

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

**YAPI ELEMANLARINDA ÇELİK DONATI YERİNE  
CAM ELYAF TAKVİYELİ PLASTİK (CTP)  
KULLANILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Yunus EKİZ**

**Enstitü Anabilim Dalı : YAPI EĞİTİMİ**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Mehmet SARIBIYIK**

**Temmuz 2013**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YAPI ELEMANLARINDA ÇELİK DONATI YERİNE  
CAM ELYAF TAKVİYELİ PLASTİK (CTP)  
KULLANILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YUNUS EKİZ

Enstitü Anabilim Dalı : YAPI EĞİTİMİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. MEHMET SARIBIYIK

Bu tez 08 / 07 /2013 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

  
Prof. Dr. Mehmet SARIBIYIK  
Jüri Başkanı

  
Doç. Dr. Metin İPEK  
Üye

  
Doç. Dr. Mücteba UYSAL  
Üye

## TEŞEKKÜR

Tezin hazırlanması aşamasında bana her tŸrlŸ desteği veren, benden bilgi ve tecrŸbelerini esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Mehmet SARIBIYIK'a gŸnŸlden teŐekkŸr ederim.

Tezin hazırlanmasında maddi manevi desteklerini esirgemeyen bŸlŸm hocalarım sayın Prof. Dr. Ahmet APAY, Doç. Dr. Ŗmer ŖZKAN, Yrd. Doç. Dr. Ferhat AYDIN baŐta olmak Ÿzere bu ęalıŐma sŸrecinde birlikte ęalıŐmaktan mutluluk duyduğum değerli bŸlŸm hocalarım ve araştırma gŸrevlisi arkadaşlarıma, teŐekkŸr ederim.

Tez ęalıŐmam Sakarya Ÿniversitesi Bilimsel Projeler KoordinatŸrlŸęŸ tarafından "2012-50-01-027" numaralı projeler ile desteklenmiŐtir. Mali desteklerinden dolayı SAŸ BAPK'a teŐekkŸr ederim. Ayrıca bu gŸnlere gelmemi sağlayan aileme sonsuz teŐekkŸr ederim.

## İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER .....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	vii
TABLolar LİSTESİ .....	ix
ÖZET.....	x
SUMMARY .....	xi
BÖLÜM 1. GİRİŞ.....	1
1.1. Literatür Taraması .....	4
BÖLÜM 2. KOMPOZİT MALZEMELER .....	7
2.1. Takviye Edilme Şekillerine Göre Kompozitler .....	9
2.1.1. Parçacık kompozitler .....	9
2.1.2. Lamine (tabakalı) kompozitler .....	10
2.1.3. Fiber takviyeli kompozitler.....	10
2.2. Matris Elemanlarına Göre Kompozitler .....	10
2.2.1. Metal matrisli kompozitler .....	10
2.2.2. Seramik matrisli kompozitler .....	11
2.2.3. Polimer matriksli kompozitler .....	11
2.2.3.1. Termoplastikler .....	12
2.2.3.2. Termoset plastikler.....	15
2.3. Elyaf Takviyeli Kompozitler .....	18
2.3.1. Cam elyaf.....	19
2.3.2. Aramid elyafi.....	21
2.3.3. Boron elyafi .....	22
2.3.4. Karbon / grafit elyafi .....	23

2.3.5. Diğer organik lifler .....	25
<b>BÖLÜM 3. CTP ve ÜRETİM YÖNTEMLERİ .....</b>	<b>27</b>
3.1. CTP' nin Avantajları.....	27
3.2. CTP üretimi .....	28
3.2.1. CTP üretiminde kullanılan malzemeler .....	28
3.2.1.1. Polyester reçineler .....	28
3.2.1.2. Hızlandırıcılar .....	29
3.2.1.3. Dolgu maddeleri.....	29
3.2.1.4. Boyalar .....	29
3.2.1.5. Katalizörler.....	30
3.2.1.6. Kalıp ayırıcılar .....	31
3.2.1.7. Takviye malzemeleri .....	31
3.2.2. CTP Üretim Yöntemleri .....	34
3.2.2.1. El yatırması yöntemi .....	35
3.2.2.2. Püskürtme yöntemi.....	36
3.2.2.3. Reçine enjeksiyonu yöntemi .....	37
3.2.2.4. Soğuk pres yöntemi.....	38
3.2.2.5. Elyaf sarma yöntemi .....	39
3.2.2.6. Savurma döküm yöntemi .....	40
3.2.2.7. Vakum bonding (Vakum Bagging).....	41
3.2.2.8. Devamlı levha üretim yöntemi.....	41
3.2.2.9. Hazır kalıp bileşimleri (HKB).....	42
3.2.2.10. Profil çekme / Pultruzyon (Pultrusion) metodu .....	43
3.2.2.11. Pultruzyon (Profil çekme) yönteminin avantajları.....	45
3.2.2.12. Pultruzyon (Profil çekme) yönteminin dezavantajları .....	45
3.2.2.13. Pultruzyonla (Profil çekme) üretilen CTP malzemelerinin özellikleri .....	46
<b>BÖLÜM 4. MATERYAL ve DENEYSEL ÇALIŞMA .....</b>	<b>48</b>
4.1. Çekme Deneyi .....	48
4.1.1. Çekme makinası.....	48
4.1.2. Çekme deney numunelerinin hazırlanması.....	49

4.2. Sıyırılma Deneyi .....	51
4.3. Eğilme Deneyi .....	55
4.3.1. Eğilme numunelerinin hazırlanması .....	55
BÖLÜM 5. DENEY SONUÇLARI ve TARTIŞMA .....	59
5.1. Çekme Deneyi .....	59
5.2. Sıyırılma Deneyi .....	64
5.3. Eğilme deneyi .....	68
BÖLÜM 6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	74
KAYNAKLAR.....	76
ÖZGEÇMİŞ .....	79

## SİMGELER VE KISALTMALAR

A	: Kesit Alanı ( $\text{mm}^2$ )
ACI	: America Concrete Institute
ASCE	: American Society of Civil Engineers
ASTM	: American Society for Testing and Materials
A.Ş.	: Anonim Şirketi
CTP	: Cam Takviyeli Plastik
CFRP	: Karbon Fiber Takviyeli Plastik
E	: Elastisite Modülü ( $\text{N/mm}^2$ )
FRP	: Fiber Takviyeli Plastik
GFRP	: Cam Fiber Takviyeli Plastik
I	: Atalet Momenti ( $\text{mm}^4$ )
L	: Mesnet Açıklığı (mm)
Lx	: İlk En Uzunluğu (mm)
M	: Moment (Nmm)
M	: Ağırlık (gr)
P	: Maksimum Yük (N)
TCMB	: Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği
TS EN	: Türk standardı
Ly	: İlk Boy Uzunluğu (mm)
V	: Hacim ( $\text{cm}^3$ )
W	: Mukavemet Momenti ( $\text{mm}^3$ )
$\Sigma$	: Gerilme ( $\text{N/mm}^2$ )
$\delta$	: Özgül Ağırlık
$\delta_{\text{eğilme}}$	: Eğilme Sehimi (mm)
$\Delta$	: Birim Ağırlık ( $\text{g/cm}^3$ )

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Bor elyaf üretimini gösteren şema.....	23
Şekil 2.2.	Karbon elyaf üretim şeması.....	25
Şekil 3.1.	Elyaf çeşitleri.....	32
Şekil 3.2.	Kumaş çeşitleri.....	33
Şekil 3.3.	Keçe (Mat) çeşitleri.....	34
Şekil 3.4.	Kesikli cam elyaf takviyeleri .....	35
Şekil 3.5.	El yatırması yönteminin genel gösterimi.....	36
Şekil 3.6.	Püskürtme yöntemi uygulama.....	38
Şekil 3.7.	Profil çekme yöntemini oluşturan ekipmanlar .....	44
Şekil 3.8.	Profil çekme yöntemini oluşturan ekipmanlar .....	44
Şekil 4.1.	Çekme makinesi ve donanımı.....	49
Şekil 4.2.	Başları deforme olmuş CTP çubuklar.....	50
Şekil 4.3.	Baş kısımları ezilmeye karşı güçlendirilmiş CTP donatılar.....	50
Şekil 4.4.	Çekme deneyi.....	51
Şekil 4.5.	Farklı yüzey özelliklerine sahip donatı malzemeleri.....	53
Şekil 4.6.	Sıyırılma numune configirasyonu.....	54
Şekil 4.7.	Sıyırılma deney düzeneği.....	55
Şekil 4.8.	Farklı yüzey özelliklerine sahip kiriş numune donatıları.....	56
Şekil 4.9.	Kiriş kalıplarına yerleştirilmiş donatıları.....	56
Şekil 4.10.	Kiriş numune donatıları .....	57
Şekil 4.11.	Eğilme deney düzeneği.....	58
Şekil 4.12.	Eğilme çerçevesi.....	58
Şekil 5.1.	Ø8 farklı donatılara ait çekme dayanımı – birim deformasyon grafiği.....	60



Şekil 5.2.	Ø12 farklı donatılara ait çekme dayanımı – birim deformasyon grafiği .....	61
Şekil 5.3.	Ø8 farklı donatı çekme dayanımı grafiği .....	64
Şekil 5.4.	Ø12 farklı donatı çekme dayanımı grafiği .....	64
Şekil 5.5.	C20/25 beton sınıfı yüzeyi kumlu CTP donatı ile çelik donatının grafiği .....	65
Şekil 5.6.	C30/35 beton sınıfındaki farklı yüzey özellikli donatıların sıyırılma grafiği .....	66
Şekil 5.7.	Farklı yüzey özellikli donatıların sıyırılma deformasyonları .....	67
Şekil 5.8.	Farklı donatı türlü kiriş numuneleri Yük – Sehim grafikleri .....	69
Şekil 5.9.	Farklı donatılı kirişlerin eğilme dayanımları .....	71
Şekil 5.10.	Farklı donatılı kirişlerin tokluk değerleri .....	72
Şekil 5.11.	Farklı donatılı kirişlerin kiriş donatı hesapları .....	73

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1.	En çok kullanılan termoset matrikslerin mekanik ve fiziksel özellikleri .....	17
Tablo 2.2.	Başlıca cam tipleri ve özellikleri.....	21
Tablo 2.3.	Tipik elyafların mekanik özellikleri.....	26
Tablo 4.1.	Çimentonun Fiziksel-Kimyasal Özellikleri.....	52
Tablo 4.2.	Deneylerde Kullanılan Betonun Karışım Oranları .....	52
Tablo 5.1.	Ø8 düz CTP donatılara ait çekme dayanımı .....	61
Tablo 5.2.	Ø8 kumlu CTP donatılara ait çekme dayanımı .....	62
Tablo 5.3.	Ø8 nervürlü CTP donatılara ait çekme dayanımı .....	62
Tablo 5.4.	Ø8 çelik donatılara ait çekme dayanımı .....	62
Tablo 5.5.	Ø12 düz CTP donatılara ait çekme dayanımı .....	62
Tablo 5.6.	Ø12 kumlu CTP donatılara ait çekme dayanımı .....	62
Tablo 5.7.	Ø12 nervürlü CTP donatılara ait çekme dayanımı .....	63
Tablo 5.8.	Ø12 çelik donatılara ait çekme dayanımı .....	63
Tablo 5.9.	Düz CTP donatılı kirişlerin eğilme sonuçları .....	69
Tablo 5.10.	Nervürlü CTP donatılı kirişlerin eğilme sonuçları .....	70
Tablo 5.11.	Kumlu CTP donatılı kirişlerin eğilme sonuçları .....	70
Tablo 5.12.	Çelik donatılı kirişlerin eğilme sonuçları .....	70

## ÖZET

Anahtar kelimeler: Cam Lifi Takviyeli Plastik, Donatı, Aderans, Eğilme Dayanımı

Pultruzyon metodu ile üretilen Cam elyaf takviyeli plastikler (CTP), özellikle inşaat sektöründe hem ana malzeme hem de tamamlayıcı malzeme olarak kullanılmaktadır. CTP malzemenin aksenel üstün mekanik dayanımının yanı sıra, hafifliği, korozyon dayanımı ve kimyasallara karşı yüksek direnç göstermesi, elektrik yalıtımı, düşük yoğunluk ve dayanım/yoğunluk oranının yüksekliği, düşük ısı iletkenliğine sahip olması, uzun yıllar bakım ve boya gibi ek bir hizmete ihtiyaç duymaması, elektromanyetik alan oluşturmaması v.b. özellikler CTP profilleri inşaat sektöründe birçok malzemenin alternatifi olmasına katkı sağlamaktadır. Bu süreç içerisinde, son yıllarda CTP kompozitlerin birçok artı özelliği nedeniyle çelik donatıya alternatif olarak kullanımı araştırmacıların yoğun ilgi gösterdiği konular arasında yer almaktadır.

Bu çalışmada, yapı elemanlarında çelik donatı yerine CTP çubukların donatı olarak kullanımı araştırılmıştır. CTP çubuklar ile çekme, sıyrıma ve eğilme deneyleri yapılarak çelik donatılar ile kıyaslanmıştır. Çalışmalar neticesinde CTP çubukların, çelik donatı ile kıyasladığında yapılan bazı iyileştirmelerin CTP donatıların betonda donatı olarak kullanılmasını olumlu yönde etkilediği gözlenmiştir.

# **USING GLASS FIBER REINFORCED PLASTIC (FRP) BARS INSTEAD OF STEEL BARS AT STRUCTURE ELEMENTS**

## **SUMMARY**

Keywords: Glass Fiber Reinforced Plastic, Fittings, Adhesion, Bending Strength

The use of Fiber-Reinforced Plastic composite materials in the construction sector has been growing rapidly in recent years. One of the increasingly widespread use of fiber composites is Pultruded Glass Fibre Reinforced Plastic (GFRP) materials. Developing production techniques combined high tensile strength, lightweight and non-corrosive properties allowed GFRP to become a competitive alternative to traditional structural materials. Having resolved fundamental manufacturing constraints through the development of the pultrusion process, the mass adaptation of GFRP sections as primary load bearing elements have been used in a number of civil engineering applications. In recent years the use of GFRP composites with concrete caused one of the subjects showed great interest of researchers.

In this study, GFRP bars instead of steel reinforcement bars as reinforcement in the use of structural elements investigated. GFRP rods pulling and bending tests were carried detachment compared with steel reinforcement. GFRP bars as a result of studies, some of the improvements made steel reinforcement compared with the observed positive effects of GFRP reinforcement.

## **BÖLÜM 1. GİRİŞ**

İnsanlar, varoluşundan bu yana yaşam kalitesini artırmak amacıyla sürekli gelişim ve değişim içerisinde olmuş ve ihtiyaçlarını karşılamak için yeni arayışlara yönelmişlerdir. Bu amaçla ilk çağlardan beri doğada bulunan malzeme türleri üzerinde çeşitli tasarımlar yaparak daha efektif kullanımlar elde etmişlerdir. Günümüzde tüm teknik alanlarda olduğu gibi malzeme teknolojileri alanında da insanların ihtiyaç ve istekleri, malzemelerde yaşanan problemlere paralel olarak her geçen gün artmaktadır. Bu tür problemleri azaltmak ve talepleri karşılamak amacıyla araştırmacılar yeni malzeme türleri ve uygulamaları üzerinde çalışmakta, yeni tasarımlar ortaya koymaktadırlar. Bu malzemeler genellikle kompozit malzeme diye adlandırdığımız malzemelerdir.

Kompozit malzeme, iki veya daha fazla malzemenin üstün özelliklerini tek bir malzemedeki toplamak ya da yeni bir özellik ortaya çıkarmak amacıyla fiziksel olarak birleştirilen malzemelerdir. Kompozit malzeme yapısını oluşturan bileşenler kimyasal olarak farklıdır ve fazları birbirinden ayıran belirgin bir ara yüzey bulunmaktadır [1]. Kompozit malzemeye “çok bileşenli malzeme”, “çok fazlı malzeme”, “donatılı malzeme” ve “pekiştirilmiş malzeme” gibi adlarda verilmektedir [2].

İnşaat sektöründe aralarında bulunduğu birçok alanda tercih edilen kompozit malzeme türlerinden birisi Fiber Takviyeli Plastik (FRP) kompozitlerdir. FRP’ler genelde bir matris malzemenin liflerle birleştirilmesiyle oluşan ürünlerin tanımlanmasında kullanılmaktadır. Bu malzemeler yüksek dayanım ve çevresel etmenlere karşı gösterdiği iyi performansın yanında araştırmacıların arzu ettiği birçok özelliğe sahip ve farklı kombinasyonlarda üretilebilir olmaları nedeniyle tercih edilmektedirler. Bu yeni nesil kompozit malzemelerin üstün mekanik

dayanımlarının yanı sıra hafifliği, korozyon dayanımı ve kimyasallara karşı yüksek direnç göstermeleri, elektrik yalıtımı, düşük yoğunluk ve dayanım/yoğunluk oranının yüksekliği gibi özellikler araştırmacıların ilgisini çekmekte ve uygulama örnekleri giderek yaygınlaşmaktadır. Ayrıca düşük ısı iletkenliğine sahip olmaları, uzun yıllar bakım ve boya gibi ek bir hizmete ihtiyaç duymamaları v.b. özellikler bu malzemelerin diğer alanlarda olduğu gibi inşaat sektöründe birçok malzemenin alternatifini olma yönünde avantajlı konuma getirmektedir [3].

Yapı endüstrisinde FRP kompozitler genellikle giydirme cephe sistemleri, yaya ve taşıt köprüleri, zemin iyileştirmeleri, borular, tamir ve güçlendirme işlerinde kullanılmaktadır. Yapı sektörü toplam FRP kompozit pazarının %30'u civarındaki kısmını oluşturmakta, ikinci olarak ise otomotiv sektörü gelmektedir. Bununla birlikte henüz bu malzemeler kullanıcılar ve tasarımcılar tarafından iyi tanınmama nedeniyle diğer malzemelerin yerine kullanılabilecek birçok durumda değerlendirilmemektedir. Mevcut uygulamaların büyük bir kısmında FRP kompozitlerin iyi bir çözüm olabileceği öngörülmektedir [4].

Günümüzde kompozit malzemelerin kullanımı, yapı sektörünün de aralarında bulunduğu birçok teknik alanda hızla artmakta ve her geçen gün gelişim göstermektedir. Bu gelişim süreci içerisinde inşaat endüstrisi mühendislik problemlerinde yapım teknolojileri ve tasarımlarını geliştirmek, daha ekonomik çözümler elde etmek için sürekli yeni çözümler bulmak için uğraşmaktadır [5]. Genellikle yapı sektöründe taşıyıcı olarak düşünülmeyen ikincil yapı elemanlarında tercih edilen yeni nesil kompozitler, günümüzde taşıyıcı, esas yapı elemanı olarak da kullanılmaktadır. Özellikle FRP kompozitlerin seri üretiminin artmasıyla birlikte yapılarda farklı amaçlarda daha etkin kullanılmaya başlanılmış, hafif ve yüksek dayanıma sahip fiber takviyeli kompozit malzemelerin betonarme yapılarda güçlendirme, tamir ve iyileştirmede kullanılması artmıştır [6].

Betonarme yapılarda temel problemlerden birisi de çelik donatının korozyonudur. Korozyon, daha yaygın olarak bilenen diğer adıyla paslanma, metallerde su ve oksijenin bulunduğu ortamda görülen kimyasal bir değişim sürecidir. Betonarme

yapılar açısından bakıldığında: çelik, betonarme içine gömülü olarak kullanılmaktadır. Aslında doğru dizayn edilmiş geçirimsiz, kaliteli bir beton, çelik donatıyı fiziksel ve kimyasal olarak korozyondan korur. Fiziksel koruma zararlı maddelerin donatıya ulaşmasını engellemesiyle, kimyasal koruma ise yüksek pH'lı bir ortam oluşturulması ile gerçekleşir. Korozyon günümüzde betonarme yapıların servis ömürlerini belirleyen en önemli faktör olarak kabul edilmektedir.

Önceleri deniz yapıları ve kimyasal madde üreten tesislerde görülen korozyon problemi, zamanla köprü kirişlerinde ve klorüre maruz diğer yapılarda yaygın olarak ortaya çıkmıştır. Gereken tamir ve bakım masraflarının büyük ekonomik kayıplara yol açmasından sonra, konunun önemi ABD ve Avrupa ülkelerinde çok daha iyi anlaşılmıştır. Betonarme donatısının korozyonu konusunda çok kapsamlı araştırmalar yapılmış ve korozyonu önlemek amacıyla standartlara oldukça sıkı hükümler eklenmiştir. Donatının korozyondan korunmasına yönelik olarak alternatif çalışmalarda devam etmektedir. Dünya'da yapılan bu çalışmalara rağmen henüz ülkemizde konunun önemi yeterince kavranamamıştır [7].

Betonarme yapılarda oluşan donatı korozyonu yapının stabilitesi açısından çok önemli sonuçlar doğurur. Çelik donatı korozyonu sonucu kesit ve duktilite kaybına uğrar. Oluşan reaksiyon ürünleri nedeniyle betonda meydana gelen genleşme etkisi önceleri pas payı tabakasının çatlamasına, ilerleyen aşamalarda ise tamamen dökülmesine yol açar. Bu durumda, hiçbir fiziksel ve kimyasal koruması kalmayan donatının çok daha hızlı şekilde kesit kaybetmesi, zamanla tamamen yok olması mümkündür. Donatı-beton aderansı da korozyondan olumsuz etkilenir, ilerlemiş hasar durumunda aderans tamamen yok olur. Az miktardaki kesit kaybının bile bu tür yapıları korozyona karşı çok hassas olduklarını gösterir. Bu tür yapılarda korozyonun oluşması kısa sürede yıkılmalarına yol açabilir [7].

Fiber takviyeli kompozitler üzerinde artan yoğun ilgiye paralel olarak yapılan bu çalışmada; Günümüzün popüler malzemelerinden birisi olan FRP kompozitler arasında yoğunlukla tercih edilen Cam Fiber Takviyeli Plastik (GFRP) Kompozit ya da diğer ismiyle Cam Takviyeli Plastik (CTP) çubukların betonarme elemanlarda

donatı olarak kullanımı araştırılmıştır. Birçok pozitif özelliğe sahip CTP çubukların, bu özelliklerini yine birçok avantaja sahip ve en çok tercih edilen yapı malzemesi olan beton ile birleştirerek, betonarme elemanlarda çelik donatılara alternatif olabirliği incelenmiştir. Çalışmamızda İkinci Bölümde Kompozit Malzemeler, Üçüncü Bölümde CTP ve Üretim metotları, Dördüncü Bölümde Kullanılan Malzemeler ve Deneysel Çalışma, Beşinci Bölümde Deneysel Sonuçları İrdelenmiş ve son olarak Altıncı Bölümde de Sonuçlar ve Değerlendirme bölümleri ele alınmıştır.

### **1.1. Literatür Taraması**

CTP donatıların çelik donatılara alternatif olarak kullanımı ile ilgili farklı yüzey özellikleri oluşturularak sıyırılma deneyleri, farklı ortamlar koşullarında donatılarda meydana gelen etkiler ve betonarme kiriş deneyleri yapılmıştır. Literatür de bu konu ilgili yapılmış çalışmalardan örnekler verilmiştir.

Mazaheripour ve ark. [8], yapmış oldukları çalışmada kendinden yerleşen beton içerisinde CTP donatılarla çelik donatıların sıyırılmasını incelemiştir. 36 farklı numune kullanarak yapılan çalışmada çap, yüzey özellikleri, sıyırılma uzunluğu, çelik ile kendinden yerleşen beton arasındaki aderans ilişkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre sıyırılmaya etki eden parametrelerden en önemlilerinin yüzey özellikleri ve çap olduğunu söylemiştir. Kum kaplı ve yüzeyi şekillendirilmiş CTP donatılarda sıyırılmaya olumlu yönde etki etmiştir.

Baena ve ark. [9], yapmış oldukları çalışmada ACI 440.3R-04 ve CSA S806-02 standartlarında hazırlamış oldukları 88 numune üzerinde KTP, CTP ve çelik donatıların ve yüzey özelliklerinin sıyırılmaya olan etkileri incelemiştir. Yapılan deneylerin sonucunda kullanılan donatı çapı yüzey özellikleri aderansı etkileyen parametrelerin başında gelmektedir. Beton sınıfı da aderansı etkileyen parametrelerden bir tanesidir beton sınıfının artması aderansı olumlu yönde etkilemiştir.



