



**CAM ELYAF TAKVİYELİ PLASTİK PROFİLLER
İLE S355JR KALİTE ÇELİK PROFİLLERİN
KOROZİF ORTAM AŞINMA DAVRANIŞLARININ
KARŞILAŞTIRILMASI**

Canipek ALTAN

**2020
YÜKSEK LİSANS TEZİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI**

**CAM ELYAF TAKVİYELİ PLASTİK PROFİLLER İLE S355JR KALİTE
ÇELİK PROFİLLERİN KOROZİF ORTAM AŞINMA DAVRANIŞLARININ
KARŞILAŞTIRILMASI**

Canipek ALTAN

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI**

**KARABÜK
Ocak 2020**

Canipek ALTAN tarafından hazırlanan “CAM ELYAF TAKVİYELİ PLASTİK PROFİLLER İLE S355JR KALİTE ÇELİK PROFİLLERİN KOROZİF ORTAM AŞINMA DAVRANIŞLARININ KARŞILAŞTIRILMASI” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI

Tez Danışmanı, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 17/01/2020

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

Başkan : Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI (KBÜ)

Üye : Prof. Dr. Yavuz SUN (KBÜ)

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Yüksel AKINAY (Van YYÜ)

İmzası




KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü



“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Canipek ALTAN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

CAM ELYAF TAKVİYELİ PLASTİK PROFİLLER İLE S355JR KALİTE ÇELİK PROFİLLERİN KOROZİF ORTAM AŞINMA DAVRANIŞLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Canipek ALTAN

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI

Ocak 2020, 76 sayfa

Polimerler, makine parçaları (makine yatakları, elektronik yalıtım parçaları), bina ve inşaat bileşenleri için kullanılır. Polimer malzemeler tatmin edici elastikiyet modülü ve basma mukavemeti sergilerken, yetersiz çekme ve eğilme mukavemeti gözlenir. Bu nedenle öncelikle havacılık ve savunma endüstrileri için geliştirilen elyaf takviyeli plastik kompozitler, sivil altyapıda kullanım potansiyeline sahip bir malzeme sınıfı olduğu daha sonraları ortaya çıkmıştır. Cam elyaf takviyeli plastik kompozitler (CTP), gitgide artan oranda inşaat mühendislerinin kabul ettiği yeni bir inşaat malzemesidir. Köprü mühendisliği, ilk olarak CTP kompozitinin piyasaya sürülmesinden faydalanan inşaat mühendisliği alanları arasında yer almaktadır. Geleneksel inşaat malzemelerine göre bu kompozitlerin avantajları, yüksek çekme mukavemeti ile ağırlığın oranına karşılık gelen özgül mukavemeti, çeşitli şekillerde kalıplanma yeteneği ve çevre koşullarına karşı potansiyel direnç ve düşük bakım maliyetidir. Bu özellikler CTP

kompozitini yenilikçi bir inşaat sektörü için iyi bir alternatif malzeme yapmaktadır: Bunlar çoğunlukla levha, şerit, taban, sütun ve mevcut köprü ve / veya sivil yapıların güçlendirilmesi için kiriş şeklinde olanlar, ve bir dereceye kadar, beton güçlendiricisi olarak çelik yerine kullanılan takviye çubuklarıdır. Bu çalışmada PULTECH Kompozit Yapı ve Teknolojileri İmalat San. Ve Tic. A.Ş. tarafından temin edilen izofitalik polyester reçine matrisli kısa E-cam fiber takviyeli kompozitlerin (CTP) darbe, çekme, eğme ve korozyon aşınma davranışı, S355JR kalite çelik ile karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Kullanılan kalın kesitli CTP, sürekli cam fiberlerin üst üste serilmeleri ile imal edilen yaklaşık 8 mm kalınlığında bir üründür. Karşılaştırma amacıyla kullanılan çelik, S355JR kalite olup et kalınlığı 10 mm dir. Bu çalışmada incelenen CPT kompozitlerin oda sıcaklığı darbe enerjisi S355JR kalite çelikten düşük olup CTP kompozitlerin -50°C darbe enerjisi değeri çelikten yüksektir. Bu durum çelik malzemenin darbe enerjisinin sıcaklık düştükçe sünek kırılmadan gevrek kırılmaya doğru geçiş göstermesinden kaynaklanmaktadır. CTP kompozitlerin maksimum mukavemet değerleri çeliğin mukavemetine yakın olmakla birlikte CTP kompozitlerin süneklikleri oldukça düşüktür.

CTP kompozitlerin aşınma dirençleri, S355JR kalite çelik profillerin aşınma dirençlerinden yüksek bulunmuştur. Bu durum polimer matrisli kompozitlerin sürtünme sırasında sürtünmesiz bir yüzey özelliği sergilemesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Anahtar Sözcükler : Cam elyaf takviyeli polimer matrisli kompozit, izofitalik polyester reçine, E-camı takviye, aşınma testi.

Bilim Kodu : 91512

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

COMPARISON OF CORROSIVE WEAR BEHAVIOUR OF GLASS FIBER REINFORCED PLASTIC PROFILES WITH THAT OF S355JR QUALITY STEEL PROFILES

Canipek ALTAN

Karabük University

Institute of Graduate Programs

Department of Metallurgical and Materials Engineering

Thesis Advisor:

Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI

January 2020, 76 pages

Polymers are used for machine parts (machine bearings, electronic insulation parts), building and construction components. The polymer material exhibits satisfactory modulus of elasticity and compressive strength, but shows insufficient tensile and bending strength. For this reason, fiber reinforced polymer composites developed primarily for the aerospace and defense industries are a class of materials with potential for use in civil infrastructure. Fiber reinforced polymer composite (FRP) is a new construction material that is increasingly acknowledged by civil engineers. Bridge engineering is among the civil engineering fields that first benefited from the introduction of the FRP composite. The advantages of these composites over conventional construction materials are the high tensile strength and specific

strength corresponding to the ratio of weight, the ability to be molded in various ways, and the potential resistance to environmental conditions and low maintenance costs. These properties make the FRP composite a good alternative material for an innovative construction industry. During these 30 years, it has proven to be useful in several areas of application: mostly in the form of plates, strips, floors, columns and beams for reinforcing existing bridges and / or civil structures, and to some extent, reinforcing rods used as steel reinforcing concrete. In this study, the impact, tensile, bending and corrosive wear behavior of short E-glass fiber reinforced composites (FRP) with isophilic polyester resin matrix supplied by PULTECH Composite Structures and Technologies Manufacturing Industry and Trade Inc. were compared with S355JR quality steel. Thick section FRP used is a 4 layer product with a thickness of approximately 8 mm which is produced by re-joining the thin section composites produced with 3 mm wall thickness. The steel used for comparison is S355JR grade and the wall thickness is 10 mm. In this study, the room temperature impact energy of GRFP composites examined is lower than that of the S355JR quality steel, the GRFP composites have a -50°C impact energy value higher than the steel. This is due to the fact that the impact energy of the steel material changes from ductile to brittle as the temperature decreases. Although the maximum strength values of GRFP composites are close to the strength of steel, ductility of GRFP composites is quite low.

The abrasion resistance of GRFP composites was higher than that of S355JR grade steel profiles. This is believed to be due to the fact that the polymer matrix composites exhibit a frictionless surface property during friction test.

Key Word : Glass fiber recommended polymer matrix composite, isophthalic polyester resin, E-glass reinforcement, abrasion test.
Science Code : 91512

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren saygıdeğer hocam Sayın Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Proje aşamasında CTP numunelerini sağlayan ve çalışmam boyunca benden bir an olsun yardımlarını esirgemeyen PULTECH Kompozit Yapı ve Teknolojileri İmalat San. Ve Tic. A.Ş. firmasında çalışmakta olan Melike ÜNLE'ye, projenin her evresinde bana destek olan, değerli meslektaşım Emre DEMİRCİ'ye, gece gündüz demeden tüm sıkıntılarımı benimle paylaşan hem meslektaşım hem arkadaşım Ece Aydan AYDINLI'ya teşekkür ederim.

Yüksek lisans yapmam konusunda bana güç veren ve tüm kıymetli bilgilerini benimle paylaşan değerli babam Metin ALTAN'a ve canım ablam Cansu Altan ÖZGÜN'e, pozitif enerjisini hiç bir zaman üzerimden çekmeyen değerli annem Birsen ALTAN'a ve sürekli olarak çalışmama izin verdiği için canım oğlum Doruk Altan'a manevi hiçbir yardımı esirgemedi yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

Bu çalışma FYL-2019-2116 no'lu proje kapsamında Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	5
KOMPOZİT BİLEŞENLERİ.....	5
2.1. LİFLER	5
2.1.1. Tanımı ve İşlevi	5
2.1.2. Fiberlerin Şekilleri	5
2.1.3. Fiber Tipleri	7
2.1.3.1. Cam Elyafı.....	8
2.1.3.2. Karbon Fiberler.....	9
2.1.3.3. Aramid Fiberler	9
2.2. MATRİS	10
2.2.1. Tanımı ve İşlevi	10
2.2.2. Matris bileşenleri	11
2.2.2.1. Reçineler	11
2.2.2.2. Dolgu	12
2.2.2.3. Katkı Maddeleri	12
2.3. Fiber-Matris Uyumu	13

BÖLÜM 3	15
CTP MEKANİK ÖZELLİKLERİ.....	15
3.1. KOMPOZİT YOĞUNLUĞU.....	16
3.2. KOMPOZİTİN ELASTİSİTE MODULU	16
3.3. POISSON ORANI.....	18
3.4. GERİLME-ŞEKİL DEĞİŞTİRME İLİŞKİSİ VE ÇEKME DAYANIMI	19
3.5. AŞINMA DAVRANIŞI	22
BÖLÜM 4	24
CTP UYGULAMA ALANLARI.....	24
4.1. MEVCUT KÖPRÜ YAPILARININ DONANIMININ İYİLEŞTİRİLMESİ VE TAMİR EDİLMESİ	25
4.2. BETONUN GÜÇLENDİRİLMESİ	26
4.3. HİBRİD KÖPRÜ YAPILARI	27
4.4. TÜM-KOMPOZİT KÖPRÜ YAPILARI.....	29
BÖLÜM 5	31
CTP ÜRETİMİ.....	31
5.1. ÜRETİM YÖNTEMİ SEÇİMİ.....	31
5.2. ELLE VE YARI OTOMATİK YÖNTEMLER	32
5.3. TAM OTOMATİK YÖNTEMLER	33
5.3.1. Pultruzyon.....	33
5.3.2. Filament Sargı.....	38
5.3.3. Reçine Transfer Kalıplama	39
BÖLÜM 6	41
GELENEKSEL MALZEMELER İLE KARŞILAŞTIRMA	41
6.1. GELENEKSEL MALZEMELERE GÖRE AVANTAJLARI.....	41
6.1.1. Yüksek Özgül Mukavemet ve Sertlik.....	42
6.1.2. Korozyon Direnci	45
6.1.3. Uyarlanmış Özellikler.....	45
6.1.4. Sürdürülebilirlik - Çevre Üzerindeki Etkileri	46
6.1.5. Elektromanyetik Saydamlık.....	47

6.1.6. Estetik ve Boyutsal Kararlılık.....	47
6.1.7. Don ve Buz Çözücü Tuza Karşı Direnç	47
6.2. DEZAVANTAJLARI	47
6.2.1. Daha Yüksek Kısa Vadeli ve Belirsiz Uzun Vadeli Maliyetler	47
6.2.2. Dayanıklılığın Belirsizliği	49
6.2.3. Süneklik Eksikliği.....	49
6.2.4. Düşük Yanma Direnci	50
6.2.5. Tasarım Standartlarının Yetersizliği.....	50
6.2.6. Bağlantılarda Bilgi Eksikliği	50
BÖLÜM 7	52
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	52
7.1. MEKANİK TESTLER	53
7.2. AŞINMA TESTİ	56
BÖLÜM 8	58
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	58
8.1. MEKANİK TEST SONUÇLARI.....	58
8.2. AŞINMA TESTİ SONUÇLAR.....	65
BÖLÜM 9	71
GENEL SONUÇLAR	71
KAYNAKLAR	73
ÖZGEÇMİŞ	76

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1.	Pultruzyon metodu ile üretilmiş CTP profil örnekleri	2
Şekil 1.2.	CTP profillerle üretilmiş hafif yapı örnekleri	3
Şekil 2.1.	Çeşitli fitil şekilleri: a) Düzgün fitil, b) Geçmeli fitil, c) Karışık fitil	6
Şekil 2.2.	Yüzey takviye örnekleri: düz fitil kumaşlar: a) örgü, b) eğik, c), saten, d) pürüzsüz tek yönlü fitil kumaş, e) mat, f) fitil düz geçmeli örgü kumaş	7
Şekil 2.3.	(a) Cam fiber kumaş. (b) Karbon fiber kumaş.....	9
Şekil 2.4.	Tek aramid lifi ve ramid lifi kumaşı.	10
Şekil 3.1.	Liflerin eğim açısının bir fonksiyonu olarak boyuna ve enine modüller	18
Şekil 3.2.	Liflerin eğim açısının bir fonksiyonu olarak Poisson oranı.....	19
Şekil 3.3.	CTP kompozit ve bileşenleri için gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisi.....	20
Şekil 3.4.	Eğme testi sırasında kaydedilen kuvvet uzama diyagramı	21
Şekil 3.5.	Eğme testi sırasında kaydedilen kuvvet uzama diyagramı. (a) çubuksuz EPC (b) bir çubuk merkezi gerilmemiş (c) bir çubuk merkezi ön gerilmiş	22
Şekil 4.1.	Yapısal CTP'nin bazı uygulamaları – (a) Merdivenler ve platformlar (Brazil'yada) (b) Kolding yaya köprüsü (Danimarka'da) (c) Eyecatcher Binası (İsviçre'de), (d) ETAR Vila Moura (Portekizde)..	24
Şekil 4.2.	Karbon Elyaf Kolon Sargısının Uygulanması ve Tamamlanmış Karbon Elyaf Kolon Sargısı.....	26
Şekil 4.3.	CTP kompozit ve beton hibrit kiriş.....	28
Şekil 4.4.	Autovía del Cantábrico Köprüsü.	28
Şekil 4.5.	E.T Techtonics tarafından inşa edilen Audubon Canyon Ranch.	29
Şekil 4.6.	İngiltere'deki Smith Road Köprüsü'nün CTP U şeklindeki kirişleri. ..	30
Şekil 5.1.	Yarı otomotik (a) Elle Döşeme ve (b) püskürtme işlemi.....	32
Şekil 5.2.	Pultruzyon işlemi ve Pultruzyon makinesinin taslak gösterimi.....	34
Şekil 5.3.	Cam elyaf takviyeli polimerlerin pultruzyon işlemi.	35
Şekil 5.4.	Fiberimsi pultruzyon (toz alma) ekipmanları.	35
Şekil 5.5.	Pultruzyon metodu ile üretilmiş profil detayı.	36
Şekil 5.6.	Filament sargı işlemi.....	38
Şekil 5.7.	Reçine transfer kalıplama işlemi.....	39
Şekil 5.8.	Vakum destekli reçine transfer kalıplama (VARTM) işlemi.....	40
Şekil 6.1.	Çeşitli malzemelerin çekme mukavemetlerinin karşılaştırılması.	43

Şekil 6.2.	Çeşitli malzemelerin Young Modüllerinin karşılaştırılması.....	44
Şekil 6.3.	Moskova'da Severnaya St üzerinde ikinci seviye köprü Kavramı.....	44
Şekil 6.4.	CTP kompozit kanal ve betonarme kanal performansının karşılaştırılması.....	45
Şekil 7.1.	(a) Kalın kesitli CTP kompozitlerden çıkarılan ve (b) ince kesitli CTP kompozitlerden çıkarılan cam elyafların görünüşleri.....	53
Şekil 7.2.	(a) Kalın kesitli CTP kompozitlerden çıkarılan cam ağırlıkların ve (b) ince kesitli CTP kompozitlerden çıkarılan cam ağırlıkların ağırlıklarının ölçümü..	53
Şekil 7.3.	Mekanik özelliklerin belirlenmesinde kullanılan Besmark model çekme cihazı.....	55
Şekil 7.4.	İşlenmiş (a) kalın kesitli CTP, (b) ince kesitli CTP ve (c) çelik çekme deney numunelerinin görünümü.....	55
Şekil 7.5.	Ring üzeri block tipi aşınma test cihazının (a) kuru ortam ve (b) korozyon ortam görünümü.....	57
Şekil 8.1.	İncelenen malzemelerin darbe enerjilerinin sıcaklıkla değişimi.....	59
Şekil 8.2.	İncelenen numunelere ait gerime-uzama grafikleri şeklinde (a) çekme ve (b) eğme test sonuçlarının gösterimi.....	61
Şekil 8.3.	İncelenen numunelerin (a) maksimum mukavemet (MPa) ve (b) % uzama değerlerinin değişimi.....	63
Şekil 8.4.	Kuru ortamda (a) S 355 JR, (b) kalın kesitli ve (c) ince kesitli CTP kompozitlerin ağırlık kaybı-kayma mesafesi grafikleri.....	66
Şekil 8.5.	% 3.5 NaCl içeren korozyon ortamda (a) S355 JR , (b) kalın kesitli ve (c) ince kesitli CTP kompozitlerin ağırlık kaybı-kayma mesafesi grafikleri.....	67
Şekil 8.6.	İncelenen malzemelerin uygulanan yük ile aşınma hızlarının değişimi.....	68
Şekil 8.7.	İncelenen malzemelerin aşınma katsayıları.....	69

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. Cam, aramid ve karbon liflerin özellikleri.....	8
Çizelge 3.1. Tek yönlü CTP kompozitler için modülün tipik değerleri.....	17
Çizelge 6.1. Çeşitli inşaat malzemelerinin özelliklerinin CTP kompozitlerle karşılaştırılması.....	43
Çizelge 8.1. Farklı sıcaklıklarda incelenen numunelerin darbe enerjileri.....	58
Çizelge 8.2. İncelenen numunelerin darbe deneyi sonrası hasarın görünümü.....	60
Çizelge 8.3. İncelenen malzemelerin mukavemet ve % uzama değerleri.....	62
Çizelge 8.4. Çekme testi sonrası numunelerde hasarın görünümü.....	64
Çizelge 8.5. Eğme testi sonrası numunelerde hasarın görünümü.....	64
Çizelge 8.6. Kuru ortamda uygulanan yüke, kayma mesafesine ve incelenen malzemeye bağlı olarak ağırlık kaybı değerleri (a) kuru ortam (b) korozif ortam.....	65
Çizelge 8.7. % 3.5 NaCl içeren korozif ortamda uygulanan yüke, kayma mesafesine ve incelenen malzemeye bağlı olarak ağırlık kaybı değerleri.....	66
Çizelge 8.8. İncelenen malzemelerin g/m cinsinden aşınma hızının uygulanan yük ile değişimi.....	67
Çizelge 8.9. İncelenen malzemelerin g/Nm cinsinden aşınma katsayılarının değişimi.....	69
Çizelge 8.10. Aşınma deneyleri sonrası aşınmış parçaların yüzeylerinin incelenmesi.....	70

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

ρ_c	: kompozitin yoğunluğu
ρ_m	: matris malzemesinin yoğunluğu
V_m	: matris malzemesinin hacim kesri
ρ_f	: fiber malzemesinin yoğunluğu
V_f	: fiber malzemesinin hacim kesri
E_L	: kompozitin uzunlamasına modulu (fiberlerin yönünde)
E_f	: fiberlerin modülü
E_m	: matrisin modülü
E_T	: kompozitin enine modulu (fiberlerin yönüne dik)
ν_c	: kompozitin poisson oranı
ν_m	: matris malzemesinin poisson oranı
ν_f	: fiber malzemesinin poisson oranı
ρ	: yoğunluk
E	: young modülü
R_m	: çekme dayanımı
NaCl	: Sodyum Klorür
TiAl6V04	: Titan
S355JR	: EN 10025-2 Standardına göre akma mukavemeti 355 MPa değerini sağlayan çelik kalitesi

KISALTMALAR

- CTP : Cam Elyaf Takviyeli Plastik
- HS : High Strength (Yüksek Mukavemet)
- HM : High Modulus (Yüksek Modüllü)
- PAN : Poliakrilonitril
- UV : Ultraviyole
- PEEK : Polietereterketin
- PP : Polipropilen
- PPS : Polifenilen Sülfürdür
- EPC : Epoxy Polimer Concrete (Epoksi Polimer Beton)
- HPR : High Performance Composite Rods (Yüksek Performanslı Kompozit Çubuklar)
- SMC : Sheet Moulding Compound (Saç Kalıplama Bileşimi)
- BMC : Bulk Moulding Compound (Kütlesel Kalıplama Bileşimi)

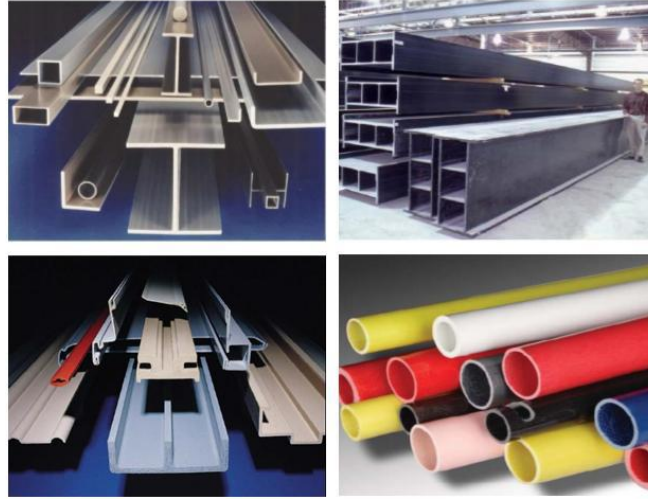
BÖLÜM 1

GİRİŞ

Kompozit birden fazla malzemenin bir araya gelerek daha üstün özelliklerde yeni bir malzeme oluşturmaya verilen addır, bir araya getirilen bu malzemelere kısaca takviye eden malzeme ve reçine denmektedir. Kısa bir tanımlama ile kompozit kavramı, birkaç matriksin bir araya gelmesi, her matriksin kendi fiziksel özelliklerinin avantajlarını taşıması, ortak matriksin fiziksel özellik bileşkesini oluşturması olarak ifade edilebilir [1-3]. Kompozit malzeme, binlerce yıldır insanların farkında olarak yada olmayarak, sorunların çözümü için kullandıkları, iki veya daha fazla sayıdaki farklı özelliklere sahip malzemelerin mikro veya makro seviyede birleştirilmesiyle elde edilen yeni bir üründür [4]. Örneğin Mısır'da MÖ. 2800'lü yıllarda lamine edilmiş tahta parçaları, orta doğuda fazladan eğilme dayanımı sağlamak amacıyla ok yayları üzerine farklı lif yönleri oluşturacak şekilde konulan malzemeler bulunmuştur. Bu bağlamda insanoğlu, kullandığı malzemeleri günün koşullarına göre geliştirme çabasında olduğundan, sürekli yeni arayışlar içinde olmuştur. İşte bu durumun bir sonucu olarak, ilk modern sentetik plastiklerin 1900'lü yılların başlarında geliştirilmesinin ardından, 1930'lu yıllarda plastik malzemelerin özellikleri diğer malzeme çeşitleri ile boy ölçüşür düzeye gelmiştir. [2]

Hafiflik özelliklerinin yanında sertlik ve dayanıklılık özelliklerinin düşük olması plastik malzemelerin güçlendirilmesi için çalışmalar yapılmasına neden olmuştur. Bu eksikliğin giderilmesi amacıyla 1900'lerde polimer esaslı kompozit malzemeler geliştirilmiş ve değişik türde matris ve takviye elemanı kullanılarak farklı yapıda kompozitler üretilmiştir. En çok kullanılan kompozit malzeme kombinasyonları; cam elyaf takviyeli plastik, karbon elyaf takviyeli epoksi ve aramid elyaf takviyeli epoksi bileşenleridir [5]. Cam elyaf takviyeli plastik (CTP), cam elyafı ile takviye edilerek fiziksel mukavemet değerleri arttırılmış doymamış polyesterden oluşan kompozit bir malzemedir.

