250 °C'de ise ortalama %22'lik bir azalma gözlemlenmiştir. C20 sınıfında üretilen numunelerin 150 °C'deki aderans dayanımında, kontrol numunelerine göre ortalama %16'lık bir azalma, 250 °C'de ise ortalama %26'lık bir azalma gözlenmiştir.

6) Yüksek sıcaklığın aderans dayanımı üzerindeki etkisinin araştırıldığı numunelerdeki CETP donatılar, kontrol numunelerindeki CETP donatıları kıyaslandığında, 150 °C sıcaklığa maruz bırakılan numunelerdeki donatı renklerinde hafif koyulaşmanın olduğu, 250 °C sıcaklığa maruz bırakılan numunelerdeki CETP donatılarda ise önemli derecede koyulaşmanın meydana geldiği görülmüştür. Ayrıca yüksek sıcaklığa maruz bırakılan numunelerdeki CETP donatı nervürlerinin donatıdan tamamen koptuğu görülmüştür.

7) Hemen hemen tüm sıyırma deneylerinde ince çaplı donatıların itibaren kalın çaplı donatılara göre daha erken sıyrılmaya başladıkları gözlemlenmiştir.

Bütün bu sonuçlar göz önünde bulundurulduğunda CETP donatıların çelik donatılara iyi bir alternatif olabileceği görülmüştür. Bu tür donatıların kullanım alanlarının sınırlı olduğu ve özellikle donatıların yüksek ısıya maruz kalma ihtimalinin olduğu alanlarda kullanmanın sakıncalar doğuracağı ve CETP donatılar ile ilgili daha çok çalışmanın yapılması gerektiği kanaatine varılmıştır.

KAYNAKLAR

- ABBASİ, A., and HOGG, P. J., 2005. Temperature and environmental effects on glass fibre rebar: Modulus, strength and interfacial bond strength with concrete. *Composites Part B: Engineering*, 36(5): 394–404.
- ALSAYED, S., AL-SALLOUM, Y., ALMUSALLAM, T., EL-GAMAL, S., and AQEL, M., 2012. Performance of glass fiber reinforced polymer bars under elevated temperatures. *Composites Part B: Engineering*, 43(5): 2265–2271.
- AYDIN, F., 2016. Farklı Lifli FRP Donatların Beton Aderansının Araştırılması. 1st International Conference on Engineering Technology and Applied Sciences, 21-22 April, Afyon, s.1-8
- ÇİMKO, 2019. CEM I 42,5R, Çimento Analiz Raporu. Adıyaman, s.1-2.
- EMİRYÜREK, B. E., 2007. Türkiye’de Hazır Beton Sektörü ve Sektördeki Büyüme. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 176s.
- DOĞAN, M., 2009. Betonarme Yapılardaki Deprem Hasarlarına Korozyonun Etkisi. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, XXII: (1):148-168
- EKİZ, Y., 2013. Yapı Elemanlarında Çelik Donatı Yerine Cam Elyaf Takviyeli Plastiklerin(CTP) Kullanılması. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya, 80s.
- EL-GAMAL, S., 2014. Bond strength of glass fiber-reinforced polymer bars in concrete after exposure to elevated temperatures. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 33(23), 2151–2163.
- HAO, Q., WANG, Y., HE, Z., and OU, J., 2009. Bond strength of glass fiber reinforced polymer ribbed rebars in normal strength concrete. *Construction and Building Materials*, 23(2), 865–871.
- ILICA, T., 2008. Farklı Çimentolarla Üretilen Betonlarda Sülfat Etkisi ve Klorür Geçirimsizliği. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 156s.
- KAFTAN, M. A., 2006. Çelik Yapılarda Korozyon Oluşumu ve Korozyondan Korunma Yöntemlerinin Maliyet Açısından Karşılaştırılması. Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Denizli, 90s.
- LEE, J. Y., KİM, T. Y., KİM, T. J., Yİ, C. K., PARK, J. S., YOU, Y. C., and PARK, Y. H., (2008). Interfacial bond strength of glass fiber reinforced polymer bars in high-strength concrete. *Composites Part B: Engineering*, 39(2), 258–270.
- MASMOUDİ, R., MASMOUDİ, A., OUEZDOU, M. BEN., and DAOUD, A., 2011. Long-term bond performance of GFRP bars in concrete under temperature ranging from 20 °C to 80 °C. *Construction and Building Materials*, 25(2), 486–493.
- ÖZŞAHİN, B., MÜLAYİM, B. ve ARKOÇ, O., 2015. Betonarme Yapı Elemanlarında Lif Takviyeli Polimerlerin Kullanımı. 9. Uluslararası Sinan Sempozyumu, 21-22 Nisan, Türkiye, s.109-115.

- POLAT, M., YAĞAN, M., ORHAN, M. ve MEHMET, F., 2017. GFRP ve çelik donatıların yüksek sıcaklık etkileri altında aderans kayıplarının incelenmesi. II. International Conference on Advanced Engineering Technologies, 21-23 September, Bayburt, s.238-247.
- RAMİ HAMAD, J. A., MEGAT JOHARİ, M. A. and HADDAD, R. H., 2017. Mechanical properties and bond characteristics of different fiber reinforced polymer bars at elevated temperatures. Construction and Building Materials, 142, 521–535.
- YILMAZ, T., 2006. Betonarme Yapılarda Taşıyıcı Sistem ve Donatı Düzenleme İlkeleri. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 207s.



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Mehmet ŞEKER
Uyruğu :Türkiye Cumhuriyeti
Doğum Yeri ve Tarihi :Şanlıurfa, 29/09/1985
Telefon :0545 773 35 76
e-mail :mehmet_seker_63@hotmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı/İlçe/İl	Bitirme Yılı
Lise	: Çeş Anadolu Lisesi/Haliliye/Ş.Urfa	2003
Üniversite	: Mustafa Kemal Üniversitesi/Merkez/Hatay	2010

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2010-2012	Censar İnşaat	Saha Müh.
2013-2014	ASF Yapı	Saha Şefi
2014-2015	Tümaş-Türk Müşavirlik A.Ş	Kontrol Amiri
2016-2017	Tank Yapı	Şantiye Şefi
2017-.....	Yazıcıoğlu İnşaat	Şantiye Şefi

YABANCI DİLLER

Yökdil: 61.25