Zhou ve ark. [10], yapmış oldukları çalışmada CTP donatılara asitli ortamın etkilerini incelemişlerdir. Yapmış oldukları deneylerde hazırlamış oldukları CTP donatıları ve çelik donatıları farklı pH değerlerine sahip ortamlarda 75 gün boyunca asit etkisinde bırakmışlardır. Yapılan deneyler sonucunda pH değer 1'e yaklaştıkça malzemelerin çekme değerlerinde düşme meydana gelmiştir. Çelik donatılar, CTP donatılar ile kıyaslandığında çelik donatılar da daha fazla çekme özelliği kaybı olmuştur. Çelik donatılar asit etkisinden daha fazla etkilenmektedir.

Issa ve ark. [11], CTP donatılarla ile yapmış kirişlerde eğilme davranışı ve sünekliğe liflerin etkisini incelemişlerdir. 7 farklı kiriş ile yapılan deneylerde donatı bulunmayan yalın betonu, propilen lifli, CTP ve çelik donatılı kiriş numuneleri yapılarak eğilmeleri ve süneklikleri kıyaslanmıştır. Yapılan deney sonuçlarına göre donatı kullanımı betonarmenin sünekliği arttırmaktadır. Sünekliği en fazla artıran çelik donatı olmuştur. CTP donatı kullanılan kirişlerde makul bir eğilme dayanımı gösterdiğini söylemişlerdir.

Gadve ve ark. [12], yüzeyi CTP ve KTP kaplı çelik donatıların korozyona karşı direncini incelemişlerdir. Yüzeyi CTP ve KTP ile kaplanan çelik donatılar, tuzlu suda ve asit ortamda bekletildikten sonra sıyırılma deneyine tabii tutulmuşlardır. Tuzlu su içindeki numunelere elektrik akımı verilerek korozyon hızlandırmıştır. 2 günün sonunda yüzeyi kaplamasız çelik donatılı betonlarda korozyondan dolayı çatlama meydana gelmiştir. Sonuçlara göre sarma yönün korozyona karşı bir etkisi olmadığı ve CTP'nin korozyona karşı daha iyi dayanım gösterdiğini söylemişlerdir.

Wang ve ark. [13], yüksek sıcak sıcaklarda çelik ve fiber takviyeli plastik donatıların mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmada 10 ve 15 mm çaplı çelik, 9,5 ve 12,7 mm çaplı CTP ve KTP donatıların farklı sıcaklıklardaki çekme özellikleri incelemiştir. Fiber takviyeli plastik donatılarda yüksek sıcaklıklarda reçinelerin erimesinden dolayı özelliklerinde kayıplara meydana gelmektedir. Bu nedenle 350 0C sıcaklığın kritik değer olduğu söylemişlerdir.

Wang ve ark. [14], fiber takviyeli plastik donatıların kullanılarak üretilen kirişlerin eğilmelerini incelemişlerdir. Çalışmada CTP ve KTP kullanılarak üretilen kirişler donatısız beton numuneleri ile kıyaslanmıştır. Yapılan deneylerin sonucunda fiber takviyeli plastik donatılarda yalın kirişlere göre daha küçük çatlak meydana geldiği ve sünekliğin yaklaşık %30 oranında arttığını söylemişlerdir.

Almusallam ve ark. [15], farklı ortamlar CTP donatıları etkilerini incelemişlerdir. Beton içerisine yerleştirilen CTP donatılar 6, 12 ve 18 ay süre ile oda sıcaklığında ve 500C'de şebeke suyu ve deniz suyu içerisinde bekletilmiştir. Şebeke suyu içerisinde beklemiş numunelerde 18 ayın sonunda çekme dayanımında bir kayıp olmaz iken deniz suyu içerisinde beklemiş olan numunelerde yaklaşık % 13,7 oranında kayıp meydana geldiğini söylemişlerdir.

Literatür çalışmalarından elde edilen bilgiler doğrultusunda çalışmalarda düz CTP donatılardan nervürlü ve kumlu yüzey özelliklerine sahip CTP donatılar oluşturulmuştur. Oluşturulan CTP donatılar ile çekme, sıyırılma ve betonarme kiriş deneyleri yapılarak çelik donatı ile karşılaştırılmıştır.

## **BÖLÜM 2. KOMPOZİT MALZEMELER**

Kompozit malzemelerin geleneksel malzemelere göre avantajı, bileşenlerinin en iyi özellikleri, bir araya getirmesidir. Mukavemet, yorulma dayanımı, aşınma dayanımı, korozyon dayanımı, kırılma tokluğu, yüksek sıcaklık özellikleri, ısıl iletkenlik, rijitlik, ağırlık, fiyat ve estetik görünüm gibi özelliklerinden biri veya birkaçı, kompozit malzeme üretimiyle iyileştirilebilmektedir [16].

Kompozit üretiminin bilinçli olarak ele alınması ve bilimsel yaklaşımlarla yeni malzemeler üzerindeki çalışmalar, 1940'lı yıllarda, cam takviyeli plastiklerin kullanımı ile başlamıştır. Önemli ilk uygulamalara örnek olarak radar kubbeleri gösterilebilir. Cam takviyeli plastikler elektromanyetik geçirgenlik, hafiflik, atmosfer koşullarına dayanıklılık ve mekanik özellikleri nedeniyle bu amaç için kullanılacak en uygun malzemelerdir. İlk cam takviyeli plastik tekne 1942'de yapılmış ilk elyaf sarma patenti ise 1946'da A.B.D.'de alınmıştır [16]. 1950'lerde ise uçak pervaneleri kompozit malzemelerden yapılmaya başlanmıştır. Günümüzde bu malzemeler, her alanda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Elyaf takviyeli gelişmiş kompozitler, kompozit malzemeler içerisinde ayrıcalıklı bir yere sahiptir. Hatta gelişmiş elyaf takviyeli kompozitlerin üretimi, jet motorundan sonra en büyük teknolojik devrim olarak nitelendirilir. Bu tür kompozitlere yüksek teknoloji kompozitleri de denilmektedir. Bunlar elastiklik modülü yüksek olan karbon elyaf veya bor elyafı ile takviye edilmektedir. Diğer kompozitlere göre oldukça yüksek mukavemet ve rijitliğe sahiptirler. Yüksek mukavemetli çeliğe göre aynı mukavemet değerlerine sahip gelişmiş kompozitler, % 70 oranında daha hafiftirler.

Bazı gelişmiş kompozitler, alüminyuma göre üç kat daha kuvvetlidir. Bu sebeple kompozitlerden imal edilen uçak parçalarının ağırlığı, geleneksel uçak malzemelerinden imal edilenlere göre % 60 oranında daha düşüktür [17].

Günümüzde oldukça gelişmiş olan kompozit malzemeler, aslında binlerce yıldan beri kullanılmaktadır. Örneğin, çamur içine karıştırılan saman çöpleri ile yapılan kerpiç, bir kompozit maddedir. Ok yayı yapılırken üst üste konulan, özellikleri ve lif yönleri farklı ağaç levhalar kompozit bir malzeme oluştururlar. Ayrıca ahşap, kemik gibi malzemeler, tabiatta bulunan doğal kompozitlerdir [17].

Günümüzde uçak endüstrisinde, %30'lara varan oranlarda kompozit malzeme kullanılmaktadır. Son 10 yılda uçak sanayinde kullanılan kompozit malzeme gelişimi, çeşitli aşamalardan geçmiştir. İlk aşamada kompozitler, uçakların bazı kısımlarında deneme amaçlı kullanılmaya başlanmıştır. Test uçuşları sonunda herhangi bir problem çıkmayınca, mevcut uçakların metal parçaları, kompozitlerle değiştirilerek kullanılmıştır. General dynamics firmasının ürettiği F-111'lerin gövdesinde kullanılan bor-epoksi çifti, yine aynı kuruluşun ürettiği Northrop F-5'lerin gövdesinde kullanılan grafit-epoksi çifti, bu uygulamalara örnek olarak gösterilebilir. Üçüncü aşamada ise, uçak tasarımı sırasında parçaların bir kısmının kompozit malzemelerden yapımı uygun görülmüştür. Grumman F-14 ve McDonnell-Douglas F-15'lerde kullanılan bor-epoksi, General Dynamics'e ait YF-16'larda kullanılan karbon-epoksi esaslı kompozitler, bunlara örnek olarak verilebilir. Alüminyum içine dizilmiş bor lifleri, 1000°C üzerindeki sıcaklıklarda çalışan ve nikel-alüminyum alışımlı içerisinde oluşturulmuş nikel-niobiyum levhaları ile kuvvetlendirilen malzemeler, uçak sanayinde kullanılan diğer kompozit malzemelerdir. Kompozit malzemeler üzerinde yoğun çalışmalar devam etmektedir. Özellikle gelişen teknolojinin malzeme gereksinimini karşılamak için tek çözüm olarak bu malzemeler görülmektedir [17].

Bir kompozit malzeme, birbirleri arasında ayırt edilebilir farklılıkları olan iki ya da daha çok değişik malzemenin birleşimi olarak tanımlanmaktadır. Bununla birlikte, kompozitler genellikle mekanik özellikleri için kullanıldığından, bu tanım bağlayıcı

bir madde ile desteklenen, ‘takviye’ (lif veya parçacık gibi) ihtiva eden malzemeleri de içermektedir [18]. Kompozitlerin, sürekli bağlayıcı kısımlarından daha sert, mukavim ve süreksiz olan parçacık kısımları vardır. Takviye malzemesini bir arada tutan ve homojen bir hacim oluşturan, bağlayıcı bir maddeye ihtiyaç duyulmaktadır.

Kompozitler takviye edilme şekillerine ve matriks elemanlarına göre 3 gruba ayrılır.

- a) Takviye edilme şekillerine göre,
  1. Parçacık takviyeli kompozitler,
  2. Lamine (levha) kompozitler,
  3. Elyaf (lif) takviyeli kompozitler.
- b) Matriks elemanlarına göre,
  1. Metal matriksli kompozitler,
  2. Seramik matriksli kompozitler,
  3. Polimer matriksli kompozitler.

## **2.1. Takviye Edilme Şekillerine Göre Kompozitler**

### **2.1.1. Parçacık kompozitler**

Kompozitte kullanılan takviye elemanının her doğrultusundaki (x,y,z) boyutu hemen hemen aynı ise, bu malzemelere parçacık takviyeli kompozitler denir [5]. Küre, pul, çubuk gibi eşit akslara sahip pek çok diğer şekillerde takviyeleri ihtiva etmektedir. Parçacık takviyeli kompozitler ortogonal gerekmeleri karşılayabilmeleri nedeniyle, iki boyutlu gerilme hallerinde ideal malzeme olarak görülmektedirler. Polimerler gibi, bünyesinde takviye amacı dışında parçacık bulunduran malzemeler de mevcuttur. Bunlar genellikle ‘doldurulmuş’ sistemler olarak bilinirler. Çünkü parçacıklar takviye amaçlı değil, maliyeti düşürmek için kullanılmaktadırlar. Yinede bazı durumlarda doldurucu, bağlayıcı maddeyi az da olsa güçlendirebilmektedir. Örneğin betonun içinde yer alan çakıl ve kum, takviyeden çok dolgu görevi görmektedir. Burada asıl mukavemeti sağlayan çimento harcının kendisidir. Aynı

durum yangın yalıtımı, ısı iletkenliği arttırıcılık gibi, mekanik özellikleri iyileştirici amaçların dışında eklenen parçacıklar için de geçerlidir [19].

### **2.1.2. Lamine (tabakalı) kompozitler**

Bu tip kompozitler, farklı mukavemetlere sahip iki veya daha fazla katmandan oluşan levha şeklindeki malzemelerdir. Diğer bir deyişle, aynı cins veya başka cinsten parçaların lehim, tutkal gibi yapıştırıcı kullanarak birbirine eklenmesiyle istenilen şekil veya boyutlarda elde edilen yeni malzemelerdir [19]. Genel olarak tabakalı kompozitler, bölme amaçlı kullanılır; ayrıca, ısı ve ses yalıtımı istenen yerler için ideal bir yapıya sahiptirler.

### **2.1.3. Fiber takviyeli kompozitler**

Fiberler, boylarına nispetle çapları çok küçük olan malzemelerdir. Bunları dilimizde "lif" çoğul olduğunda "elyaf" diye adlandırırız. Elyaf takviyeli kompozitler, kendi kesit alanlarından çok daha uzun yapıya sahip lifleri bünyesinde bulduran malzemelerdir [2]. Malzemenin mekanik mukavemetini arttırmak ve gevrek kırılmasını önlemek için asıl malzeme olan matrikse (reçineye) çubuk şeklinde donatılar veya lifler ilave edilerek oluşturulan sistemlere, lifli kompozitler denir. Betonarme, kerpiç ve fiber malzemelerle güçlendirilmiş polimerler matriksli kompozitler örnek olarak verilebilir. Elyaf takviyeli kompozitler, kullanılan elyafın cinsine göre (karbon, aramid, organik, boron, v.b.) çeşitli sınıflara ayrılmaktadırlar.

## **2.2. Matris Elemanlarına Göre Kompozitler**

### **2.2.1. Metal matrisli kompozitler**

Son zamanlarda Metal Matrisli Kompozit (MMK) malzemeler üzerine yapılan bilimsel çalışmalar, fiziksel ve mekanik özelliklerinin daha iyi anlaşılmasını ve daha yaygın olarak kullanımına sebep olmuştur. MMK'lerin en önemli üstünlüğü mekanik, fiziksel ve termal özelliklerinin endüstriyel uygulamalarda istenen

değerlere ayarlanabilmesidir. Ayrıca yüksek elastisite modülü, yüksek sertlik ve çekme dayanımı, düşük termal iletkenlik, yüksek abrazyon aşınma direnci, yüksek sürünme dayanımı v.b. gibi üstünlükleri de vardır. Geleneksel malzemelere göre üstünlüklerinin yanında sakıncaları da mevcuttur. En önemli sakıncaları tokluk ve sünekliklerinin düşük olmasının yanında üretimlerinin daha zor ve pahalı olmasıdır [19].

Bu gruptaki kompozitler, genellikle alüminyum, bakır, magnezyum, titanyum gibi hafif metal ve alaşımların matris işlevleriyle; karbon, boron ve diğer bazı metal elyaf, parçacık, plakacık, whisker yapısında takviye fazını oluşturmasından meydana gelmektedir. Bu karma malzemeler daha üstün mukavemet, aşınma, korozyon, sertlik özellikleriyle nükleer güç ekipmanlarında, gaz türbinlerinde, uzay-havacılık ve otomotiv sektöründe kullanılmaktadır. Bu malzemelerin üretim süreçlerinde yeni geliştirilen son-net şekil verme teknikleri başarı ile uygulanmaktadır [20].

### **2.2.2. Seramik matrisli kompozitler**

Seramik matris malzemelerinin ( $Al_2S_3$ ,  $Ni_3N_4$ , SiC gibi), seramik veya metal parça, plaka, kristal veya elyaf olarak takviyesiyle oluşturulan, üstün ısıl dayanım ve mukavemete sahip malzemeler grubudur. SMK malzemeler genellikle, nükleer uygulamalarda, gaz türbinlerinde ve uzay-havacılık sektöründe kullanılmaktadır [20].

### **2.2.3. Polimer matrisli kompozitler**

Bu bölüm, kompozit malzemelerin üretiminde kullanılan ve özellikle en çok tercih edilen polimer matrisler hakkında bilgileri kapsamaktadır.

Polimerler, monomer denilen kimyasal ünitelerden meydana gelen, zincirler şeklinde bir yapıya sahip olan sentetik malzemelerdir [21]. Doğada var olan bu malzemelerin başlıcaları; kömür, ham petrol, su, hava ve kireçtir. Yapay olarak da elde edilebilen

organik polimerik malzemeler ise plastikler, elastomerler ve fiberlerdir. Polimerler; yapay polimerler ve doğal polimerler olarak iki gruba ayrılır.

- Yapay Polimerler (plastikler)
- Doğal Polimerler (selüloz, doğal kauçuk vb.)

Plastiklerin (yapay polimerler) yapısı amorf haldedir. Bu yüzden, uzun ve karışık zincirlerin birbirleri ile uyum sağlayıp düzenli bir yapı oluşturmaları oldukça zordur. Bir lineer polimer yapısı pişmiş makarnayı andırır ve polimer zincirleri birbirlerine dolanmış halde bulunur. Amorf, ana yapı içerisinde bulunan küçük yapıli bölgeler, kristalitler olarak adlandırılır ve oluşan kristaller rasgele yönlendirilir. Kristalleşme soğuma hızı ile ters, mekanik özellikler ile doğru orantılıdır. Kompozitlerde, matriks malzemesi olarak genellikle plastikler kullanılır. Plastikler de kendi içinde iki gruba ayrılırlar.

- “Termo” plastikler
- “Termoset” plastikler

### **2.2.3.1. Termoplastikler**

Termoplastiklerin molekülleri birbirlerine zayıf olan Van der Waals bağları ile bağlıdır. Bu özelliğinden dolayı termoplastikler, rijit bir yapıya sahip değillerdir. Isı ile şekil değiştirebilen ve şekil değiştirdiğinde yapısal değişikliğe uğramayan plastiklerdir [22]. Bu tip plastikler, yüksek sıcaklıklarda yumuşarlar, eriyik haline gelirler ve tekrar soğutulduklarında sertleşirler. Sıvı halde bulunduğu sıcaklıklarda vizkozitesi yüksektir. Bu nedenle ara yüzey bağı termosetlere göre daha zayıftır [21]. Düşük sıcaklıklarda bile kolay şekil verilmesi, malzemeye ekonomik değer katar. Termoplastikler çeşitli sıcaklıkta ve hallerde bulunur. Bunlar;

- Katı Hal: Malzeme, cam gibi sert ve tokluk arz eden sert bir haldedir.
- Termoelastik Hal: Bu, malzemenin yüksek elastikiyete sahip olduğu durumdur.



- Termoplastik Hal: Bu durumda, malzeme akışkan bir sıvı halindedir.

Bu haldeyken malzeme, balmumuna benzer, ısıtıldığında yumuşar, erir ve şekil verilebilir. Bu grupta, akrilikler, selülozikler, naylonlar, polistirenler, polietilenler, karbonflorürler ve viniller vardır. Başlıca termoplastikler; asetal (POM), arkilik (PMMA), akronitril-butadiene-streyn (ABS), politetra flourethylene (PTFE), poliamids (PA), polyesterler (PET), poletilen (PE), polipropilene (PP), polivinil klorür (PVC) dir.

Termoplastikler, üretimlerindeki zorlukların yanı sıra yüksek maliyetlerinden dolayı kompozit malzemelerde matriks olarak tercih edilmezler. Ayrıca, oda sıcaklığında düşük işleme kalitesi sağlar, buda onların üretimde zaman kaybına yol açmasına neden olur. Bazı termoplastikleri istenilen şekillere sokabilmek için çözücülere (solventlere) ihtiyaç duyulabilir. Termoplastikler, termosetlere kıyasla, hammaddesi daha pahalıdır [19]. Diğer bir sebep ise, termoplastik bağlayıcı malzemelerin, termoset reçinelerden daha gevrek olmasıdır. Fakat termoplastikler, ısı ve neme karşı dayanımları yüksektir. Ayrıca, yüksek süneklik özelliği sayesinde, ortalama elastik modülü, yüksek mukavemetli liflerin, kompozitin içinde tüm mukavemet potansiyellerini kullanmalarını sağlayabilen nadir bağlayıcılardır. Bu malzemeler, polietereterketon (PEEK), polyphylene sulfide (PPS), polyetherimide (PEI) reçineleri içermektedir. Orijinal olarak termoplastik gibi şekillendirilen, fakat sonradan kısmi termoset karakter elde edebilen, tekrar küre tabi tutulan polyamideimide (PAI) gibi bağlayıcıları da kapsayabilmektedir [22].

Amorf yapıli reçinelerden ilk olarak polietersulfon (PES) ve PEI matriks olarak kullanılmaktaydı. Sonraki dönemde ise havacılık sektöründeki uygulamalarda, çözücülere karşı dayanım önemli bir kriter olarak ortaya çıkmıştır. Bu ihtiyaçtan dolayı, PEEK ve PPS gibi yarı-kristal yapıli plastik malzemeler geliştirilmiştir. Ayrıca sınırlı oranlarda PAI ve Poliiimid gibi plastikler de kullanılmaktadır. Bu polimerler diğer termoplastiklerden farklı olarak polimerizasyonlarını kür aşamasında tamamlarlar. En yoğun çalışmalar ise PA, PBT(Polybütilen)/PET ve PP gibi düşük sıcaklıklarda kullanılan polimerler üzerine yapılmıştır. Tüm bu

polimerlerin haricinde ABS, SAN, SMA (StirenMaleikAnhidrit), PSU (Polisülfon), PPE (Poifenilen Eter) matriks olarak kullanılır [19].

Termoplastik reçineler, malzemenin çekme ve eğilme dayanımını arttırması için kullanılırlar. Otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılan termoplastikler, uçak sanayisinde de yüksek performanslı malzeme çözümlerinde de kullanılmaktadırlar. Çoğunlukla enjeksiyon ve ekstrüzyon kalıplama yöntemleri ile üretilen termoplastikler, GMT (Glass Mat Reinforced Thermoplastics/Preslenebilir Takviyeli Termoplastik) olarak da üretilmektedir. Bu yöntemle hazırlanan takviyeli termoplastikler, soğuk plakaların preslenebilmesi ve geri dönüşüme uygun olduğundan dolayı, özellikle otomotiv sektöründe tercih edilmektedir. Bunların dışında plastik çanta, plastik boru mas gibi çeşitli malzemeler de üretilmektedir [23].

Termoplastiklerin özellikleri şöyle özetlenebilir:

- Çok düşük rijitlik,
- Çok düşük çekme dayanımı ve düşük sertliğe sahip olduklarından aynı zorlama için daha büyük hacimler gerektirdiğinden dolayı her zaman tercih edilmezler.
- Daha büyük süneklik, yaklaşık % 1 ile 500 arasında değişir.
- Kuvvet etkisinde oda sıcaklığında bile sünme ve zamana bağlı şekil değiştirmeler oluşur.

Fiziksel özellikleri de şöyle özetlenebilir:

- Metaller ve seramiklerden daha düşük yoğunluğa sahiptir. Polimerlerin tipik özgül ağırlıkları 1.2 g/cm<sup>3</sup> iken seramiklerin yoğunlukları 2.5 g/cm<sup>3</sup> ve metallerin yoğunlukları ise 7 g/cm<sup>3</sup> civarındadır.
- Çok yüksek termal uzama katsayılarına sahiptirler. Kaba olarak bu metallerin yaklaşık 5 katı seramiklerin yaklaşık 10 katıdır.
- Düşük ergime sıcaklığına sahiptir.
- Özgül ısıları metallerin 2 katı yüksek olup seramiklerin 4 katıdır.

- Termal iletkenlikleri metallere yaklařık 3 kat daha dūřūktür.
- Yalıtıcı elektriksel özelliklere sahiptirler [2].

### 2.2.3.2. Termoset plastikler

Termosetler, ısı işlem yardımıyla üretilen ve geri dönüşümü olmayan plastiklerdir. Yani, bir kez ısı ile şekil verildikten sonra, yapısal değişikliğe uğrayan ve tekrar şekillendirilemeyen plastiklerdir. Ayrıca, erime özelliğinin olmaması termoplastikler gibi akıcılık kazanmasını önler. Buna karşın, yangında kömürleşerek doğal bir ısı yalıtım tabakası oluştururlar.

Termosetler, polimerizasyonla iki kademede elde edilirler. İlk olarak, malzemenin ihtiva ettiği monomerler, reaktörde lineer zincirler oluşturmaya başlar. İkinci polimerizasyon işlemi ise kalıplama esnasında, sıcaklık ve basınç altında önceden reaksiyona girmeyen kısımlar sıvılaşarak molekül zincirlerini üç boyutlu olarak rijitleştirirler [21]. Bu yüzden tekrar ısı işlem ile yumuşatılamazlar. En çok tercih edilen termosetler; epoksiler, polyesterler ve fenoliklerdir. Ayrıca bunların dışında, silikon, polimide, bismaleimide ve aminolar kullanılmaktadır.