Yapılarda yüzyıllardır kompozit malzemeler kullanılmıştır. Bunlardan birincisi, eski Mısırlılar [6] 'un çamur ve kil tuğlalarında takviye olarak saman ve/veya ekim sapı kullanımıydı. Betonarme çeliği ve betonun kombinasyonu, son yüzyılda inşaat için kullanılan bir dizi yapısal sistemin temeli olmuştur. Hem mevcut yapıların rehabilitasyonu hem de yeni tesislerin inşası için inşaat mühendislerinden kademeli olarak kabul gören yeni kompozit malzeme sınıfı, öncelikle havacılık ve savunma yapılar için geliştirilen Fiber Takviyeli Polimer kompozitlerdir. Cam Elyaf Takviyeli Plastikler (CTP) temel olarak kalıp görevi gören reçine içine gömülmüş sürekli veya kırılmış cam elyaflardan oluşmaktadır. CTP'ler çeşitli üretim metotları kullanılarak üretilmektedir. Bu metotlardan pultrüzyon (profil çekme) metodu, CTP kalıplamasında, özellikle inşaat sektöründe hem ana malzeme hem de tamamlayıcı malzeme olarak kullanılan profil türündeki ürünlerin yapımında kullanılmaktadır [7]. Profil çekme metodu ile üretilen kutu, boru, 'I', 'T', 'L', ve 'U' profillerinin yanı sıra sabit şekle sahip olmayan profillerin de üretimi rahat bir şekilde yapılabilmektedir (Şekil 1).



Şekil 1.1. Pultrüzyon metodu ile üretilmiş CTP profil örnekleri [8].

Elyaf Takviyeli Polimer kompozitler, matrisler veya bağlayıcılar gibi davranan polimerik reçinelerin, takviye fazı olarak görev yapan güçlü ve katı elyaf düzenekleriyle birleşimidir [2]. Matris fazının bir takviye fazı ile birleştirilmesi, çelik takviyeli betona benzer yeni bir malzeme sistemi üretir, ancak takviye edici kısımlar oldukça değişkendir (yani, genel olarak takviye edilmiş beton, nadiren% 5'ten daha fazla takviye içerir, oysa CTP kompozitlerinde, çeşitli kaynaklar [1-5] , takviye edici hacim fraksiyonu% 30-70 arasında değişmektedir).

CTP malzemenin karşılaştırılabilir mekanik dayanımının yanısıra, hafifliği, korozyon dayanımı, düşük yoğunluk ve dayanım/yoğunluk oranının yüksekliği, düşük ısı iletkenliğine sahip olması, uzun yıllar bakım ve boya gibi ek bir hizmete ihtiyaç duymaması, üretimin düşük iş gücü ile yapılabilir olması, kolay kesilebilir ve işlenebilir olması gibi özelliklerinden dolayı CTP profilleri inşaat sektöründe birçok malzemenin alternatifi olma yönünde hızla ilerlemektedir. Bütün bu üstün özelliklerinden dolayı inşaat sektöründe birincil (taşıyıcı) eleman olarak kullanılmasının yolları aranmıştır. Başlangıç aşamalarında fazla yüke maruz kalmayan küçük yapılar (Şekil 2) daha sonra ise daha kapsamlı yapılarda kullanılma çalışmaları devam etmiştir [8].



Şekil 1.2. CTP profillerle üretilmiş hafif yapı örnekleri [15].

CTP parçalarının yapısal davranışları hakkındaki bilgiler son birkaç yılda önemli ölçüde gelişmiştir ve bu gelişmeler tasarım spesifikasyonlarında oldukça hızlı bir oranda yer almıştır. Gerçekten de, kompozit profillerin farklı özellikleri ve uygulamalarını, lifler ile güçlendirilmiş yüksek sıcaklıklara maruz profil polimerin mekanik performansını, kısa süreli eşmerkezli basmaya maruz kalan CTP kolonlarının performansının/gücünün analizi ve kör cıvata kullanarak pükürtme yöntemi ile üretilmiş CTP eklemlerin statik ve yorulma performansları çeşitli yazarlar [9] tarafından ele alınmıştır. Son zamanlarda, Tinô ve Aquino [10]. CTP’de karakteristik kırılmada uzunlamasına kesit boyunca boşlukların etkisini değerlendirmişlerdir. Kumar ve arkadaşları [11] çekme yükleri altında uçak-uzay kompozitlerinde kırılma özelliklerini tanımlamıştır.

Türkiye’de Ceylan kompozit firmasında geleneksel yapı elemanları olan çelik, alüminyum, ahşap veya beton gibi malzemelere alternatif olan, üstün yapıda fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip cam elyaf takviyeli CTP profil kompozit ürünler üretilmektedir.[12].

CTP (Cam elyaf takviyeli plastik), cam elyafı ile taşıyıcı bir matriks reçinenin birleştirilmesi ile elde edilen kompozit bir malzemedir. Cam elyaf takviyeli plastik, ortam koşullarına dayanıklı, esnek ama yeterli mekanik dayanıma sahip olmayan plastik (ör: polyester reçine) ile, yüksek mekanik dayanımlı camelyafının bir araya getirilmesi ile elde edilen üstün nitelikli bir kompozit mühendislik malzemesidir. Bu kombinasyon, ürünlerin korozyona karşı dirençli olmasının yanında yüksek mukavemetli olmasını da sağlamaktadır.

BÖLÜM 2

KOMPOZİT BİLEŞENLERİ

2.1. LİFLER

2.1.1. Tanımı ve İşlevi

Bir lif, uzun bir filament haline getirilmiş bir malzemedir. Referans [13] 'e göre, tek bir elyafın genellikle 15 μm 'ye kadar bir çapı vardır. Daha büyük çaplar genellikle yüzey kusurlarının olasılığını artırır. Sürekli liflerde uzunluk ve çapın en boy oranı bin ila sonsuz arasında değişebilir. Genellikle kompozit hacminin% 30-70'ini ve ağırlığının% 50'sini kaplarlar.

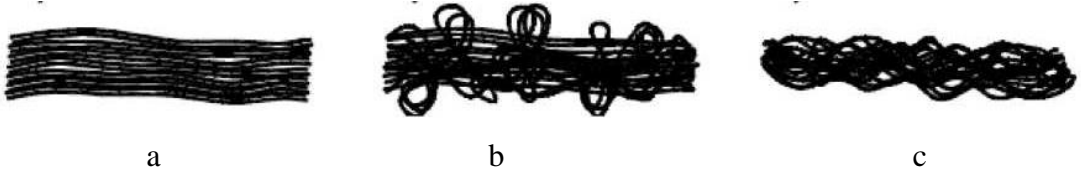
Cam elyafın temel işlevleri, yükü taşımak ve CTP'ye dirençlilik, mukavemet, ısı stabilite ve diğer yapısal özellikler sağlamaktır [2]. Bu işlevleri yerine getirmek için, CTP kompozitindeki lifler, yüksek elastikiyet modülüne, yüksek maksimum mukavemete, lifler arasında düşük mukavemet değişkenliğine, kullanım sırasında mukavemetlerinin yüksek stabilitesine ve lifler arasında yüksek çapta ve yüzey boyutunda homojenliğe sahip olmalıdır.

2.1.2. Fiberlerin Şekilleri

Polimer kompozitlerin takviyesi olarak kullanılan temel olarak, iki tür takviye vardır: fitiller ve kumaşlar [13].

Polimer kompozitlerin tek boyutlu bir takviyesi olarak fitilleme:

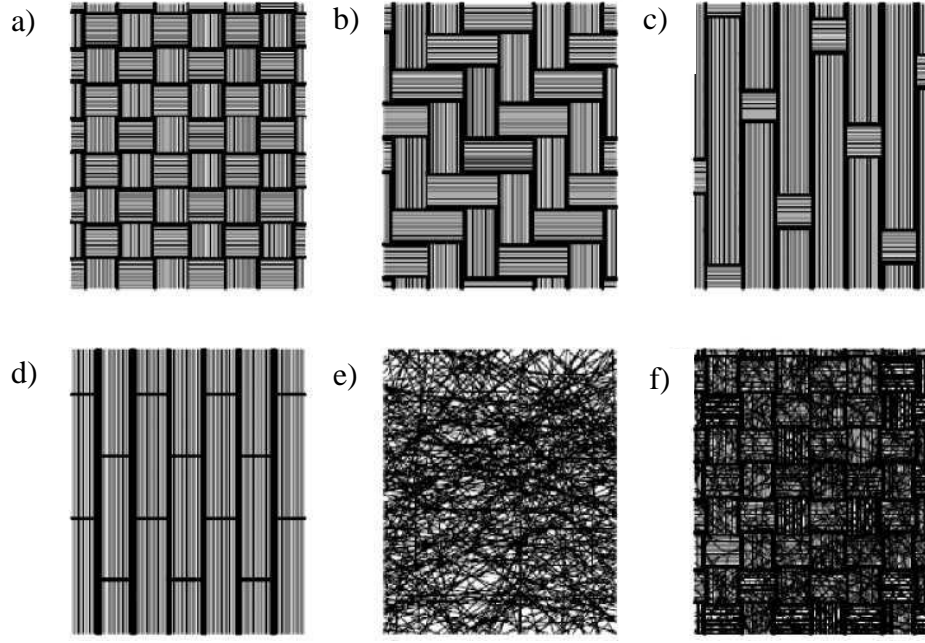
- Pürüzsüz fitil - serbest şekilde boylamasına düzenlenmiş filament demeti;
- Geçmeli fitil - komşu fitilleri mekanik olarak bağlamak için bir ilmek içine yerleştirilmiş temel elyaflarla uzunlamasına düzenlenmiş filament demeti;
- Dolaştırılmış fitil - komşu filamentlerin tek bir fitilde daha iyi bir işbirliğini sağlamak için karşılıklı olarak yerleştirilmiş, uzunlamasına bir filament demeti,
- Zımbalanmış lifler - örneğin pürüzsüz fitili keserek yapılan kısa lifler;
- Kıyılmış lifler - Zımbalı liflerin öğütülmesi ve elenmesi ile elde edilen çok kısa lifler. Bu liflere whisker olarak ta adlandırılmaktadır.



Şekil 2.1. Çeşitli fitil şekilleri: a) Düzgün fitil, b) Geçmeli fitil, c) Karışık fitil [13].

Yüzey elemanlarını birden fazla takviye yönünde güçlendirmek için, (tek yönlü yüzey takviyesi üretilse de), aşağıdaki formlar uygulanır;

- Düzgün fitilli kumaşlar - Geçmeli fitilden yapılmış kumaşlar;
- Geçmeli fitil kumaşları - Geçmeli fitiller komşu kumaşları birbirine bağlar;
- Paspaslar - süreksiz, rastgele liflerden yapılmıştır.



Şekil 2.2. Yüzey takviye örnekleri: düz fitil kumaşlar: a) örgü, b) eğik, c), saten, d) pürüzsüz tek yönlü fitil kumaş, e) mat, f) fitil düz geçmeli örgü kumaş [13].

2.1.3. Fiber Tipleri

Takviye olarak kullanılan elyafların tipi, CTP kompozitlerin sınıflandırılması için temeldir. İnşaat mühendisliği endüstrisinde baskın olan üç tür lif vardır: cam, karbon ve aramid lifleri. Aşağıdaki tablo çeşitli elyaf çeşitlerinin özelliklerini göstermektedir.

Çizelge 2.1. Cam, aramid ve karbon liflerin özellikleri [13].

Tipik özellikler	Elyaf lar					
	cam		aramid		karbon	
	E Cam	S-Cam	Kevlar 29	Kevlar 49	HS (Yüksek Mukavemet)	HM (Yüksek Modüllü)
Yoğunluk ρ [g/cm ³]	2,60	2,50	1,44	1,44	1,80	1,90
Young Modülü E [GPa]	72	87	100	124	230	370
Çekme dayanımı Rm [MPa]	1,72	2,53	2,27	2,27	2,48	1,79
Uzama [%]	2,40	2,90	2,80	1,80	11,00	0,50

2.1.3.1. Cam Elyaf ları

Cam elyafı, diğ er hammaddelerle (kireçtaşı, fluorspar, borik asit, kil gibi) bir dizi oksitten (çoğunlukla silika oksit) oluşan iş lenmiş bir cam formudur. Erimiş oksitleri 3 μ m ila 24 μ m arasında değ iş en filamentlere çekerek üretilirler. Matris malzemesinin takviyesi olarak kullanılan beş çeş it cam elyafı vardır: doğ ranmış fiberler, kıyılmış iplikler, kıyılmış iplik paspaslar, dokuma kumaş lar ve yüzey dokusu. Cam fiber iplikler ve dokuma kumaş lar, inş aat mühendisliğ i uygulamalarında en yaygın kullanılan formlardır. Diğ er elyaf türlerine kıyasla nispeten düşük maliyetli olması, E-cam elyafını inş aat endüstrisinde en yaygın kullanılan elyaf haline getirmektedir. Cam elyafın dezavantajları nispeten düşük bir Young modülü, düşük nem ve alkali direnci ve gerilme kopmasından (sürünme) dolayı uzun süreli dayanımının düşük olmalarıdır. Beton içeren uygulamalar için, artan zirkon oksit içeriğ i ile daha fazla alkaline direnç li takviye geliştirilmiştir [2]. Bu takviyeye ticari olarak ya AR elyaf (ya da CemFil elyaf olarak da) adlandırılır.



Şekil 2.3. (a) Cam fiber kumaş [15] (b) Karbon fiber kumaş [16].

2.1.3.2. Karbon Fiberler

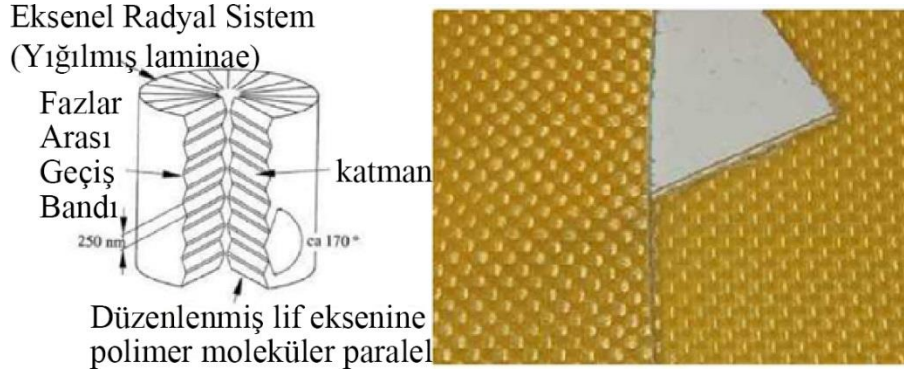
Karbon fiberler, inşaat mühendisliği uygulamaları için mevcut olan yüksek performanslı bir elyaf türüdür. 2000 ° C'nin üzerindeki sıcaklıklarda kontrollü piroliz ve organik öncüllerin (precursor) kristalleştirilmesi ile üretilirler. Bu işlemde, karbon kristallitler üretilir ve lif uzunluğu boyunca yönlendirilir. Karbon fiberlerin imalatında kullanılan üç öncü seçenek vardır: rayon öncüleri, poliakrilonitril (PAN) öncüleri ve perde (pitch) öncüsü. PAN öncülleri ticari karbon elyafı için ana öncülerdir. Orijinal lif kütlelerinin yaklaşık% 50'sini verir. Perde öncülleri de düşük maliyetle yüksek karbon verimine sahiptir. [10]

Karbon fiberler, yüksek elastik modüllere ve cam fiberlere göre yorulma dayanımlarına sahiptir. Çalışma ömrü göz önüne alındığında, çalışmalar, karbon fiber takviyeli polimerlerin aramid ve cam fiberlerden daha fazla potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. Dezavantajlarını, yapıldığından gelen anizotropisi (düşük radyal dayanım), üretimindeki nispeten yüksek enerji gereksinimleri ve nispeten yüksek maliyetleri içerir [2,13].

2.1.3.3. Aramid Fiberler

Aramid veya aromatik poliamid fiber, inşaat mühendisliği uygulamasında kullanılan iki yüksek performanslı elyaftan biridir. -50 ° C ile -80 ° C arasındaki bir sıcaklıkta aromatik bir poliamid çözeltisinin 200 ° C'de sıcak bir silindir içine ekstrüzyonu ile üretilir. Buharlaştırmadan kalan lifler daha sonra gerilir ve dayanımlarını ve sertliklerini arttırmak için çekilir. Bu işlem sırasında, aramid moleküller uzunlamasına doğrultuda

oldukça yönlendirilmiş hale gelir. Aramid fiberleri yüksek statik, dinamik yorulma ve darbe dayanımlarına sahiptir. Dezavantajları şunlardır: düşük basınç dayanımı (500-1000 MPa), düşük uzun süreli dayanım (gerilme kırılması) ve UV radyasyonuna duyarlılık. Aramid liflerinin bir başka dezavantajı, kesmek ve işlemek için zor olmalarıdır [2].



Şekil 2.4. Tek aramid lifi [17] ve aramid lifi kumaşı [18].

2.2. MATRİS

2.2.1. Tanımı ve İşlevi

Matris, kompozitin temelini oluşturur ve lifleri bir arada tutarak kompozitin sıkışmaya karşı dayanımı artırır. Kullanım yerine bağlı olarak farklı matrisler seçilir. Polyester malzemeler CTP uygulamaları için uygun özelliklere sahiptirler [2]. Matris, elyafların maksimum yükünü taşıyabilmesi için elyaflarınkinden daha düşük bir modül ve daha büyük bir uzamaya sahip olmalıdır. CTP kompozitinde matris malzemesinin önemli işlevleri şunlardır:

- lifleri birbirine bağlamak ve istenen geometrik düzende sabitlemek;
- yapı elemanına sağlamlık ve şekil sağlamak;
- lifleri ayrı ayrı hareket edebilecekleri şekilde izole ederek yavaş veya çatlak yayılmaması için izole etmek;
- elyaflara, kimyasal ve mekanik hasarlara karşı koruma sağlamak;
- süneklik, darbe dayanımı gibi performans özelliklerini etkilemek;
- bağlantılar için son renk ve yüzey kalitesi sağlamak.

Matris malzemesinin tipi ve liflerle uyumluluğu da yapının başarısızlık modunu önemli ölçüde etkiler.

2.2.2. Matris bileşenleri

Matris, reçineler, dolgu maddeleri ve katkı maddelerinden oluşur.

2.2.2.1. Reçineler

Reçineler bir matrisin ana bileşenidir. Üretim yöntemi ve özelliklerine göre kategorize edilen iki ana reçine türü termoplastik ve termoset polimerleridir [13].

Termoplastik polimerler doğada sünektir ve termoset polimerlerden daha tokurlar [2]. Ancak, daha düşük sertlik ve direngenlikleri vardır. Basitçe ısıtma ve soğutma ile düzeltilebilir ve yeniden şekillendirilebilirler. Molekülleri çapraz bağlanmadığından, termoplastikler, esnek ve deforme olabilir. Yüksek sıcaklıklarda düşük sürünme direncine sahiptir ve termosetlerden daha çok solvente duyarlıdır. Yaygın olarak kullanılan termoplastikler naylon, polietereterketin (PEEK), polipropilen (PP) ve polifenilen sülfürdür (PPS).

CTP yapıları için günümüzde ağırlıklı olarak termoset polimerleri kullanılmaktadır. Genellikle sıvı veya yarı katı öncüllerden yapılırlar. Bu öncüller polikondensasyon, polimerizasyon veya sertleşme adı verilen bir dizi kimyasal reaksiyonda sertleşir. Üretim işleminin sonunda, sıkı bir şekilde bağlı üç boyutlu bir polimer zincir ağı üreterek sert katıya dönüştürülürler. Termoplastik polimerlerin aksine, termoset polimerleri sertleştikten sonra tekrar eritilemez veya yeniden şekillendirilemezler. Termosetler genellikle doğada kırılmandır. Yüksek rijitlik, ısı ve boyutsal stabilite, daha yüksek elektriksel, kimyasal ve solvent direnci sunarlar. Kullanımdaki en önemli termosetler, polyester reçineler, epoksi reçineler ve fenol reçinelerdir [14].

Polyester, kompozite iyi yönlü özellikler vermesi nedeniyle en sık kullanılan matristir. Doymamış polyester, üç ana gruba ayrılabilir: ortopolyester, izopolyester ve vinilester.

Ortopediester ile ilgili olarak, izopolyester darbe direncini artırır, daha fazla esneklik sağlar ve sıcaklıklara direnci artırır. Aynı zamanda korozyon direncini artırır. [2]

Vinylester. daha iyi korozyona dayanıklı ve termal özelliklere sahiptir. Vinilester orto ve izopolyesterden daha fazla uzama özelliklerine sahip olduğundan, daha iyi darbe direnci ve daha iyi yorulma özellikleri olan bir bileşik de sağlar. [9]

Epoksi, öncelikle karbon takviyeli profiller için kullanılır, böylece daha iyi bir yorulma direnç ve mekanik özellikler elde edilir. Epoksi, termal etkilere karşı daha dirençli ve daha iyi elektriksel özelliklere sahip. [12]

Fenol, yangına maruz kaldığında yüksek yangın dayanımı, sıcaklık dayanımı, düşük duman oluşumu ve alev geciktirme gereksinimleri olduğunda kullanılır. [8]

Tüm reçine türleri UV radyasyonuna karşı hassastır. Bu nedenle, özel katkı maddeleri ve / veya yüzey polarları aracılığıyla uygun bir korumaya ihtiyaç duyarlar [13].

2.2.2.2. Dolgu

Dolguların işlevi, daha pahalı donatı ve matris malzemelerinin kullanımını azaltmak için bir profil formunu doldurmaktır. Nihai ürünün fiyatını düşürmeyi mümkün kılar [14].

En popüler kullanılan dolgu maddeleri kalsiyum karbonat, kaolinit ve alüminyum oksit gibi inorganik malzemelerdir [13].

2.2.2.3. Katkı Maddeleri

Katkı maddeleri, özelliklerini değiştirmek ve genel olarak performansını arttırmak için bileşik matrise ilave edilebilecek bileşenlerdir. Katkı maddeleri arasında katalizörler, renklendiriciler, alev geciktiriciler ve matrisin özelliklerini genişleten ve geliştiren diğer bileşenler bulunur. Amaçlarına bağlı olarak, katkı maddeleri Referans [14] 'ya

göre üretim ile ilgili ve işleyle ilgili katkı maddeleri olmak üzere iki temel gruba ayrılabilir.

Proses ile ilgili katkı maddeleri, imalat prosesinde ve bir elementin özellikleri ve görünümünde avantaj sağlayan etkiye sahiptir. Bunun bir örneği, profillerin kürlenmesi sırasında aşırı büzülme önlemek için kullanılan, sıkıştırma işleminde kullanılan düşük profilli bir katkı maddesidir. Katkı maddesi, korozyona karşı profil direncini artırmanın yanı sıra yorulma özelliklerini iyileştirirken, yüzeylerde saç çizgisi çatlaklarının oluşmasını da önler. Aynı zamanda profillere daha kesin geometrik toleranslar ve daha düşük iç gerilme verir.

İşleyle ilgili katkı maddeleri, bitmiş bir profilin kullanımı ile ilgili olarak avantajlı bir etkiye sahiptir. Buna bir örnek, pigmentlerin veya yangın geciktiricilerin eklenmesidir. Sonucusu kendi kendine sönmeye özelliklerinin elde edilmesi ve alev yayılmasını geciktirmek için eklenir. Elbette, fonksiyonla ilgili katkı maddeleri, bir profilin mekanik özelliklerini bozacak kadar büyük miktarlarda da eklenebilir.

2.3. Fiber-Matris Uyumu

Fiber-polimer bağlarının mekanik özellikleri esas olarak elyaflar ve matris arasındaki yapışma ve mekanik uyumluluğun yanı sıra elyaflar ve yükleme yönü arasındaki açı ile belirlenir.

Lifler ve matris arasında iyi bir mekanik etkileşim elde etmek için, mekanik parametrelerinin birbirine uyulanması gerekir. Kompozitin yaklaşık lineer elastik deformasyon davranışı, öncelikle takviye edici elyaflar tarafından yönetilir. Fiberin uzama sınırına ulaşmadan önce matristeki mikro çatlakların gelişmesini önlemek için, matrisin uzama deformasyonu fiberlerinkinden daha büyük olmalıdır. Bununla birlikte, basma altında, fiberlerin bükülmesini önlemek için matrisin minimum bir sertliği gerekir. [11]

Bir fiber-matris bağının mukavemeti ve direngenliği, büyük ölçüde fiberler arasındaki açığa ve yükleme yönüne bağlıdır. Sabit bir yükleme yönü ve elyafların bu yönde

karşılık gelen bir düzenlemesi için en yüksek değerler elde edilir. Yükleme yönü değişirse, yarı izotropik davranış sergileyen çok katmanlı yapılar (dokuma ve dokuma olmayan çok eksenli kumaşlar, vb.) kullanılır. Tek yönlü laminatlara kıyasla bu çok katmanlı yapıların mukavemeti ve direngenliği önemli ölçüde azaltılmıştır [2].

BÖLÜM 3

CTP MEKANİK ÖZELLİKLERİ

Epoksi polimer beton (EPC) son derece dolgulu kompozit malzemedir ve bağlayıcı olarak reçine ve çoğunlukla ağırlıkça % 95'e kadar mineral dolgu maddeleri içerir. Makine parçaları için bileşimler, tatmin edici basma mukavemeti ve çeliğe kıyasla iyi bir sönümlenme faktörü gösterir, ancak yetersiz çekme ve eğme mukavemeti göstermektedir [19]. Temel olarak, CTP ile güçlendirilmiş kompozitlerin özellikleri, bileşenlerinin özelliklerine, hacim oranlarına, matristeki liflerin oryantasyonuna ve lif-matriks bağının özelliklerine bağlıdır [20].

Çoğu durumda epoksi reçineler veya doymamış polyester reçinler bağlayıcı olarak kullanılır. Dolgu maddeleri ve takviyeler polimer matristen farklı bileşim ve yapıya sahip katı eklemelerdir. Çekme mukavemeti artarsa, eklemeler, takviye olarak adlandırılır; mukavemetinin azalması durumunda dolgu maddesi olarak adlandırılır. Parçacık geometrisi yani "en boy oranı" eklemenin güçlenme etkisinden sorumludur [21].

Genel olarak, tüm kompozit malzemeler, kompozit yapılarının ve takviye varlığının bir sonucu olan belirli ortak özelliklere sahiptir. Bu özellikler: anizotropi (takviye tipine bağlı olarak), kompozitin bileşenlerine ve ilgili oranlarına bağlı olarak düşük yoğunluk, fiziksel ve mekanik özellikler, korozyon ve oksidasyona karşı yüksek direnç, nispeten yüksek mekanik özellikler ve karmaşık şekiller oluşturma yeteneği. CTP kompozitlerinin özellikleri, aynı dizide iki veya daha fazla farklı türde lifin birleştirilmesiyle geliştirilebilir. Yüksek bir çekme mukavemetine, darbeye karşı yüksek dirence (ki bu özellik, cam fiberleri ile birleştirilmediğinde CTP'in sahip olmadığı bir değerdir) ve düşük maliyetle üretilebilen, bir örnek, cam ve karbon fiberden oluşan bir malzemedir.

Aşağıda, Referans [20,22] 'e göre CTP kompozitlerinin bazı temel özelliklerini belirlemek için basitleştirilmiş formüller sunulmaktadır: yoğunluk, Young modülü, Poisson oranı ve çekme dayanımı.

3.1. KOMPOZİT YOĞUNLUĞU

CTP kompozitin avantajlarından biri, taşıma ve montaj kolaylığı, malzemenin inşaat alanına taşınması ve desteklenecek elemanlara yüklerin azaltılması gibi avantajları da getiren düşük yoğunluğudur. Sonuç olarak, yukarıdaki kavramlarda bir maliyet azalması söz konusudur.

Genel olarak, çeşitli fiber tipleri için kompozitlerin yoğunluğu, 0,9 ila 2,3 g / cm³ arasında değişse de, çoğu durumda 1,2 ila 1,8 g / cm³ arasındadır. CTP kompozitlerinin düşük yoğunluğu (çelik durumunda 7,8 g / cm³'e eşit olan metallere kıyasla), onlara yüksek seviyelerde spesifik mukavemet ve özgül dayanıklılık verir. Fiberlerden ve bilinen özelliklere sahip reçineden oluşan malzemenin yoğunluğunu belirlemek için, bileşenlerin her birinin hacim kesirine dayanan basit bir kural uygulanır: [13]

$$\rho_c = \rho_m \cdot V_m + \rho_f \cdot V_f$$

Burada:

- ρ_c - kompozitin yoğunluğu;
- ρ_m - matris malzemesinin yoğunluğu;
- V_m - matris malzemesinin hacim kesri;
- ρ_f - fiber malzemesinin yoğunluğu;
- V_f fiber malzemesinin hacim kesri

3.2. KOMPOZİTİN ELASTISİTE MODULU

Modul değeri, kompozit malzemeyi takviye eden fiber tipinden ve yönlenmelerinden önemli ölçüde etkilenir. Çizelge 2, tek yönlü takviyeli CTP kompozitler için üç tip kompozit malzeme örneği ve boyuna modül, enine modül, kayma modülü ve Poisson

oranının değişimi gösterilmektedir. Bu tür kompozitlerde lifler düz ve paraleldir. Tek yönlü CTP kompozitler ortogonal malzemeler olarak kabul edilir, çünkü ortogonal iki simetri düzlemine sahiptirler.

Çizelge 3.1. Tek yönlü CTP kompozitler için modülün tipik değerleri [20].

Kompozit (fiber/reçine)	E _{uzunlamasına}	E _{enine}	G	v
	GPa	GPa	GPa	-
karbon/epoksi	181,00	10,30	7,17	0,30
cam/polyester	54,10	14,05	5,44	0,25
aramid/epoksi	75,86	5,45	2,28	0,34

Çizelge 2’de gösterildiği gibi, karbon fiberler ve epoksi reçinesi tarafından oluşturulan kompozit malzeme en yüksek direngenliğe sahip olanlardır. Öte yandan, cam elyaflardan ve polyester reçineden oluşan malzeme, elyaflara çapraz yönde daha yüksek bir Young modülüne sahiptir ve bu, her iki yönde yüke maruz kalan elemanlar için onları daha faydalı kılar. Son olarak, aramid elyaflara dayalı kompozitler, sadece elyaflar yönünde iyi özelliklere sahiptir.

Fiberlerin hacim fraksiyonu, hem uzunlamasına hem de enine olarak nihai kompozitin modül değerleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Tek yönlü takviyeli polimerler için, boyuna ve enine modüller aşağıdaki formüllerle tahmin edilebilir:

$$E_L = E_f \cdot V_f + E_m \cdot V_m$$

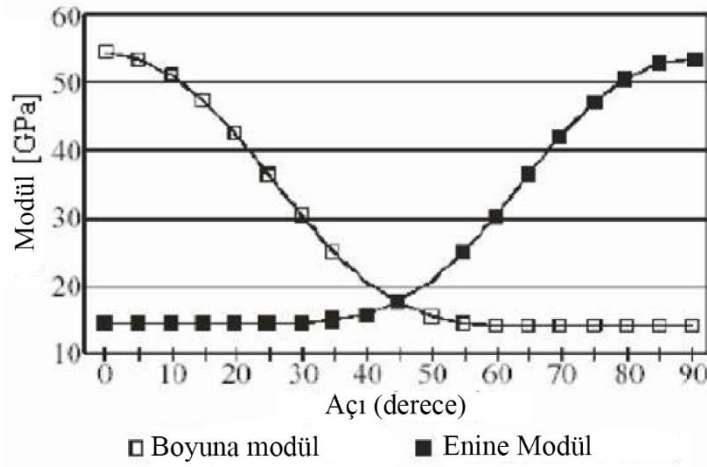
$$E_T = \frac{E_f \cdot E_m}{E_f \cdot V_f + E_m \cdot V_m}$$

Burada:

- E_L - kompozitin uzunlamasına modulu (fiberlerin yönünde);
- E_f - fiberlerin modulu;
- V_f - fiberlerin hacim kesri;
- E_m - matriksin modulu;

- V_m - matriksin hacim kesri;
- E_T - kompozitin enine modülü (fiberlerin yönüne dik);

CTP kompozitin modülü, fiberlerin yönüne de bağlıdır. Şekil 6, boyuna ve enine modüllerin liflerin eğim açısı ile nasıl değiştiğini göstermektedir. Uzunlamasına modül, fiberlerin eğim açısı 0° 'ye (yani tek yönlü olarak güçlendirilmiş kompozitlerde) eşit olduğunda maksimum seviyeye ulaşırken, fiberlerin eğim açısı 90° ye eşit olduğunda enlemesine modül maksimum değerine ulaşır.



Şekil 3.1. Liflerin eğim açısının bir fonksiyonu olarak boyuna ve enine modüller [20].

Güçlendirmenin düzensiz oryantasyonu için, Young modülünün tahmini çok daha karmaşıktır ve sadece lifler arasındaki açılara değil, çaplarına ve uzunluklarına da bağlıdır.

3.3. POISSON ORANI

Kompozit malzemenin Poisson oranı, liflerin oryantasyonuna bağlı olarak önemli ölçüde değişebilir. Liflerin yönü ile yükün yönü arasındaki açı 0° olduğunda, Poisson oranı genellikle metallere 0,25 ila 0,35 aralığında benzer değerlere sahiptir. Liflerin farklı yönelimleri için Poisson oranı önemli ölçüde değişebilir ve 90° açı için 0,02 - 0,05 değerine ulaşabilir.

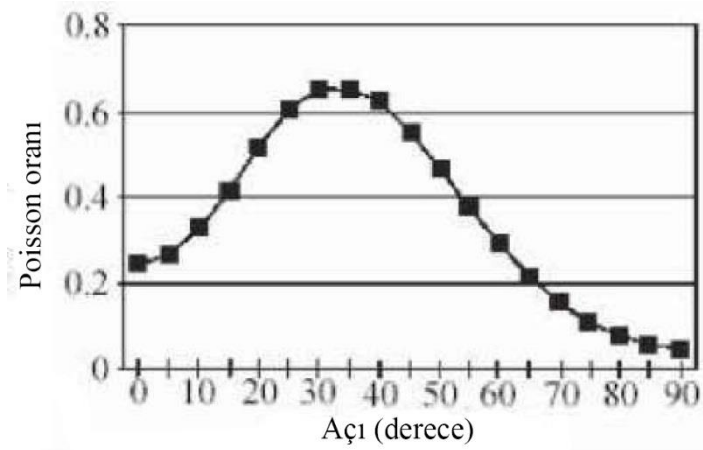
Kompozitin Poisson oranı, analog formül uygulanarak tahmin edilebilir:

$$v_c = v_f \cdot V_f + v_m \cdot V_m$$

Burada:

- v_c - kompozitin poisson oranı;
- v_m - matriks malzemesinin poisson oranı;
- V_m - matriks malzemesinin hacim kesri;
- V_f - fiber malzemesinin hacim kesri;
- v_f - fiber malzemesinin poisson oranı;

Şekil 7. Poisson oranının liflerin eğim açısına göre nasıl değiştiğini göstermektedir.



Şekil 3.2. Liflerin eğim açısının bir fonksiyonu olarak Poisson oranı [20].

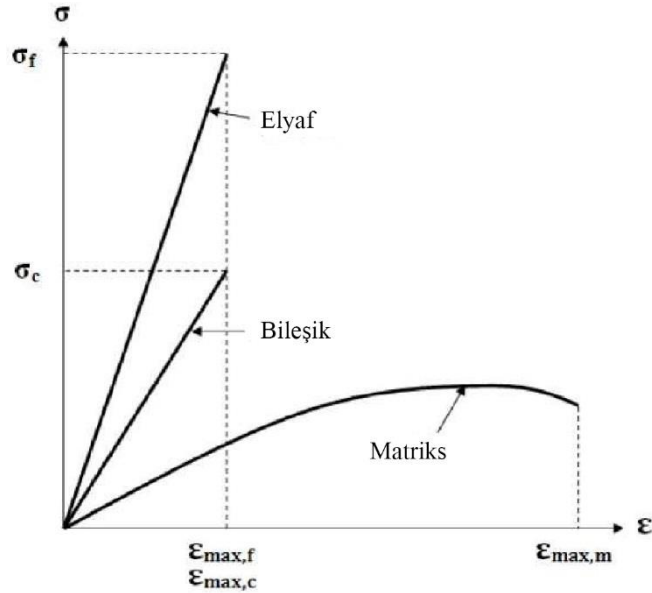
3.4. GERİLME-ŞEKİL DEĞİŞTİRME İLİŞKİSİ VE ÇEKME DAYANIMI

Şekil 8, elyaf yönünde çekme testi sırasında, tek yönlü olarak güçlendirilmiş kompozit polimer ve bunun bileşenleri için ayrı olarak basitleştirilmiş bir stres-şekil değiştirme (σ - ϵ) ilişkisi sunulmaktadır. Matrisin maksimum deformasyonunun, fiberlerin azami deformasyonundan çok daha büyük olduğu varsayılmaktadır ($\epsilon_{max,m} \gg \epsilon_{max,f}$). Bu varsayımla, $\sigma(\epsilon)$ fonksiyonu, $(0; \epsilon_{max,f})$ aralığında doğrusallığa yakındır.

Kompozit kırılğan bir malzemedir ve plastik olarak şekil veremez, bu nedenle maksimum mukavemet ve kırılma mukavemeti aynıdır. Kompozitin hasarı, fiberlerin maksimum ($\varepsilon_{max,f} = \varepsilon_{max,c}$) birim şekil değişimi sonucu oluşan gerilme değerleri için meydana gelir.

Fiber ve matris arasında ideal bir bağ olduğunu varsayarsak, kompozitin mukavemetini tahmin edebiliriz.

$$\sigma_c = \sigma_f \cdot v_f + \sigma_m \cdot v_m$$



Şekil 3.3. CTP kompozit ve bileşenleri için gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisi [20].

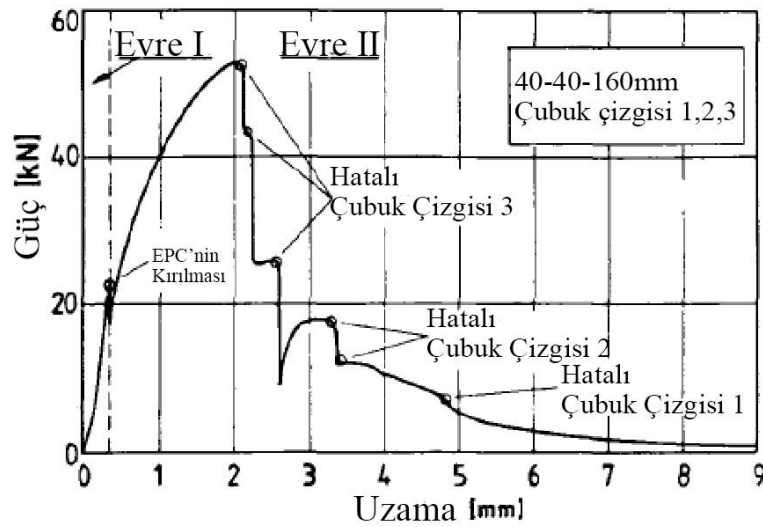
Bununla birlikte, reçine içindeki küçük çatlakların oluşumu nedeniyle doğrusal olmayan ilişki gözlenebilir; basınç altında lif eğilmesi; fiber bağının çözünmesi; matrisin, fiberin veya her ikisinin viskoelastik deformasyonu. Bu nedenle, kompozit malzemelerdeki akma noktası, gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisinde doğrusallıktan ayrılmayı belirtir. Eksenel çekme ve basma dayanımları, eksenel yükün çoğunu taşıdıkları için fiber özelliklerinden etkilenirler. Dayanımları matrisinkinden daha yüksektir. Genellikle enine dayanım özelliklerinde toplanan diğer mukavemet değerleri, öncelikle matris mukavemeti karakteristikleri, fiber-matris arayüzey bağlanma mukavemeti ve fiberlerin yakınlığı ve boşluklardan dolayı iç gerilme

konsantrasyonundan etkilenir. Fiber, çekme yükü altında kırıldığında, matris, elyafın yanal yüzeyindeki kayma gerilimi ile yer değiştirmeye direnç gösterir. Basınç altında matris, düşük gerilme seviyesinde, bükülmelerini önleyerek, fiberlerin kararlı olmasına yardımcı olur [2].

Polimer kompozit üreticileri, fiberler boyunca çekme dayanımı ile bağlantılı dizayn amaçları için ürünlerini imal ederken değerine göndermede bulunurlar. Örneğin, bu değer, kompozit kopma mukavemetinin% 50'sini temsil edebilir.

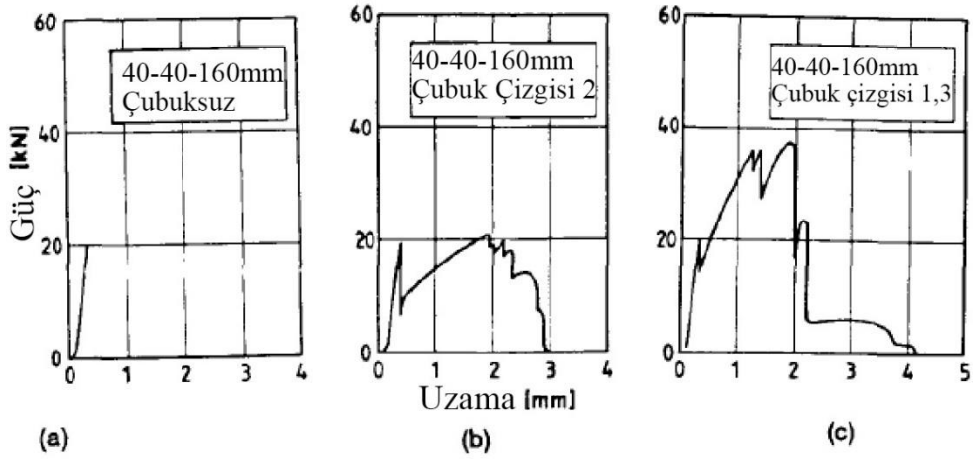
Bununla birlikte, kompozit yapıların tasarımı, kompozitin bitişik tabakalarının farklı özellikleri ile sebep olunan arayüzey bağlarının çözülmesi veya kesme hasarı, basma hasarı gibi hasar mekanizmalarının -çekmeden dolayı kırılmadan başka- dikkate alınmasını gerektirir [13].

Eğme testi sırasında kaydedilen kuvvet uzama diyagramı Şekil 10'da görülebilir. Faz I'de EPC az uzadıktan sonra aniden kırılır; faz 2'de çubuklar art arda hasara uğruyor. Çubuksuz örnekler, aniden iki parçaya ayrılır. Takviyelendirilmiş numuneler sadece ince bir çatlak içerir ve daha fazla yük taşıyabilir. Etmanski ve Bledzki [19], tabaka tabaka cam fiber takviye edilmiş epoksi polimerin kırılma davranışının dıştaki tabakaların sırasıyla kırılması şeklinde devam ettiğini rapor etmiştir (Şekil 10).



Şekil 3.4. Eğme testi sırasında kaydedilen kuvvet uzama diyagramı [19].

EPC'nin eğme mukavemeti, ön gerilmiş cam elyaf çubuklarının kullanımıyla önemli ölçüde artabilir. İyileştirmenin büyüklüğü çubukların sayısına ve konumuna ve EPC numunesinin kalınlığına bağlıdır. Eksantrik pozisyondaki (çekme bölgesi) birçok çubuk bükme mukavemetini artırmak için çok uygundur. Maksimum basma mukavemeti almak için merkezi konum daha uygundur. Bükme testinde kaydedilen kuvvet uzama diyagramları, basma gerilmesi uygulanmış EPC'nin kırılma kuvvetinin çok daha yüksek olduğunu göstermektedir [Şekil 11(c) ile Şekil 11(a)]. Ancak 10 x 40 x 160 mm ince ön-gerilmiş çubuk içeren numunelerde, ön-gerilmemiş çubuk içeren EPC'ye kıyasla eğme mukavemetin arttığı bulunmuştur [Şekil 11(b)]. Yüksek dolgulu, direnden kompozit malzemelerde çekme mukavemetinin iyileştirilmesi zordur. Bir olasılık, gevşek döşenmiş veya ön gerilmeli yüksek performanslı kompozit çubuklar (HPR) tarafından takviyeli durumdur.



Şekil 3.5. Eğme testi sırasında kaydedilen kuvvet uzama diyagramı. (a) çubuksuz EPC (b) bir çubuk merkezi gerilmemiş (c) bir çubuk merkezi ön gerilmiş [19].

3.5. AŞINMA DAVRANIŞI

Bilim ve teknolojinin büyük bir hızla ilerlediği günümüzde, her geçen gün yeni ve üstün özelliklere sahip malzeme ihtiyaç ortaya çıkmaktadır. Bu ihtiyaçlar, kompozit malzemelerin geliştirilmesi için itici gücü oluşturmuştur. Son yıllarda elyaf takviyeli polimer matrisli kompozit malzemelerin üretimi ve endüstriyel uygulamalarda kullanımı büyük ölçüde artmıştır. Bu malzemelerin yüksek özgül mukavemet ve rijitliğe sahip olması uzay sanayi, otomotiv ve kimya endüstrisi gibi birçok alanda

kullanılmasını sağlamıştır. Ayrıca bu malzemelerden dişli, kam, tekerlek, fren ve debriyaj balataları, yataklar, muylular gibi aşınmaya maruz kalabilecek parçaların imali de gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır.

Plastik matrisli ve elyaf takviyeli kompozitlerin sürtünme ve aşınma özellikleri, büyük ölçüde kompoziti oluşturan bileşenlerin özelliklerine ve aralarında oluşan ara yüzey özelliklerine bağlıdır. Bunlar matrisin türü, takviye malzemesi türü, takviye elemanının yapı içerisindeki dağılımı, elyaf hacim oranı, elyaf şekli, elyaf kalınlığı, elyafın matris içerisindeki yönelmesi, karşı yüzey malzemenin özellikleri ve takviye malzemesinin matrise göre sertliği gibi özelliklerdir [23].