Epoksi reçineler; yüksek mukavemetli CTP kompozitlerinde sıkça kullanılan bir matrikstir. Epoksi reçineleri neme karşı hassas olsalar bile, polyesterlere karşı daha üstün özellik göstermektedirler. Isıl işlem görmemiş epoksiler, düşük polimerizasyon derecesine sahiptir. Bu yüzden, epoksinin moleküler ağırlığını ve çapraz bağını arttırmak için ısı işlem uygulanır. Isıl-işlem görmüş epoksilerin dayanımı yüksek, ısı ve kimyasallara karşı dirençleri iyidir. Yüzey kaplamaları, endüstriyel döşemeler, yapıştırıcılar ve CTP'lerde matriks malzemesi olarak kullanılırlar. Ayrıca epoksinin yalıtım özellikleri nedeni ile çeşitli elektronik uygulamalarda, örneğin transistor ve baskı devre plakalarında da kullanılmaktadır.

Polyester; çok anlamındaki "poly" ve organik tuzu ifade eden terim olan "ester" den oluşur. Polyester kelimesi çok sayıda organik tuz olarak ifade edilebilir. Ayrıca ester molekül zincirlerini de Polimer olarak tanımlayabiliriz.

Doymamış polyester reçinelerin ilk pratik uygulama örneği, 2. Dünya savaşında yapılmıştır. Cam elyafı ile takviye edildiğinde, çok sağlam ve hafif bir malzeme olduğunun anlaşılması 1950'lerdedir. Günümüzde doymamış polyester reçineler, ilk hallerine göre çok daha üstün özelliklere sahiptirler [24].

Doymamış polyester reçine, Türkiye'de ve dünyada CTP üretiminde en yaygın olarak kullanılan (kullanılan reçinelerin yaklaşık %75'ni temsil ederler ve 1997-2004 yılları arasında kullanılan polyester reçine miktarı Tablo 3.1'de gösterilmiştir ve takviyeli plastikler içinde ise termoset grubunda yer alan bir malzemedir. Basit kalıplama tekniklerden, en karmaşık makineleşmiş kalıplama tekniklerine kadar her tür kalıplama tekniğine hitap eder. Polyester reçineler, çok geniş bir kimyasal aileyi kapsar ve genel olarak dibazik asitlerle polihidrik alkollerin kondensasyon reaksiyonu sonucunda elde edilirler [24].

Kullanılan dibazik asit türüne bağlı olarak, doymamış polyester reçineler, kompozitin genel amaçlı veya kimyasal dayanımlı olmasını sağlayacak şekilde "ortoftalik" veya "izoftalik" olarak adlandırılır.

Bu reçineler, kimyasal etkilere dayanıklı boru ve reaktörlerde, tren vagonlarında, iş aletlerinde, duş kabinlerinde, otomotiv gövde, parça ve kapılarında kullanılmaktadır. Genel amaç, kimyasal etkilere karşı yalıtımın ve ısı geçirimsizliğinin sağlanmasıdır [22].

Fonelik; ticari ismi bakalit olan fonelikler tahta ununun, selüloz elyafları ve kalıplama malzemesi olarak kullanılan minerallerin birleştirilmesinde kullanılır. Fenolikler, gevrek yapıya sahip olmalarına karşın kimyasal ve boyutsal kararlılığı iyidir. Bununla birlikte, malzemeye koyu renkler verilebilmekte fakat diğer renkler sınırlı olarak uygulanabilmektedir. Fonelikler toplam reçine kullanımının %10'unu kapsar. Bu reçineler genellikle ahşap yapıştırıcısı, baskı devre plakaları ve fren balatası yapımında bağlayıcı olarak kullanılmaktadır.

Tablo 2.1. En çok kullanılan termoset matrislerin mekanik ve fiziksel özellikleri [21]

Malzeme Cinsi	Epoksi	Polyester	Fonelik
Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )	1,11	1,04-1,46	1,24-1,32
Elastik Modül (kN/cm <sup>2</sup> )	700	340	480
Çekme Dayanımı (kN/cm <sup>2</sup> )	7	4,1-9	3,4-6,2
Kopma Uzaması (%)	3-6	42	1,5-2,0
Isıl İletkenlik	0,19	0,19	0,15
Isıl Genleşme Katsayısı (1/°C)	45-65	55-100	68

Silikonlar, inorganik ve yarı-inorganik polimerlerin molekül yapılarında tekrarlanan siloxane bağının farklı şekillerde bağlanması ile üretilen bağlayıcı, elastomer ve termosetting gibi 3 çeşitte bulunurlar. Termoset silikonlar çapraz bağlara sahiptirler. Bu tip reçineler boyama, parlatma ve kaplama işlerinde kullanılırlar.

Polymide; diğer reçinelerin aksine, polymide reçineler kür esnasında gaz açığa çıkaran bir yoğunlaşma reaksiyonu ile işlenmektedir. Bu esnada çıkan gaz, kompozitin içinde hava boşlukları oluşturduğundan mukavemet kaybına yol açmaktadır. Fakat bu durum, polymide reçinelerin, 260°C'lik sıcaklıklarda bile kullanımını mümkün kılmaktadır. Bununla birlikte, polymide reçinelerin son kür esnasında gaz çıkarmayan birkaç cinsi de mevcuttur [22].

Bismaleimide reçineler; epoksi reçineleri gibi, iyi mekanik özelliklere sahiptirler ve nispeten işleme kolaylığı sağladığından matris olarak aranan bir malzemedir. Epoksi reçinelere kıyasla ısıl dayanımı yüksek olup, 205-220°C'ye kadar güvenle kullanımı mümkündür. Fakat bu tür reçinelerde çekme mukavemetinin düşük, çekme modüllerinin ise nispeten yüksek olması nedeniyle gevrek kırılma yaparlar.

Amino reçineler; çok katı ve parçacıklı yapıya sahip plakalarda yapıştırıcı malzeme olarak kullanılmaktadır. Fakat fiyat olarak fenoliklerden pahalıdır [22].

### 2.3. Elyaf Takviyeli Kompozitler

Kompozit malzemelerde takviye elamanı olarak elyaflar olup, bunlar yüksek özgül dayanımları nedeniyle son yıllarda yaygın olarak tercih edilmektedirler. Birkaç yıl öncesine kadar elyaf terimi tekstil malzemelerle sınırlandırılmıştı. Bugün özellikle mühendislik kullanımı için çok değişik elyaflar bulunmaktadır. Organik, sentetik elyaflardan çok farklı türde olan bu takviye elamanlarını başlıcaları; cam, karbon, boron, alüminyum oksit ve silisyum karbür olup değişik morfolojik şekilde olabilmektedir. Bunun yanında kompozitlerde takviye elamanı olarak elyaf veya kılcal kristal formu malzemeler kullanıldığı zaman optimum özellikler elde edilebilmektedir. Fakat bunlar ekonomik olarak pahalıdır.

Kompozit malzemelerde kullanılan başlıca elyaf türleri;

- Cam elyafı,
- Karbon (Graphite) elyafı, (PAN -polyacrylonitrile- ve zift kökenli)
- Aramid (Aromatic Polyamid) elyafı, (Ticari ismi; Kevlar-DuPont)
- Bor elyafı,
- Oksit elyafı,
- Yüksek yoğunluklu polyetilen elyafı,
- Poliamid elyafı,
- Polyester elyafı,
- Doğal organik elyaflar

Bu elyaflar arasından en yaygın olarak cam, karbon ve aramid elyafları kullanılmaktadır. Bu üç elyaf türü de güçlü, sert ve sürekli biçimde üretilebilmektedir [24].

### 2.3.1. Cam elyaf

Tarihte, cam elyafının ilk kez Fenikeli ve Mısırlı sanatçılar tarafından kullanıldığı bilinmektedir. O zamanlarda lifler, cam çubuklarının ısıtılması sonucunda, yumuşatılarak akıtılması şeklinde elde ediliyordu. Kullanım yeri, yine takviye amacına yönelikti ve çanak, çömlek, amfora gibi ürünlerin sağlamlaştırılmasını sağlıyordu. Bugün bildiğimiz devamlı cam elyafı 1930'lu yılların sonlarına doğru geliştirilmiştir [24]. 1940'lı yıllardan bu yana, değişik cam elyafı tipleri plastiklerin takviyesinde kullanılmaktadır. Cam elyafı başlangıçta sadece Termoset yapıdaki plastiklerin takviyesinde kullanılırken, günümüzde termoplastiklerin de takviyesinde hızlı bir büyüme göstermektedir.

Cam elyafı silika, kolemanit, alüminyum oksit, soda gibi hammaddelerden üretilmektedir. CTP kompozitin takviyesinde (maliyetinin düşük olmasından dolayı) en çok tercih edilen E tipi cam elyafını elde etmek için; öncelikle istenen özellikleri elyafa kazandıracak hammaddeler fırında (yaklaşık 1550°C de) eritilir. Eriyik haline gelen hammadde, platin radyum alaşımından yapılmış olan ocakta, elektrik enerjisi ile  $\pm 5^\circ\text{C}$  hassasiyet ile 1250°C de ısıtılır ve üzerinde 1-2 mm çapında çok sayıda delik bulunan kovan denilen eleklerden geçirilir [24]. Elyafın üretim esnasında dayanıklılıklarının %50'sini kaybetmelerine rağmen son derece sağlamdırlar. Bu ince lifler soğutulduktan sonra makaralara sarılarak kompozit hammaddesi olarak nakliye edilir.

Cam elyafı ile matriksin yapışma gücünü arttırmak için "silan" bazlı ve elyaf üzerinde ince film oluşturan değişik kimyasalların eklenmesi ve bazı özel üretim yöntemleri ile farklı türde cam elyafı üretilmektedir;

- A Cam - Pencerelerde ve şişelerde en çok kullanılan cam çeşididir. Kompozitler de çok fazla kullanılmaz.
- C Cam - Yüksek kimyasal direnç gösterir. Bu özelliği nedeni ile depolama tankları gibi yerlerde kullanılır.

- E Cam - Takviye elyaflarının üretiminde en çok kullanılan cam türüdür. Düşük maliyet, iyi yalıtım ve düşük su emiş oranı özelliklerine sahiptir.
- S + R Cam - Yüksek maliyetli ve yüksek performanslı bir malzemedir. Yalnız uçak sanayisinde kullanılır. Elyaf içindeki tellerin çapları E Cam'ın yarısı kadardır. Böylelikle elyaf sayısı fazlalaşır; dolayısıyla birleşme özelliklerinin daha güçlü olması anlamına gelen daha sert yüzey elde edilebilmektedir.

Malzeme elyaf haline geldiğinde, reçine ile arasındaki aderansı sağlamak amacıyla, kovan deliklerinden geçen sıvı malzeme üzerine, hava ile birlikte kaydırıcı (Lubricant) ve bağlayıcı (Coupling Agent) püskürtülür; böylece malzeme yarı katı hale getirilir [24].

Elyaf takviyeli organik bağlayıcı kompozitlerin ilk uygulamaları, cam elyaflar ile yapılmıştır. Hem sürekli hem de süreksiz cam elyaf takviyeli kompozitler, uçak kontrol panelleri gibi yapısal olmayan kullanımlardan, roket motoru parçaları, yüksek basınç kabinleri gibi yüksek yapısal dayanım gerektirmeyen uygulamalara kadar çok geniş bir yelpazede uygulama imkanı bulmaktadır. Cam elyafı, Tablo 2.2.'de de görüldüğü gibi birçok çeşidi olmasından dolayı, çeşitli uygulama alanlarında kullanılmaktadır. Ayrıca, cam elyaf takviyeli kompozitlerin geçmişten günümüze kadar birçok kullanım alanı bulunmasının ana sebebi; düşük maliyeti, kolay elde edilebilirliği, üretim kolaylığı ve yüksek mukavemeti olarak gösterilmektedir.



Tablo 2.2. Başlıca cam tipleri ve özellikleri

Cam Tipi	Özellikleri
A-camı	Yüksek alkali oranı-düşük maliyet
C-camı	Kimyasal dayanım (Yüzey tülleri)
E-camı	Elektriksel özellikler
L-camı	Radyasyona karşı kurşun içerir
M-camı	Yüksek elastik modül
S-2 camı	Yüksek çekme dayanımı
W-2 camı	Paneller için yarı şeffaf
AR-camı	Alkali dayanım
R-camı	Yüksek çekme dayanımı

Takviye için kullanılan cam elyafları, biçimleri temel olarak iki sınıfa ayrılırlar. Devamlı yapıya sahip bir cam elyafı takviye malzemesidir. Çok sayıda delik içeren kovanlardan akan cam liflerinin doğrudan doğruya sarılması ile üretilir [23]. Fitol ürünleri 10-24mikron çapında liflerden oluşur ve genellikle 1000 m uzunluğunda ve 600 gr, 1200 gr, 2400 gr ve 4800 gr ağırlığında olacak şekilde üretilir. Kullanım yeri ve prosesine bağlı olarak, sertlik, lifler arasında eş gerilim, kayganlık ve kolay kırılabilme gibi farklı özellikler fitillere kazandırılabilir. Özel olarak üretilen ve “Spun roving” adı verilen düğümlü fitilde ana doğrultuya dik yönde takviye sağlayan ilmekler bulunmaktadır. Bunun amacı; tek yönde takviye edilmiş pultrüzyon ürünleri gibi kompozitlerde yanal mukavemeti arttırmaktır.

Genellikle “R” camı elyafından yapılmış fitillere en yaygın olarak epoksi reçine emdirilerek yapılan “Stratipreg veya Prepreg” ismi verilen bir diğer cam elyafı takviye malzemesi de elyaf sarma metodu ile yüksek mekanik dayanım aranan depo ve borularda otoklavda kalıplanmak üzere kullanılmaktadır [21].

### 2.3.2. Aramid elyafı

Aramid elyafı termoplastik polimerlerden üretilen bir lif türüdür. Aramid ismini, 1960'ların ilk yarısında ticari olarak üretilen aromatic polyamide elyaflarından almaktadır. Ancak, yüksek performanslı olanları para-phenyleneterephthalamide türevleridir. Bu elyaflar 345 kN/cm<sup>2</sup> mukavemet ve 13200 kN/cm<sup>2</sup> elastik modülüne

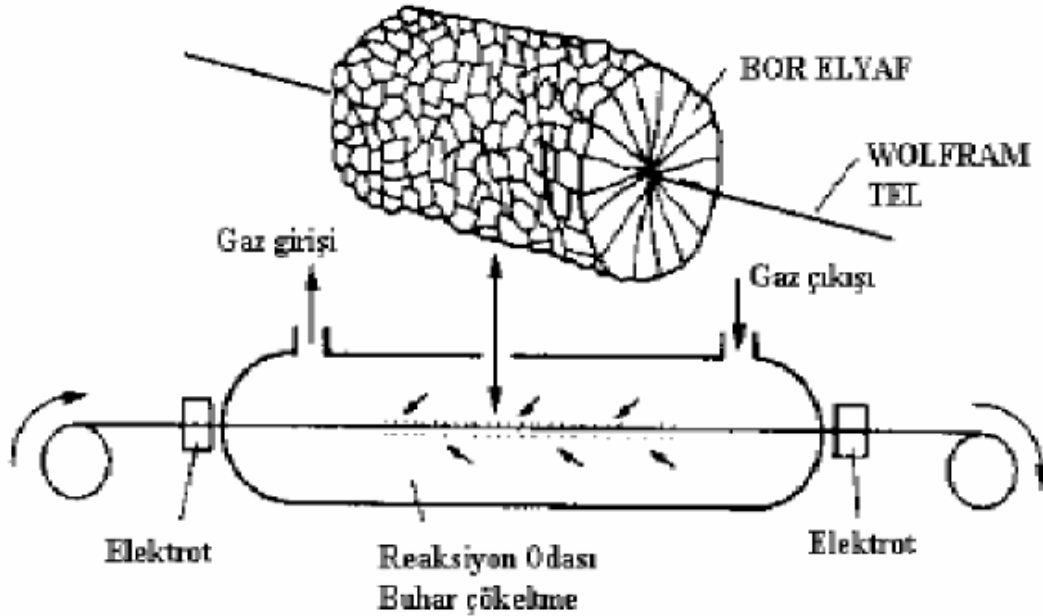
kadar ulaşabilmektedir. Aramid elyafı, sahip olduğu mekanik özelliklerinden dolayı, yüksek dayanım istenen kompozitlerin yapımında kullanılır ve en çok bilineni Kevlar 49'dur [22].

1980'den beri, yüksek teknoloji ürünleri olarak bilinen aramid elyafı, önemli bir mesafe kat etmiş olup; uzay, denizcilik, spor ürünleri, eğlence, otomotiv ve silah endüstrisi gibi klasik kompozit pazarlarında yoğun olarak kullanılmaktadır. Bu elyaf, düşük yoğunluk ile yüksek elastik modül ve ayrıca iyi düzeyde yapışma özelliği ile yüksek mukavemet/ağırlık oranını bir araya getirmektedir. Mukavemet ve modül değerleri yanı sıra, liflerin kolaylıkla ıslatılabilmesi ve darbeye karşı dayanım özelliklerinden dolayı, yaygın olarak kullanılan reçinelerin çoğunluğu ile kullanılabilir. Aramid elyafının negatif ısıl genleşme katsayısından dolayı, ısı iletiminin önem taşıdığı ortamlarda yaygın olarak kullanılır. Aramid ürünleri iplik, fitil, kırılmış elyaf şeklindedir. Ayrıca, aramid elyafı fiyat/performans değerlerini sağlamak üzere tasarlanmış olan aramid, cam ve karbon elyafının kombinasyonu şeklinde hibrid ürünler halinde de üretilmektedir [24].

### 2.3.3. Boron elyafı

Bor elyaflar aslında kendi içlerinde kompozit yapıdadırlar. Çekirdek olarak adlandırılan ince bir flamanın üzerine bor kaplanarak imal edilirler. Çekirdek genellikle Tungstendir. Karbon çekirdek de kullanılabilir ancak bu yeni bir uygulamadır. Bor-Tungsten elyaflar, sıcak tungsten flamanın hidrojen ve bortriklorür (BCl<sub>3</sub>) gazından geçirilmesi ile üretilirler. Böylece Tungsten flamanın dışında bor plaka oluşur. Bor elyaflar değişik çaplarda üretilebilirler (0.05 mm ile 0.2 mm). Tungsten çekirdek ise daima 0.01 mm çapında üretilir. Bor elyaflar yüksek çekme mukavemetine ve elastik modüle sahiptirler. Çekme mukavemetleri 2758 MPa ile 3447 MPa'dır. Elastik modül ise 400 GPa'dır. Bu değer S camının elastik modülünden beş kat daha fazladır. Üstün mekanik özelliklere sahip olan bor elyaflar, uçak yapılarında kullanılmak üzere geliştirilmişlerdir. Ancak, maliyetlerinin çok yüksek olması nedeniyle, son yıllarda yerlerini karbon elyaflara bırakmışlardır. Bor elyafların Silisyum Karbür (SiC) veya Bor Karbür (B<sub>4</sub>C) kaplanmasıyla yüksek

sıcaklıklara dayanım artar. Özellikle bor karbür kaplanması ile çekme mukavemeti önemli ölçüde artırılabilir. Bor elyafların erime sıcaklıkları 2040 °C civarındadır [25].



Şekil 2.1. Bor elyaf üretimini gösteren şema

#### 2.3.4. Karbon / grafit elyafı

Yüksek teknoloji ürünü olarak kompozit pazarının geniş bir kısmı, karbon veya grafit elyaf ürünlerinden yararlanmaktadır. İlk ticari amaçlı karbon elyafı, piroliz (yanma) ve ısı işleme tabi tutulan sentetik liflerin karbon ve grafit elyafına dönüştürülmesi suretiyle üretilmiştir. Sentetik esaslı elyafların çoğunluğu, polikronitril (PAN) kullanılarak elde edilmektedir. Bu liflerin elastik modülleri ve dayanımları, proses sırasındaki gerilim ve sıcaklık koşullarının değiştirilmesi ile kontrol altında tutulmaktadır [25].

Diğer karbon/grafit elyafı üretim prosesinde öncelikli olarak zift kullanımını esas almaktadır. Çünkü zift esaslı ürünler çok yüksek elastik modüllere sahip olup,

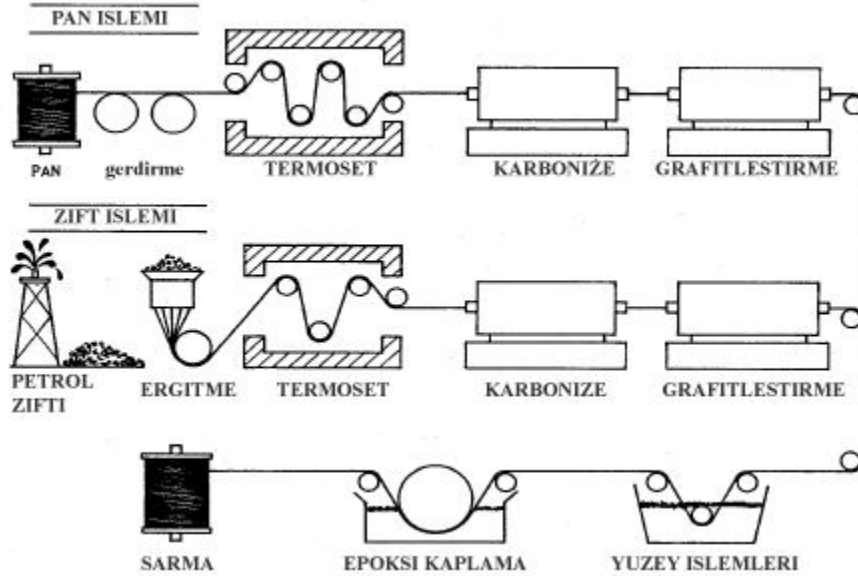
kopmada uzaması düşüktür. Zift, sıvı kristal “mesophase” haline dönüştürülerek piroliz işlemine tabi tutulur ve ısı uygulanarak elyafa dönüştürülür. Bu sayede, yüksek elastik modüllü ve yüksek mukavemet değerlerine sahip ürün elde edilir.

Karbon elyafının diğer takviye liflerine göre daha farklı avantajları da vardır. Nispeten düşük elyaf yoğunluğu, yüksek mukavemet ve yüksek elastik modül özelliklerini bir araya getirerek üstün bir kombinasyon özelliği sunmaktadır. Aynı zamanda yüksek ısılarda özelliğini koruma ve yorulmaya karşı yüksek direnç gösterirler. Fakat bütün bunlarla birlikte karbon elyafının kendi yapısal özelliklerinden kaynaklanan bazı olumsuz yanları da mevcuttur. Liflerin sınırlı uzama özelliğinden dolayı, çarpma ve darbe kuvvetiyle karşılaştığında sorunlara neden olmaktadır. Bu açığı kapatmak amacıyla daha yüksek uzama özelliğine sahip elyaf ürünleri geliştirilmektedir. Karbon elyafının elektrik iletkenliği de bazı kullanım alanlarında sorun olabilmektedir. Karbon elyafı Şekil 2.2’de da görüldüğü gibi demet, şerit veya kumaş halinde üretilmektedir. Daha çok termoplastik ve termoset hazır kalıplama bileşimlerinde katkı malzemesi olarak kullanılmak üzere, kırılmış veya öğütülmüş şekilde bulunmaktadır. Grafit halinde, çok yüksek ısı iletkenliğe sahiptir. Bakıra göre dörtte bir ağırlıkta olan Grafit/Karbon elyafının termal iletkenliği bakırın 3-4 katıdır. Bu özellik yeni uygulama alanlarını da beraberinde getirmektedir [21].

#### Karbon elyafın özellikleri

- Yüksek çekme mukavemetine ve 200-300 GPa değerinde orta elastik modüle sahip olan elyaflardır.
- Karbon elyafların en önemli özellikleri düşük yoğunluğun yanı sıra yüksek mukavemet ve tokluk değerleridir.
- Karbon elyaflar, nemden etkilenmezler ve sürtünme mukavemetleri çok yüksektir.
- Aşınma ve yorulma mukavemetleri oldukça iyidir. Bu nedenle askeri ve sivil uçak yapılarında yaygın bir kullanım alanına sahiptirler.

- Karbon elyaflar çeşitli plastik matrislerle ve yaygın olarak epoksi reçinelerle kullanılırlar.