Plastik esaslı kompozit malzemelerin tribolojik özellikleri üzerine yoğun çalışmalar yapılmış ve yapılmaktadır [23]. Bahadır ve Zheng [24] tarafından yapılan bir çalışmada, polyeester esaslı ve süreksiz cam elyaf takviyeli kompozit malzemede en düşük sürtünme katsayısı ve en yüksek aşınma dayanımının %10 elyaf ağırlık oranında olduğu görülmüştür. Diğer taraftan farklı bileşenlerle yapılan dört ayrı çalışmada [23] en yüksek aşınma dayanımı %25-30 elyaf hacim oranlarında elde edilmiştir. Eleiche ve Amin [25] tarafından pamuk lifleriyle takviye edilmiş polyeester esaslı kompozit malzeme üzerine yapılan bir çalışmada ise en yüksek aşınma direncinin % 15 elyaf hacim oranında olduğu tesbit edilmiştir.

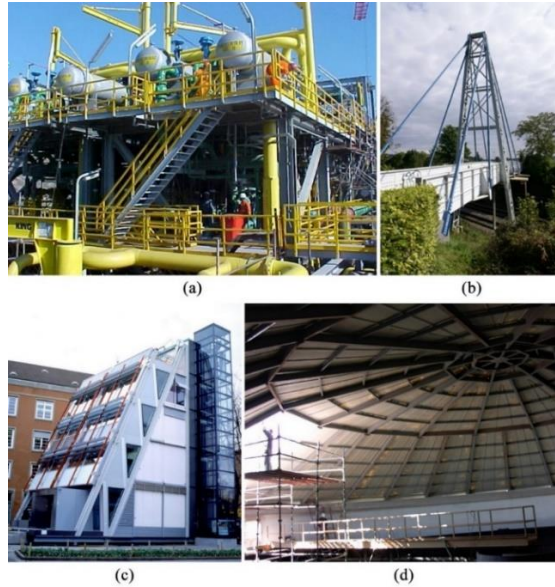
Elyaf yönelmesinin sürtünme katsayısı ve aşınma dayanımına etkileri üzerine yapılan çalışmaların çoğunluğunda en yüksek aşınma dayanımının elyaf doğrultusuna dik (D) konumda olduğu tesbit edilmiştir [27]. Shim ve arkadaşları [26] tarafından yapılan bir çalışmada, düşük hızlarda en yüksek aşınma dayanımı D konumda olurken, yüksek hızlarda bunun tam tersine olarak D konumunda en düşük aşınma dayanımı saptanmıştır.

Kayma hızı ve temas basıncı gibi çalışma şartları tribolojik özellikleri etkileyen diğer faktörlerdir. Yapılan bazı çalışmalarda [27] kayma hızının artmasıyla sürtünme katsayısı ve özgül aşınma hızının düştüğü görülmüştür. Temas basıncının artması da benzer etki göstermektedir [28].

BÖLÜM 4

CTP UYGULAMA ALANLARI

Cam Elyaf Takviyeli Polimerlerin (CTP) uygulamaları son yıllarda istikrarlı bir şekilde büyüdü, çünkü havacılık, otomotiv, deniz, petrol - gaz ve inşaat endüstrilerinin farklı alanlarında son derece popüler hale geldi (fiber cam yapıları olarak adlandırılır): merdivenler, platformlar, tırabzan sistemleri tankı, boru ve pompa destekleri. Ticari kullanım için CTP'nin gelişimi 1940'larda, özellikle deniz endüstrisine olan ilgi nedeniyle gerçekleşebilmiştir. Daha sonraları, küresel üretimin hızla artması, 1960'ların sonlarında, düşük ağırlıklı malzeme ve üretim maliyetleri ve imalat sektöründeki gelişmelerin kombinasyonu, nihayet polimer üretimini ekonomik yapmış ve diğer alanlara yayılmasına yol açmıştır. Ayrıca, giderek artan daha düşük üretim ve yapı maliyetleri sayesinde kullanımı fayda vermektedir. Şekil 12 a-d yapısal CTP'nin bazı uygulamalarını göstermektedir.



Şekil 4.1. Yapısal CTP'nin bazı uygulamaları – (a) Merdivenler ve platformlar (Brezil'yada) (b) Kolding yaya köprüsü (Danimarka'da) (c) Eyecatcher Binası (İsviçre'de), (d) ETAR Vila Moura (Portekizde).

4.1. MEVCUT KÖPRÜ YAPILARININ DONANIMININ İYİLEŞTİRİLMESİ VE TAMİR EDİLMESİ

İnşaat mühendisliği alanında tanıtılan ilk CTP uygulamalarından biri, harici olarak bağlı CTP kompozitler kullanılarak mevcut yapıların iyileştirilmesi ve güçlendirilmesidir. Teknik basit, hızlı ve etkilidir.

İyileştirme ve güçlendirme için kullanılan CTP, uygulamalarına bağlı olarak CTP levha veya şerit formlarında olabilir. Harici olarak yapıştırılmış CTP kompozitler, kirişler, kolonlar ve döşemeler de dahil olmak üzere beton elemanların hem eğilme hem de kesme kapasitesini artırmak için kullanılmıştır. Harici CTP takviyesinin uygulanması için üç yöntem kullanılır: püskürtme, el yatırması, pultrüzyon ve vakum infüzyonu.

CTP kompozitler, betonarme köprülerin sismik güçlendirilmesinde sarılmış sütun formunda kullanılabilir. Betonarme kolonların sismik güçlendirilmesi için kullanılan geleneksel yöntemler arasında çelik mermi veya mahfazaların kullanılması, kolonun etrafına sarmal şekilde sarılmış çelik kabloların kullanılması ve dış betonarme kısmın kullanılması bulunmaktadır. Bununla birlikte, bu yöntemler güçlendirme malzemesinin izotropik yapısından dolayı yapısal sisteme ilave dayanım kazandırır ve bu nedenle, daha yüksek sismik kuvvet bitişik elemanlara aktarılabilir. Buna ek olarak, tadilat çalışması sırasında trafik kesintileri de büyük bir sorundur. Diğer taraftan, CTP kompozitinin kullanılmasıyla, CTP hapsi yalnızca kasnak gerilmesi sağlar, dolayısıyla ek bir dayanım olmaz. Aynı zamanda, hiçbir trafik kesintisine veya çok azına neden olur.



Şekil 4.2. Karbon Elyaf Kolon sargısının uygulanması ve tamamlanmış karbon elyaf kolon sargısı [21].

4.2. BETONUN GÜÇLENDİRİLMESİ

Beton yapıdaki çelik donatı betonla korunmasına rağmen, agresif çevresel şartlar betonun karbonatlanmasını ve çelikte hidratlı demir oksit oluşumunu uyarak beton kaplamanın dağılmasına neden olabilir. Beton köprünün bozulmasının birincil nedeni, çelik donatı korozyonudur. CTP kompozit, yüksek korozyon direncine sahip olduğundan, eğilme ve kesme donatıları için nervürlü formunda ve öngerilme için tendonlar olarak çelik takviye yerine kullanılabilir. CTP nervürlü ve tendon, uygulama tipine bağlı olarak bir boyutlu veya çok boyutlu şekil formunu alabilir. CTP güçlendirme kullanarak kablosuz hatları altyapıya dahil etme girişimleri bile olmuştur. Bununla birlikte, CTP nervürlü ve tendonunu kullanmanın çeşitli zorlukları vardır. Bir sorun, CTP nervürlü, hasaa uğrayana kadar yüklendiğinde doğrusal elastik davranış göstermesidir. Bu, CTP nervürlü kullanılarak takviye edilmiş beton elemanın, çelik takviyeli eleman kadar sünek arızasına sahip olamayacağı anlamına gelir. Düşük elastikiyet modülü ayrıca daha büyük eğilmeye ve daha büyük çatlak genişlikleri gibi servis verilebilirlik problemlerine yol açmaktadır [2].

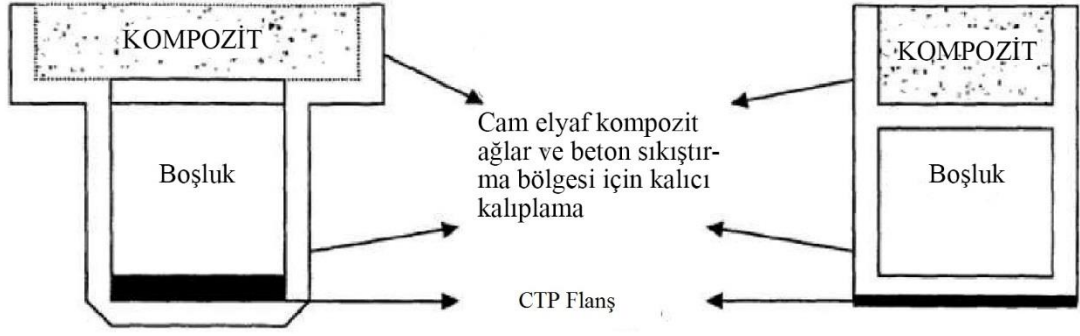
4.3. HİBRİD KÖPRÜ YAPILARI

Hibrid köprüler, geleneksel malzemelerden (genellikle kirişler) yapılmış elemanların CTP kompozitlerinden (genellikle güverte veya kablo / tendon) yapılmış elementlerle birleştirilmesiyle oluşturulan yapılar olarak anlaşılmaktadır. İskeleler genellikle geleneksel malzemelerden yapılır. Köprü tasarım kavramları, hala çoğunlukla yeni malzemelerin tamamen kullanılmasını önleyen beton veya çelik gibi geleneksel malzemelerin kullanımına yöneliktir [3].

Hibrit bir köprünün en yaygın örneği, CTP köprü güvertesinin tutturulduğu çelik veya beton kirişlerden oluşan bir yapıdır. CTP köprü platformu, kolay kurulum, hafiflik ve çevresel ve kimyasal hasarlara karşı potansiyel direnç sağlayan bir çözüm olarak sunuldu [2]. Referans [3]'e göre, CTP kirişli ve ahşap döşemeli bir hibrid köprünün tek bir örneği 1997 yılında ABD'de inşa edilen ABD'deki Tom's Creek Bridge'dir.

Bununla birlikte, tüm bunlar, malzemeyi sadece geleneksel tasarımlara ikame etmenin örnekleridir. Bunların dışında, CTP kompozit ve beton hibrid kiriş veya hibrit tüp sistemi gibi malzemeye uyarlanmış kavramlar vardır.

Betonarme kirişlerde, nötr eksenin altında betonun işlevi esas olarak takviye çeliğini konumlandırmak ve korozyondan korumaktır. Bununla birlikte, beton çeliğe kıyasla çok az gerilme direncine sahiptir, bu da saç çizgisinin çatlamasına ve ayrıca takviye çeliğinin çevresel saldırılarına neden olur. Nötr eksenin altında bir kirişin ve CTP sacın basma parçaları kısmında betonun kullanıldığı kompozit sistem üzerinde çalışmalar [2,21] yapılmıştır. Dupleks yönlü uzun kirişlerin kullanımını üzerine bir proje yapılmıştır. Bu bağlamda, dupleks terimi, her bir malzemenin bireysel özelliklerinden elde edilen optimum özellikleri sağlayan yapısal elemanları oluşturan beton ve CTP kombinasyonunu ifade eder. Bu projenin amacı, inşaat mühendisliğinde CTP kullanımının önündeki en büyük engellerden biri olan ekonomik sorunun üstesinden gelmektir.



Şekil 4.3. CTP kompozit ve beton hibrit kiriş [2].

Benzer görüş, CTP kompozit gövde ve beton dolgusu ile İspanya'da 2004 yılında inşa edilen üst yapı için CTP kompozitler kullanan ilk köprü olan Autovía del Cantábrico Köprüsü için de kullanılmıştır [29].



Şekil 4.4. Autovía del Cantábrico köprüsü [31]

Bir başka olası hibrit konfigürasyon, beton çekirdeğin CTP ile sarıldığı dairesel bir kesittir. Bu sistem hibrit tüp sistemi olarak adlandırılır. Her ne kadar beton çekirdek, enine kesitte, basınç dayanımı dışında çok fazla bükülme direngenliği ve dayanımı sağlamamasına rağmen, CTP için kalıp görevi görür, böylece gücü tam olarak kullanılır. Ayrıca, CTP tüpünü daha stabil hale getirir, erken lokal burkulma arızasını önler ve bağlantının sabitlenmesine izin verir. Bu görüş, korosif olmayan sıkıştırma elemanı olarak veya sismik bölgelerde yüksek süneklikli sütun ve iskele olarak kullanılabilir [2,21]. Referans [3]'e göre, 2000 yılında inşa edilen ve hibrid tüp sistemi konseptini kullanan Kings Stormwater Kanal Köprüsü, ilk hibrid köprüdür.

4.4. TÜM-KOMPOZİT KÖPRÜ YAPILARI

Tüm kompozit köprü yapıları, sadece CTP malzemelerden yapılmış üst yapılara sahip köprüler olarak anlaşılmaktadır. Altyapı elemanları (dayanaklar ve iskeleler) genellikle geleneksel malzemelerden oluşur. Bu yapılarda, basit malzeme değişimli geleneksel köprü konseptleri ile yeni malzemeye uyarlanmış konseptlere doğru ilk adımlar arasında farklar vardır. Referans [3] 'e göre, bu türden ilk köprü 1982 yılında in'de inşa edilen Miyun Kprsdr. 20,7 m'lik bir açıklığa (span) sahip ve altı kat lamine cam elyaf / polyester sandviç kirişten oluşuyor.

1980'lerden beri ikame konseptli köprüler inşa edilmiştir. Bunlar esas olarak üst yapıdaki püskürtülmüş CTP profillerinden oluşan yan makaslara sahip yaya köprülerdir (şekil 16). Bu tür inşaatlarda uzmanlaşmış birçok şirket var: Örnekler Danimarka ve E.T.'deki Fiberline Composites. ABD'de Techtonics.



şekil 4.5. E.T Techtonics tarafından inşa edilen Audubon Canyon Ranch [30].

CTP'nin özelliklerini kullanan kavramlar, hala oldukça nadirdir. Örnekler: Aberfeldy Footbridge'de kullanılan püskürtülmüş levha elemanlarını içeren modüler ACCS yapı sistemi ve Butler Country'deki Smith Road Bridge'de bulunan lamine U-şekilli kirişler olup her ikisi de 1990'lı yıllarda inşa edilmişdir [3].



Şekil 4.6. İngiltere'deki Smith Road Köprüsü'nün CTP U şeklindeki kirişleri [31].

Türkiye'de farklı şekil, ölçü ve renklerde CTP (Cam Elyafı Takviyeli Polimer) profil imalatı yapabilen bir Firma'nın [32] geniş bir ürün yelpazesi bulunmaktadır.

BÖLÜM 5

CTP ÜRETİMİ

5.1. ÜRETİM YÖNTEMİ SEÇİMİ

Fiber Takviyeli Kompozit elemanların birinin üretim teknolojisini seçerken, üretilecek beklenen eleman sayısını, şekillerini ve boyutlarını göz önünde bulundurmak gerekir. Çekme dayanımı, Young modülü ve boyutların doğruluğu, yüzey kalitesi vb. gibi diğer özellikleri de gösteren gereksinimler büyük önem taşır. Takviye ile matris arasında mümkün olan en iyi mekanik uyumluluğu elde etmek için, bunların özellikleri, ısıl genleşme katsayısı, dikkatlice seçilmelidir [13].

El ile üretimden tamamen otomatikleştirilmiş kadar çeşitli imalat yöntemleri vardır. Aşağıda inşaat mühendisliği ile ilgili beş yöntem açıklanmaktadır: el ile üretim, püskürtme, filament sargısı, reçine transfer kalıplama ve pultrusion [2].

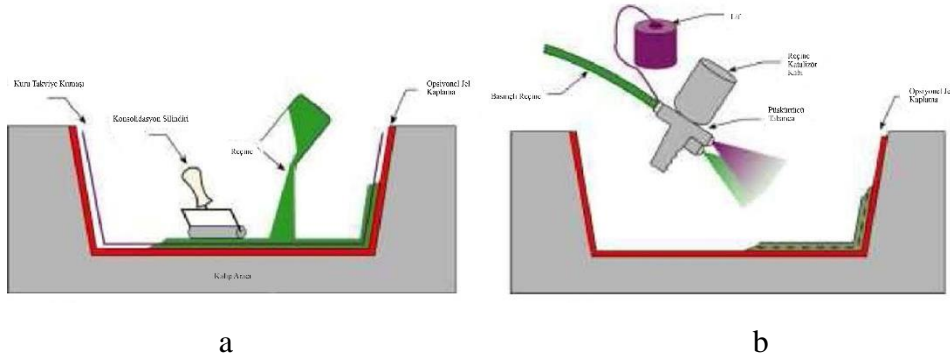
Özellikle CTP kalıplama yöntemleri içerisinde en yaygın kullanımı olan ve birçok avantaj sağlayan iki temel kalıplama yöntemi "el yatırma" ve "püskürtme" yöntemleridir. El yatırması ve püskürtme yöntemlerinin her ikisi de, aslında takviye malzemesinin kalıba yatırılması ve açık kalıp üzerine sıvı reçine uygulanması temel prensibine dayanır. Kalıp yapımında da, tıpkı üründe olduğu gibi kompozit malzemeler kullanılmaktadır. Proses isimlerinden de anlaşıldığı gibi, "El Yatırması" nda reçine ve takviye malzemeleri ilavesi elle, "püskürtme" de ise reçine ve takviye malzemesi ilavesi işlemi, kalıba bir püskürtme cihazı ile yapılmaktadır. İki yöntemin de kolay işlenebilirlik ve düşük maliyet gibi bir çok avantajı vardır. [27]

Diğer bir ortak avantajı da düşük hacimli parçaların üretiminde de rahatlıkla kullanılabilmesidir. Daha büyük hacimlerde üretimi sağlayan gruplarından birisi "pres kalıplama"dır. Pres kalıplamada SMC ve BMC Hazır Kalıplama Bileşimi, Islak

sistemli preform ve keçeleri presleme ve Takviyeli termoplastik levha presleme olmak üzere dörde ayrılabiliriz.

5.2. ELLE VE YARI OTOMATİK YÖNTEMLER

El ile işlemler, elle döşeme ve püskürtme gibi yöntemleri içerir. Elle döşeme veya ıslak döşeme işlemi, en eski kompozit üretim teknolojilerinden biridir. Sıvı reçinenin kalıba uygulandığı ve elyaf takviyesinin elle üstüne yerleştirildiği, işçilik bakımından yoğun bir yöntemdir. Metal laminasyon silindiri, elyafı reçine ile empenye etmek ve sıkışmış havayı gidermek için kullanılır. Uygun bir kalınlığa ulaşıncaya kadar birkaç adım tekrarlanır. Elle yerleşiminin çeşitli sınırlamaları arasında üretilen parçaların kalitesindeki tutarsızlık, düşük lif hacmindeki fraksiyon ve stiren emisyonunun çevre ve sağlıkla ilgili endişeleri var.



Şekil 5.1. Yarı otomatik (a) Elle Döşeme ve (b) püskürtme işlemi [33].

Püskürtme işlemi elle bırakma (hand lay up) işlemine benzer, ancak çok daha hızlı ve daha az pahalıdır. Bu süreçte, bir sprey tabancası, kalıp, reçine ve doğranmış takviyeyi kalıba uygulamak için kullanılır. 10 ila 40 mm uzunluğa doğranmış cam lifleri genellikle takviye olarak kullanılır. Yüksek mukavemet gerektirmeyen yapısal olmayan parçaların üretimi için daha uygundur. Ancak, lif hacmi fraksiyonu ve kalınlığını kontrol etmek çok zordur ve çok yetenekli operatöre bağlıdır. Bu nedenle, bu işlem boyutsal doğruluk gerektiren parçalar için uygun değildir.

Yarı otomatik işlemlerden biri, esnek takımlama işlemi altında reçine difüzyonudur. Bu yöntem esas olarak çelik, dökme demir ve beton köprüleri CTP güçlendirme için kullanılır. Bu yöntemde lifler bir kalıp içinde önceden şekillendirilir (preform) ve bölgeye taşınır. Preform daha sonra güçlendirilmiş bir yapıya tutturulur ve reçine kaynağı ile birlikte, vakum paketleme sistemi ile eklenir. Reçine daha sonra preform (kompozit ve yapı arasında hem kompozit malzeme ve hem de yapıştırıcı bağ oluşturan) içine enjekte edilir. Bu işlem % 55 gibi yüksek lif hacmi fraksiyonu verir. Düşük üretim düzeylerinde yaygın kullanımı olan EL YATIRMASI (1930) yöntemi, ilk zamanlardan beri endüstride sürekli gelişime açık olan ve üzerinde çalışılan üretim yöntemlerinden biri olmuştur. Birçok uygulama alanı vardır ve özellikle yüksek mukavemet gerektiren oldukça büyük parçaların üretiminde rahatlıkla kullanılabilir. Kompozit endüstrisi kalıplama yöntemleri arasında temel ve evrensel olarak en uygulanabilir yöntem olarak kabul edilmektedir.

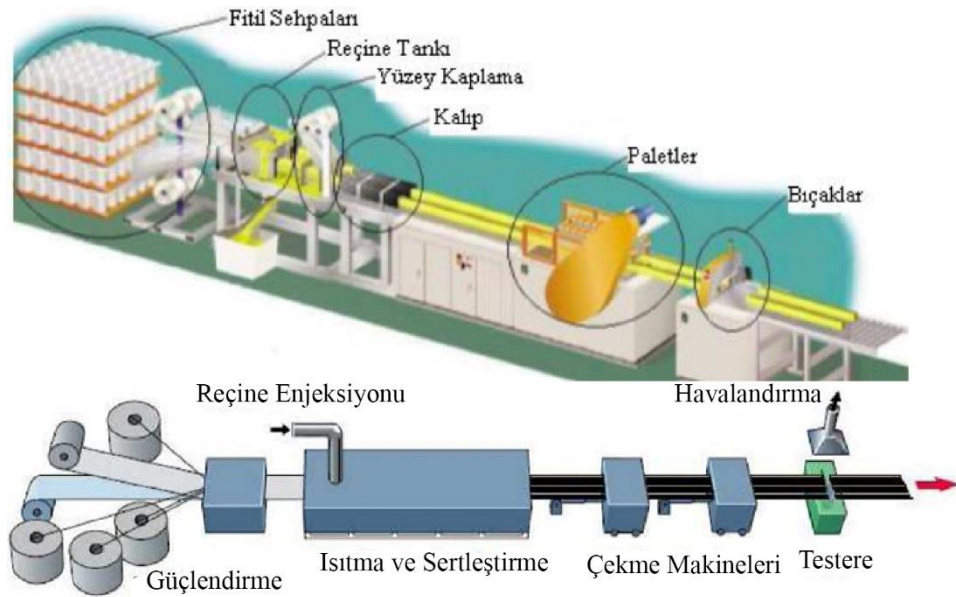
5.3. TAM OTOMATİK YÖNTEMLER

5.3.1. Pultruzyon

CTP özellikle mekanik olarak plastiklerin mukavemetini ve direngenliğini artırmak için cam elyaf malzemeleri kullanan plastik kompozitin bir kategorisidir burada reçine, fiber için ek koruma sağlamaktadır. CTP kompozitleri oluşturmanın farklı yöntemleri arasında, 1950'lerde ABD'de ortaya çıkan pultruzyon yöntemi, birçok çalışmada CTP profili üretmek için kullanılmıştır.