Şekil 2.2. Karbon elyaf üretim şeması

### 2.3.5. Diğer organik lifler

Termoplastik polyesterler, naylon lifler, polietilen ve silikon karbid organik lifler olup, takviye malzemesi olarak kullanıldıkları ürünlere hem darbelere hem de kimyasallara karşı yüksek dayanım sağladığı için kompozit pazarında yeni ve çeşitli kullanım alanları bulmaktadırlar. Ancak diğer elyaf çeşitleriyle karşılaştırıldığında, hem daha düşük sertlik hem de daha düşük ısı kullanımı gibi dezavantajları vardır. Bütün bunlara karşın organik lifler, yüzey keçeleri veya tülleri üretiminde kullanılmaktadırlar. Bu özel ürünler kimyasal dayanım ve dış yüzey görünümünün önem kazandığı uygulamalarda tercih edilirler. Cam tülünün kılcal yapısı nedeniyle oluşan reçinece zengin yüzey, yüksek kimyasal dayanım ve daha iyi bir dış görünüm sağlamaktadır. Bahsedilen elyaf türlerinin özellikleri Tablo 2.3'te özetlenmiştir. Bu elyaf türlerinden çekme dayanımı ve üretim kolaylığı nedeni ile en çok kullanılan elyaf malzeme türlerinden biri olan Cam elyaf kullanılmaktadır. Bizim çalışmalarımızda karşılıklı olarak verilen elyaf türlerinden cam elyaf tercih edilmiştir.

Tablo 2.3. Tipik elyafların mekanik özellikleri [22,24]

Elyaf Çeşidi	Çekme Mukavemeti (MPa)	Çekme Modülü (GPa)	Yoğunluk <sup>3</sup> (gr/cm <sup>3</sup> )	Özelliği
<b>Karbon HS</b>	3500	160-270	1,8	Yüksek modül, Elektriksel iletkenlik, Yüksek maliyet
<b>Karbon IM</b>	5300	270-325	1,8	
<b>Karbon HM</b>	3500	325-440	1,8	
<b>Karbon IHM</b>	2000	440	2,0	
<b>Aramid LM</b>	3600	60	1,45	İyi spesifik özellikler, Orta maliyet
<b>Aramid HM</b>	3100	120	1,45	
<b>Aramid UHM</b>	3400	180	1,47	
<b>Boron</b>	3600	400	2,49	Yüksek modül, Yüksek maliyet
<b>Silikon Karbid</b>	3900	400	3,0	Yüksek çekme mukavemeti ve yüksek yoğunluk
<b>Polyester</b>	1000	9	1,38	İyi darbe dayanımı ve Alkali dayanımı
<b>Naylon</b>	950	5	1,16	İyi darbe dayanımı ve Alkali dayanımı
<b>Polietilen</b>	1200-1500	40-60	0,97	Düşük yoğunluk, İyi darbe dayanımı, Düşük derece
<b>E Cam</b>	2400	69	2,5	Yüksek mukavemet, İyi kalıplama özellikleri, Düşük maliyet
<b>S Cam</b>	3450	86	2,5	
<b>Kuartz Cam</b>	3700	69	2,2	

## **BÖLÜM 3. CTP ve ÜRETİM YÖNTEMLERİ**

Cam elyaf takviyeli plastik malzemelerde, takviye malzemesi olarak cam elyaf bulunmakta ve bu takviye malzemesinin çevresinde hacimsel olarak daha fazla miktarda polyester, dolgu maddesi, boya ve kimyasal reaksiyon için gerekli olan maddelerden oluşmuş bir matris bulunur. Cam elyaf takviye olarak mekanik özellikleri iyileştirir, matris ise deformasyon sırasındaki çatlak oluşumunu önleyici rol oynar [27].

### **3.1. CTP' nin Avantajları**

CTP avantajları şu şekilde sıralanabilir;

- Mukavemet/ağırlık oranı avantajı ve sertlik,
- Sınırsız kalıplama boyutları,
- Kolay üretim,
- Çok sayıda üretim tekniği,
- Küçük sermaye yatırımı, ( el yatırma yöntemi)
- Düşük maliyetle az sayıda üretim olanağı, ( el yatırma yöntemi)
- Tasarım esnekliği,
- Diğer malzemelerle bağdaşma olanağı,
- Mükemmel su dayanımı,
- Çok sayıda kimyasal maddeye dayanım,
- Hava koşullarına dayanım,
- UV ısınlarına dayanım,
- Kendinden renklendirme olanağı,
- İstendiğinde yanmazlık,
- İsteğe bağlı olarak ışık geçirgen özellikte üretebilme olanağı,

- İstenilen mukavemette ve özellikte üretebilme kolaylığı,
- Çok iyi elektrik ve termal özellik,
- Farklı mekanik özellikleri elde etmek için farklı katmanlarda ve farklı kombinasyonlarda malzeme üretilebilir olma imkânı,
- Hacimsel fazda, CTP üretimi için metallere göre daha az enerjiye ihtiyaç duyulur [28].

### **3.2. CTP üretimi**

#### **3.2.1. CTP üretiminde kullanılan malzemeler**

CTP üretiminde kullanılan malzemeler şu şekilde sıralanabilir;

- Polyester reçineler,
- Hızlandırıcılar,
- Dolgu maddeleri,
- Boyalar,
- Katalizörler,
- Kalıp ayırıcılar,
- Takviye malzemeleri.

##### **3.2.1.1. Polyester reçineler**

Polyester, katman içindeki takviye liflerini bağlayıcı rol oynar. Önemli iki evre vardır; Birincisi, cam takviyenin ıslandığı sıvı veya yapışkan bir madde elde edilmesi, ikincisi sert ve dayanıklı ürün elde etmek için katılaşmanın meydana gelmesidir. Doymuş polyester reçineler, polietilen tetraflor terilen gibi termoplastik özellik gösteren ve enjeksiyon kalıplamada ve elyaf üretiminde kullanılan reçinelerdir. Doymamış polyester reçineler, uygun bir katalizör ile uzay ağı şebeke yapısı oluşturan termoset özellikli reçinelerdir. CTP üretiminde genellikle doymamış polyester reçine kullanılır [29].



### 3.2.1.2. Hızlandırıcılar

Doymamış polyester reçinelerin donma ve sertleşmesi, serbest kök kaynağı olarak kullanılan peroksitler vasıtasıyla gerçekleşir. Bu serbest köklerin elde edilmesi için peroksit ısı veya bir başka enerji verilmesi gerekir. Soğukta veya az ısıda sertleşme temin etmek istendiğinde peroksit, serbest kökler halinde çözülmesini kolaylaştıran bir hızlandırıcı ilave edilir. Hızlandırıcı, katalizör ile direk etki etmemelidir. Patlama ve yangın tehlikesi yaratır. Özel bir kap gerektirmeden uzun süre saklanabilir [30].

### 3.2.1.3. Dolgu maddeleri

Maddesel, bitkisel, sentetik kökenli, toz, toprak, kristal halinde reçineye nazaran hareketsiz ve bitmiş malayani özellikler getiren ürünlerdir. Dolgu maddeleri sertleştirme prosesi esnasında veya sertleşmiş halde reçine sisteminin özelliklerini değiştirmek için kullanılır. Genellikle reçine sisteminin maliyetini düşürmek için kullanılmasının yanında diğer özellikleri de değiştirir. Azami faydayı sağlamak için kalıplama prosesini ve son kullanım amacına göre doğru tip ve gerekli miktar dikkatlice seçilmelidir [30]. Bitmiş parçada aranan özelliklere göre dolgu maddesi seçilir. Fakat mekanik özellikleri ve görünüşü etkileyecek ikinci derecedeki reaksiyonlara dikkat etmek gerekir. Dolguların boyama etkisi önemlidir. Boya yerine de kullanılırlar fakat bazı hallerde iyi renk vermezler [28].

### 3.2.1.4. Boyalar

Boyarlar mineral veya organik kökenli ürünlerdir. Reçinenin ve jelkotun boyanmasında kullanılır. Çeşitli boya tipleri;

Maddesel boyalar: Genellikle metaloksitleridir. En tanınmış titan oksit beyaz renk verir. Demir oksit siyah renk verir. Bazı ürünlerin ağırlaştırıcı etkisi de vardır.

### Maddesel Boyaların Özellikleri

- Reçine içinde erimezler
- Parçaya donukluk verirler
- Işığa ve ultraviyole ışınlarına dayanırlar

a) Organik boyalar: Fiyatı yüksek olduğundan az kullanılır. Bazı ürünlerin zehirleyici etkisi vardır.

b) Sentetik boyalar:

- Polyester reçine içinde erirler.
- Yarı saydamdırlar
- Ultraviyoleye dayanıksızdırlar [28].

#### 3.2.1.5. Katalizörler

Polyester reçinenin polimerleşmesi, katalizör aracılığı ile zincirlerin ağ şeklinde birleşmesi ve reçinenin sıvı halden katı hale geçmesidir. Normal ısıda çalışıldığında bu reaksiyondan ısı çıkar [31]. Katalizör tabirinde yanlışlık vardır, kimya da katalizör kendisi kimyasal olaya katılmayan, bu reaksiyonu kolaylaştıran ve sonuçta aynı kalan bir maddedir. Katalizör, doymamış polyester veya reaktif monomer zincirlerinin ağ şeklini almasını başlatır. Bunlar organik peroksitlerdir. Doymamış polyesterin, stiren içinde çözülmüş sekline “polyester reçine” denir [24]. Kopolimerizasyonu başlatmak için ihtiyaç bulunan enerjiyi sertleştiriciler verir. Bunlara (sertleştiricilere) peroksit bileşenler denir. Peroksit parçalanması, ısı ile veya kimyasal maddelerle oluşur. Peroksit parçalanması ısı ile meydana gelmişse sıcak sertleşme, kimyasal maddelerle meydana gelmiş ise soğuk sertleşme oluşur. Polyesteri sertleştirmek için kullanılan organik peroksitler katı, sıvı veya pasta halinde bulunurlar. Oksijenin varlığı nedeni ile organik peroksitler tehlikeli olabilirler [30].

### 3.2.1.6. Kalıp ayırıcılar

CTP ürününün kalıptan kolaylıkla çıkartılmasını sağlamak için kullanılır. Kalıp yüzeyine sürülen kalıp ayırıcılar, kalıbı parçadan izole eden koruyucu bir film teşkil eder [30].

### 3.2.1.7. Takviye malzemeleri

Takviye malzemeleri, reçine sistemlerinin mekanik özelliklerini arttırmak amacı ile kullanılırlar. Takviyeler içinde en çok kullanılan, cam elyafıdır. Takviye için kullanılan cam elyafları, biçimlerine temel olarak devamlı cam elyafı takviye (fitil, iplik ve keçe) ve kesikli cam elyafı takviye elemanları olarak sınıflara ayrılırlar.

**Fitil:** Devamlı yapıya sahip bir cam elyafı takviye malzemesidir. Çok sayıda delik içeren kovanlardan akan cam liflerinin doğrudan doğruya sarılması ile üretilir [21]. Fitil ürünleri 10-24 mikron çapında liflerden oluşur ve genellikle 1000 m uzunluğunda ve 600 gr, 1200 gr, 2400 gr ve 4800 gr ağırlığında olacak şekilde üretilir. Kullanım yeri ve prosesine bağlı olarak, sertlik, lifler arasında eş gerilim, kayganlık ve kolay kırılabilme gibi farklı özellikler fitillere kazandırılabilir. Özel olarak üretilen ve “Spun roving” adı verilen düğümlü fitilde ana doğrultuya dik yönde takviye sağlayan ilmekler bulunmaktadır. Bunun amacı; tek yönde takviye edilmiş pultrüzyon ürünleri gibi kompozitlerde yanal mukavemeti arttırmaktır.

Genellikle “R” camı elyafından yapılmış fitillere en yaygın olarak epoksi reçine emdirilerek yapılan “Stratipreg veya Prepreg” ismi verilen bir diğer cam elyafı takviye malzemesi de elyaf sarma metodu ile yüksek mekanik dayanım aranan depo ve borularda otoklavda kalıplanmak üzere kullanılmaktadır [21].

**İplik;** cam elyaf liflerinin bükümlü hale getirilmesi ile elde edilen lif çeşididir. Şekil 3.1’de fitil ile ipliğin farkı görülmektedir. Genellikle dokunmuş kumaş olarak plastiklerin takviyesinde kullanılır.



a) Fıtil



b) İplik

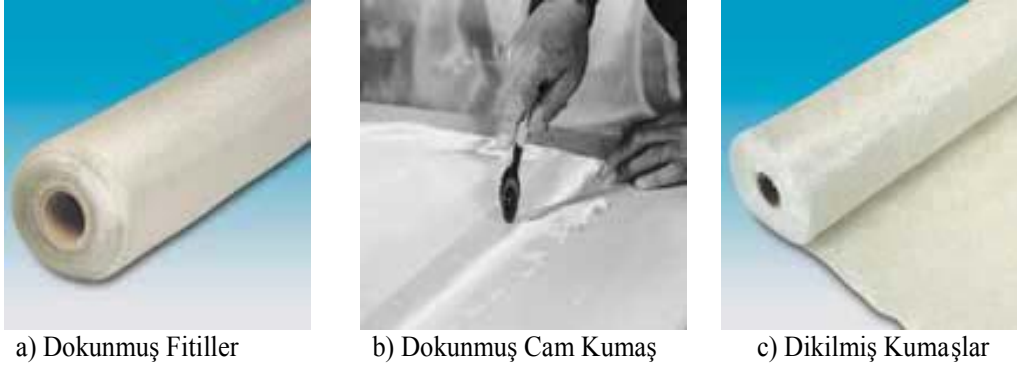
Şekil 3.1. Elyaf çeşitleri [24]

Kumaş: Dokunmuş veya dokunmamış halde, farklı elyaf türlerinden elde edilebilen, yassı veya rulo haline getirilmiş tüm takviye malzemelerine, genel olarak kumaş “Fabric veya Cloth” denir. Kumaş ürünleri, cam elyafı, aramid, karbon elyafı gibi takviye malzemelerinin, tek ya da birbirleriyle hibrid (karışık) olarak bir araya getirilmesiyle oluşurlar.

Kumaş tiplerinden biri, Dokunmuş Fitiller (Woven Roving) dir. Bunlar; dokuma amacı ile üretilmiş fitillerin belirli bir düzen içinde dokunması ile yapılan cam elyafı takviye malzemesidir. Dokunmuş fitiller, birbirlerine 90°C’lik açı ile atkı ve çözgüsünde aynı teks fitillerin kullanıldığı kumaşlar olarak tanımlanmaktadır. Farklı ağırlık (300-1200gr/m<sup>2</sup>) ve enlerde (125-300cm) üretilen kumaşlar, cam tülü veya keçe ile dikilerek kombine ürün haline getirilerek de kullanılmaktadır.

Şekil 3.2a ’da gösterilmiş olan Dokunmuş Fitiller; otomotiv, denizcilik gibi sektörlerde el yatırması uygulamalarında, Şekil 3.2b’deki Dokunmuş Cam Kumaş (Woven Glass Cloth), cam elyafı ipliklerinin 90°C’lik atkı ve çözgü yöntemi kullanılarak üretilmiş olup, genel olarak baskılı devre, devre kesici tüpler gibi malzemelerinin yapımında kullanılmaktadır. Ayrıca, Dikilmiş Kumaşlar (Stitch Mat), diğer kumaş türlerine göre pazara yeni katılmış bir takviye türü olup, malzeme örneği Şekil 3.2c’de gösterilmiştir. Dokuma prosesi söz konusu olmadığından yüzey

performansı yüksektir. Aynı ağırlıktaki bir dokuma ile karşılaştırıldığında daha iyi mekanik değerler elde edilmektedir.



Şekil 3.2. Kumaş çeşitleri [24]

Çok yönlü mukavemet sağlaması amacıyla, dokunmamış fitiller ile devamlı fitillerin iki (Biaxial) veya üç katlı (Triaxial) oluşturulması ve sonrasında bu katların polyester iplik ile dikilmesi sonucu elde edilen Çok Yönlü Fitol Kumaşlar (Non-Woven) bir diğer kumaş türüdür. Ayrıca bu kumaşlar, 45 veya 90 derecelik açılarının bir arada kullanılmasının yanı sıra keçe ile dikilebilir.

Diğer taraftan, cam liflerinin Şekil 3.4a'da görüldüğü gibi düzgün dağılımlı tabakalar oluşturacak şekilde yayılmasından oluşan Devamlı Keçe (Continuous Mat) diğer bir takviye malzemesidir. Bu şekilde yayılan lifler, ikinci bir bağlayıcı kullanılarak bir arada tutulur. Bağlayıcı cinsi ve miktarı öngörülen uygulama alanına bağlıdır. Devamlı keçeler önceden şekillendirilerek (preform) veya şekillendirilmeden maçalı olarak kapalı kalıplamada, pultruzyonda, devamlı levha ve baskılı devre plakası üretiminde kullanılabilir.

Bir başka cam elyafı takviye çeşidi olan Kırpılmış Keçe (Chopped Strand Mat), 50mm uzunluğunda kırpılmış cam elyafı demetlerinin, bağlayıcı ile bir arada tutulmasıyla oluşur (Şekil 3.4b). Kullanılan bağlayıcı miktarı, proses gereklerine ve istenen özelliklerine bağlı olarak %3-10 arasında değişmektedir. Kırpılmış keçeler, açık kalıplama uygulamaları veya levha üretiminde kullanılmaktadır [23].



a) Devamlı Keçe



b) Kırılmış Keçe

Şekil 3.3. Keçe (Mat) çeşitleri

Kesikli cam elyafı: Kesikli cam elyafı takviyeleri Şekil 3.4'te de gösterildiği gibi, boylarına göre iki çeşittir. Bunlardan ilki, 3-12mm uzunluğundadır ve kırılmış elyaf olarak adlandırılır [24].

İkincisi ise, öğütme işlemi sonucunda, uzunlukları 0,1-0,2mm'ye düşürülmüş olan cam elyafı takviye malzemesidir. Bu liflerin çapları 10-17mikron arasında değişir. Öğütülmüş liflerin başlıca kullanım alanı, termoplastik ve poliüretan reçinelerin takviyeleridir.



a) Kırılmış Elyaf



b) Öğütülmüş Elyaf

Şekil 3.4. Kesikli cam elyaf takviyeleri

### 3.2.2. CTP Üretim Yöntemleri

CTP kalıplamasında kullanılan başlıca metotlar, işçilik maliyetleri, üretim prosesine gerekli ekipman yatırımı ve işçilik kalitesini gözeterек ve amaca göre

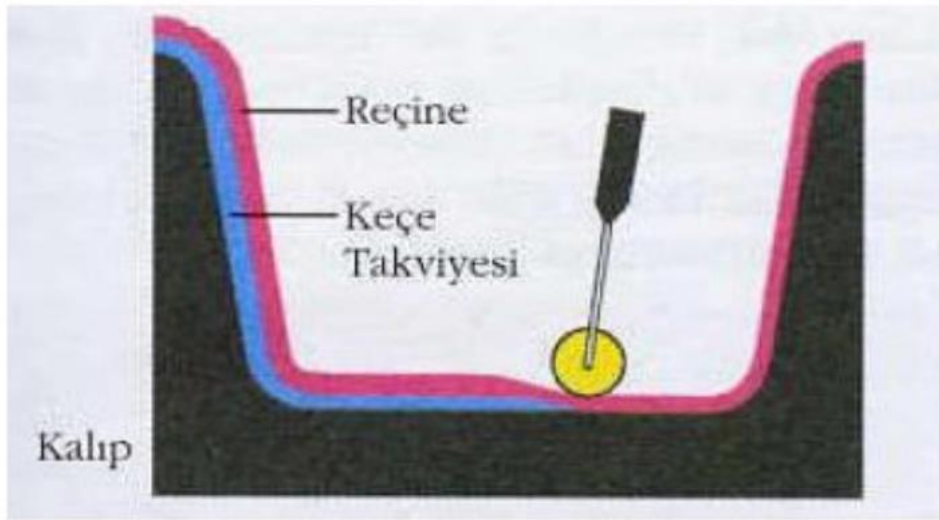
kararlaştırılmaktadır. CTP kompozitin mekanik mukavemetini etkileyen faktörler, kullanılan takviye ve bağlayıcının cinsine, takviye/bağlayıcı oranına ve takviye yönüne göre değişmektedir. Kompozit malzeme üretimi için birçok yöntem tanıtılmaktadır. Bu yöntemler şunlardır;

- El Yatırma (Hand Lay-Up)
- Püskürtme (Sprey Up)
- Reçine Transfer Kalıplama (RTM) – Reçine Enjeksiyonu
- Hazır Kalıplama (Compressing Molding) (SMC, BMC)
- Islak Sistem Pres Kalıplama
- Vakum Bonding (Vakum Bagging)
- Otoklav (Autoclave Bagging)
- Preslenebilir Takviyeli Termoplastik (Glass Mat Reinforced Plastic) (GTM)
- Elyaf Sarma (Filament Winding)
- Profil Çekme – Pultrüzyon (Pultrusion)

### **3.2.2.1. El yatırması yöntemi**

Bu yöntem geniş yüzeyli CTP kalıplaması için en ideal metottur. Kalıp ayırıcı (vaks) oluşturulduktan sonra jelkot uygulanır. Jelkot bir polyester reçine türü olup, özellikle yüzey düzgünlüğünü sağlamak ve yüzeyde cam elyafı görölmesini önlemek maksadıyla kalıp yüzeyine ince bir tabaka oluşturacak şekilde sürölerek veya püskürtölerek uygulanmaktadır. Jelkot tabakasının sertleşmesinden sonra, keçe veya dokuma tipi cam elyafı ve polyester bağlayıcı, fırça veya yün rulo ile uygulanmaktadır (Sekil 3.5). Düşük maliyetli bir kalıplama yöntemi olan el yatırması yöntemi ile en fazla % 25-40 oranında cam elyaf takviyesi gerçekleştirilebilmektedir.

Yoğun bir üretim metodu olduğu için, üretim kapasitesi, emeğin yoğunluğuna, kalıp sayısına ve karmaşıklığına bağlıdır. Bir kalıptan günde ortalama 2 defa ürün almak mümkündür [31].



Şekil 3.5. El yatırması yönteminin genel gösterimi

### 3.2.2.2. Püskürtme yöntemi

El yatırması metodunun daha seri olarak uygulanmasını sağlayan bir açık kalıplama metodudur. Böylece, iç boşluk ve karışım oranı hataları azaltılmaktadır. Üretim sırasında kalıp üzerine polyester ve cam elyafı özel bir tabanca yardımı ile birlikte püskürtülmektedir. Püskürtme metodunda, sürekli fitil cam elyafı, püskürtme işlemi sırasında 15-50 mm uzunluğunda kesilerek kullanılmaktadır. Geniş yüzeylerde seri üretim olanağı sağlamakta ve işçilik maliyetlerini önemli ölçüde azaltmaktadır. Püskürtme yöntemi ayrıca, malzeme tüketimini ve fireyi de azaltmaktadır.

Kırılan firelerin fiyatı, el yatırması yönteminde kullanılan keçelerden yaklaşık %10-15 daha ucuz temin edilebilmektedir ve fire miktarı % 5 azalmaktadır. Bu yöntemle, reçine tüketimi yaklaşık % 20 azalmaktadır. Bu yöntemin el yatırmasına göre diğer önemli bir avantajı, kalıplama süresinin  $\frac{1}{4}$ ' e düşmesidir. Toplam olarak bakıldığında % 20-25' lik kazanç söz konusu olmaktadır. Bu yöntemde de el yatırması yöntemi gibi, katalist olarak MEKP/Kobalt kullanılmaktadır [30].

Püskürtme tabancası, basınçlı hava ile çalışan bir pompa sistemidir. Püskürtme tabancasının tetiğine basıldığında, biri reçineyi, diğeri katalisti hortum vasıtası ile aktaran iki adet pompa ve fitilleri eşit uzunlukta kırpan makine, es zamanlı olarak



devreye girmektedir. Tabanca ucundan yüksek hızla çıkan bu reçine elyaf karışımı, kalıba belli bir mesafeden püskürtülerek, yapışması sağlanır. Bu makinelerin 3-6 atm basınçta çalışan tipleri bulunmaktadır. Basınç için 600-1000 lt/dk hava debisi sağlayan bir kompresörün kullanılması gerekmektedir [30].

Püskürtme metodunda, stiren buharının atılması amacıyla kurulacak bir havalandırma sistemine ve basit bir konstrüksiyon üzerine gerilmiş şeffaf naylonla oluşturulan bir püskürtme odasına gereksinim duyulmaktadır. Ayrıca makine ile kalıp etrafında gezmek yerine, kalıbın üzerine konduğu kendi ekseninde dönebilen bir platform oluşturulması da süreyi önemli ölçüde kısaltmaktadır. Bu yöntemde, el yatırması yönteminde olduğu gibi çoğunlukla CTP kalıplar kullanılmaktadır. Metodun uygulanması ile ilgili resim Şekil 3,6'da gösterilmektedir [32].



Şekil 3.6. Püskürtme yöntemi uygulama [33]

### 3.2.2.3. Reçine enjeksiyonu yöntemi

Geniş yüzeylerin kalıplanmasında el yatırması ve püskürtme yöntemlerinin hız ve ürün kalitesi olarak yetersiz kalması sebebiyle reçine enjeksiyonu yöntemi geliştirilmiştir. Bu üretim metodunda, dişi ve erkek olmak üzere iki ayrı kalıp kullanılmak suretiyle, her iki yüzü düzgün ürünler elde edilmektedir. Reçine enjeksiyonu için üretilmiş olan özel keçe cam elyafı, kalıp üzerine yerleştirilmekte ve kalıplar kapatılmaktadır. Önceden hazırlanmış olan bir kanal vasıtasıyla basınç altında bağlayıcı, kalıp içine enjekte edilmektedir. Kalıpların yüksek basınca

dayanabilecek ağır bir konstrüksiyon gerektirmemesi, enjeksiyon sırasında hava boşluklarının oluşmaması ve kalıp sızdırmazlığının sağlanabilmesi için düşük basınçlı bir pompa (1-4 atm basınç sağlayan) ile reçineyi kalıp içine aktarırken, diğer taraftan da vakum uygulayarak reçinenin kalıp içine yayılmasını sağlanması üretimin kalitesini oldukça arttırmaktadır. Özetle reçine enjeksiyonu metodu, el yatırması ve türevi yöntemlere göre oldukça seri ve ekonomik bir yöntem olmakta ve işçilik kalitesi çok yüksek ürün elde edilebilmektedir [32].

Parça boyutuna ve kullanılan cam elyafına bağlı olarak, 1.5 mm-20 mm arasında cidar kalınlığı ve % 23-% 68 arasında takviye sağlanabilmektedir. Çoğunlukla keçe ya da dokuma tipi cam elyaf takviyesi kullanılan RTM (Resin Transfer Moulding) yönteminde, el yatırması ile hazırlanmış, düşük maliyetli CTP kalıplar tercih edilmektedir. Kalıplama işlemi sırasında, takviye ve reçinenin karışımı kolaylaştırmak ve üretim süresini azaltmak için düşük viskoziteli polyester reçineler kullanılmaktadır. Reçine enjeksiyonu yönteminde, kalıp maliyetlerinin düşük oluşu ve kullanılan ekipmanın nispeten basit ve ucuz oluşu ilk yatırım maliyetini düşürmektedir [32].

RTM yöntemini tercih eden sektörlerin basında, % 58 ile otomotiv sektörü gelmektedir. Bunu % 20 ile demiryolu, % 7 ile havacılık ve gemi inşa sektörleri takip etmektedir. Bu yöntemle, büyük boyutlu karmaşık parçalar, sandviç konstrüksiyon ürünler ve farklı bölgelerinde farklı mekanik özellikler ve farklı kalınlıklar isteyen parçalar tek seferde kalıplanabilmektedir. İnşaat sektöründe ısı yalıtımlı geniş cephe panelleri ve reklam panoları bu yöntem ile üretilmektedir [30].

#### **3.2.2.4. Soğuk pres yöntemi**

Seri ve iki yüzü düzgün ürün üretilebilen bir kalıplama yöntemidir. Bu yöntemde, dişi ve erkek olmak üzere iki kalıp kullanılmaktadır. Dişi ve erkek kalıpların arasında, ürün kalınlığı kadar bir boşluk kalması ve basınç uygulanması esnasında reçinenin kalıp içerisinde yürüebilmesi için, hava tahliye deliklerinin bulunması gerekmektedir. Soğuk preste kalıbın dışarıdan ısıtılmasına gerek yoktur. İlk

kalıplama sırasında meydana gelen egzotermik reaksiyon kalıp için ısıtarak kalıplama süresinin kısaltmaktadır. Basıncın kalıp yüzeyine eşit ve homojen olarak yayılması için, genellikle ahşap, çelik ya da betondan yapılmış takviyeler gerekmektedir. Bu kalıplama metodu için uygulanan basınç genellikle 10 N/cm<sup>2</sup> (1 atm) civarındadır [32].

### 3.2.2.5. Elyaf sarma yöntemi

Bu yöntem genellikle boru ve silindirik tank gibi malzemelerin üretimi için kullanılan kalıplama metodudur. Elyaf sarma yönteminde, takviye olarak sürekli cam elyaf lifler, bağlayıcı olarak da, genellikle polyeşter veya epoksi reçineleri kullanılmaktadır. Bunların dışında özel amaçlı üretimlerde istenen özelliklere göre silikon, fenolik, düşük yoğunluklu hidrokarbonlar ve polimide reçineler de kullanılabilirlerdir.

Sürekli cam elyafından fitillerin bağlayıcı malzeme banyosunda ıslatıldıktan sonra, dönen bir kalıp üzerine belirli açılarda sarılması şeklinde uygulanmaktadır. Sarımın, kompozitin maruz kalacağı öngörülen yükleri karşılayabilmesi için, cam elyafının farklı açılarda ve çok katlı olarak örülmesi mümkündür. Sarma makinesi ve kalıp, bu yöntemin en önemli ekipmanlarıdır. Sarım işleminde, elle kontrol edilebilen, bilgisayar kontrollü olanlara kadar değişen farklı birçok makine mevcuttur. 9 m çapa, 46 m uzunluğa sahip ürünler bu yöntemle kalıplanabilmektedir. Endüstriyel, hızlı üretim, yüksek mukavemet ve mükemmel kalite kontrolü elde edilmektedir. Ürünlerde % 60-75 oranında cam elyaf takviyesi sağlanabilmektedir. El ile kumanda edilen makineler, bilgisayar destekli otomatik kontrollü makinelere oranla çok daha ucuz olmakta ve 12 m uzunlukta, 30 cm - 4 m çapında parçaların kalıplanmasına kolaylıkla olanak tanımaktadır [30].

Elyaf sarma yönteminde kalıplarda genellikle metal malzeme kullanılsa da, termoset kompozit, kalıplanmış termoplastik, şişirilebilir plastik ve özel uygulamalarda tercih edilen çözünebilir tuzlardan oluşan kalıplar da kullanılmaktadır. Ancak, çözünebilir kalıplar bir defaya mahsus kullanılabilirlerdir. Kalıp tasarımında dikkat edilmesi

gereken en önemli hususlar, elyaf sarma işleminde oluşacak gerilimlere kalıbın dayanıklı olması, sertleşmiş ürünün kalıptan çıkarılması sırasında kalıbın ürün yüzeyine zarar vermeyecek şekilde imal edilebilmesidir [30].

Kalıplanan ürün, kalıpla birlikte sertleşmeye bırakıldığından, küçülebilir kalıp kullanımı önem kazanmaktadır. Çapı küçülebilir kalıpların basında şişme kalıplar gelmektedir. Kalıp kendi ekseni etrafında dönen bir şaft vasıtası ile döndürme mekanizmasına bağlıdır ve kendi ekseni etrafında dönen kalıba, reçine ile ıslatılmış elyaflar istenilen açı ile sarılarak üretim gerçekleştirilmektedir [30].

İkinci bir yöntem, önceden bağlayıcı emdirilmiş ve yarı sertleştirilmiş cam elyafının (Prepreg) kalıp üzerine sarılmasıdır. İlk yöntem “Prepreg” kullanımına göre depolama ve maliyet açısından daha avantajlı olsa da “prepreg” sisteminde cam elyafının reçine ile homojen karışımı elde edebilmekte ve elyafın kalıp yüzeyinde kayması engellenmektedir. Bu yöntemde de kalıptan çıkan parçaların boyutlandırılması ve kenar kesimleri için kullanılan elmas uçlu döner bıçaklar, aşırı toz yaratmakta ve bu tozun tahliyesi için havalandırma sistemine ihtiyaç duyulmaktadır [34].

### **3.2.2.6. Savurma döküm yöntemi**

Bu yöntem de boru, tank ve direk gibi silindirik ürünlerin yapımında kullanılmaktadır. Elyaf sarma yönteminden farklı, cam elyafının sürekli olmaması ve parçacık şeklinde bağlayıcı ile birlikte püskürtülmesidir. Kalıbın santrifüj ile döndürülmesi ile meydana gelen merkez kaç kuvveti, kompozitin kalıp yüzeyine her iki yüze homojen olarak dağıtılmasını sağlamaktadır. Başlıca kullanım alanı, 5 m' ye kadar çaplı boruların kalıplanmasıdır. Polyester, vinil ester veya epoksi bağlayıcılar kullanarak üretim yapılabilmektedir. Bu yöntem ile elde edilen ürünün mukavemetini arttırmak için kum dolgululu polyester ile ayrı bir tabaka uygulanabilmektedir. Bu yöntem uygulanarak üretilen borularda hava kabarcığı bulunmamakta ve her iki yüzü düzgün ürün elde edilebilmektedir. Kalıbın dönüş hızı kalıp çapına bağlıdır. Yaklaşık

2 m çapında bir ürün için dakikada 180 devir yeterli olmaktadır. Kalıbın döndürülmesi, ürünün sertleşmesine kadar devam etmektedir [28].

### **3.2.2.7. Vakum bonding (Vakum Bagging)**

Bu kalıplamada diğer yöntemlerden farklı olarak kullanılan ekipmanlar vakum pompası, vakum torbası ve sızdırmazlık bandıdır. Bu yöntemle üretilecek olan kompozit malzeme (genellikle geniş sandviç yapılar) önce bir kalıba konur, ardından bir vakum torbası, en üst katman olarak yerleştirilir. Vakum torbası, içerideki havanın emilmesiyle yatırılan malzemenin üzerine 1 atmosferlik basınç uygular. Ardından, tüm bileşim bir fırına yerleştirilerek reçinenin kurlenmesi için ısıtılır. Bu yöntem sıklıkla elyaf sarma ve el Yatırma teknikleri ile birlikte olarak uygulanır. Vakum Bagging Yöntemi özellikle kompozit malzemelerin tamir işlemlerinde kullanılmaktadır [28].

### **3.2.2.8. Devamlı levha üretim yöntemi**

Bu yöntem sadece iki yüzü düzgün oluklu ya da oluksuz şeffaf ya da opak levha üretimi için kullanılmaktadır. Takviye, bağlayıcı ve katalist malzeme karışımı iki film tabakası arasına sıkıştırılarak bağlanmaktadır. Daha sonra fırınlanarak, istenilen form elde edilmektedir. Ayrıca film olarak, polyester veya selofan kullanılmaktadır. Bağlayıcı, ayırıcı film tabakası üzerine düzgün bir kalınlık oluşturacak şekilde yayılmakta ve üzerine cam elyaf takviyesi olarak keçe veya kırılmış demetler yayılmaktadır. Katmanlar rulolar arasından geçirilerek oluşabilecek hava kabarcıkları engellenmekte ve sabit bir levha kalınlığı elde edilmektedir. Daha sonra kompozit kalıplardan ısıtılarak geçirilmek suretiyle istenilen profil sekli verilmektedir. Bu yöntemle dakikada 12 m'lik üretim hızı elde edilebilmektedir [30].

Işık geçiren levha üretimi için cam takviyesinin toz bağlayıcılı keçe olarak veya kırılmış demet olarak kullanılması ve polyester reçine ile eş değerde bir ışık kırılma indisine sahip olması gerekmektedir. Cam takviyesi olarak, özel hallerde dokunmuş cam elyafi da kullanılabilir. Bu tür uygulamalarda cam elyafi dokumasının

önce polyester banyosundan geçirilip, bağlayıcı fazlasının sıyırılmasından sonra ayırıcı film tabakaları arasında sıkıştırılması tavsiye edilmektedir. Hava koşulları ile temas edecek levhaların takviye oranının % 30'dan yüksek olması gerekmektedir [30].

### **3.2.2.9. Hazır kalıp bileşimleri (HKB)**

Ürün boyutu ve et kalınlığına göre, 3-6 dakikalık bir kalıplama süresi sağlayan çok hızlı ve seri bir kalıplama metodudur. HKB, bünyesinde cam elyafı, bağlayıcı, katkı ve dolgu malzemeleri içeren, hamur şeklinde, kalıplanmaya hazır bir kompozit malzemedir. HKB, 150-170 °C sıcaklıkta, 50-120 atm basınç altında çelik kalıplarda şekillendirilmektedir. Genellikle pestil ve hamur olmak üzere, iki şekilde mevcuttur. Pestil şeklinde HKB'lerde 25-50 mm uzunlukta, hamur şeklinde HKB'lerde 3-12 mm uzunlukta kırılmış cam elyaf takviye malzemesi kullanılmaktadır. HKB'lerde, pestil şeklinde olanlarda % 15-25 oranında takviye sağlanabilmektedir. Bunlara ek olarak, iki yönlü takviyesi olan, elyaf sarma yöntemi ile hazırlanmış, % 80 oranına kadar takviye ihtiva edebilen HKB'lerde üretilmektedir. HKB'lerde bağlayıcı olarak, yüksek reaksiyon veren ve kimyasal olarak viskozitesi yüksek, izoftalik veya ortoftalik polyester reçineler kullanılmaktadır [32].

Polyester bağlayıcı türleri sertleşme sırasında dolgusuz olarak % 5-6 arasında değişen hacimsel çekme özelliği göstermektedir. Bu çekme oranı yüksek dolgu maddesi içeren HKB'lerde % 0.5'e kadar düşebilmekte ve yüzey düzgünlüğü aranan uygulamalarda tercih edilebilmektedir.

HKB'lerde, ortam sıcaklığında aktif olmayan katalizörler kullanılmaktadır. Ekipman olarak 120-170 °C sıcaklıkta çalışan sıcak pres kalıplama makineleri kullanılmaktadır. İstendiği takdirde HKB'ler enjeksiyon yöntemi için de kullanılabilir [34].

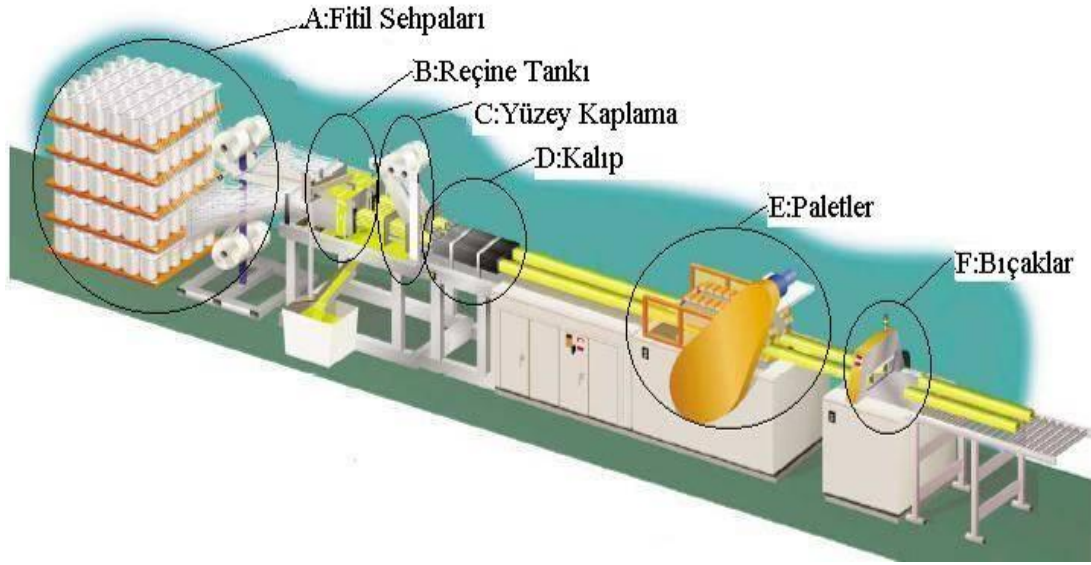
### 3.2.2.10. Profil çekme / Pultruzyon (Pultrusion) metodu

Sürekli fitil cam elyafın bağlayıcı malzeme banyosundan geçirildikten sonra, istenilen profilde 120-150 0C' ye ısıtılmış bir kalıp içinden çekilmesi yöntemidir. Elyaf takviyesi yönünde çok dayanıklı ve cam elyaf oranı %50-80 civarında profil ürünler elde edilebilmektedir. Üretilen profiller, yüksek mekanik özelliklerinin yanı sıra, çok kolay işlenebilmekte, hem mekanik olarak hem de yapıştırılarak birleştirilebilmektedir [34].

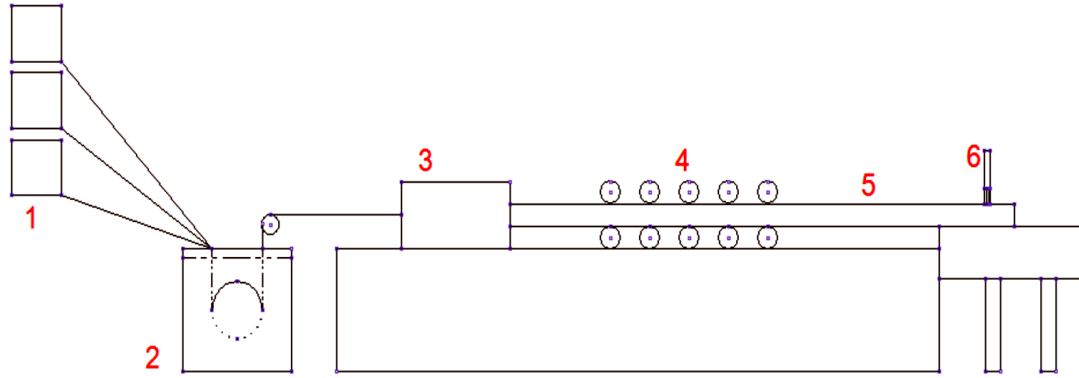
Profil çekme yönteminde kullanılan kalıplar genellikle 25 mikron kalınlığında krom kaplanmış yüksek karbonlu çelikten üretilmektedir. Kalıp uzunluğu, genellikle 90-110 cm arasında değişmekte, küçük kesit alanlı basit profiller için 60 cm, büyük kesitli karmaşık profiller için ise 150 cm uzunlukta tercih edilmektedir. Profil çekme yönteminde en önemli parametre, sıcaklık dağılımının kalıp boyunca homojen olmasıdır; zira oluşabilecek sıcaklık farklılıkları, profilde deformasyona yol açabilmektedir [32].

Bu yöntemde sıklıkla kullanılan bağlayıcılar, izoftalik polyeester bağlayıcılarıdır. Ayrıca, ortoftalik, teraftalik polyeester, vinilester ve termoplastik bağlayıcıların kullanımı da mümkündür. Bağlayıcılarda, iyi ıslanmayı sağlayabilecek düşük fiskoziye veya seyreltilme özelliği aranmaktadır. Bağlayıcılarda yangın dayanımı, dolgu maddesi olarak alüminyum hidroksit kullanılması ile iyileştirilmektedir.

Şekil 3.7'de ve Şekil 3.8'de profil çekme yönteminde proses akışı ve gerekli ekipman şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 3.7. Profil çekme yöntemini oluşturan ekipmanlar



Şekil 3.8. Profil çekme yönteminde kullanılan makine şeması

1. Cam elyaf fitil
2. Reçine banyosu
3. Kalıp
4. Çekme sistemi
5. Profil
6. Kesme bıçağı



### 3.2.2.11. Pultruzyon (Profil çekme) yönteminin avantajları

Pultruzyon yönteminin avantajlarını şu şekilde sıralayabiliriz:

- Üretim, düşük is gücü ile yapılabilir,
- Karmaşık geometriye sahip şekiller bile, kolaylıkla üretilebilir,
- Üretim kolaylığından dolayı, gün geçtikçe düşen maliyetleriyle, metaller ile sıkı bir yarış halindedirler,
- Farklı mekanik özellikler elde etmek için, farklı elyaf katmanları ve kombinasyonları ile CTP üretilebilir,
- Hacimsel bazda, polimer üretimi için metallerden daha az enerjiye ihtiyaç duyarlar,
- Üretim hızı genel olarak 0.6m–1.2m/dak. olup, üretilen parça eser uygun bir yapıya sahip ise 3m/dak. gibi yüksek bir hıza çıkabilir,
- Ekonomik olması ve birçok pazar tarafından kullanılması sayesinde, en hızlı ilerleme gösteren kompozit üretim yöntemidir,
- Pultruzyon, yönlendirilmiş elyaf kullanılan bir prosestir. Elyafın büyük bir kısmı optimum çekme dayanımı elde edecek şekilde boyuna yerleştirilirken bir kısım elyaf ise istenen ürün özelliklerini sağlayacak şekilde farklı yönde düzenlenebilmesi,
- Düşük işçilik gerektiren büyük ölçüde otomatikleştirilmiş gibi proses olması,
- İşçilik maliyeti satış fiyatının %5-10'u arasında kalabilmesi,
- Pultruzyon yönteminde, ekipman yatırım masraflarının diğer yüksek hacimde üretim yapılan yöntemlerle kıyaslandığında düşük olması,
- Ayrıca, tüm bu unsurlar orta-yüksek hacimli uygulamalar için pultruzyon yöntemini ekonomik kılmaktadır.

### 3.2.2.12. Pultruzyon (Profil çekme) yönteminin dezavantajları

Pultruzyon yönteminin dezavantajlarını ise şu şekilde sıralayabiliriz:

- Pultruzyon prosesinde, elyafın büyük bölümü çekme dayanımı sağlayacak yönde yerleştirildiğinden, genellikle çapraz yöndeki mukavemetin düşüklüğü,
- Genel olarak çapraz yönlerde elde edilen özellikler, gerçek çekme dayanımının %10-25 olması,
- Pultruzyon ürünleri genellikle rekabet halinde oldukları malzemelerle aynı rijitlik değerlerine sahip olmaması,
- Bu durum rakip malzemelerin rijitlik değerlerine ulaşmak için kesitte ya da cidar kalınlığında tasarım değişikliklerinin yapılmasını zorunlu kılmakta,
- Lamine edilmiş kompozitlerin özellikleri her zaman ideal özelliklerde olmaması, kalınlık yönünde düşük dayanıklılık ve katlar arası düşük kesme dayanımı bulunmakta,
- Malzemenin kalitesi, üretim yöntemlerinin kalitesine bağlıdır. Fakat bu yöntemde standartlaşmış bir kalitenin olmaması,
- Kompozitler kırılğan (gevrek) malzeme oldukları için, kolaylıkla zarar görürler, onarılmaları yeni problemler yaratabilmektedir.

### 3.2.2.13. Pultruzyonla (Profil çekme) üretilen CTP malzemelerinin özellikleri

Pultruzyonla üretilen CTP malzemelerin özelliklerini de şu şekilde sıralayabiliriz:

- Özgül ağırlığının az olmasından dolayı, geniş bir kullanım alanına sahiptirler,
- Hafif olmalarından dolayı, elle ya da basit aletlerle uygulama yapılabilir,
- Yine hafif olmasından dolayı, nakliye giderleri düşüktür,
- Kolay kesilebilir ve islenebilir,
- Birleştirme işlemleri metallerde olduğu gibi cıvata, vida vb. başlama elemanı yerine, yapıştırma sayesinde parça sayılarında önemli azalmalar sağlar,
- Metal ve seramiklere göre dayanım/yoğunluk oranı da yüksektir,
- Yorulma ve darbe dayanımı yüksektir,
- Yüksek korozyon direncine sahiptir,
- Düşük ısı iletkenliğine sahiptir,
- Kimyasallara karşı yüksek direnç gösterirler,
- İyi elektrik yalıtkanlığına sahiptir,

- Yüksek aşınma mukavemetine sahiptirler,
- Uzun yıllar bakım ve boya gibi ek bir hizmete ihtiyaç duymazlar,
- Elektromanyetik alan oluşturmaması nedeni ile radyo ve mikro dalga frekanslarını etkilemezler,
- Isıya baslı uzamaları minimumdur,
- Bazı plastiğin ışığı geçirmesi, yani saydamlık özelliklerinin de olması cam ile rekabet etmesini de sağlamaktadır.