Pultruzyon metodu dışındaki üretim yöntemleriyle çeşitli elyaf türleri (karbon, aramid vb.) kullanarak çeşitli otomobil parçaları, uçak aksamaları ve inşaat sektöründe yardımcı veya dekoratif amaçlı elemanlar yapılabilir. Fakat Pultruzyon metodu dışındaki bu üretim yöntemleri ile üretilen kompozitlerin yapısal sektörde birincil eleman olarak kullanılması mümkün olmamaktadır. Çünkü bu yöntemlerle üretilen malzemeler, yapıda taşıyıcı olarak kullanılan elemanların karşılaması gereken çekme, basma veya kesme kuvvetlerine karşı gereken mukavemeti gösterememektedirler. Bu sorunu çözebilmek için yeni bir kompozit üretim yöntemi olan pultruzyon metodu geliştirilmiştir.

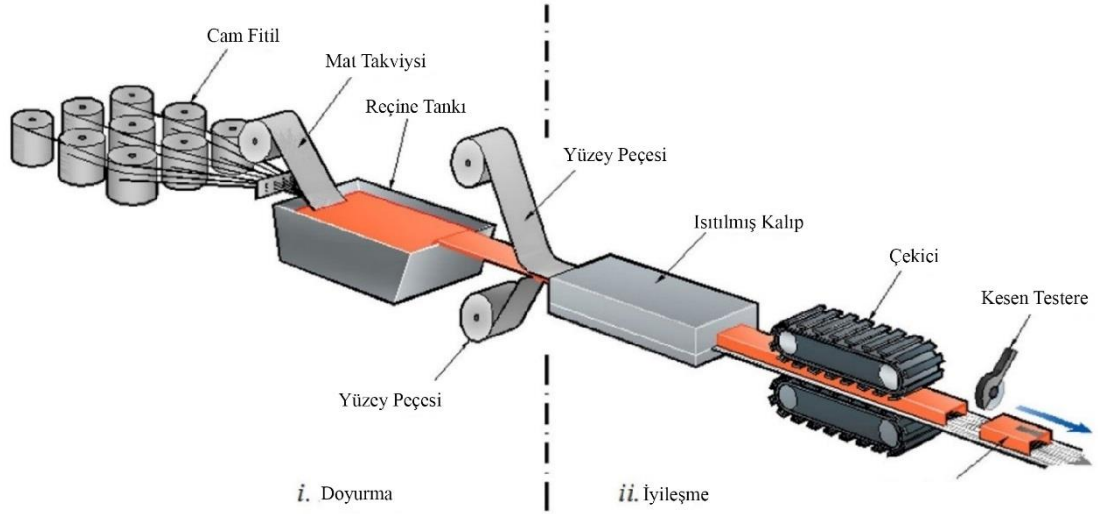
Pultruzyon, belirli amaçlar için üretilen sabit kesitlere ve malzeme özelliklerine sahip CTP profillerinin sürekli olarak üretilmesine olanak sağlayan bir süreçtir [13]. Kaynaklara göre, şimdiye kadar yeterince tutarlı kalite sağlayan bilinen tek yöntemdir. Bu süreç neredeyse 60 yıldır kullanılmaktadır. Şekil 19'da Referans [14]'ya göre pultruzyon süreci açıklanmıştır. Pultruzyon yöntemi, malzemenin kalıp boyunca çekilerek üretilmesi yöntemidir (Şekil 19). Pultruzyon hattının çalışma prensibi; makineden ayrı bir bölümde bulunan elyaflar bobinlerden çekilir ve ilk olarak matriks malzemesi olan reçine içinden geçerek ön kalıp olarak adlandırılan bölümden geçerken içlerindeki hava ve fazla reçineden arınır. Ön kalıptan çıkan malzemenin kullanım yerinde atmosfer ve diğer dış etmenlerden korunması için esas kalıba girmeden önce yüzeyi kaplanır. Kalıptan çıkan profiller paletler tarafından çekilmesi suretiyle sistemin sürekliliği sağlanır ve son işlem olarak istenen uzunluğa gelen malzemenin bıçaklar vasıtası ile kesilmesi sonucu işlem tamamlanmış olur [21].



Şekil 5.2. Pultruzyon işlemi [6] ve Pultruzyon makinesinin taslak gösterimi [34].

Şekil 20, iki aşamalı üretim sürecini göstermektedir: (i) emprenye etmek: burada fiber (cam) paketi ve yarı kumaşlar imal edilir ve düzensiz parça şekli oluşturmak için ıslak reçine (matris) banyosu boyunca çekilir (yani, fiber ve yarı kumaşlar, kalıplama sırasında matris ile bağlanırlar) ve (ii) kürlemek: elde edilen doymuş malzeme ısıtılmış kalıptan ekstrüzyonla geçirilerek yapısal fiberglas önceden tanımlanmış şekiller

(örneğin, I-şekilli, açılı, kanallı ve düz levha profilleri) ve uzunluklar (Pultrusion sürecinin daha ayrıntılı bir açıklaması Seruti'de verilmiştir) v.b. bazı pultrusion son ürünleri elde edilmiştir [35]



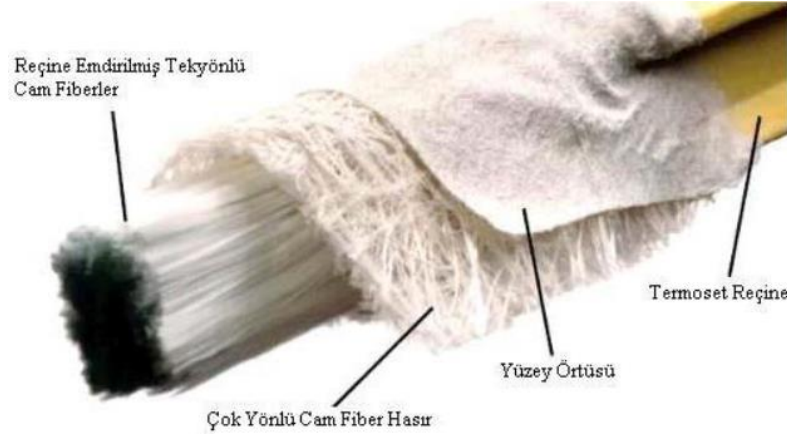
Şekil 5.3. Cam elyaf takviyeli polimerlerin pultruzyon işlemi.

Pultruzyon, liflerin profil kesitine tam olarak yerleştirildiği bir kılavuz dan sürekli olarak çekilerek takviye edilmiş bir malzeme ile yapılır, daha sonra lifleri işleme ekipmanı ile yönlendirir ve matrisle emprenye edilir. Malzeme, ısıtmalı ekipman aracılığıyla kombine karışımı çekilir ve profil son geometrisine göre kürlenir. Tamamen kürlenmiş profil, onu tanımlanmış uzunluklara kesen kayan bir askılı testereye doğru çekilir.



Şekil 5.4. Fiberimsi pultruzyon (toz alma) ekipmanları [14].

Boyuna mukavemetin yüksek olduğu bu üretim şeklinde malzemenin enine mukavemetini de artırmak amacı ile özel olarak düğümlü üretilmiş fitil (keçe), dokunmuş ya da farklı eksenel yönlere sahip cam kumaşlar ile kaplanır (Şekil 21). Bunların dışında da yüzey düzgünlüğünü ve atmosferik etkileri azaltmak için termoplastik yüzey tülü çok kullanılan takviye malzemesidir. Bu metodun önemli özelliklerinden biri de kullanılan reçineye istenilen özellikleri geliştirmek amacı ile dolgu malzemeleri katılabilmesidir. Maliyeti düşürmek için 3-6 mikron boyutunda olan kalsiyum karbonat (kalsit), alev dayanımı istendiğinde alüminyum hidroksit, korozyon dayanımı istendiğinde kil, elektriksel izolasyon istendiğinde alüminyum trihidrat gibi dolgu maddeleri kullanılabilir.



Şekil 5.5. Pultrüzyon metodu ile üretilmiş profil detayı [34].

Pultrüzyon metodunda kullanılan reçinelerden aranan en önemli özellik, çekme hızına ve yüksek düzeyde tutabilecek reaktiviteye sahip olabilmesi ve iyi bir ısınmayı sağlayabilecek düşük viskoziteye veya seyreltilebilme olanağına sahip olmasıdır. Bu bağlamda kullanılan reçinelerin %90'ı polyeşter ve vinil reçinelerdir. Bunların dışında fenolik reçineler pultrüzyon yöntemi ile üretilen ürünlere yanmazlık ve düşük duman yayma özellikleri; epoksiler yüksek mukavemet, daha yüksek ısı dayanımı ve elektriksel özelliklerde yüksek performans sağlar [34].

Sürekli liflerin türü ve sayısı ile karmaşık dokuma ve paspasların türü ve boyutları, lifler ve paspaslar bir profile yerleştirildiğinde, görsel kontrol sağlayacak şekilde düzenlenir. Liflerin ve paspasların bir profilin kesitine göre hassas konumlandırılması, bitmiş ürünün özellikleri ve kalitesi açısından çok önemlidir.

Takviye üretim ekipmanı içine çekildiğinde, matris enjeksiyon ile eklenir. Enjeksiyon ile pultrusion, bir profilden diğerine değişen hızların kontrolunda ve takviyenin kontrolunda avantajlıdır, ve bir işlem sırasında matris değişikliklerini kolaylaştırır. Liflerin emprenye derecesi bitmiş ürünün özellikleri için bir diğer belirleyici faktördür. Geleneksel pultrozyonda, takviye, matris içeren açık bir fiçî ile yönetilir. Ancak enjeksiyon yöntemi, çözücülerin buharlaşmasını minimumda tutan tam kapalı bir işlemdir.

Lifler enjekte edilen matrisle emdirildikten sonra, tüm ürün, ısıtmanın gerçekleştiği ve profilin kurlenmesinin hızlandırıldığı süreçte bir sonraki bölgeye doğru ilerler. Son kurl üretim ekipmanının son bölümünde gerçekleşir. Böylece bir profil, üretim ekipmanından ayrıldığı anda tamamen kurluşmuştur ve kararlıdır. İşleme ekipmanındaki sürtünmeyi ve böylece işlemde itici gücü aşan çekme gücü, işleme ekipmanının dışına yerleştirilen çekmeceler tarafından sağlanır. Çekme, ya kemerler veya karşılıklı çekiciler tarafından yapılabilir. İşlemin son aşamasında, profiller, ekipmandan çıkarılan profille aynı hızda hareket etmek üzere monte edilmiş bir testereyle kısaltılır. Bu sürekli bir süreç sağlar [14]

Püskürtmenin avantajları:

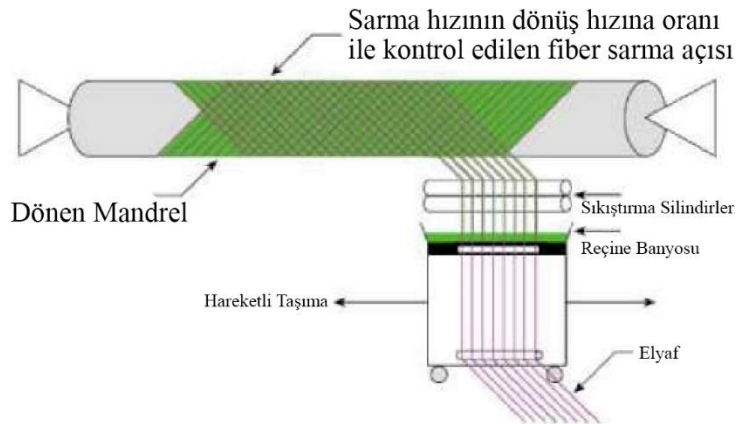
- Püskürtme yöntemi özellikle çok çeşitli CTP ürünlerin üretiminde verimli olarak kullanılabilir bir yöntemdir.
- El yatırması yönteminde olduğu gibi püskürtme yöntemi de, düşük maliyetli ve basit bir uygulamadır.
- Kompleks parça üretimine de elverişlidir. Püskürtme yöntemiyle üretilen parçaların boyutlarında sınırlama yoktur.
- El yatırmasına göre daha makine ağırlıklı bir üretim şeklidir. Bu da, açık kalıp üretiminin işçilik giderlerini düşürmektedir.

Püskürtmenin dezavantajları:

- Tek yüzü düzgün ürün elde edilmektedir. Arka yüzey, elyafın görüldüğü kısım olup, pürüzlüdür.
- Ürünün kalitesi ve boyutsal toleranslarının doğru yapılabilmesi operatör becerisine dayanmaktadır.
- Reçine sisteminde uçucu kimyasal madde emisyonu (sağlığa zararlı gaz çıkışı) söz konusudur.
- Birim ürün başına işgücü el yatırması yöntemine oranla daha düşük olmakla birlikte, diğer yöntemlere oranla daha yüksek kalmaktadır.

5.3.2. Filament Sargı

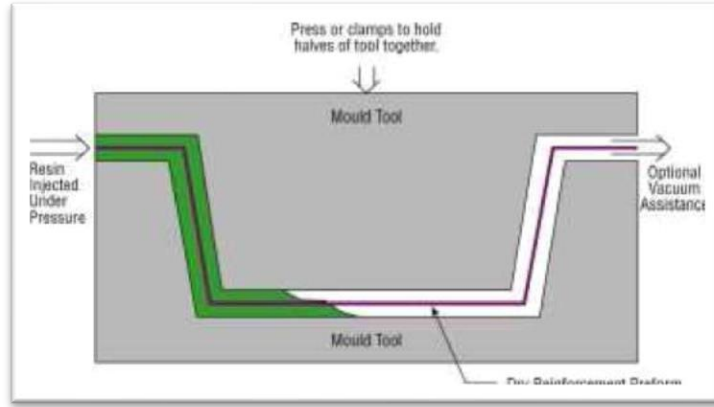
Filament sargı, reçine emdirilmiş liflerin istenilen açıda dönen bir mandrel üzerinde sarıldığı bir süreçtir. Bu nedenle, bu işlem için başlangıç malzemeleri sürekli cam, karbon veya aramid lifleri vardır. Bu işlemde kullanılan sıvı termoset reçineler ise epoksi, polyester ve vinilesterdir. Kompozit ünite daha sonra mandrelden çıkarılır ve 8 saat boyunca 60 °C'de bir fırına yerleştirilerek kürlenir. Bu üretim süreci genellikle boru yapıları ve boruları imal etmek için kullanılır. Düşük maliyetli malzemeleri ve takımları kullandığı için düşük maliyetli bir işlemdir. Ancak kapalı ve konveks yapılar üretmekle sınırlıdır ve nispeten düşük hacimli lifler verir.



Şekil 5.6. Filament sargı işlemi [35].

5.3.3. Reçine Transfer Kalıplama

Reçine transfer kalıplama, kumaşlar kuru bir yığın olarak, bazen kalıp şekline önceden preslenmiş ve bir bağlayıcı tarafından birlikte tutulur. Bu preformlar daha sonra daha kolay kalıp içine yerleştirilir. İkinci bir kalıp aleti, daha sonra ilki üzerine kelepçelenir ve termoset reçine, katalizör, renk, dolgu, vb basınçlı karışımı yapısal parçalar oluşturmak için dağıtım ekipmanları kullanılarak kalıp boşluğuna enjekte edilir. Tüm kumaş ıslak, reçine girişleri kapatılır ve laminat tedavi etmek için izin verilir. Hem enjeksiyon hem de kür işlemi, hava ortamında veya yüksek sıcaklıkta gerçekleşebilir.

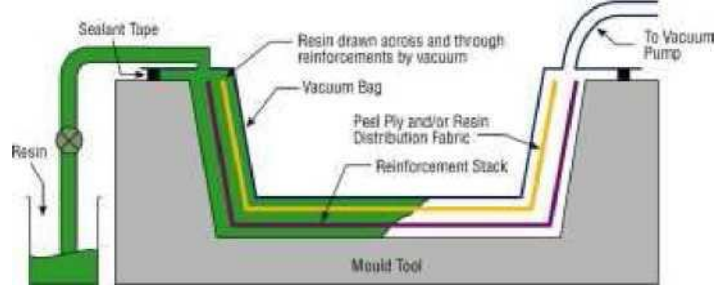


Şekil 5.7. Reçine transfer kalıplama işlemi/ çizim [33].

Bu yöntem küçük ve orta ölçekli kalitelerde küçük ve orta ölçekli yapıların üretimi için uygundur. Reçine transfer kalıplama, sınırlı üretimin uygun maliyetli bir şekilde çalışmasını sağlayarak karmaşık parçaları ara hacimlerde üretebilir. %65 gibi yüksek lif hacim fraksiyonları bu yöntemle elde edilebilir.

Ancak, reçine transfer kalıplamanın bir dizi sınırlamaları vardır. Bunlar arasında takım ve ekipman maliyetlerinin el döşeme ve püskürtme işlemine göre çok daha yüksek ve karmaşık olduğu ve boyutsal toleranslara yaklaşımın, pultrusion yönteminden daha düşük olduğu gerçeği yer almaktadır. Reçinelerin, viskozitesi düşük olmalı ve muhtemelen bitmiş kompozitin mekanik özelliklerinden ödün verilir.

Reçine transfer kalıplama, reçinenin kalıp boşluğundaki takviye içine girme şeklinin mekaniğinde farklılık gösteren çok sayıda çeşitlerini içerir. Bu çeşitlilik, vakum infüzyonundan vakum destekli reçine transfer kalıplamaya (VARTM) kadar her türünü içerir.



Şekil 5.8. Vakum destekli reçine transfer kalıplama (VARTM) işlemi.

BÖLÜM 6

GELENEKSEL MALZEMELER İLE KARŞILAŞTIRMA

6.1. GELENEKSEL MALZEMELERE GÖRE AVANTAJLARI

Fiber takviyeli polimer matrisli kompozitlerin elektronik gereçlerden otomobile, gemiden uzay-havacılık araşlarına kadar geniş kullanımını vardır.

Yapı sektöründe kullanılan CTP Profillerin Avantajları:

- CTP profiller, geleneksel yapı elemanlarına göre mukavemet, korozyon direnci, kimyasal dayanım, elektrik izolasyonu ve hafiflik gibi birçok bakımından daha avantajlı ürünlerdir;
- Düşük ağırlıktadırlar: Metal muadillerine göre nakliye masrafları az olur. Montaj süresince kolayca taşınırlar ve kolay montaj edilirler.
- Yüksek taşıma kapasiteleri vardır: Çelikten üstün çekme, eğme, basma değerlerine sahiptirler. Darbelere karşı dirençlidirler, aşırı yüklemelerde esner ve eski halini alırlar.
- Korozyona karşı dayanıklıdırlar: Paslanmazlar ya da çürümezler.
- Elektrik iletkenlikleri yoktur: İş güvenliğinin önem arz ettiği yerlerde kullanabilirler.
- Isı iletkenlikleri düşüktür: Çok iyi yalıtım sağlarlar.
- Boyutsal stabilizeleri vardır: Genleşme veya çekme yapmazlar.
- Manyetik değildirlar: Metal ızgaraların manyetikliğinin istenmediği hassas yerlerde alternatif olarak kullanılabilirler.
- UV ışınlarına dirençlidirler: Deforme olmazlar.
- Basit bir şekilde işlenebilirler: Testere gibi basit marangoz aletleri ile kesilebilirler.
- Geri dönüşümleri yoktur: Hurda değeri olmadığı için çalınma riskleri de yoktur.
- Boya veya bakım gerektirmezler: Basınçlı su ile kolayca temizlenebilirler.

- Her çeşit renkte imal edilebilirler: Mimari uygulamalar ve iş güvenliğinin gerektirdiği yerlerde istenilen renkte üretilebilirler.
- Uzun ömürlüdürler: Teorik olarak deformasyon yaşamazlar.
- Kimyasal ve yanma dirençleri artırılabilir: Kullanılacak özel tip reçine ve kimyasal katkıları ile korozyon dayanımı ve yanma dirençleri artırılabilir.

Dezavantajları:

- Daha yüksek kısa vadeli ve belirsiz uzun vadeli maliyetler
- Dayanıklılığın Belirsizliği
- Süneklik eksikliği
- Düşük yanma direnci
- Tasarım Standartlarının Yetersizliği
- Bağlantılarda Bilgi Eksikliği
- Matris olarak termoset (epoksi, doymamış polyester reçine) kullanılarak üretilen CTP malzemelerin geri dönüşümü yoktur. Ancak, malzeme, 625°C'de yakılarak mevcut organik matris uçurulur, sonunda geriye dolgu maddesi ve cam kalır. Bu kalan atıklar, ayrıştırılarak tekrar kullanılabilir ya da inorganik madde sınıfında oldukları için doğada atık sahalarında gömme işlemi yapılabilir. Bunun yanında, termoset malzemenin yakılarak uzaklaştırılması Karbon Ayak İzi oluşturan bir faaliyettir ve ikincil karbon ayak izi sınıfına girerek dolaylı yoldan CO₂ emisyon değerinin yükselmesine sebep olur.

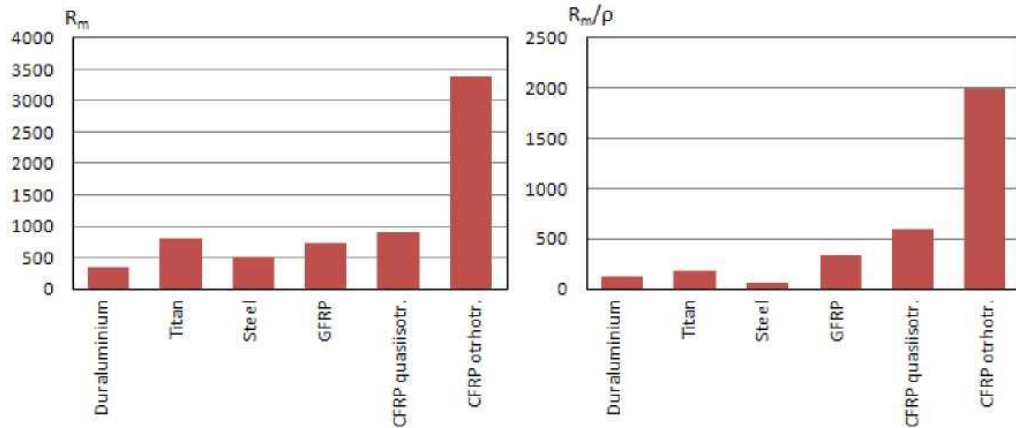
6.1.1. Yüksek Özgül Mukavemet ve Sertlik

Elyaf takviyeli kompozitler mukavemet-ağırlık ve sertlik-ağırlık oranlarında büyük iyileşmeler göstermektedir [2,3]. CTP kompozit karakteristiklerinin tipik aralıklarının geleneksel malzemelerle karşılaştırılmasına bir örnek aşağıdaki grafiklerden not edilebilir. Karbon lifleri ile tek yönlü olarak güçlendirilmiş kompozitlerden yapılmış elemanlar diğer malzemelere göre çok daha yüksek çekme mukavemetine sahiptir (bu nedenle CTP çoğunlukla çekme kuvvetleri taşıyan elemanlarda kullanılır). Ortotropik CTP kompozitin Young'ın modülünün değeri, beş kat daha büyük yoğunluğa sahip çelik modülü ile karşılaştırılabilir. CTP kompozitler biraz daha kötü performans

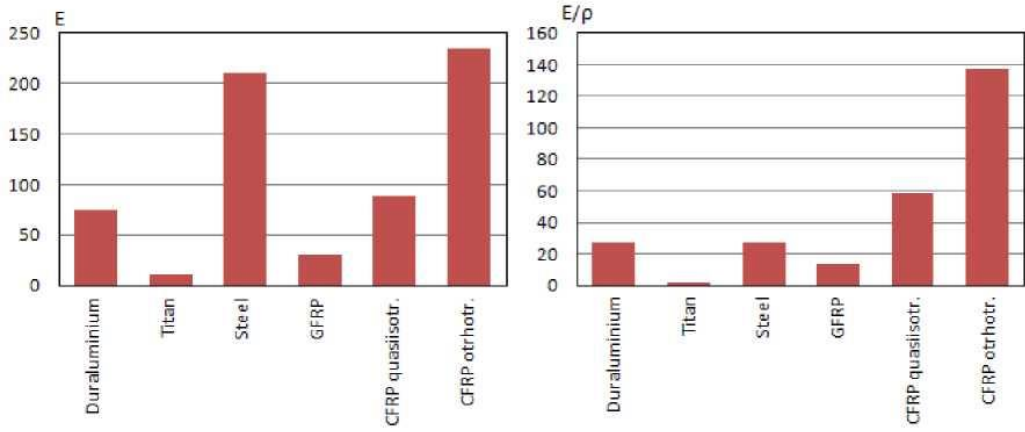
gösterir. Çekme mukavemeti çelikten daha büyük olsa da (bu bir kural olmasa da), direngenliği tatmin edici değildir. Ancak, CTP aksine, daha az kırılğan (kesme kuvvetleri taşıyabilir) ve çok daha düşük bir fiyata sahip olduğu gerçeği nedeniyle sık sık kullanılır [13].