## **BÖLÜM 4. MATERYAL ve DENEYSEL ÇALIŞMA**

### **4.1. Çekme Deneyi**

Çekme deneyi, malzemelerin statik (darbesiz) yük altındaki mukavemet özelliklerini saptamak ve malzemelerin özelliklerine göre sınıflandırılmasını sağlamak amacıyla uygulanan, mühendislik açısından çok önemli bir mekanik deneydir.

Çekme deneyi standartlara göre hazırlanmış deney numunesinin tek ekseninde, belirli bir hızla ve sabit sıcaklıkta koparıncaya kadar çekilmesidir. Deney sırasında, standart numuneye devamlı olarak artan bir çekme kuvveti uygulandığında, aynı esnada da numunenin uzaması kaydedilir.

Hazırlanan farklı yüzey özelliklerine sahip CTP ve çelik donatılar çekme makinesinde belirli hızlarda çekme kuvveti uygulanmıştır. Elde edilen veriler bilgisayar ortamında excel programına aktarılarak gerekli hesaplamalar yapılmış ve grafikler çizilmiştir. Burada malzemelerin ayrı ayrı yüzde uzamaları, maksimum çekme mukavemetleri bulunmuştur. Tez çalışmasında sadece lif doğrultusuna paralel yönde deneyler yapılmıştır.

#### **4.1.1. Çekme makinası**

Çekme deneyi için 40 ton çekme kapasitesine sahip, hidrolik yüklemeli ve bilgisayar donanımlı çekme makinesi kullanılmıştır. Hem manuel hem de otomatik yükleme yapabilme, deney grafiklerini çizebilme ve deney sonuçlarını rapor şeklinde sunabilme düzeneğine sahiptir. Makinenin deney parçasını tutucu çeneleri deney parçalarının eksenine, istenildiği anda kuvvet yönünde ayarlamaya uygun şekilde

tasarlanmıştır. Çene yüzeyleri deney parçalarının kaymayacak şekilde pürüzlü olarak üretilmiş ve çeneler ve kendiliğinden sıkışma özelliğine sahiptir. Ayrıca makine çeneleri deney parçalarının kalınlığına ve malzemenin yapısına göre değiştirilebilmektedir. Çekme makinesi ve bilgisayar donanımı Şekil 4.1’de görülmektedir.

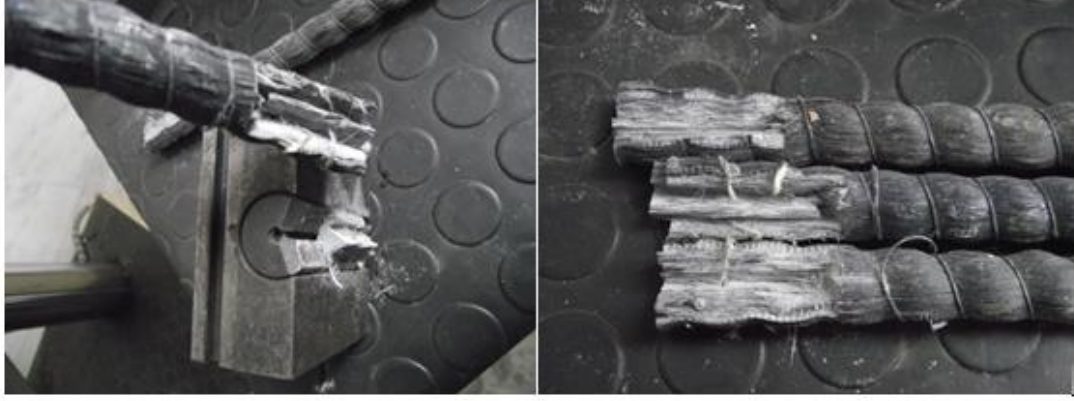


Şekil 4.1.Çekme makinesi ve donanımı

#### 4.1.2. Çekme deney numunelerinin hazırlanması

Çekme deneyinde kullanılacak numuneleri elde etmek için ülkemizde faaliyet gösteren Esa Kimya Metal Sanayi ve Ticaret Ltd. Sti. ve Pul-Tech FRP firmalarından çeşitli çaplarda CTP çubuklar ve TS 708’e göre üretilmiş çelik donatılar temin edilmiştir [35]. Polimer matris ve cam lifi takviyesi ile istenilen çaplarda üretilen bu çubuklar, üstün mekanik özelliklerinin yanında ağırlığına oranla yüksek dayanım, su ve atmosferik etkilere dayanıklılık, mükemmel elektriksel yalıtkanlık, anti mikrobik, burulma ve sıkıştırma gibi zorlanmalarda şekillerini ve boyutlarını koruyabilme gibi özelliklere sahiptirler.

CTP donatılarda yapılan çekme deneylerinde CTP çubukların çene ile temas eden yerlerde Şekil 4.2.'deki gibi ezilmeler meydana gelmiştir.



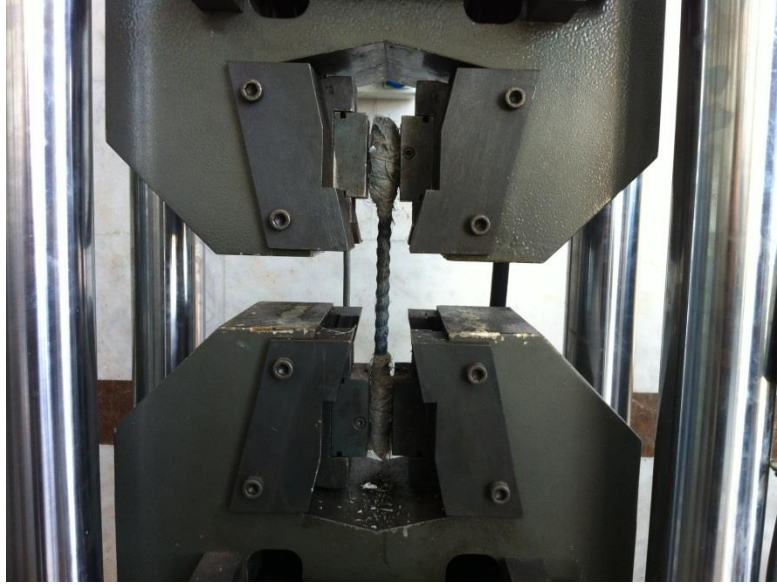
Şekil 4.2. Başları deforme olmuş CTP çubuklar

Bu ezilmeleri ve kesit kayıplarını önlemek için Şekil 4.3.'deki gibi CTP donatıların çene ile temas eden kısımlarına malzemeye hasar vermesini önlemek ve mukavemetini arttırmak amacı ile matris malzemesi olarak reçine kullanıp cam elyaf kumaş sarılmıştır. Sarma işlemi yapıldıktan sonra 3 gün ( 72 saat ) beklenip tamamen mukavemetini alması sağlanmıştır.



Şekil 4.3. Baş kısımları ezilmeye karşı güçlendirilmiş CTP donatılar

Tamamen mukavemetini almış olan CTP çubuklar Şekil 4.4.'deki gibi çekme deneyini tabii tutulmuştur.



Şekil 4.4. Çekme deneyi

## 4.2. Sıyırılma Deneyi

Betonarmenin varlığını borçlu olduğu en önemli fiziksel özelliklerinden biri beton donatı aderansıdır. Betonarmenin kompozit bir yapı malzemesi olması ve fonksiyonel kullanılabilmesi, kendisini oluşturan beton ve donatı arasında sürekli kuvvet aktarımını sağlayarak birlikte çalışmasıyla mümkündür. Betonarme teorisi, donatı çubukları ve çevresini saran beton arasındaki gerilme aktarımına dayanır. Bu yük veya gerilme aktarımı, beton ve betona gömülü donatı çubuğunun yüzeyi arasındaki rölatif harekete veya kaymaya karşı direnç ile mümkün olur.

Beton ve donatı arasında kenetlenmeyi sağlayan bağ kuvvetlerinden dolayı oluşan kayma gerilmelerine aderans denir. Donatı ve beton arasında var olan bu bağ kuvvetleri nedeniyle, donatıdaki gerilme moment değişimine paralel olarak değişir ve büzülme, sünme gibi betona özgü şekil değiştirmeler donatıyı da etkiler. Betonarmede, donatı beton kütle içine yeterli uzunlukta gömülmüş ise çubuğu çekip çıkartmak mümkün değildir. Gömülme boyunun yeterli olmadığı durumlarda ise, çubuk yüzeyinin geometrisine bağlı olarak çubuk sıyrılıp çıkabilir veya etrafındaki beton kütleli yarabilir. Betona gömülen çubuk boyu “kenetlenme boyu” olarak adlandırılır ve bu tür aderansa da “kenetlenme aderansı” denir.

Aderans birçok değişikenden etkilenir. Bu değişikendenlerden başlıcaları; betonun çekme mukavemeti, çeliğın akma mukavemeti, çubuğın yüzey geometrisi, donatı çapı, kenetlenme boyu, donatı etrafındaki beton örtü kalınlığı, kullanılan agreganın cinsi ve katkı maddeleri olarak sıralanabilir [36].

Çalışmada kullanılan çimento, TS EN 197-1'de CEM I 42.5 R (PÇ 42.5) olarak tanımlanan çimentodur [37]. Çimento fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 4.1.'de verilmiştir. Beton üretiminde kullanılan agreganın maksimum tane çapı 16 mm'dir. Beton üretiminde TS 802 Beton karışım esasları kullanılarak karışım oranları Tablo 4.2.'de verilmiştir [38]. Deneylerde Şekil 4.5.'deki gibi farklı yüzey özelliklerine sahip CTP donatılar ve çelik donatı kullanılmıştır.

Tablo 4.1. Çimentonun Fiziksel-Kimyasal Özellikleri

% Ağırlık olarak	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	LOI	Özgöl Yüzey Alanı (cm <sup>2</sup> /gr)	Özgöl Ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )
<b>Portland Çimentosu</b>	21.12	5.62	3.24	62.94	2.73	1.42	3430	3.10

Tablo 4.2. Deneylerde Kullanılan Betonun Karışım Oranları

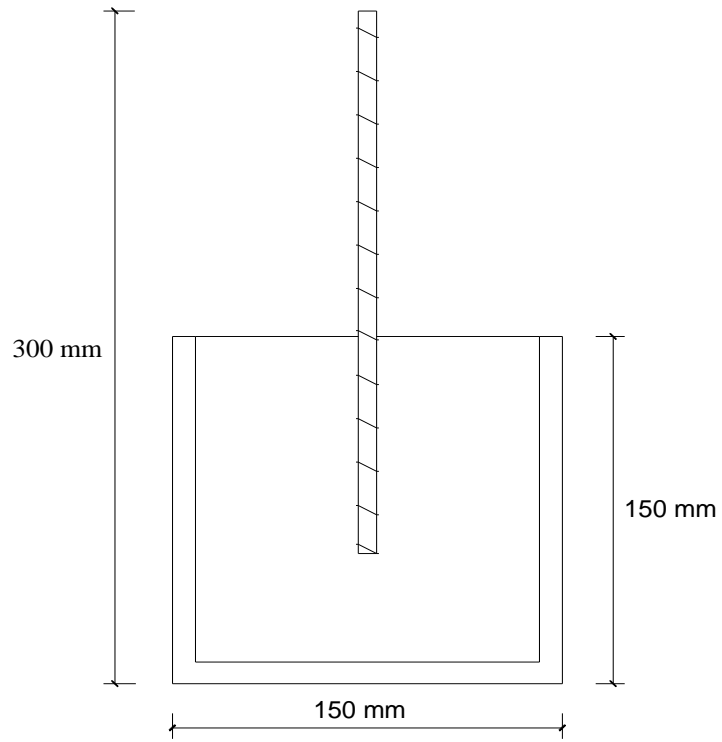
Karışım	Çimento (kg/m <sup>3</sup> )	Su	Kum (kg/m <sup>3</sup> )	1-Çakıl (kg/m <sup>3</sup> )	2-Çakıl (kg/m <sup>3</sup> )
C20	21.252	10.626	46.22	30.01	46.419
C30	22.608	10.416	45.790	29.793	45.980





Şekil 4.5. Farklı yüzey özelliklerine sahip donatı malzemeleri

Sıyırılma deneyi için 150x150x150 mm'lik küp numune kaplarına dökülen taze beton içerisine 250 mm uzunlukta olan CTP ve çelik donatılar beton içerisine altan 50 mm boşluk kalacak şekilde yerleştirilmiştir (Şekil 4.6.). Betonun kürünü tamamlaması ve mukavemet kazanması için 28 gün kür havuzuna konulmuştur. 28 gün sonra kürden çıkarılan numuneler oluşturulan özel aparat yardımı ile sıyırılma testine tabii tutulmuşlardır. Deney sırasında çekme çenelerinin uyguladığı basınç nedeni ile numunelerin başlarının ezilmemesi ve sıyırılmaması için çubuk uçları cam elyaf ve reçine ile sarılmıştır. Sıyırılma deneyi için universal çekme test cihazına monte edilen özel aparat kullanılmıştır. Deneylerde çekme makinesinin hızı 2mm/dk da sabit tutulmuştur. Yapılan sıyırılma deney düzeneği Şekil 4.7.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Sıyırılma numune configirasyonu



Şekil 4.7. Sıyırılma deney düzeneği

### 4.3. Eğilme Deneyi

Eğilme deneyi malzemenin mukavemeti hakkında dizayn bilgilerinin belirlemek ve malzemenin eğilmeye karşı mekanik özelliklerini tespit etmek amacı ile yapılır. Enine yük taşıyan kiriş gibi elemanlar eğilmeye maruz kalırlar. Kirişin her bir bölgesinde eğilme momentleri meydana gelir. Buda eğilme gerilmesi ile alakalıdır.

#### 4.3.1. Eğilme numunelerinin hazırlanması

CTP donatılı kirişlerin eğilme gerilmesi ve sehim miktarlarını belirlemek için eğilme deneyi yapılmıştır. Öncelikle ülkemizde üretim yapan fabrikalardan 2000mm uzunluğunda Ø12'lik CTP çubuklar ve çelik donatı temin edilmiştir. Temin edilen CTP çubuklara farklı yüzey özellikleri oluşturmak ve aderansı artırmak için kumlama yönetimiyle kum kaplama yapıldı. Eğilme deneyi için yüzeyi düz, kumlu ve nervürlü özelliklere sahip CTP donatılar kullanıldı.

Deneyleerde 2000 mm uzunluğunda kiriş numuneleri oluşturuldu. Deneyleerde esas demir olarak CTP donatı etriye olarak çelik etriye olarak Ø 8'lik çelikten etriye kullanılmıştır. Ø 8'lik çelik etriyeler 150 mm aralıklarla esas demirlere bağlanmıştır. Her bir kiriş numunesi Ø 12'lik 4 tane esas demir ve Ø 8'lik 14 tane çelik etriyeden oluşmaktadır. Hazırlanan donatılar Şekil 4.8.'de görülmektedir.



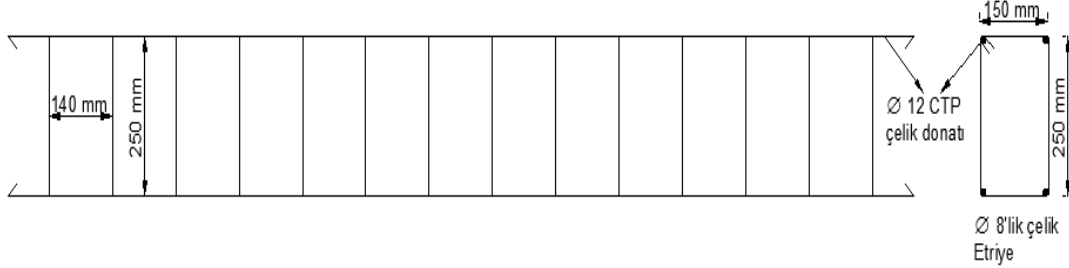
Şekil 4.8.Farklı yüzey özelliklerine sahip kiriş numune donatıları

Donatısı hazırlanan kirişler özel olarak hazırlanan 250 x 150 x 2000 mm' lik Şekil 4.9.'daki gibi plywood kiriş kalıpları içerisinde yerleştirilip 25 mm'lik pas payları takılmıştır.



Şekil 4.9. Kiriş kalıplarına yerleştirilmiş donatıları

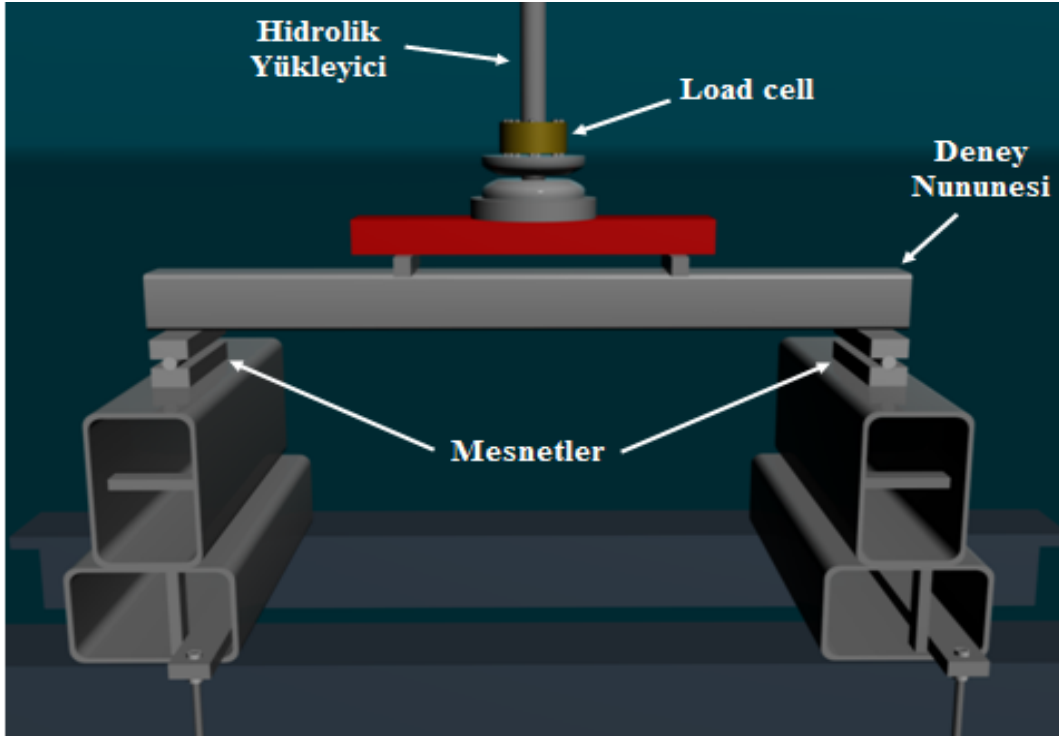
Kiriş numuneleri için C 20 beton sınıfı hazır beton kullanıldı. Kiriş numunelerinde kullanılan donatıların ölçüleri Şekil 4.10’da verilmiştir.



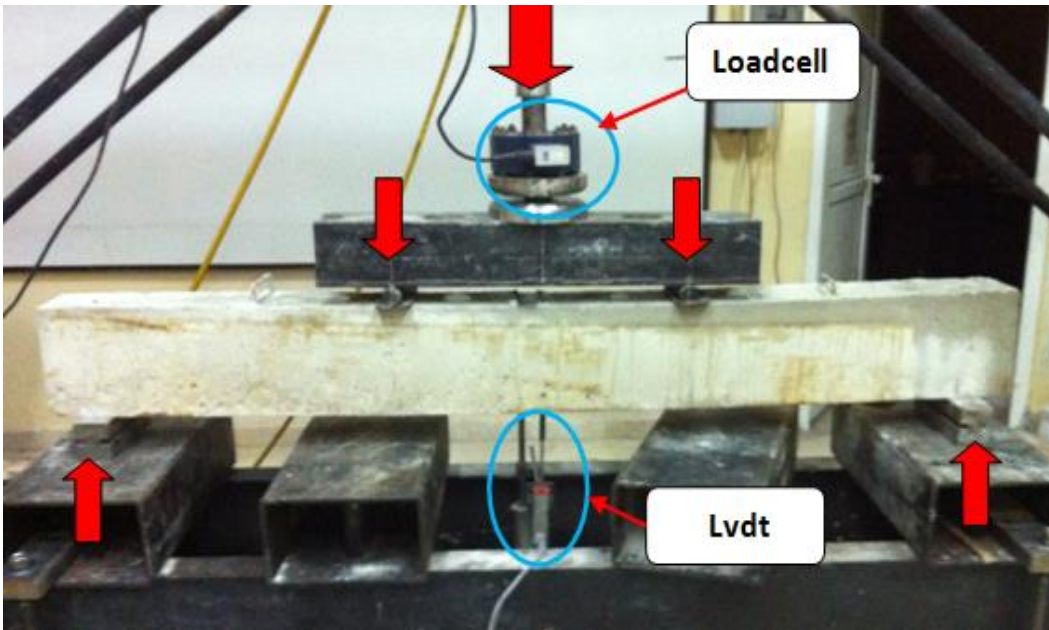
Şekil 4.10. Kiriş numune donatıları

Betonu dökülen kiriş numuneleri priz aldıktan sonra 28 gün boyunca uygun kür şartları sağlanarak 28 gün boyunca küre tabii tutulmuştur.

Uzunluğu 2000 mm olan CTP ve çelik donatılı kiriş testlerinde özel eğilme test düzeneği kurulmuştur (Şekil 4.11). Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında, HI-TECH MAGNUS marka 20 ton kapasiteli eğilme çerçevesi kullanılarak gerekli testler yapılmıştır (Şekil 4.12). Eğilme düzeneğinde 20 ton kapasiteli Load cell, 150 mm'ye kadar ölçüm yapabilen 0.01 mm hassasiyetli Potansiyometrik cetvel, yine 20 tona kadar yükleme yapabilen hidrolik yükleyici, özel üretilen mesnetler ile 12 kanallı data logger ve masa üstü bilgisayar kullanılmıştır.



Şekil 4.11. Eğilme deney düzeneği [7]

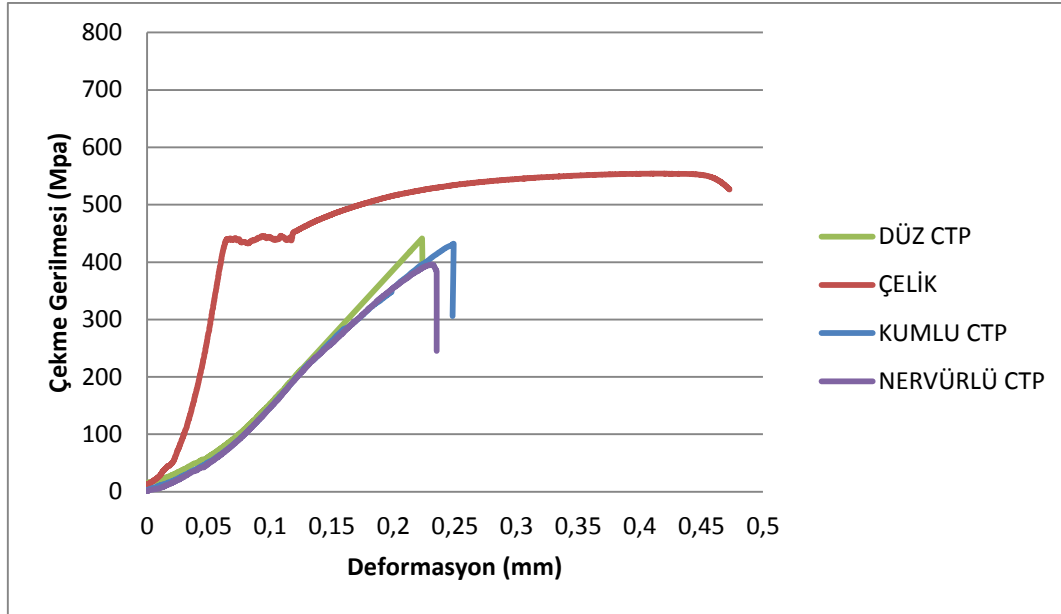


Şekil 4.12. Eğilme çerçevesi

## **BÖLÜM 5. DENEY SONUÇLARI ve TARTIŞMA**

### **5.1. Çekme Deneyi**

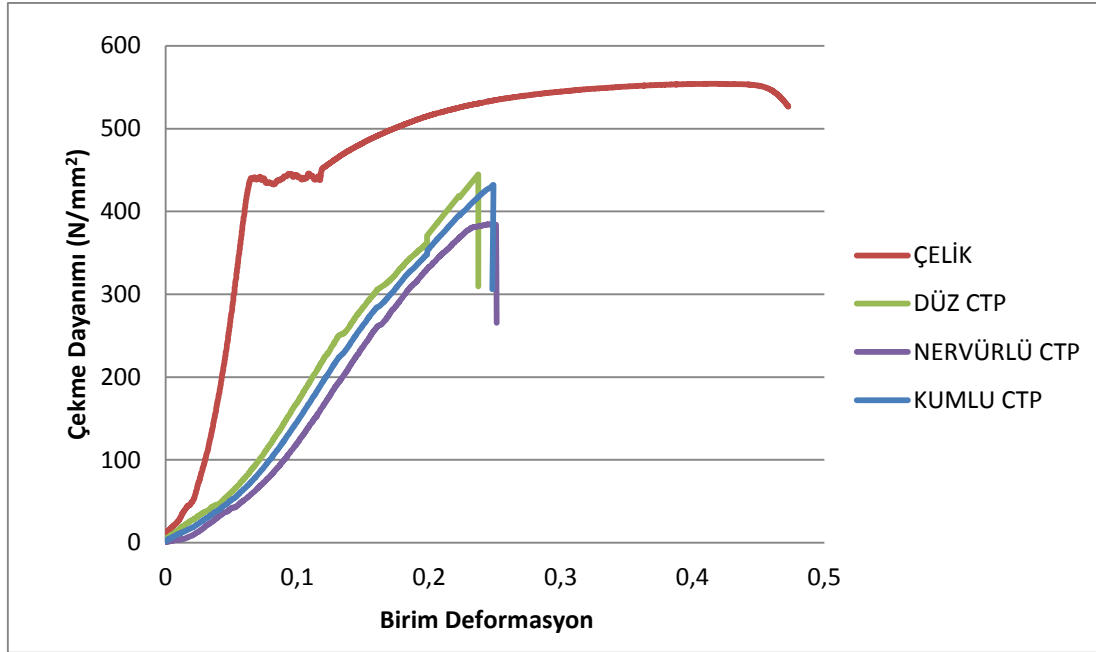
Lif doğrultusuna paralel çekme deneyi için yüzeyi düz, kumlu ve nervürlü CTP Ø8 Ø12 olmak üzere iki farklı donatı türünde çekme deneyleri yapılmıştır. Ø8 çelik ve CTP donatılar aderans deneylerinde kullanılan donatıların çekme dayanımları karşılaştırmak amacıyla yapılmıştır. Ø12 çelik ve CTP donatılar kiriş deneylerinde esas donatı olarak kullanılan donatıların çekme dayanımlarını karşılaştırmak amacıyla yapılmıştır. Her türden 3'er tane toplamda 12 adet Ø8'lik 12 adet Ø12'lik 250mm boyutlu numune hazırlanmış ve her numuneye çekme kuvveti uygulanarak elde edilen veriler bilgisayar ortamına kaydedilmiştir. Çekme deneyinden elde edilen sonuçları değerlendirmek için her deneyde kayıtlar text formatında kayıt edilmiş ve daha sonra bu kayıtlar Excel formatında işlenerek sonuçlar bulunmuştur. Farklı yüzey özellikli Ø8 ve Ø12 CTP esas donatılar ve çelik donatılar kullanılarak yapılan çekme deneylerinin çekme dayanımı–birim deformasyon grafikleri Şekil 5.1 ve Şekil 5.2'de verilmiştir.



Şekil 5.1. Ø8 farklı donatılara ait çekme dayanımı – birim deformasyon grafiği

Farklı yüzey özellikli CTP ve çelik Ø 8 donatılar şekil 5.1’de karşılaştırılmalı olarak verilmiştir. Çelik 545,7 N/mm<sup>2</sup> ile en yüksek çekme dayanımını göstermiştir. Çelik donatılarda akma ve daha sonra kopma meydana gelmiştir. Yüzeyi düz CTP donatılar 423,8 N/mm<sup>2</sup> çekme dayanımı göstermiştir. Yüzeyi kumlu CTP donatılar yüzeyi düz CTP donatılara yakın çekme dayanımı göstererek 418,4 N/mm<sup>2</sup> çekme dayanımı göstermiştir. Yüzeyi düz ve kumlu CTP donatılarda lif doğrultusunda kopma meydana gelmiştir. Yüzeyi nervürlü CTP donatılar 389,2 N/mm<sup>2</sup> çekme dayanımı göstermiştir. Nervürlü CTP donatılar nervürlü kısımlarda kesit kayıpları olduğundan dolayı kesiti zayıf olan bölgelerde kopma gerçekleşmiştir.





Şekil 5.2. Ø12 farklı donatılara ait çekme dayanımı – birim deformasyon grafiği

Farklı yüzey özellikli CTP ve çelik Ø 12 donatılar şekil 5.2’de karşılaştırılmalı olarak verilmiştir. Çelik  $548.2 \text{ N/mm}^2$  ile en yüksek çekme dayanımını göstermiştir. Yüzeyi düz CTP donatılar  $444 \text{ N/mm}^2$  çekme dayanımı göstermiştir. Yüzeyi kumlu CTP donatılar yüzeyi düz CTP donatılar  $432.1 \text{ N/mm}^2$  çekme dayanımı ile yüzeyi düz CTP ile yakın bir çekme dayanımı göstermiştir. Yüzeyi nervürlü CTP donatılar  $384.1 \text{ N/mm}^2$  çekme dayanımı göstermiştir. Nervürlü CTP donatılar nervürlü kısımlarda kesit kayıpları olduğundan dolayı kesiti zayıf olan bölgelerde kopma gerçekleşmiştir.

Ø 8 ve Ø 12’lik donatılara ait maksimum çekme kuvvetleri ile maksimum çekme dayanımı Tablo 5.1 - Tablo 5.8’te’te verilmiştir.

Tablo 5.1. Ø8 düz CTP donatılara ait çekme dayanımı

Numune	Kesit Alanı (mm <sup>2</sup> )	Çekme Kuvveti (N)	Çekme Gerilmesi (N/mm <sup>2</sup> )
1	50,27	21612.5	430.1
2	50,27	21058.1	418.9
3	50,27	21225.6	422.4
<b>Ortalama</b>	<b>50,27</b>	<b>21298.7</b>	<b>423.8</b>

Tablo 5.2. Ø8 kumlu CTP donatılara ait çekme dayanımı

Numune	Kesit Alanı (mm <sup>2</sup> )	Çekme Kuvveti (N)	Çekme Gerilmesi (N/mm <sup>2</sup> )
1	56.75	21015.6	370.3
2	56.75	23761.2	418.7
3	56.75	24317.4	428.5
<b>Ortalama</b>	<b>56.75</b>	<b>23744.2</b>	<b>418.4</b>

Tablo 5.3. Ø8 nervürlü CTP donatılara ait çekme dayanımı

Numune	Kesit Alanı (mm <sup>2</sup> )	Çekme Kuvveti (N)	Çekme Gerilmesi (N/mm <sup>2</sup> )
1	47.8	17891.5	374.3
2	47.8	18732.8	391.9
3	47.8	19206	401.8
<b>Ortalama</b>	<b>47.8</b>	<b>18603.8</b>	<b>389.2</b>

Tablo 5.4. Ø8 çelik donatılara ait çekme dayanımı

Numune	Kesit Alanı (mm <sup>2</sup> )	Çekme Kuvveti (N)	Çekme Gerilmesi (N/mm <sup>2</sup> )
1	51.5	26203.2	508.8
2	51.5	28448.6	552.4
3	51.5	30045.1	583.4
<b>Ortalama</b>	<b>51.5</b>	<b>28232.3</b>	<b>548.2</b>

Tablo 5.5. Ø12 düz CTP donatılara ait çekme dayanımı

Numune	Kesit Alanı (mm <sup>2</sup> )	Çekme Kuvveti (N)	Çekme Gerilmesi (N/mm <sup>2</sup> )
1	120.8	52620.5	435.6
2	120.8	53913	446.3
3	120.8	54372.1	450.1
<b>Ortalama</b>	<b>120.8</b>	<b>53635.2</b>	<b>444</b>

Tablo 5.6. Ø12 kumlu CTP donatılara ait çekme dayanımı

Numune	Kesit Alanı (mm <sup>2</sup> )	Çekme Kuvveti (N)	Çekme Gerilmesi (N/mm <sup>2</sup> )
1	116.9	50100.6	428.6
2	116.9	50304.9	430.3
3	116.9	51128	437.5
<b>Ortalama</b>	<b>116.9</b>	<b>50511.2</b>	<b>432.1</b>

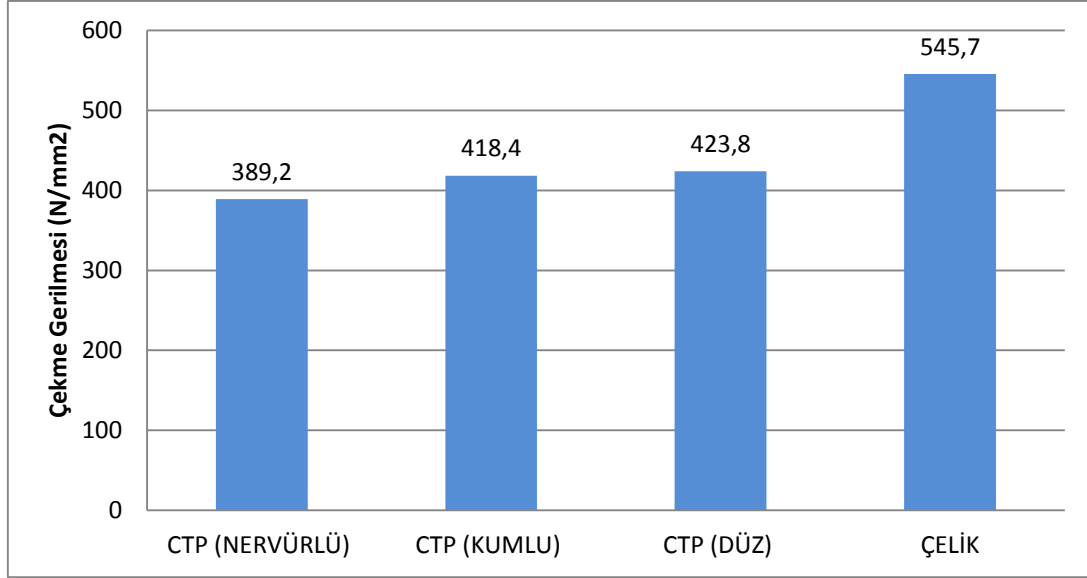
Tablo 5.7. Ø12 nervürlü CTP donatılara ait çekme dayanımı

Numune	Kesit Alanı (mm <sup>2</sup> )	Çekme Kuvveti (N)	Çekme Gerilmesi (N/mm <sup>2</sup> )
1	116.9	42126.8	360.4
2	116.9	44700	382.4
3	116.9	47854	409.4
<b>Ortalama</b>	<b>116.9</b>	<b>44893.6</b>	<b>384.1</b>

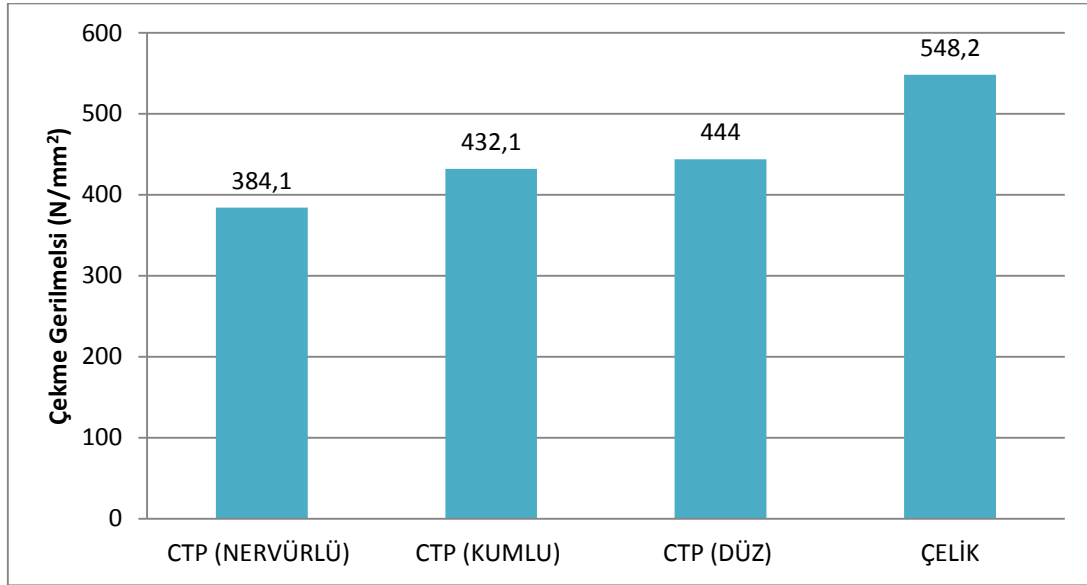
Tablo 5.8. Ø12 çelik donatılara ait çekme dayanımı

Numune	Kesit Alanı (mm <sup>2</sup> )	Çekme Kuvveti (N)	Çekme Gerilmesi (N/mm <sup>2</sup> )
1	118	60120	360.4
2	118	62620	382.4
3	118	63251	409.4
<b>Ortalama</b>	<b>118</b>	<b>61997</b>	<b>384.1</b>

Ø8 ve Ø12'lik donatılara ait maksimum çekme gerilmesi Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'te verilmiştir.



Şekil 5.3. Ø8 farklı donatı çekme dayanımı grafiği

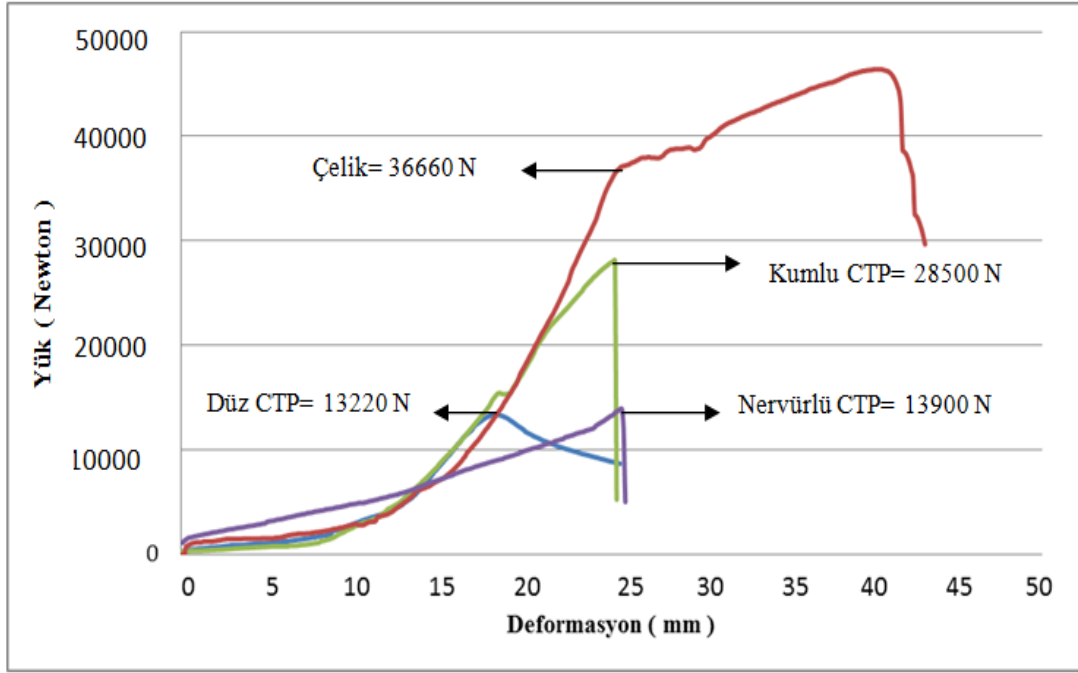


Şekil 5.4. Ø12 farklı donatı çekme dayanımı grafiği

## 5.2. Sıyırılma Deneyi

Lif doğrultusuna paralel yapılan sıyırılma deneyi için yüzeyi düz, kumlu ve nervürlü CTP ve çelik olmak üzere her türden 3'er tane toplamda 12 adet (Ø 8'lik 250mm boyutlu) donatı beton içerisine yerleştirilerek deney numuneleri hazırlanmış ve her numuneye çekme kuvveti uygulanarak elde edilen veriler bilgisayar ortamına

kaydedilmiştir. Sıyırılma deneyinden elde edilen sonuçları değerlendirmek için her deneyde kayıtlar text formatında kayıt edilmiş ve daha sonra bu kayıtlar Excel formatında işlenerek sonuçlar bulunmuştur. C20/25 beton sınıfında farklı yüzey özelliklerine sahip CTP donatılarla yapılan sıyırılma deneyi grafiği çelik donatı ile karşılaştırmalı olarak Şekil 5.5’de verilmiştir.

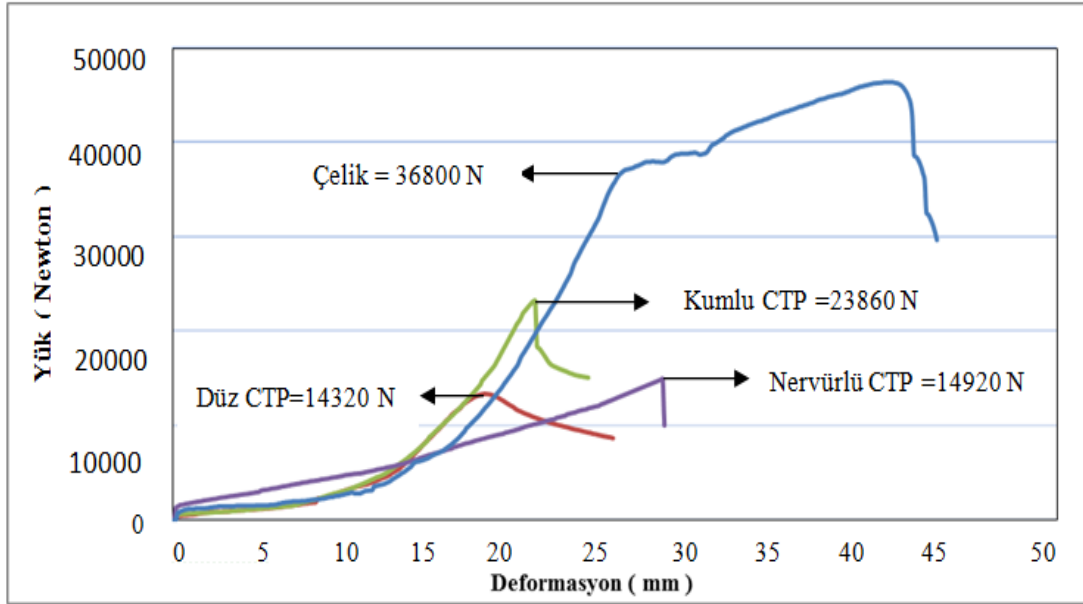


Şekil 5.5. C20/25 beton sınıfı yüzeyi kumlu CTP donatı ile çelik donatının grafiği

C20/25 sınıfında yapılan deneylerde Ø8 çelik ve yüzeyi nervürlü CTP donatılarının sıyırılma test sonuçları karşılaştırıldığında nervürlü CTP donatının 13900 N da betondan sıyırılmadan kopma meydana gelmiştir. Deney esnasında CTP donatılarda kopma meydana gelmiş, ancak nervürlü yüzey oluşturmak için sarılan CTP iplik CTP donatılarda kesit kayıplarına neden olduğu için dayanımı düşürmüştür. Ø8 çelik ve yüzeyi kumlu CTP donatılarının sıyırılma test sonuçları karşılaştırıldığında kumlu CTP donatının 28500 N da betondan sıyırılmadan kopma meydana gelmiştir. Yüzeyi kum kaplı CTP donatı ile beton arasında kum aderans yüzeyi oluşturmuş ve CTP donatıda kopma meydana gelmiştir. Ø8 çelik ve farklı yüzey özelliklerine sahip CTP donatılar sıyırılma test sonuçları karşılaştırıldığında en yüksek sıyırılma dayanımı kumlu CTP donatıda görülmüştür. Kumlu ve nervürlü yüzeye sahip CTP donatılarda

kopma meydana gelirken, yüzeyi düz donatıda kopma meydana gelmemiştir. Çelik donatının ise aktığı görülmüştür.

C30/35 beton sınıfında farklı yüzey özelliklerine sahip CTP donatılarda yapılan sıyırılma deneyi grafiği çelik donatı ile karşılaştırmalı olarak Şekil 5.6'de verilmiştir.



Şekil 5.6. C30/35 beton sınıfındaki farklı yüzey özellikli donatıların sıyırılma grafiği

C30/35 beton sınıfında yapılan deneyde Ø8 Çelik ve düz CTP donatısını sıyırılma test sonuçları karşılaştırdığımız da CTP donatısının 14320 N da betondan sıyırıldığı tespit edilmiştir. Deney esnasında düz CTP donatı da kopma olmamış, yüzey pürüzsüzlüğünden kaynaklanan sıyırılma yüzeyi oluşmuştur. Ancak çelik donatıda sıyırılma olmaksızın 36800 N da akma gerçekleşmiştir. Ø8 çelik ve yüzeyi nervürlü CTP donatılarının sıyırılma test sonuçlarını karşılaştırıldığında nervürlü CTP donatısının 14920 N da betondan sıyırılmadan kopma meydana gelmiştir. Deney esnasında CTP donatılarda kopma meydana gelmiş, ancak nervürlü yüzey oluşturmak için sarılan CTP iplik CTP donatılarda kesit kayıplarına neden olduğu için dayanımı düşürmüştür. Ø8 çelik ve yüzeyi kumlu CTP donatılarının sıyırılma test sonuçlarını karşılaştırıldığında kumlu CTP donatısının 23860 N da betondan sıyırılmadan kopma

meydana gelmiştir. Yüzeyi kum kaplı CTP donatı ile beton arasında kum aderans yüzeyi oluşturmuş ve CTP donatıda kopma meydana gelmiştir. Ø8 çelik ve farklı yüzeylere sahip CTP donatılar karşılaştırıldığında Ø8 çelikten sonra en yüksek sıyırılma dayanımı kum kaplı CTP donatılarda olmuş ve onu nervürlü yüzeye sahip CTP donatı takip etmektedir. En zayıf aderans özelliği ise yüzeyi düz CTP donatılarda görülmektedir. Yüzeyi düz CTP donatı ile yüzeyi nervürlü CTP donatı birbirine yakın değerlerde çıkmaktadır. Fakat nervürlü yüzeye sahip CTP donatıda kopma meydana gelirken düz yüzeyli CTP donatıda kopma meydana gelmemektedir. Farklı yüzey özellikli donatılarda meydana gelen sıyırılma deformasyonları Şekil 5.7’de verilmiştir.