Çizelge 6.1. Çeşitli inşaat malzemelerinin özelliklerinin CTP kompozitlerle karşılaştırılması [13]

Tipik Özellikler	Malzeme					
	Dural uminum	Titan TiAl6V04	Çelik S355 JR	CTP	Yarı Sertlikte CCTP (60%)	CCTP ortotropik (80%)
Yoğunluk ρ [g/cm ³]	2,80	4,50	7,80	2,10	1,50	1,70
Çekme Mukavemeti R_m [MPa]	350	800	510	720	900	3400
Özgül Mukavemet R_m/ρ [MPa* cm ³ /g]	125	178	65	340	600	2000
Young Modulu E [GPa]	75	11	210	30	88	235
Özgül Young Modulu E/ρ [GPa* cm ³ /g]	27	2	27	14	59	138



Şekil 6.1. Çeşitli malzemelerin çekme mukavemetlerinin karşılaştırılması.



Şekil 6.2. Çeşitli malzemelerin Young Modüllerinin karşılaştırılması.

Yüksek özgül mukavemet ve sertlik kombinasyonu, tasarımcıların daha düşük ağırlık ve kalınlıklarda tasarımlar geliştirmelerine olanak tanır. Ayrıca, bu özellikler, diğer inşaat malzemelerinin özgül özellikleriyle sınırlı olacak yeni tasarım kavramlarını dikkate almaları için inşaat mühendislerine imkan sağlamaktadır [35]. Örneğin, ana yolda trafik kesintisi olmaksızın ve/veya mimari alana veya çevreye müdahale etmeden, şehrin en sıkışık bölgelerinde karayolu ikinci kademe köprüler, yol kavşakları ve otopark montajı için kompozit malzemelerin uygulanmasını içerir.



Şekil 6.3. Moskova'da Severnaya St üzerinde ikinci seviye köprü kavramı [35]

Nispeten yüksek mukavemet ve direnç, tasarımcılara düşük ağırlıklarda tasarımlar geliştirmek için izin verir. Sivil altyapılarda, ağırlık tasarrufu, daha iyi sismik direnç, uygulama kolaylığı ve büyük temellere duyulan ihtiyaçta bir azalma gibi çeşitli avantajlara neden olabilir. Buna ek olarak, trafik derecelendirmelerini

artırma güdüsü, CTP malzemelerinden yapılan ağırlık tasarrufu yeni atıklar olmadan canlı yük kapasitesini artırabileceğinden, sadece eski ve bozulmuş köprü yapılarının değil geleneksel köprü yapılarının da CTP malzemeleriyle değiştirilmesi için büyük bir potansiyel olduğu anlamına gelir.

6.1.2. Korozyon Direnci

Geleneksel malzemelere (betonarme, çelik, ahşap) göre kompozit malzemeler korozyona, agresif ortama ve kimyasal reaktiflere karşı önemli ölçüde daha yüksek bir direnç gösterir ve korozyonun endişe verici olduğu uygulamalarda cazip hale gelir. Kompozit yapıların ek bakım maliyetleri olmadan uzun bir kullanım ömrüne sahip olmasını sağlar [3,5]. Örnek olarak, kompozit drenaj kanallarının ve standart betonarme kanalların karşılaştırmalı testleri Şekil 29’da yapılmıştır [35]. Kurulumdan iki yıl sonra, betonarme kanallar, hasarlı duvarları, ufalanmış malzemeleri, bütünlükte bozulma sergiledi. Kompozit kanal ise, dış görünüm, renk veya yüzey dokusunda gözle görülür bir değişiklik olmaksızın şu ana kadar kullanılmaktadır [35].



Şekil 6.4. CTP kompozit kanal ve betonarme kanal performansının karşılaştırılması [35].

6.1.3. Uyarlanmış Özellikler

Çelik ve beton gibi geleneksel inşaat malzemeleri, özünde her yönde benzer özelliklere ihtiyaç olup olmadığına bakılmaksızın, izotropik ve dolayısıyla verimsiz yapısal tasarımların kullanımını zorlar. Örneğin, beton sütunların sismik güçlendirme, kabuk / kasa hapsi geliştirmek için ek çember takviye sağlanmasını gerektirir. Çeliğin kullanımı, hem çemberde hem de eksenel yönlerde ek mukavemet ve direngenlik

sağlar. Ek aksenal dirençlik, genellikle en direnç aksenal eleman için bir sismik olay sırasında kuvvetlerin çekiciliği nedeniyle daha fazla sıkıntıya neden olur [6].

Buna karşılık, CTP kompozitler malzeme özelliklerini yalnızca gerekli yönlere uyacak şekilde uyarılma olanağı sağlayarak verimliliği ve ekonomiyi artırır. Ancak, anizotropi CTP'den yapılmış bileşenlerin birleştirilebilirliğini olumsuz etkiler [13].

6.1.4. Sürdürülebilirlik - Çevre Üzerindeki Etkileri

CTP malzemelerinin sürdürülebilirliği sorunu, farklı bir şekilde ele alınmalıdır. Cam elyafkullanımı sürdürülebilir ve ekolojik olarak sınıflandırılabilir. Özellikle kuvars tozu ve kireçtaşından üretilen cam lifleri çevre dostudur ve temel kaynak tükenmezdir. Enerji tüketimi sorunu ile ilgili olarak, cam elyafı/polyester bileşenleri, örneğin, üretimleri için çelik üretimi için gerekli olan enerjinin 1/4'ü veya alüminyum için olanının 1/6'sı gerekir. Daha sorunlusu, özellikle yüksek enerji gereksinimleri nedeniyle karbon fiber üretimidir. Polimer matris için aşağıdaki hususlar göz önünde bulundurulmalıdır: Günümüzde çoğunlukla termoset polimerler (polyester, epoksi), liflerle bağlandığında sadece sınırlı bir şekilde geri dönüştürülebilir (granülasyon ve dolgu malzemesi olarak kullanılmak üzere işleme alınır, yani downcycling). Ancak, gelişmelerin yön alması ile, termosetlerin eritilebilen termoplastiklerle değiştirilmesi ve tam geri dönüşüme izin verilmesi olayları meydana gelir [2,3]

Günümüzde kullanılan polimerler petrol endüstrisinin atık ürünleridir. Ancak, yapısal bileşenler için kullanımlarında, başlangıç malzemelerinin sahip olduğu enerji, 100 yılı aşkın bir süre için kolayca geri dönüşüm durumunda, onlarca yıl saklanır. Buna ek olarak, gerekli malzeme miktarı, gelecekte uygulamaları artsa bile, nispeten önemsizdir. Bu nedenle, yapılar için polimerlerin uygulanması günümüzde fosil yakıtların en sürdürülebilir kullanımlarından biri olabilir. Ayrıca, prensipte diğer organik temel malzemeler herhangi bir zamanda alternatif olarak kullanılabilir. Özetle, CTP malzemeleri en az geleneksel inşaat malzemeleri (beton, çelik, kereste) kadar sürdürülebilirdir [13].

6.1.5. Elektromanyetik Saydıamlık

CTP kompozitleri elektrikleşmez, bu nedenle elektrik çarpması riski olan alanlarda bulunan inşaatlar için kullanılabilirler, örneğin demiryolu hattı üzerindeki yaya köprüleri ve fabrikalarda köprülerde [13].

6.1.6. Estetik ve Boyutsal Kararlılık

Şantiyede (betonarme elemanlar gibi) boyutların yüksek hassasiyetine ulaşmak genellikle müteahhitler için sorunlara yol açar. Pultrüzyon prefabrik prosesi ve montaj tesisinin boyutu ise boyutsal doğruluk ve formların tam tekrarlanmasını sağlar. Pigmentlerin ve gerekli yüzey dokusu ve renginin tanıtılması yoluyla gerekli dış özellikleri elde etme imkanı sağlanır [13].

6.1.7. Don ve Buz Çözücü Tuza Karşı Direnç

CTP kompozitler donma-çözülme döngüleri sırasında iyi direnç gösterir ve bu yetersiz korunan çelik takviye için yıkıcı olabilir ve kompozitler buzlanma tuzlarına dayanıklıdır [13].

6.2. DEZAVANTAJLARI

6.2.1. Daha Yüksek Kısa Vadeli ve Belirsiz Uzun Vadeli Maliyetler

CTP kompozitleri kullanılarak bir inşaat projesinde tahakkuk eden maliyetler kısa ve uzun vadeli maliyetler olarak sınıflandırılır. Kısa vadeli maliyetler, malzeme maliyeti, imalat maliyeti ve inşaat maliyetini içerir. Şu anda, inşaat mühendisliği uygulamaları için CTP kompozit malzeme ve üretim maliyetleri hala geleneksel malzemelere göre pahalıdır. Çoğu CTP kompozit malzeme üretim, süreci aslında uçak, deniz ve otomobil endüstrisinde kullanılır, burada bir tasarım spesifikasyonunun seri kütleli üretimi yaygındır. İnşaat mühendisliği endüstrisi ise, tasarım özelliklerinin genellikle projeden projeye farklı olduğu büyük ölçekli yapıların tasarımını ve inşasını içerir.

CTP'nin bazı üretim teknikleri inşaat mühendisliği endüstrisi için ekonomik olarak uygun olmayabilir. Ancak CTP'den üretilen hafif ağırlıklı ve modüler bileşenler inşaat maliyetini azaltmaya yardımcı olabilir. Bu, kolay montaj veya kurulum, taşıma ve ağır ekipman seferberliği için gerek içerir. Üretim maliyetleri, pultrusion gibi işçiliği en aza indiren sürekli bir üretim süreci ile azaltılabilir. Alternatif olarak, vakum destekli reçine transfer kalıplaması (VARTM) gibi pahalı ekipman gerektirmeyen büyük yapısal bileşenler için esnek üretim yöntemleri, fabrikasyon maliyetlerini düşürebilir. Ayrıca, daha fazla tasarruf, daha az inşaat süresi, daha az trafik kesintisi veya yaygın olarak inşaat projesi ile etkilenen diğer faktörlerden, ölçmek zor olsa da, başarılabilir. Bu avantajlar vaka bazında düşünülmelidir. Ancak bu tasarruflarla bile, birim performans başına düşen malzeme maliyetleri daha yüksektir.

CTP kompozitlerinin uzun vadeli maliyeti, bakım, bozma ve imha maliyetleri gibi çeşitli öngörülemeyen maliyetleri içerdiğinden değerlendirmek daha karmaşıktır. Bazı maliyetleme teknikleri geliştirilmiştir. Bunlardan biri, projenin beklenen ömrü boyunca, başlangıç maliyeti, bakım maliyeti, işletme maliyeti, değiştirme ve yenileme maliyetleri, emeklilik ve bertaraf maliyetleri, vb. dahil olmak üzere yaşam döngüsü maliyetlerinden elde edilen "Yaşam Bütünü" tekniğidir. Bu teknik kullanılarak, CTP kompozit ve geleneksel malzemeler, aynı performans kriterleri için tasarlanmış yapılara ait ekonomik avantajlar hesaplanarak karşılaştırılabilir. Çevre bilinci arttıkça, projenin uzun vadeli maliyeti daha da önemli olmaktadır. Direngenlik ve mukavemet gibi performans özelliklerinin yanı sıra, sürdürülebilirlik, inşaat malzemesi seçiminde önemli kriterlerden biri haline gelmiştir [2].

CTP kompozitlerinin başarıyla tanıtıldığı diğer endüstrilerin aksine, inşaat sektörü maliyete çok duyarlıdır. Bir proje, CTP kompozitlerin belirli bir avantajına sahip olmadığı zaman ve/veya sınırlı sayıda CTP kompoziti kullanan projeleri inceleyerek, diğer ucuz inşaat malzemeleri üzerinde CTP kompozitin kullanımını haklı çıkarmak için bir gerekçe oluşturmak gerçekten zordur [3,6].

6.2.2. Dayanıklılığın Belirsizliği

CTP malzemelerinin farklı mikro ve makro-iklimlerde dayanıklılığını doğrulamak için çeşitli laboratuvar testleri yapılmıştır. Ancak, gerçek çevre koşullarında ve zararlı elementlerin saldırısı altında dış testlere dayalı bir kalibrasyon ve bu testlerin standardizasyonu, CTP malzemelerinin dayanıklılığı ile ilgili önemli soruları yanıtlamak için kesinlikle gereklidir.

Polimerik matrisler, nem, sıcaklık ve korozyif kimyasal ortamların varlığında bozulmaya karşı duyarlı olsalar da, CTP kompozitlerinin dayanıklılığı ile ilgili temel endişe, uzun süreli dayanıklılıkları ile ilgili doğrulanmış verilerin olmamasıdır. CTP kompozitlerinin dayanıklılığı, sadece havacılık dünyasında bile yaklaşık 60 yıldır ve yinede önemli bir anekdot kanıtı yoktur. Ayrıca, sivil altyapı uygulamalarında kullanılması muhtemel reçine sistemleri ve üretim yöntemleri, geçmişte havacılık endüstrileri tarafından karakterize edilmiş olanlarla aynı değildir [2,6].

6.2.3. Süneklik Eksikliği

CTP kompozitler, çelikler gibi, süneklik konusunda kesin verim göstermez. Sünek malzemeler, yapısal güvenlik artışı, darbe veya sismik eylemlerden enerjinin dağılması ve büyük plastik veya elastik olmayan nedeniyle olası bir yapısal sorun uyarısı ile bağlantılı iç kuvvetlerin olumlu bir şekilde yeniden dağıtılmasına olanak sağlar: kırılma öncesi deformasyonlar. Böylece malzeme düzeyinde süneklik eksikliği bazı tasarımcılar için endişe nedeni olabilir. Bununla birlikte, yapısal düzeyde, CTP kompozitlerinden imal edilen bileşenler, aşırı deformasyonla emniyetli ve yavaş ilerleyen bir hasar oluşumu sağlayan, bir dizi hasar mekanizması sergilemek üzere tasarlanabilir [3]. Hasara uğramadan önce aşırı deformasyon geliştirebilen bir yapısal sisteme verilebilecek bir örnek, çelik kirişlere sıkı bir şekilde yapıştırılan CTP köprü tablasıdır [3].

6.2.4. Düşük Yanma Direnci

Köprü yapımında, yangına karşı dayanıklılık her şeyden önce köprü üstünde veya köprü altında (bir yolda veya depoda) yangına maruz kalan yapısal elemanlar için önemlidir. CTP malzemeleri prensipte yanıcıdır ve bazen sağlıksız gazlarla birlikte düşük alev alma direncine sahiptir. Yangın geciktirici, kendi kendine söndürme ve toksik dumanların gelişimini sergilemeyen bazı türleri mevcuttur, ama yangında güç kaybı hakkında çok az bilgi vardır. Çelikte karşılaştırıldığında, mukavemet kaybı, polyester için yaklaşık 80°C'de, çok daha erken başlar. Yangın nedeniyle potansiyel bir tehlike varsa, bu davranışta önemli ölçüde iyileşme, polyester yerine fenol matrisleri kullanılarak gerçekleştirilebilir. Aksi takdirde inşaat önlemleri (yangından korunma) veya yapısal önlemler (yedek sistemler) kullanmak gerekir [3,30].

6.2.5. Tasarım Standartlarının Yetersizliği

Sivil tasarım ve inşaat sektörü, iyi belgelenmiş ve standardize edilmiş malzeme türlerinin kullanımına dayalı beyan edilmiş kodların ve standartların kullanımına yaygın olarak hakimdir. Köprü mühendisleri, bu standartlara uygun malzemeyi uygun şekilde kullanmak üzere eğitilirler. Beton veya çelik gibi geleneksel malzeme köprülerini tasarlamak, inşa etmek ve sürdürmek için malzeme biliminde uzmanlığa ihtiyaç duymaz. Ancak, Mevcut durumda CTP kompozit uygulanması, malzeme davranışı ve üretim süreci ile ilgili, konvansiyonel malzemeler için gerekenden çok daha fazla, bilgi gerektirir. Bir örnek, lif oryantasyonu ve fiber-matris etkileşimi bilgisi gerektiren CTP kompozitinin hasar tipinin tahminidir. CTP kompozit yapıların tasarımını belirten resmi standartların olmamasıyla (sadece Tasarım Kılavuzları mevcuttur) birlikte, çoğu durumda sadece CTP malzeme tercih edilemez.

6.2.6. Bağlantılarda Bilgi Eksikliği

CTP kompozitten imal edilen yapısal sistemlerdeki bağlantıların tasarımı hala iyi gelişmemiştir. Tasarımlar, CTP kompozitlerinin özel performans özellikleri ve hasar tipleri için geliştirilmek yerine, metalik analoglardan uyarlanmaktadır. Bu, genellikle tasarımların verimsiz bir şekilde maliyetinin belirlenmesine veya erken hasara yol

açan, yüksek güvenlik toleranslarının kullanılmasıyla sonuçlanır. Yapı kompozitlerin uygulanmasıyla ilişkili kritik bağlantı sorunları, ekler, esnek eklemler ve alan bağlantıları ile ilgilidir. Genel olarak, eklemler ve bağlantılar, yeterli deforme olabilirliği sağlamak için basit, dayanıklı ve verimli olmalıdır. Diğer inşaat teknolojilerine benzer şekilde, bağlantılar, genel sistemdeki zayıf halkayı oluşturmamalıdır.

Havacılık endüstrisinden CTP kompozitlerin ekleri, ekleri ve bağlantıları hakkında bilgi hazinesi (wealth of information) mevcuttur, ancak havacılık ve sivil tasarım yöntemleri arasındaki bağlantı kopukluğu nedeniyle belki de bu kaynağın sadece sınırlı kullanımı sağlanmıştır [6,13,31].

BÖLÜM 7

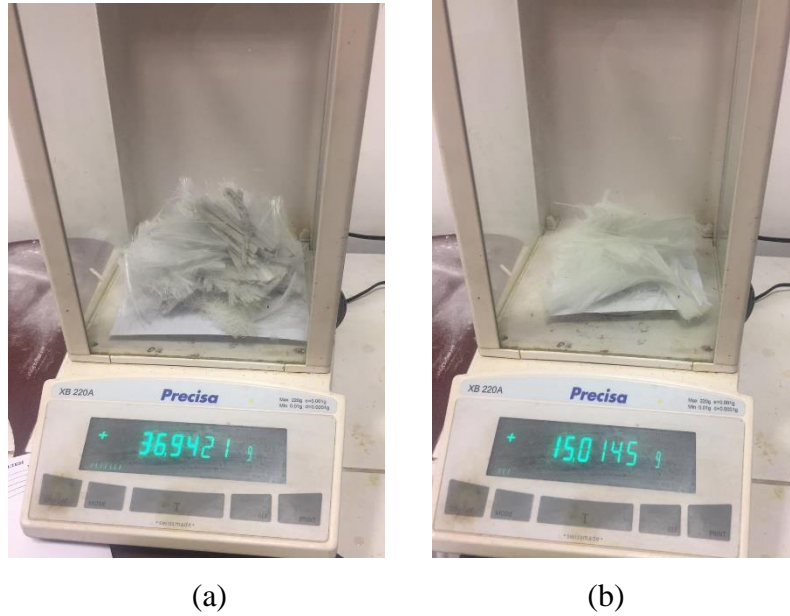
DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada S355JR kalite çeliklere kıyasla Cam Elyaf Takviyeli Polimer kompozitlerin aşınma davranışlarına uygulanan yükün ve korozif ortamın etkisi incelenmiştir. Bu çalışmada kullanılan S355JR kalite çelik numuneler, 200 mm x 200 mm x 16 mm tipinde çelik profilden çıkarılmış iken cam fiber takviyeli kompozitler PULTECH Kompozit Yapı ve Teknolojileri İmalat Sananayii ve Tic. A.Ş. tarafından temin edilmiş olup izofitelik polyester reçine matrisli kısa E-cam elyaf takviyeli kompozitler (CTP)dir. Püskürtme yöntemi ile üretilmiş olan ve yaklaşık olarak 8.40 mm ve 3.00 mm et kalınlıklarına sahip CTP kompozitler sırasıyla kalın ve ince kesitli olarak adlandırılmıştır.

Kalın ve ince kesitli CTP'lerin yapısında yer alan cam elyafların ağırlıkça yüzdesi yakma metodu ile belirlenmiştir. Kalın ve ince CTP kompozitlerden 60.00 mm uzunluğunda hazırlanmış en az 4 numune, öncelikle 105 °C'de kurutma ve ardından 625°C'de ise yakma (Şekil 30) işlemine tabi tutulmuştur. Kurutma sonrası incelenen CTP kompozitlerin ağırlıkları ve yakma sonrası (Şekil 31) cam elyaf ağırlıkları, 0.1 mg hassasiyete sahip dijital hassas terazide ölçülmüştür. Kurutma ve yakma sonrası ağırlıklar oranlandığında, kalın kesitli CTP kompozitte ağırlıkça % 36.60 ve ince kesitli CTP kompozitte ise ağırlıkça % 23,17 cam elyaf bulunduğu belirlenmiştir.



Şekil 7.1. (a) Kalın kesitli CTP kompozitlerden çıkarılan ve (b) ince kesitli CTP kompozitlerden çıkarılan cam elyafların görünüşleri.



Şekil 7.2. (a) Kalın kesitli CTP kompozitlerden çıkarılan cam ağırlıklarının ve (b) ince kesitli CTP kompozitlerden çıkarılan cam ağırlıklarının ağırlıklarının ölçümü.

7.1. MEKANİK TESTLER

Bu çalışmada kısa E-cam elyaf takviyeli izofitalik polyester reçine matrisli kompozitlerin ve S355JR kalite çeliğin mekanik özellikleri, darbe, çekme ve eğme testi ile belirlenmiştir.

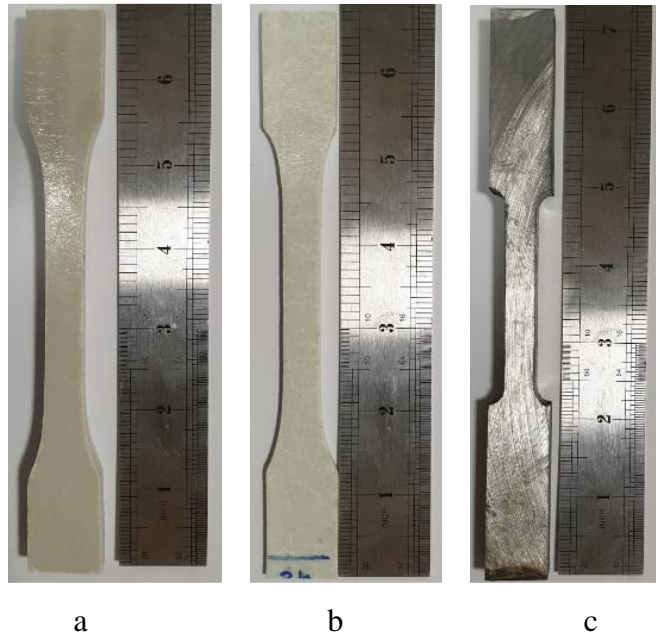
İncelenen malzemelerin darbe testi, 450 joule kapasiteli charpy tipi test cihazında herbir koşul/parameter için en az 4 adet v çentikli numuneler kullanılarak oda

sıcaklığında, -10°C ve -50°C 'de gerçekleştirilmiştir. Darbe test cihazında kullanılan kalın kesitli CTP, ince kesitli CTP ve S355JR kalite çeliğin ölçüleri sırasıyla $8.40 \times 8.75 \times 55.00$, $3.05 \times 8.75 \times 55.00$ ve $8.40 \times 10.05 \times 55.00$ mm³ dür. Darbe testi sonrası cihazın verdiği J cinsinden darbe enerjisi değerlerini çentik dibindeki kesit alanına oranlanarak darbe testi sonuçları J/mm² cinsinden değerlendirilmiştir. Kırılma hasar tipinin belirlenmesi için kırılmış darbe test numuneleri stereo mikroskopta incelenmiştir.

Çekme testi, 20 ton kapasiteli elektromekanik Besmark marka çekme cihazında (Şekil 32) çekme ve eğme testleri olarak belirlenmiştir. Kalın ve ince kesitli reçine matrisli CTP ve çelik malzemedan işlenen çekme numunelerinin görünümü Şekil 33'te verilmiştir. Kalın ve ince ketli CTP'nin toplam ölçü uzunluğu 77.00 mm olup kesit alanları sırası ile 11.66×8.80 mm² ve 11.10×3.00 mm² iken çelik numunenin toplam ölçü uzunluğu 61.30 mm ve kesit alanı 9.75×9.65 mm²'dir. İncelenen tüm çekme numuneleri için ölçü uzunluğu $5.65 \times \text{AO}1/2$ eşitliği ile belirlenmiştir. Herbir numune grubu için 10 mm/dak çekme hızında en az 4 numunenin çekme sonuçlarının ortalaması alınmış olup özellik olarak akma mukavemeti, çekme mulavemeti ve % uzama değerleri belirlenmiştir.



Şekil 7.3. Mekanik özelliklerin belirlenmesinde kullanılan Besmark model çekme cihazı.



Şekil 7.4. İşlenmiş (a) kalın kesitli CTP, (b) ince kesitli CTP ve (c) çelik çekme deney numunelerinin görünümü

İncelenen numunelerin eğme deneyleri üç noktalı eğme test koşullarında Besmark model çekme test makinesinde yapılmıştır. Test cihazının eğme mesnetleri 10 mm çapında silindir olup eğme mesnetleri arasındaki mesafe (L) 100 mm'dir. Eğme testinde incelenen numunelerin boyutları 10x10x120 mm³ olup eğme test sonuçları akma, maksimum eğilme mukavemeti ve % uzama değerleri olarak alınmıştır. İncelenen eğme test numuneleri dikdörtgen kesitli olduklarından eğilme dayanımları, N cinsinden uygulanan eğme kuvvetlerini (P), mm cinsinden numune genişliğini (B) ve numune kalınlığını (H) kullanarak

$$\sigma_e = \frac{3 \cdot P \cdot L}{2 \cdot B \cdot H^2} = 1,5 \cdot \frac{P \cdot L}{B \cdot H^2} \quad (7.1)$$

Denklem 7.1 ile hesaplanmıştır. Uygulanan kuvvet etkisi ile oluşan mm cinsinden eğilme miktarı (Y) ile ilişkili olarak eğilme birim şekil değiştirme (mm/mm) değeri,

$$\varepsilon = \frac{6 \cdot Y \cdot H}{L^2} \quad (7.2)$$

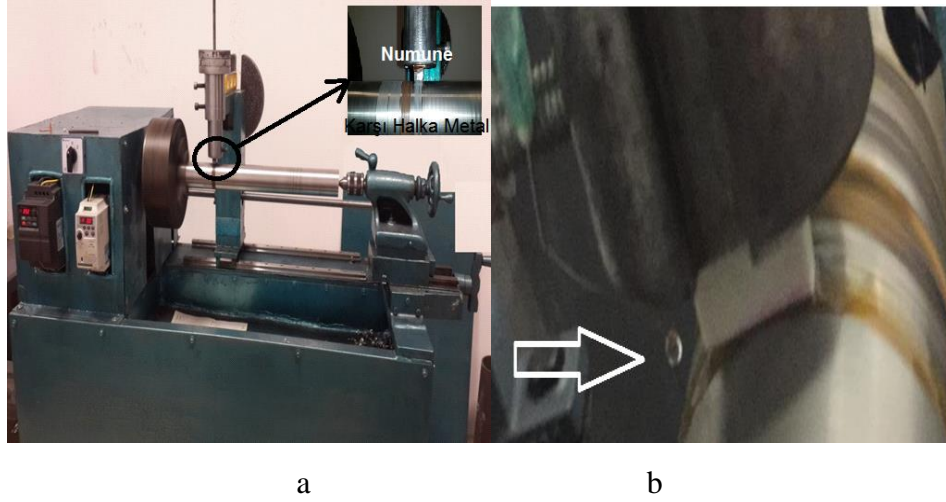
Denklem 7.2 ile hesaplanmıştır. Eğme testleri 10 mm/dak eğme hızında gerçekleştirilmiştir.

Mekanik testler sırasında gerilme değeri maksimum mukavemet değerinin yarısına yakın bir noktaya geldiğinde test sonlandırılmıştır. Çekme ve Eğme testleri sonrası kırılma hasar tipinin belirlenmesi için kırılmış test numuneleri stereo mikroskopta incelenmiştir.

7.2. AŞINMA TESTİ

Bu çalışmada incelenen S355JR kalite çelik (10x20x40 mm³) ve iki adet kalın kesitli (10x20x40 mm³) ile ince kesitli (3x20x40 mm³) CTP kompozitlerin aşınma davranışı Şekil 34'e gösterilen block on ring (ring üzeri blok) aşınma cihazı ile hem kuru hem de korozif ortamda gerçekleştirilmiştir. Aşınma deneyleri sırasında korozif ortam olarak %3.5 NaCl içeren deniz duyu kullanılmıştır. İncelenen numunelerin aşınma davranışları 10-50 N yük altında 0.05 m/sn kayma hızında 1.2379 kalite soğuk iş takım

çeliği üzerinde belirlenmiştir. Karşı malzeme olarak kullanılan soğuk iş takım çeliğinin sertliği 55 HRC olup aşınma öncesi hassas tornalama işlemi ile yüzeyi hazırlanmaktadır. Kayma mesafesi, 2000 m aralıklarla toplamda 6000 m olup herbir aralıkta aşınmış numunelerin ağırlık kayıpları 0.1 mg hassasiyetine sahip dijital terazide ölçülmüştür.



Şekil 7.5. Ring üzeri block tipi aşınma test cihazının (a) kuru ortam ve (b) korozif ortam görünümü. Resimdeki ok korozif damlasının akışını göstermektedir.

Aşınma deneyleri sonrası aşınma mekanizmasının belirlenmesi için stereo mikroskopta aşınmış yüzeyler incelenmiştir.

BÖLÜM 8

DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

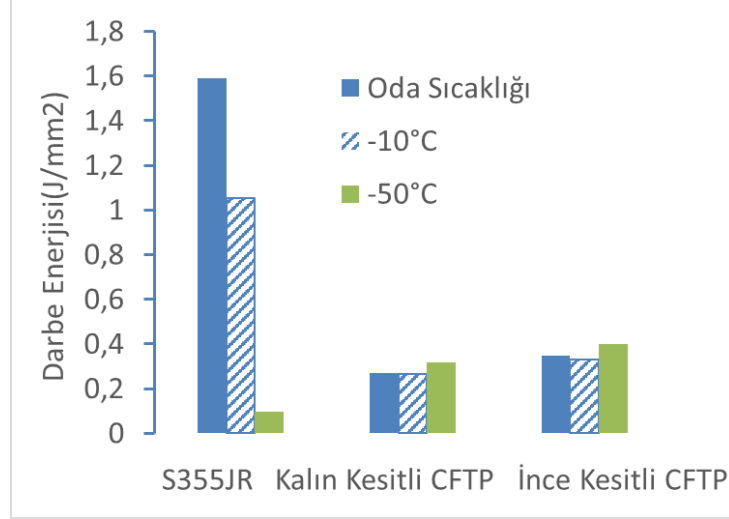
Çelik S355JR kalite profillerden çıkarılan numunelere kıyasla % 36 cam fiber içeren kalın kesitli ve % 23 cam fiber katkılı ince kesitli izofitelik polyester reçine matrisli kompozitlerin deneysel sonuçları, darbe, çekme ve eğme testi olmak üzere mekanik test sonuçları ve aşınma test sonuçları halinde değerlendirilmiştir.

8.1. MEKANİK TEST SONUÇLARI

Çelik numuneye kıyasla CTP kompozitlerin üç farklı sıcaklıktaki darbe test sonuçları J/mm^2 cinsinden Çizelge 4'te ve buna bağlı olarak Şekil 35'te verilmiştir. S355JR kalite çelik numunenin darbe sonuçları sıcaklığa duyarlı olmasından dolayı sıcaklık düştükçe hızlı bir şekilde darbe enerjisinde sünek kırılmadan gevrek kırılmaya doğru geçiş meydana gelmiştir. CTP kompozitlerin darbe enerjileri, sıcaklıktan bağımsız bir şekilde yaklaşık $0.3 J/mm^2$ değerindedir.

Çizelge 8.1. Farklı sıcaklıklarda incelenen numunelerin darbe enerjileri.

Malzeme	Darbe Enerjisi (J/mm^2)		
	Oda Sıcaklığı	-10°C	-50°C
S355JR	1,59	1,05	0,09
Kalın Kesitli CTP	0,27	0,26	0,32
İnce Kesitli CTP	0,35	0,33	0,40



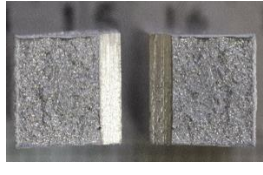





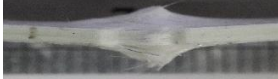


Şekil 8.1. İncelenen malzemelerin darbe enerjilerinin sıcaklıkla değişimi.

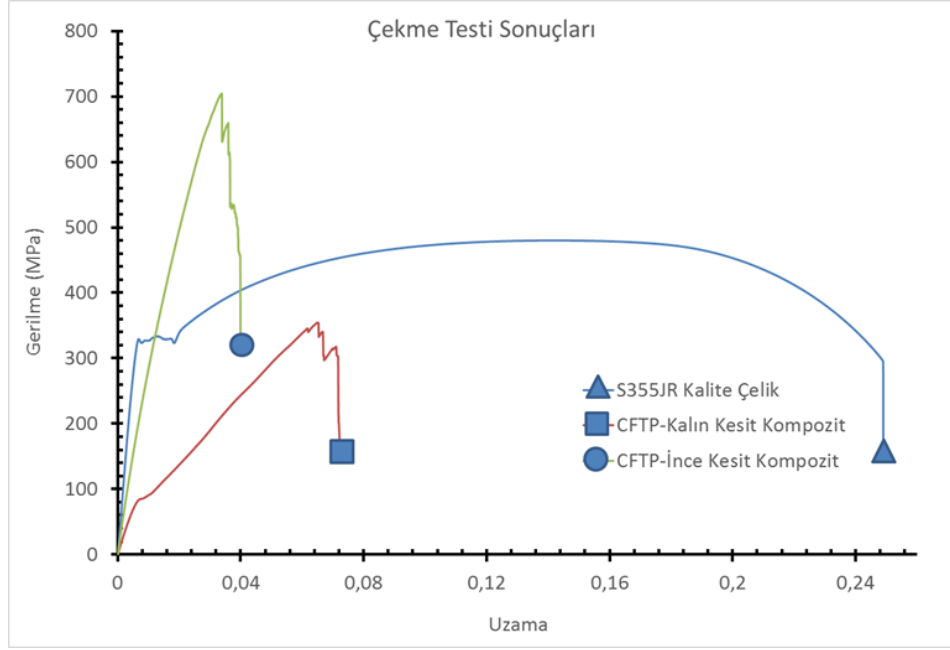
-50°C’de yapılan darbe testi sonuçları incelendiğinde çelik malzemenin darbe enerjisi 0,09 J/mm² değerinde iken CTP kompozitlerin darbe enerjisi 0,4 J/mm² civarındadır. CTP kompozitlerin en düşük sıcaklıkta darbe enerjisi 4 kat daha yüksektir.

Çizelge 5, darbe testi sonrası kırık yüzey görünümlerini vermektedir. Darbe testi sonrası çelik numunenin kırık yüzeyi sıcaklık düştükçe büzülme ile kırılma davranışının azaldığı ve düz yüzeyli kırılmaya doğru bir değişimin meydana geldiği görülmektedir. CTP kompozitlerde ise darbe deneyi sonrası hasar, reçine matrisin aşırı hasarı, tabakalı ayrılma ve cam takviyenin kopması şeklindedir. Kalın kesitli CTP kompozitlerde darbe deneyi sonrası ayrılma ve cam fiberlerin kopması hasarı daha şiddetlidir.

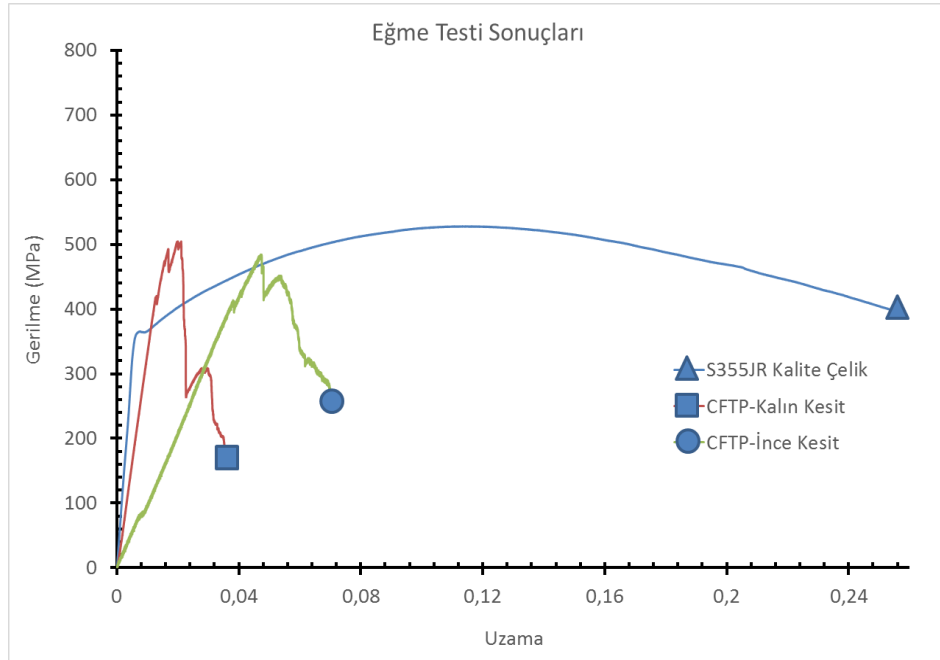
Çizelge 8.2. İncelenen numunelerin darbe deneyi sonrası hasarın görünümü.

	Oda Sıcaklığı	-10 °C	-50 °C
S355JR			
Kalın Kesitli CTP			
İnce Kesitli CTP			

Çekme ve eğme testi ile gerçekleştirilen mekanik test sonuçları gerilme-uzama eğrileri olarak Şekil 36'da verilmiştir. Çekme testinden elde edilen ince kesitli CTP kompozitin mukavemet değeri hariç diğer incelenen numunelerin mukavemetleri birbiri ile karşılaştırılabilir. İnce kesitli CTP kompozitin çekme mukavemeti, diğer numunelerin mukavemet değerlerinden daha yüksektir. CTP kompozitleri belirgin şekilde akma göstermezken çelik numune üst akma ve alt akma değerleri sergilemiştir. Şekil 36'da verilen gerilme-uzama grafiklerden okunan mukavemet ve uzama değerleri Çizelge 6'da listelenmiştir. S355JR kalite çelik numunenin üst akma mukavemeti yaklaşık 320 Mpa ve alt akma mukavemeti 304 Mpa değerindedir.



(a)



(b)

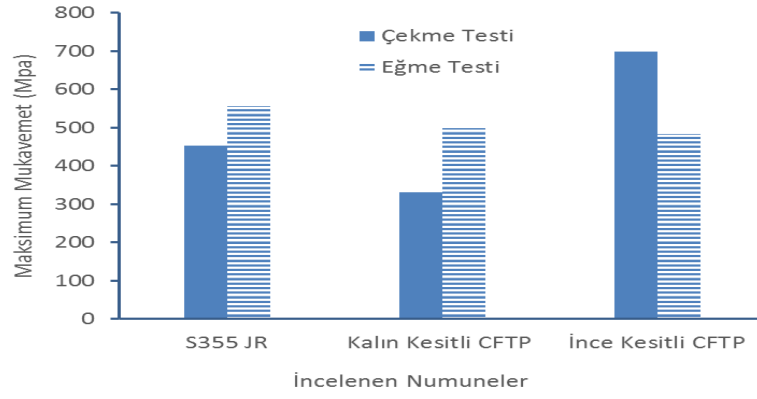
Şekil 8.2. İncelenen numunelere ait gerime-uzama grafikleri şeklinde (a) çekme ve (b) eğme test sonuçlarının gösterimi.

Çizelge 8.3. İncelenen mazlemelerin mukavemet ve % uzama değerleri

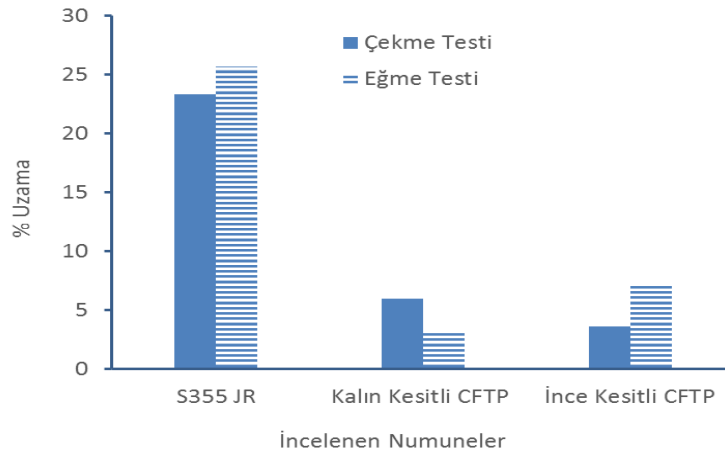
Test Tipi	Numune	Akma Mukavemeti (MPa)		Maksimum Mukavemet (MPa)	Uzama (%)
		Üst Akma	Alt Akma		
Çekme Testi	S355 JR	320.74	304.25	452.65	23.33
	Kalın Kesitli CTP	-		330.91	5.95
	İnce Kesitli CTP	-		699.43	3.63
Eğme Testi	S355 JR	307.68	304.10	555.41	25.67
	Kalın Kesitli CTP	-		498.26	3.13
	İnce Kesitli CTP	-		484.25	7.02

CTP kompozitler maksimum mukavemet değerlerinden sonra gerilme değerinde hızlı düşme yerine bir miktar düşme ardından tekrar gerilmeye artış ve bir miktar birim şekil değiştirme ve takibinde tekrar gerilmeye düşme şeklinde tekrarlamalı bir davranış sergilemektedir.

S355JR kalite çelik numune, reçine matrisli kompozitlere kıyasla oldukça yüksek süneklığe sahiptir. CTP kompozitlerin % uzama değerleri, S355JR kalite çeliklerin % uzama değerinden % 80 oranında daha düşüktür. İncelenen numunelerin maksimum mukavemet ve uzama değerlerinin değişimi Şekil 37’de verilmiştir. İnce kesitli CTP kompozitin çekme muavemeti yaklaşık 700 MPa iken diğer numunelerin mukavemet değerleri birbirine yakın olup ortalama 450 Mpa’dır.



(a)


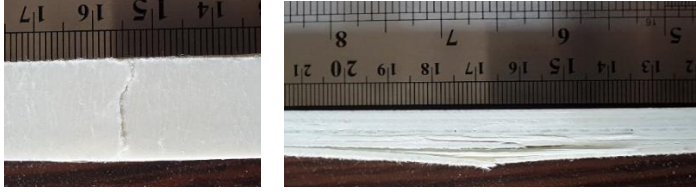



(b)


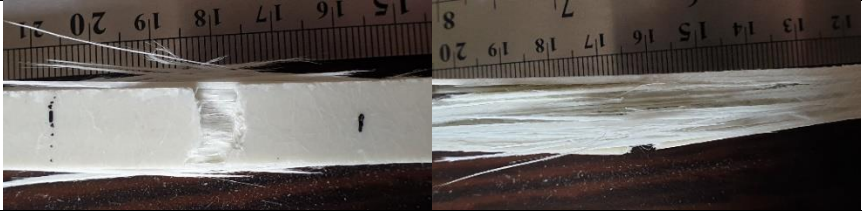
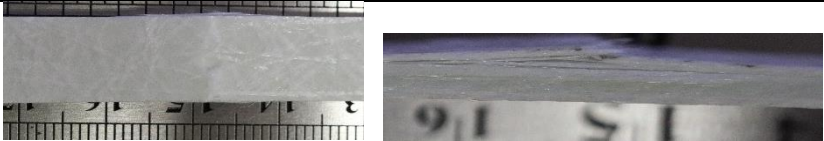
Şekil 8.3. İncelenen numunelerin (a) maksimum mukavemet (MPa) ve (b) % uzama değerlerinin değişimi.

İncelenen numunelerin çekme testi ve eğme testi sonrası kırık yüzey görünüşleri sırası ile Çizelge 7 ve Çizelge 8’de verilmiştir. Çelik numunede mekanik test hasarı sünek iken kompozit malzemede gevrek karakterde lif lif kırılma ve tabakalar arası ayrılma gözlenmektedir.

Çizelge 8.4. Çekme testi sonrası numunelerde hasarın görünümü.

S355JR	
Kalın Kesitli CTP	
İnce Kesitli CTP	

Çizelge 8.5. Eğme testi sonrası numunelerde hasarın görünümü.