Şekil 5.7. Farklı yüzey özellikli donatıların sıyırılma deformasyonları

### 5.3. Eğilme deneyi

Farklı yüzey özelliklerine sahip CTP donatılar ve çelik donatı ile oluşturulan kirişler eğilme deneyine tabii tutulmuştur. Elde edilen veriler bilgisayar ortamına kaydedilmiştir. Eğilme deneyinden elde edilen sonuçları değerlendirmek için her deneyde kayıtlar text formatında kayıt edilmiş ve daha sonra bu kayıtlar Excel formatında işlenerek sonuçlar bulunmuştur

Eğilme deneyleri sonunda yük-sehim grafikleri oluşturulduktan sonra numunelere ait maksimum yükteki gerilme değerleri hesaplanarak, eğilme dayanımları Formül 5.1 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\sigma = \frac{M}{I} = \frac{\frac{P.L}{6}}{\frac{bh^3}{12}} y \quad (5.1)$$

$\sigma$  : Eğilme Dayanımı (N/mm<sup>2</sup>)

$M$  : Moment (Nmm)

$W$  : Mukavemet Momenti (mm<sup>3</sup>)

$P$  : Max. Yük (N)

$L$  : Mesnet Açıklığı (mm)

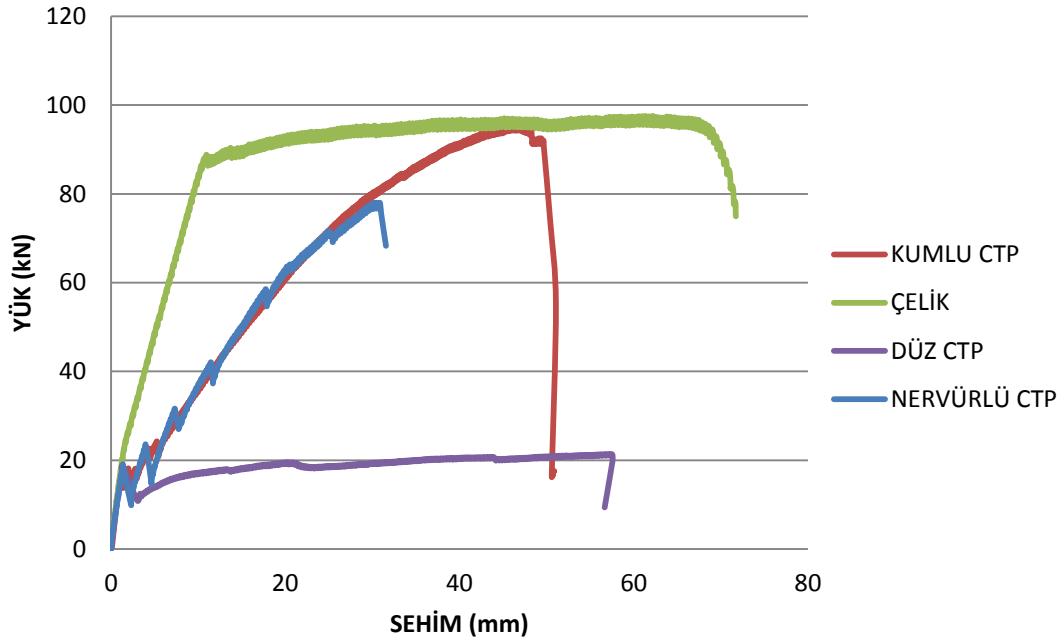
$I$  : Atalet Momenti (mm<sup>4</sup>)

$y$  : Tarafsız eksen uzaklığı (mm)

Farklı yüzey özellikli CTP esas donatılar ve çelik donatılar kullanılarak yapılan eğilme deneylerinin yük – sehim grafikleri Şekil 5.8’te verilmiştir. Çelik donatı ile üretilen kiriş numuneleri en yüksek eğilme dayanımı göstermiştir. Yüzeyi kumlu CTP donatılar çelik donatı ile yaklaşık aynı değerde eğilme davranış göstermiş fakat gevrek kırılma meydana gelmiştir. Yüzeyi nervürlü CTP donatılar nervürlü kısımlarda kesit kayıpları olduğu için eğilme dayanımında yüzeyi kumlu CTP



donatılı kirişlerde düşük dayanım göstermiş ve beton ile tam bir aderans sağlayamamıştır. Beton ile nervürlü CTP arasında sıyrılmalar meydana gelmiştir. Yüzeyi düz CTP donatılar beton ile aderans sağlayamadığı için sıyrılmalar gerçekleşmiş ve beton içerisinde kopma gerçekleştirilememiştir.



Şekil 5.8 Farklı donatı türlü kiriş numuneleri Yük – Sehim grafikleri

Çelik ve yüzey özellikleri farklı CTP esas donatılar ile yapılan eğilme deneylerinden elde edilen numunelerin Eğilme yükü ve dayanımları Tablo 5.9 - Tablo 5.12’te verilmiştir.

Tablo 5.9. Düz CTP donatılı kirişlerin eğilme sonuçları

Numune	Maksimum Yük (kN)	Eğilme Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )
1	18.37	3520
2	18.94	3630
3	21.40	4100
<b>Ortalama</b>	<b>19.58</b>	<b>3760</b>

Tablo 5.10. Nervürlü CTP donatılı kirişlerin eğilme sonuçları

Numune	Maksimum Yük (kN)	Eğilme Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )
1	75.02	14400
2	75.30	14450
3	78.04	14980
<b>Ortalama</b>	<b>76.12</b>	<b>14620</b>

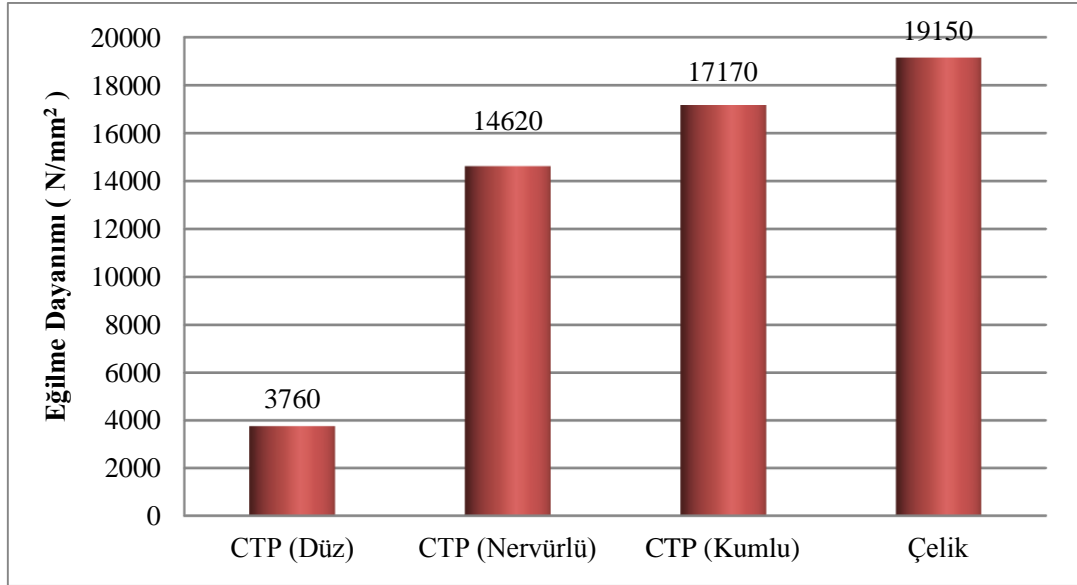
Tablo 5.11. Kumlu CTP donatılı kirişlerin eğilme sonuçları

Numune	Maksimum Yük (kN)	Eğilme Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )
1	84.61	16240
2	88.23	16940
3	95.45	18320
<b>Ortalama</b>	<b>89.43</b>	<b>17170</b>

Tablo 5.12. Çelik donatılı kirişlerin eğilme sonuçları

Numune	Maksimum Yük (kN)	Eğilme Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )
1	99.15	19038
2	99.82	19160
3	100.27	19250
<b>Ortalama</b>	<b>99.75</b>	<b>19150</b>

Deney sonucunda elde edilen maksimum eğilme yükleriyle hesaplanan eğilme dayanımlarının ortalamaları alınarak Şekil 5.9'da karşılaştırılmalı verilmiştir.

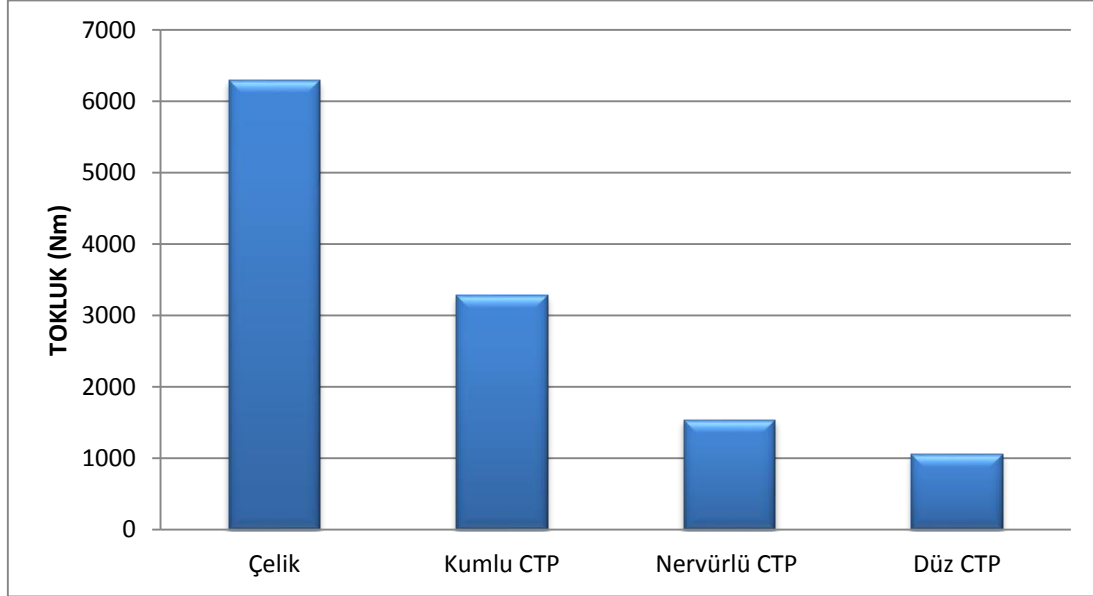


Şekil 5.9. Farklı donatılı kirişlerin eğilme dayanımları

Çelik ve farklı yüzeylere sahip CTP esas donatılı kirişler karşılaştırıldığında çelik 19.15 N/mm<sup>2</sup> eğilme dayanımı ile en yüksek eğilme dayanımını göstermiştir. Çelik donatılı kirişe en yakın değeri 17.17 N/mm<sup>2</sup> eğilme dayanımı ile yüzeyi kumlu CTP donatılı kirişler göstermiştir. Yüzeyi nervürlü CTP donatı 14.62 N/mm<sup>2</sup> eğilme dayanımı göstermiştir. En düşük eğilme dayanımını 3.76 N/mm<sup>2</sup> eğilme dayanımı ile yüzeyi düz CTP donatılı yani referans numuneler göstermiştir.

Düz CTP donatılı referans kiriş numunelerin eğilme dayanımına göre nervürlü üretilen CTP donatılı kirişlerin eğilme dayanımı %388 oranında artmıştır. Yine Düz CTP donatılı referans kiriş numunelerin eğilme dayanımına göre Kumlu CTP donatılı kirişlerin eğilme dayanımı %456 oranında artmıştır. Kumlu CTP donatılı kirişlerin eğilme dayanımı Nervürlü CTP donatılı kirişlerin eğilme dayanımına göre %17,5 oranında artış göstermiştir. Çelik donatılı kirişlerin eğilme dayanımı Kumlu CTP donatılı kirişlere göre %11,5 oranında fazla eğilme dayanımına sahip olduğu tespit edilmiştir. Böylece düşük eğilme dayanımına sahip CTP donatılı kirişler CTP donatısının geliştirilmesiyle çelik donatılı kirişlerin dayanımına yakın düzeyde dayanıma ulaşmıştır.

Yük-sehim grafikleri kullanılarak CTP ve çelik donatılı kirişlerin tokluk değerleri hesaplanarak Şekil 5.10’de karşılaştırılmalı olarak tokluk değerleri verilmiştir.



Şekil 5.10. Farklı donatılı kirişlerin tokluk değerleri

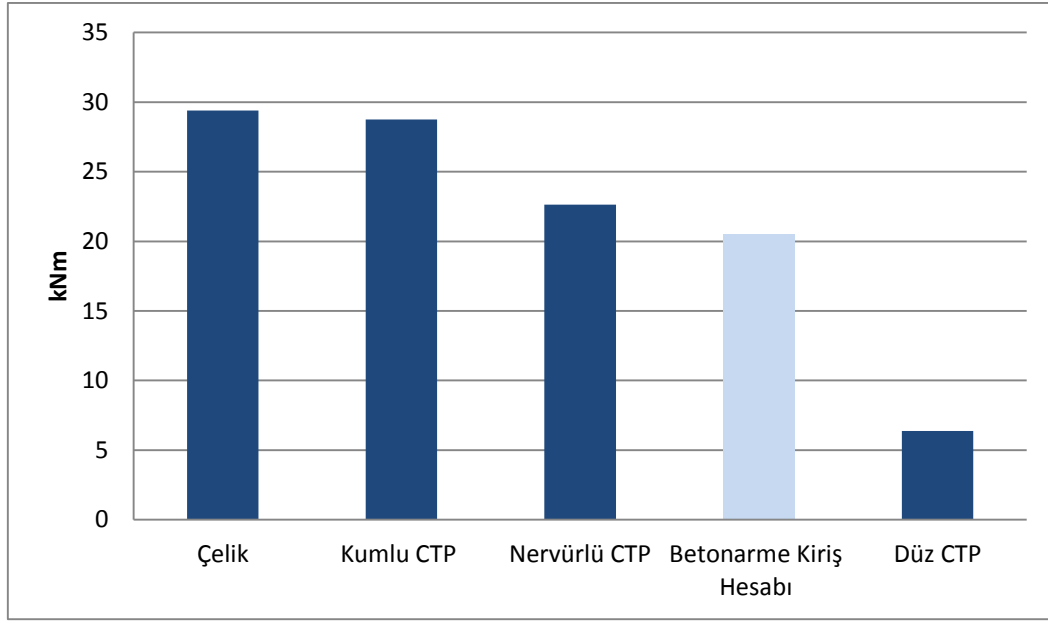
Eğilme deneyleri sonucundan maksimum farklı donatılı kiriş numunelerinin maksimum eğilme yükleri bulunarak teorik betonarme hesapları yapılarak kıyaslamalar yapılmıştır. Teorik hesaplar için kullanılan formüller Formül 5.2 verilmiştir.

$$A_s = 0.85 \times (f_{cd}) \times (b_w) \times (a) / f_{yd}$$

$$M_d = 0.85 \times f_{cd} \times b_w \times a \times (d - a/2) \quad (5.2)$$

$$M_d = \frac{Pl}{6}$$

Formüller ile hesaplanan kiriş donatı hesapları karşılaştırmalı olarak Şekil 5.11’de verilmiştir.



Şekil 5.11. Farklı donatılı kirişlerin kiriş donatı hesapları

## BÖLÜM 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çelik donatılı ve farklı yüzey özelliklerine sahip CTP donatılar ile yapılan çekme, aderans ve betonarme kirişlerin eğilme davranışlarının incelendiği bu çalışma neticesinde elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekilde özetlenmiştir:

Çekme deneylerinde en yüksek dayanımı çelik donatıdan sonra yüzeyi düz CTP göstermiştir.

Yapılan sıyırılma testlerinde çelik donatıların sıyırılmadan aktığı tespit edilmiştir.

Düz CTP donatılarla yapılan sıyırılma testlerinde yüzeylerin pürüzsüz olmasından kaynaklanan sıyırılmalar olmuştur.

Nervürlü CTP donatılarda sıyırılma olmadığı ancak nervür oluşturma amaçlı yapılan sarma işlemi neticesinde kesit kaybı nedeni ile dayanımda düşmeler olduğu tespit edilmiştir.

Kumlama yapılan CTP donatılarda sıyırılma direncinin düz ve nervürlü CTP donatılara oranla % 40 artışı ve sıyırılma olmaksızın kopma gerçekleştiği tespit edilmiştir.

İki farklı beton sınıfında yapılan testler sonucunda sıyırılma direncine beton ile donatı aderansının etkili olduğu ve CTP donatılarda en iyi sonucu kumlanmış CTP donatının verdiği tespit edilmiştir.

Düz CTP donatılı kirişlerle yapılan eğilme deneylerinde yüzeylerin pürüzsüz olmasından kaynaklanan sıyrılmalar olmuştur. Kumlama ve yüzeyi nervürlü CTP donatılı kirişlerde sıyrılmaya direncinin arttığı belirlenmiştir.

CTP donatılar içerisinde en iyi dayanımı yüzeyi kumlu CTP donatılar vermiştir. Düz CTP donatılı referans kiriş numunelerinin eğilme dayanımına göre Kumlu CTP donatılı kirişlerin eğilme dayanımı %456 oranında artmıştır.

Kumlu CTP donatılı kirişlerin eğilme dayanımı Nervürlü CTP donatılı kirişlerin eğilme dayanımına göre %17,5 oranında artış göstermiştir.

Düz CTP donatılı referans kiriş numunelerinin eğilme dayanımına göre nervürlü üretilen CTP donatılı kirişlerin eğilme dayanımı %388 oranında artmıştır.

Çelik donatılı kirişlerin eğilme dayanımı Kumlu CTP donatılı kirişlere göre %11,5 oranında fazla eğilme dayanımına sahip olduğu tespit edilmiştir.

Düşük eğilme dayanımına sahip CTP donatılı kirişler CTP donatısının önce nervürlü daha sonra kumlu üretilmesiyle geliştirilmiş ve çelik donatılı kirişlerin dayanımına yakın eğilme dayanıma ulaşmıştır. CTP donatıları daha geliştirilebileceği düşünülmektedir.

Çekme deneylerinde CTP donatılar çelik donatılara gibi sağlam çekme dayanımları göstermişlerdir.

CTP donatıların aderansını artırmak ve betondan sıyrılmalarını önlemek için yüzey özelliklerini değiştirmek gerekmektedir. Kumlu yüzey oluşturulması sıyrılmaya olumlu yönde etkilidir.

Betonarme kiriş deneylerinde CTP donatılı kirişlerde ani kopmalar gerçekleştiği için plastik deformasyon göstermesi istenilen yapı elemanları yerine saha betonları veya kıyı koruma yapılarında çelik donatı yerine kullanılabilirler.

Belirtilen mekanik dayanım sonuçlarının yanı sıra CTP donatıların korozyon direnci, hafifliği ve dayanıklılık gibi avantajları sunduğu unutulmamalıdır.



## KAYNAKLAR

- [1] CALLISTER, W.D. Materials Science and Engineering, Second edition, John Wiley and Sons Inc, Singapore, 1990.
- [2] ERSOY, H. Y. Kompozit Malzeme, Literatür Yayıncılık, İstanbul, 2010.
- [3] AYDIN, F. Cam Lifi Takviyeli Plastik (GFRP) Kompozit ve Beton İle Üretilen Hibrit Yapı Elemanlarının Mekanik Performansının Araştırılması, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Sakarya, 2011.
- [4] CRIPPS, A. Fiber Reinforced Polymer Composites In Construction, Construction Industry Research & Information Association (CIRIA), February, 2002.
- [5] HOLLAWAY, L.C. Advance Polymer Composites and Polymers in the Civil Infrastructure, Elsevier Science, First edition, July 2001.
- [6] EMMONS, P. H. VAYSBURG, A. M. and THOMAS, J. Strengthening of Concrete Structures, Part II, Advanced Composites, ACI Concrete International, Vol. 20, No. 4, pp. 56-60, 1998.
- [7] BARADAN, B. YAZICI, H. ÜN H. Beton ve Betonarme Yapılarda Kalıcılık (Durabilite)” Türkiye Hazır Beton Birliği Yayınları, İstanbul, 2010.
- [8] MAZAHERIPOUR, H. BARROS, J.A.O. SENA-CRUZ J.M. PEPE M. MARTINELLI E., Experimental study on bond performance of GFRP bars in self-compacting steel fiber reinforced concrete. Composite Structures, 202–212, 2013.
- [9] BAENA, M. TORRES, L. TURON, A. BARRÍS, C. Experimental study of bond behaviour between concrete and FRP bars using a pull-out test, Composites: Part B; 784–797, 2009.
- [10] ZHOU, J. CHEN, X. CHEN, S. Durability and service life prec GFRP bars embedded in concrete under acid environment, Engineering and Design; 4095– 4102, 2011.
- [11] ISSA, M. S. METWALLY, I. M. ELZEINY, S. M. Influence of fibers on flexural behavior and ductility of concrete beams reinforced with GFRP

- rebars, *Engineering Structures*; 1754–1763, 2011.
- [12] GADVE, S. MUKHERJEE, A. MALHOTRA, S.N. Corrosion of steel reinforcements embedded in FRP wrapped concrete, *Construction and Building Materials*; 153–161, 2009.
- [13] WANG, Y.C. WONG, P.M.H. . KODUR, V. An experimental study of the mechanical properties of fibre reinforced polymer (FRP) and steel reinforcing bars at elevated temperatures, *Composite Structures*; 131–140, 2007.
- [14] WANG, H. BELARBI, A. Ductility characteristics of fiber-reinforced-concrete beams reinforced with FRP rebars, *Construction and Building Materials*; 2391–2401, 2011.
- [15] ALMUSALLAM, T. H. AL-SALLOUM, Y. A. ALSAYED, S. H. EL-GAMAL, S. AQEL, M. Tensile properties degradation of glass fiber reinforced polymer bars embedded in concrete under severe laboratory and field environmental conditions, *Journal of Composite Materials*; 393–407, 2012.
- [16] ARAN, A. Elyaf Takviyeli Karma Malzemeler, İ.T.Ü. Rektörlük Ofset Atölyesi, İstanbul, 1990.
- [17] JUDGE, J. F. *The Coming Revolution, Airline Management and Marketing*, 1996.
- [18] REINHART, T. J. CLEMENTS, L. L. *Engineered materials handbook Introduction to Composites*, 1993.
- [19] YÜCEL, M., *Plastik ve Plastik Esaslı Kompozitlerin İnşaat Sektöründe Kullanımı*, Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümü, Sakarya, 2004.
- [20] AKINCI, A., *Polimer Matriksli Kompozitlerde Katkı Malzemelerinin Yapı ve Özelliklere Etkisi*, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Sakarya, 2004.
- [21] ŞAHİN, Y. *Kompozit Malzemelere Giriş*, Gazi Yayın Evi, Ankara, 2000.
- [22] ARIKAN, T.A., *CTP Malzemesinin Yapısal Strüktürde Kulla Yönelik Sorunlar ve Strüktürel Davranışının İncelenmesi*, Yüks Tezi, GYTE Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze, 2004.
- [23] CUMHUR, A., *Pultruzyon Metodu İle Üretilmiş Ctp Profillerle Sera Modellemesi*, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Sakarya, 2007.

- [24] [www.sisecam.com](http://www.sisecam.com), Erişim Tarihi: 02.02.2013.
- [25] YILMAZ, G. Ş., Kompozit Malzemeler ve Kullanım Alanları, Isparta Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Müh. Bölümü Isparta, 1990.
- [26] YILDIRIMER, G. Pultrüzyon Metoduyla Üretilmiş Ctp Profillerin Şekil ve Boyutlarının Eğilme ve Basınç Dayanımlarına Etkileri, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Sakarya, 2011.
- [27] WATSON, J.C. and RAGHUPATH, N., Glass Fibers Engineered Materials Handbook, Vol.,1989.
- [28] TURHAN, M. CTP'lerin Mekanik Özelliklerine Elyaf Hacim Oranlarının Etkisinin Araştırılması, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007.
- [29] HİKMET, Y. Plastikler Dünyası, MMO Yayın no:142,264, 1992.
- [30] MISİROĞLU, M. Cam Malzemelerde Cam Elyaf Takviyenin Mekanik Özelliklere Etkisi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Sakarya, 1996.
- [31] Yıldız Treyler San.,” Plastik Maddeler” Yıldız Treyler San. Ltd.Şti., İstanbul, 1985
- [32] WRIGHT,R.E., Reinforcet Plastics and Compozites Chartes 2, Harpe C.A., Modern Plastic Handbook, 2000.
- [33] [www.camelyaf.com.tr](http://www.camelyaf.com.tr), Erişim Tarihi: 02.02.2013.
- [34] Şişecam, Cam Elyaf Sanayi A.S.,Bülten ,7,1996b
- [35] TSE 708, Çelik - Betonarme için - Donatı çeliği, Türk Standartları Enstitüsü, 2010.
- [36] ERSOY, U. Betonarme, Evrim Yayınevi, 1985.
- [37] TSE 197, Çimento- Bölüm 1: Genel Çimentolar- Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, Türk Standartları Enstitüsü, 2007.
- [38] TSE 802, Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları, Türk Standartları Enstitüsü, 2009.

## **ÖZGEÇMİŞ**

Yunus Ekiz, 12.12.1986 da Gaziantep' de doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Sakarya'da tamamladı. 2006 yılında başladığı SDÜ Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Öğretmenliği bölümünü 2010 yılında bitirdi. 2010 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde yüksek lisans eğitimine başladı. 2011 yılında Sakarya Üniversitesinde araştırma görevlisi olarak işe başladı ve halen devam etmektedir.