S355JR	
Kalın Kesitli CTP	
İnce Kesitli CTP	

8.2. AŞINMA TESTİ SONUÇLAR

Ring üzeri blok tipi aşınma test cihazında kuru ve korozif ortamda farklı yüklerde gerçekleştirilen aşınma deney sonuçları sırasıyla Çizelge 9 ve Çizelge 10'da verilmiştir. Çizelge 9 ve Çizelge 10 incelendiğinde numunelere uygulanan yük arttıkça ağırlık kaybının kayma mesafesi ile arttığı ve belirli bir yük ve kayma mesafesi için korozif ortamda ağırlık kaybının azaldığı gözlenmiştir. Belirli bir koşul (kuru ortam ve/veya korozif ortam) için CTP kompozit malzemelerin ağırlık kaybı, çeliğe kıyasla oldukça düşüktür.

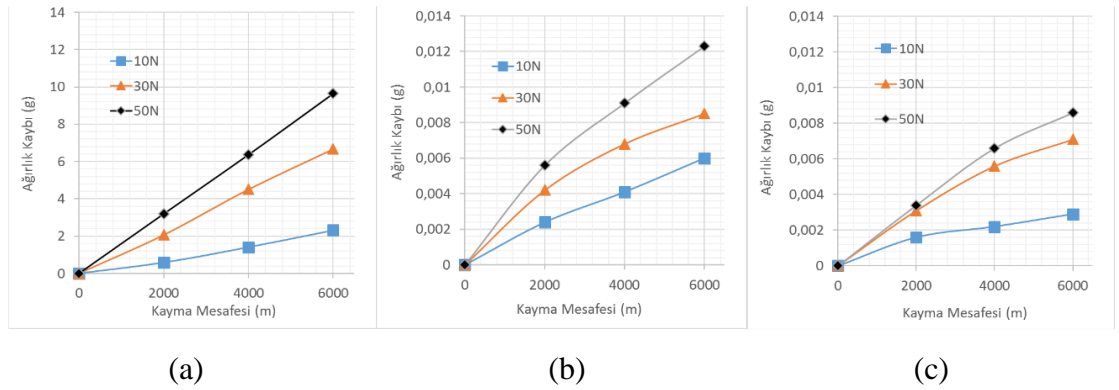
Çizelge 8.6. Kuru ortamda uygulanan yüke, kayma mesafesine ve incelenen malzemeye bağlı olarak ağırlık kaybı değerleri.

Uygulanan Yük (N)	Kayma Mesafesi (m)	Ağırlık Kaybı (g)		
		Çelik	Kalın Kesitli	İnce Kesitli
10	0	0	0	0
	2000	0,5838	0,0024	0,0016
	4000	1,4078	0,0041	0,0022
	6000	2,3145	0,006	0,0029
30	0	0	0	0
	2000	2,0629	0,0042	0,0031
	4000	4,5062	0,0068	0,0056
	6000	6,6685	0,0085	0,0071
50	0	0	0	0
	2000	3,194	0,0056	0,0034
	4000	6,3652	0,0091	0,0066
	6000	9,6397	0,0123	0,0086

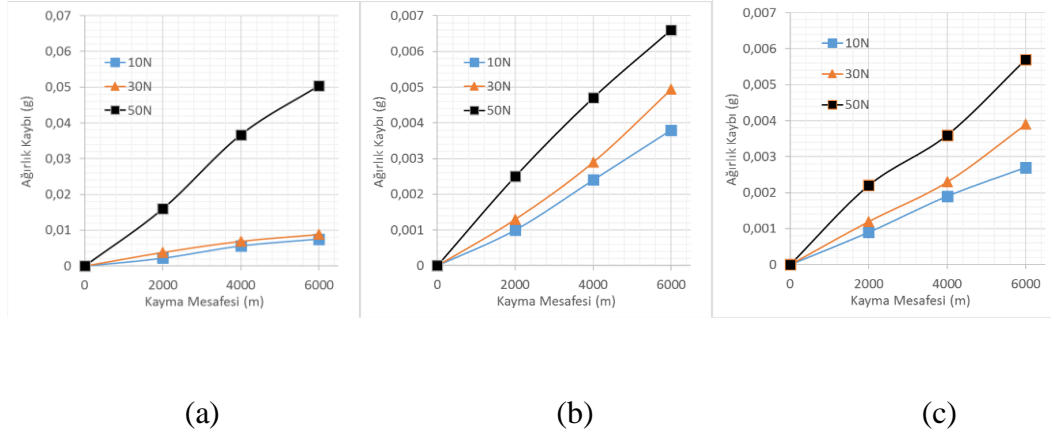
Çizelge 8.7. % 3.5 NaCl içeren korozif ortamda uygulanan yük, kayma mesafesine ve incelenen malzemeye bağlı olarak ağırlık kaybı değerleri.

Uygulanan Yük (N)	Kayma Mesafesi (m)	Ağırlık Kaybı (g)		
		Çelik	Kalın Kesitli	İnce Kesitli
10	0	0	0	0
	2000	0,0022	0,001	0,0009
	4000	0,0056	0,0024	0,0019
	6000	0,0075	0,0038	0,0027
30	0	0	0	0
	2000	0,0038	0,0013	0,0012
	4000	0,0069	0,0029	0,0023
	6000	0,0088	0,00494	0,0039
50	0	0	0	0
	2000	0,016	0,0025	0,0022
	4000	0,0367	0,0047	0,0036
	6000	0,0504	0,0066	0,0057

Çizelge 9 ve Çizelge 10’da verilen uygulanan yük ve kayma mesafesi ile ağırlık kaybı verileri kullanılarak kuru ortam ve korozif ortam için ağırlık kaybı-kayma mesafesi grafikleri sırasıyla Şekil 38 ve Şekil 39’a verilmiştir.



Şekil 8.4. Kuru ortamda (a) S 355JR, (b) kalın kesitli ve (c) ince kesitli CTP kompozitlerin ağırlık kaybı-kayma mesafesi grafikleri.

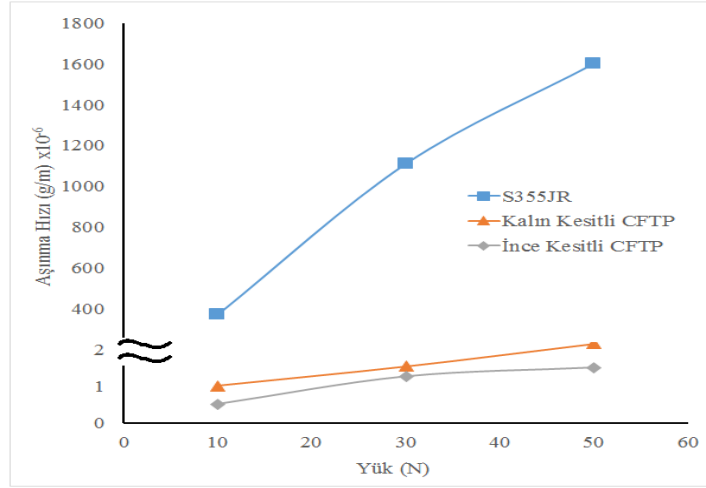


Şekil 8.5. % 3.5 NaCl içeren korozif ortamda (a) S355JR , (b) kalın kesitli ve (c) ince kesitli CTP kompozitlerin ağırlık kaybı-kayma mesafesi grafikleri.

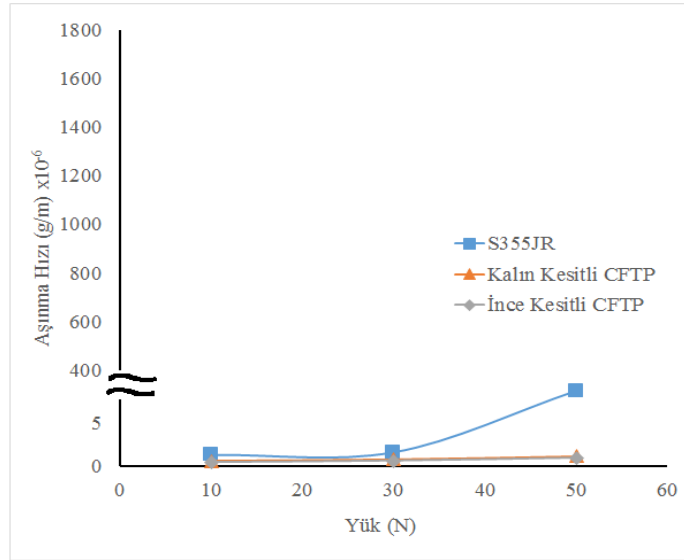
Şekil 38 ve 39’da verilen ağırlık kaybı–kayma mesafesi grafikleri lineer olup doğruların eğimleri g/m cinsinden aşınma hızını (Çizelge 10) vermektedir. Uygulanan yük–aşınma hızı (g/m) grafiklerinden yararlanarak g/N.m cinsinden aşınma katsayısı (Çizelge 11) belirlenmiştir.

Çizelge 8.8. İncelenen malzemelerin g/m cinsinden aşınma hızının uygulanan yük ile değişimi.

Yük (N)	Aşınma Hızı (g/m)x10 ⁻⁶					
	Kuru Ortamda			Korozif Ortamda		
	S355JR	Kalın Kesitli CTP	İnce Kesitli CTP	S355JR	Kalın Kesitli CTP	İnce Kesitli CTP
10	369,4	1,02	0,52	1,282	0,614	0,457
30	1110	1,55	1,27	1,571	0,783	0,625
50	1601,5	2,17	1,51	8,593	1,132	0,946



(a)



(b)

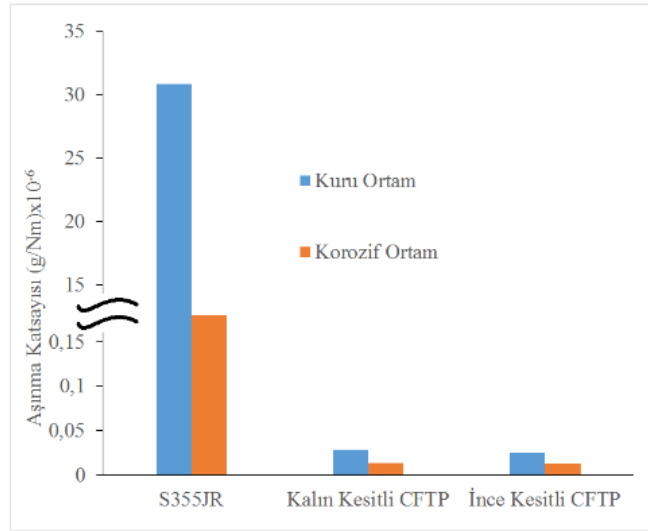
Şekil 8.6. İncelenen malzemelerin uygulanan yük ile aşınma hızlarının değişimi (a) kuru ortam (b) korozif ortam

Çizelge 12'deki verileri kullanarak çizilen Şekil 41 gözlemlendiğinde S355JR kalite çelik malzemenin aşınma katsayısı, CTP kompozitlerden daha yüksek olup yaklaşık olarak % 100 oranındadır. Bununla birlikte korozif ortamda S355JR kalite çelik malzemenin aşınma katsayısının aynı malzemenin kuru ortam aşınma katsayısına kıyasla oldukça düşmüştür. Korozif ortamda gerçekleştirilen aşınma testlerinde aşınma katsayısının daha düşük olması arayüzeyde oluşan korozyon ürünlerinin ve arayüzeye giren sıvının yağlayıcı etkisinden kaynaklandığı düşünülmektedir. CTP kompozitlerin aşınma hızlarının daha düşük olması polyeşter reçine matristen kaynaklanmış olabilir. CTP

kompozitlerin kuru ve korozif ortam aşınma katsayıları çelik malzemeye kıyasla daha düşük elde edilmiştir (Şekil 41).

Çizelge 8.9. İncelenen malzemelerin g/Nm cinsinden aşınma katsayılarının değişimi.


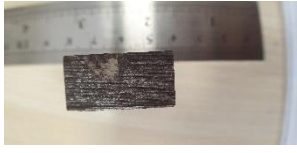




	Aşınma Katsayısı (g/Nm) $\times 10^{-6}$	
	Kuru Ortam	Korozif Ortam
S355JR	30,8	0,18
Kalın Kesitli CTP	0,028	0,013
İnce Kesitli CTP	0,025	0,012


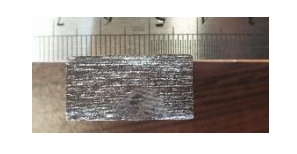






Şekil 8.7. İncelenen malzemelerin aşınma katsayıları.

Quintelier ve arkadaşları [32], disk üzeri pin tipi aşınma test cihazı ile polimer matrisli kompozitlerin aşınma ve sürtünme davranışına aşınma kalıntılarının ve lif yöneliminin etkisini incelemişler ve polimer matrisli kompozit diskin aşınma izinde muhtemelen ince bir yapışkan film oluştuğunu ve oluşan filmden dolayı daha düşük sürtünme katsayısı elde edildiğini rapor etmişlerdir. Film oluşturma mekanizması normal kuvvete, kayma hızına ve kütleli kompozit yapıya bağlıdır [7]. Bir başka açıklama olarak, aşınma işlemi sırasında, başıboş lifler bükülür ve matristen çıkarılmadan sürtünme yönüne yönlendirilir. Bu durum, polyester matrisin korunmasına yardımcı olur, böylece malzeme kaybında bir azalmaya yol açılır [30].

Çizelge 8.10. Aşınma deneyleri sonrası aşınmış parçaların yüzeylerinin incelenmesi

	10N Uygulanan Yük Altında	
	Kuru ortam	Korozif Ortam
S355JR		
Kalın Kesitli CTP		
İnce Kesitli CTP		

	50N	
	Kuru ortam	Korozif Ortam
S355JR		
Kalın Kesitli CTP		
İnce Kesitli CTP		

BÖLÜM 9

GENEL SONUÇLAR

S355JR kalite çelik profillerin özelliklerine kıyasla % 36 cam fiber içeren kalın kesitli ve % 23 cam fiber katkılı ince kesitli izofitelik polyester reçine matrisli kompozitlerin mekanik özelliklerinin ve aşınma davranışlarının incelendiği bu çalışmadan çıkarılan sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

1. Oda sıcaklığında S355JR kalite çeliğin darbe enerjisi 1,59 iken ve kalın kesitli CTP'nin darbe enerjisi 0,27J/mm² iken -50°C ise Çeliğin darbe enerjisi 0,09J ve CTP'nin darbe enerjisi 0,32 J/mm² bulunmuştur. Sıcaklık düştükçe çeliğin darbe enerjisinde sünek davranıştan gevrek davranışa geçişe gösterirken CTP malzemede ise darbe enerjisi hemen hemen sabit kalmıştır.
2. Oda sıcaklığında darbe deneyi sonrasında elde edilen kırık incelendiğinde çelik numuneler plastik deformasyon kırık yüzey büzülerek kırılmış iken polimer matrisli kompozitler cam elyafların kopması, polimer matrisin ayrılması ile hasara uğramıştır. -50°C'de polimer matrisli kompozitlerin kırılma tipi değişmezken çelik malzemede düz yüzeyli ve plastic deformasyon gerçekleşmeden kırılma meydana gelmiştir.
3. Polimer matrisli kompozitlerin akma mukavemetleri sağlıklı bir şekilde belirlenmediğinden çekme mukavemetleri dikkate alınmıştır. Polimer matrisli kompozitlerin kesitleri incelidikçe çekme mukavemeti artmış olup çeliğin çekme mukavemetinin üzerine çıkmıştır. Tüm incelenen malzemelerin, eğme deneyi sonrası maksimum mukavemetleri birbirine yakın elde etmiştir. Hem çekme hemde eğme deneyi sonrası elde edilen süneklik değerleri karşılaştırıldığında polimer, matrisli kompozitlerin süneklikleri çeliğin sünekliğinde daha düşüktür.

4. Mekanik testler sonrası çelik numuneler plastik deformasyona uğrayarak hasar sergilerken polimer matris kompozitler’de cam elyafların kopması ve matrisin tabaka tabaka ayrılması şeklinde hasar gözlenmiştir.
5. Çelik numunelerin kuru ortam aşınma direnci korozif ortama kıyasla düşüktür. Hem kuru hemde korozif ortama polimer matrisli kompozitlerin aşınma direncinden daha yüksektir.
6. İncelenen malzemelerin aşınma yüzeyleri incelendiğinde aşınmış çelik yüzeyleri abrasif aşınma belirtisi sergilerken polimer matrisli kompozitlerin aşınmış yüzeyleri parlak olup düz bir tabakanın sıvanmış halini anımsatmaktadır.
7. Profil olarak kullanılmalarından dolayı yorulma deneylerinin kıyaslanması gerekebilir.

KAYNAKLAR

1. Bank L. C.: “Composites for Construction – Structural Design with CFTP Materials”, *John Wiley & Sons*, Inc., (2006).
2. Tuakta C.: “Use of Fiber Reinforced Polymer Composite in Bridge Structures, Yüksek Lisans Tezi, *Massachusetts Institute of Technology*”, A.B.D. (2005).
3. Keller T.: “Use of Fibre Reinforced Polymers in Bridge Construction”, *IABSE Structural Engineering Documents No 7* (2003).
4. Şahin, Y., “Kompozit Malzemelere Giriş”, *Gazi Yayın Evi*, Ankara (2000).
5. Mallick, P.K., “Composite Engineering Handbook”, *Marcel Dekker*, New York, (1997).
6. Lopez-Anido R., Naik T.: “Emerging Materials for Civil Infrastructure. State of the Art”, *American Society of Civil Engineers*, (2000).
7. EUROCOMP, “Structural Design of Polymer Composites – EUROCOMP Design Code and Handbook”, London, Edited by Clarke, J. L., *Chapman and Hall*, (1996).
8. İnternet: Strongwell Corporation, www.strongwell.com (2020).
9. Tino SRL and Aquino EMF.” Fracture characteristics and anisotropy in notched glass fiber reinforced plastics”. *Materials Research*, 17(6) :1610-1619 (2014).
10. Kumar MS, Raghavendra K, Venkataswamy MA and Ramachandra HV. “Fractographic analysis of tensile failures of aerospace grade composites”. *Materials Research*, 15(6):990-997 (2012).
11. İnternet: Ceylan Kompozit <http://www.ceylankompozit.com/tr/> (2020)
12. “Fiberline Design Manual”, *Fiberline Composites A/S*, Kolding, (2003).
13. İnternet: ETTechnics <https://www.ettechtonics.com/> (2020)

14. İnternet: Wheels Of Italy www.wheelsofitaly.com (2020)
15. Zhou, A., Lesko, J.: “Introduction to CFTP Composites, Showcase on Virginia Fiber- Reinforced Polymer Composites: Materials”, *Design, and Construction*, Bristol, Virginia, (2006).
16. İnternet: ApATEK Uygulamalı İleri Teknolojileri www.apatech.ru (2020)
17. B. Etmanski and A. K. Blendzki “Glass Fiber Profiles as Reinforcing Material in HighEy Filled Epoxy Polymer Concrete” *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 32(4), 385-396, (1993).
18. Jara Mori G.A.,” Estudio de la aplicabilidad de materiales compuestos al diseno de estructuras de contencion de tierras y su interaccion con el terreno, para su empleo en obras de infraestructura viaria” –Doktora Tezi, *Universidad Politecnica de Madrid, E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Departamento de Ingenieria y Morfologia del Terreno* , Madrid (2008).
19. İnternet: Quakewrap - The Infrastructure Innovators www.quakewrap.com (2020)
20. Piggott M., “Load bearing fibre composites”, *Kluwer Academic Publishers*, (2002).
21. Zum Gahr K.H., “Microstructure and Wear of Materials”, *Elsevier*, Amsterdam, (1987).
22. Bahadur, S. ve Zheng, Y., “Mechanical and Tribological Behaviour of Polyester Reinforced with Short Glass Fibers”, *Wear*, 137,251-266, (1990).
23. Eleiche, A.M. ve Amin, G.M., “The Effect of Unidirectional Cotton Fiber Reinforcement on The Friction and Wear Characteristics of Polyester”, *Wear*, 112, 67-78, (1986).
24. Shim ve arkadaşları Shim, H.H., Kwon, O.K ve Youn, J.R., “Effects of Fiber Orientation and Humidity on Friction and Wear Properties of Graphite Fiber Composites”, *Wear*, 157, 141-149, (1992).
25. B.S. ve Furey M.J., “Tribological Behaviour of Unidirectional Graphite-Epoxy Carbon PEEK Composites”, *Wear*, 162-164, 385-396, (1993).

26. Ertan Kosedag, R. E., "Comparison Of The Low-Velocity Impact Behaviors Of Sic And Pumice Particle-Reinforced Metal Matrix Composites", *International Journal Of Mechanical And Production Engineering*, 10 (2320–2092): 101–105 (2017).
27. Diego Villalon A., Gutierrez Jimenez J.P., Arteaga Iriarte A., Lopez Hombrados C., Utilizacion de materiales compuestos en la construccion de nuevos puentes, *Instituto de Ciencias de la Construccion Eduardo Torroja*, Madrid (2012).
28. Landesmann, A., Seruti, C. A., Batista, E. de M., Landesmann, A., Seruti, C. A., and Batista, E. de M., "Mechanical Properties of Glass Fiber Reinforced Polymers Members for Structural Applications", *Materials Research*, 18 (6): 1372–1383 (2015)
29. Keller, T. "Material tailored use of CFTP composites in bridge and building construction", *Swiss Federal Institute of Technology Lausanne*, Switzerland, 2006.
30. Zobel H., Karwowski W.: "Potęczenia kompozytowych elementów konstrukcji mostowych", *Archiwum Instytutu Inżynierii Lądowej Politechniki Poznańskiej*, 187-199 (2007)
31. Arıkan, T.A., CTP Malzemesinin Yapısal Strüktürde Kullanılmasına Yönelik Sorunlar Ve Strüktürel Davranışının İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *GYTE Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2004)
32. Quintelier, J., Samyn, P., De Baets, P., De Doncker, L., Van Hemelrijck, D., Sol, H.," Influence of Re-adhesion on the Wear and Friction of Glass Fibre-Reinforced Polyester Composites", *The Journal of Adhesion*, volume 82, Issue 11, (2006).

ÖZGEÇMİŞ

Canipek ALTAN, 1984 yılında Karabük'te doğdu; ilk, orta ve lise öğrenimini TED Karabük Koleji'nde tamamladı. 2003 yılında Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği'nde öğrenime başlayıp 2008 yılında iyi bir derece ile mezun oldu. 2009 yılında İstanbul, HATKO A.Ş. firmasında Kömür İthalat Uzman Yardımcısı olarak göreve başladı. 2010 yılında, kısa bir süre İstanbul, THY'de çalıştıktan sonra, bir süre çalışma hayatına mola vererek, 2013 yılında, Ankara, ERKOM Kompresör Makine ve Ticaret Ltd. Şti.'de Maden Mühendisi olarak Proje Satış kısmında görev yaptı. 2016 yılında KARDEMİR Karabük Demir Çelik Sanayi ve Ticaret A.Ş. firması Satış Müdürlüğü'nde Satış Uzmanı olarak göreve başladı ve halen aynı birimde çalışmaya devam etmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : KARDEMİR Karabük Demir Çelik Sanayi ve Ticaret A.Ş.
Satış Müdürlüğü
Öğlebeli Mahallesi, Ankara-Karabük Bulvarı No:2
Merkez / KARABÜK

Tel : (530) 960 6622

E-posta : canipekaltan@hotmail.com