



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

**HİBRİT LİF VE MİNERAL TAKVİYELİ YÜKSEK
PERFORMANSLI POLİMER KOMPOZİT BORU ÜRETİMİNİN
ARAŞTIRILMASI**

ÖZCAN ÇAĞLAR

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
DİSİPLİNLER ARASI KOMPOZİT MALZEME TEKNOLOJİLERİ
ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. SERKAN SUBAŞI**

DÜZCE, 2019

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HİBRİT LİF VE MİNERAL TAKVİYELİ YÜKSEK
PERFORMANSLI POLİMER KOMPOZİT BORU ÜRETİMİNİN
ARAŞTIRILMASI

Özcan ÇAĞLAR tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Disiplinler Arası Kompozit Malzeme Teknolojileri Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Serkan SUBAŞI

Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Serkan SUBAŞI

Düzce Üniversitesi

Doç. Dr. Mehmet EMİROĞLU

Düzce Üniversitesi

Doç. Dr. Ahmet BEYÇİOĞLU

Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 29/07/2019

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

29 Temmuz 2019

Özcan ÇAĞLAR

TEŞEKKÜR

Sanayi ve Üniversite işbirliğinin bölgemizde hayata geçmesinde büyük emek ve çabalarının olduğuna inandığım çok değerli hocam Prof. Dr. Serkan SUBAŞI' na,

Yüksek Lisans öğrenimimde ve bu tezin hazırlanmasında gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı, yurt içinde iş hayatına başladığım ve halen daha çalışmakta olduğum SUPERLİT ailesi ve değerli ekip arkadaşlarıma en içten dileklerle teşekkür ederim.

Bu çalışma boyunca yardımlarını ve manevi desteklerini esirgemeyen sevgili eşim Hülya ÇAĞLAR' a, sevgili oğlum Atakan ÇAĞLAR' a ve sevgili kızım Aleyna ÇAĞLAR' a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması, TÜBİTAK 1505: Üniversite-Sanayi İşbirliği-5140058 numaralı Projesiyle desteklenmiştir.

29 Temmuz 2019

Özcan ÇAĞLAR

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	viii
KISALTMALAR.....	x
SİMGELER	xi
ÖZET	xii
ABSTRACT	xiii
1. GİRİŞ.....	14
2. KURAMSAL TEMELLER VE LİTERATÜR TARAMASI.....	16
2.1. KOMPOZİT MALZEMELER.....	16
2.2. POLİMER MATRİSLİ KOMPOZİTLER.....	18
2.2.1. Termoplastik Polimerler	20
2.2.2. Termoset Polimerler	20
2.2.3. Doymamış Polyester Reçine	21
2.2.3.1. Ortofitalik Reçineler	21
2.2.3.2. İzofitalik Reçineler.....	22
2.3. LİF TAKVİYELİ POLİMER KOMPOZİTLER.....	22
2.3.1. Lif Takviyeli Kompozitlerin Karakteristik Özellikleri	22
2.3.2. Lif Uzunluğu ve Lif Çapı.....	22
2.3.3. Lif Oranı	23
2.3.4. Liflerin Yönelmesi.....	23
2.3.5. Lifin Özellikleri	24
2.3.6. Lif ve Matris Bağlanması	24
2.4. CAM LİFİ TAKVİYELİ POLİMER KOMPOZİTLER.....	24
2.4.1. Cam Liflerin Sınıflandırılması.....	25
2.4.2. Cam Lif Uygulamaları.....	27
2.5. BAZALT LİF TAKVİYELİ POLİMER KOMPOZİTLER	29
2.5.1. Bazalt.....	30
2.5.2. Bazalt Lif Üretimi	30
2.5.3. Bazalt Lifin Özellikleri	32
2.5.4. Bazalt Lifin Endüstriyel Uygulamaları.....	35
2.6. HİBRİT LİF TAKVİYELİ KOMPOZİTLER.....	35
2.7. KOMPOZİT BORU ÜRETİM YÖNTEMLERİ.....	36
2.7.1. Sürekli Sarım Yöntemi	36
2.7.2. Savurma Döküm Yöntemi.....	37
2.8. BAZALT LİF VE CTP KOMPOZİT BORU İLE İLGİLİ LİTERATÜR ÇALIŞMALARI	41

3. MATERYAL VE YÖNTEM	44
3.1. MATERYAL	44
3.1.1. Kompozit Boru Üretiminde Kullanılan Malzemeler	44
3.2. YÖNTEM	47
3.2.1. CTP Kompozit Boru Karışım Oranlarının Belirlenmesi	48
3.2.2. Deney Numunelerinin Hazırlanması	49
3.2.3. Rijitlik Deneyi.....	49
3.2.4. Eksenel Çekme Deneyi.....	53
3.2.5. Yakmada Kayıp Deneyi.....	58
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	61
4.1. CTP KOMPOZİT BORU ÜRETİMİNDE GÖZLEMSEL BULGULAR.....	61
4.1.1. Boru Dış Yüzeyine Ait Gözlemsel Bulgular.....	61
4.1.2. Boru İç Yüzeyine Ait Gözlemsel Bulgular	61
4.1.3. Reçine Sarfiyatı Deneyi Sonuçları	62
4.2. RİJİTLİK DENEYİ SONUÇLARI	63
4.3. EKSENEL ÇEKME DENEYİ DENEYİ SONUÇLARI	66
4.4. YAKMADA KAYIP DENEYİ SONUÇLARI	69
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	72
6. KAYNAKLAR.....	73
ÖZGEÇMİŞ.....	78

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1. Matris türüne göre kompozit malzemeler	17
Şekil 2.2. Takviye türüne göre kompozitlerin sınıflandırılması	18
Şekil 2.3. Cam lif üretim görselleri.....	27
Şekil 2.4. CTP uygulama alanları.	29
Şekil 2.5. Junker tipi bazalt lif üretimi	31
Şekil 2.6. Sürekli bazalt lif üretimi	32
Şekil 2.7. Sürekli sarma yöntemi ile üretilen bazalt lif	32
Şekil 2.8. Kompozit boru katmanları - Sürekli sarım metodu	37
Şekil 2.9. Sürekli sarım makinesi	37
Şekil 2.10. Savurma döküm metodu besleme sistemi	39
Şekil 2.11. Savurma döküm üretim hattı	39
Şekil 2.12. Savurma döküm metodu CTP boru katmanları	40
Şekil 2.13. Savurma döküm metodu üretim akış şeması.	40
Şekil 3.1. Kullanılan reçine ve kürleştirme ilaveleri.	45
Şekil 3.2. Cam lif, bazalt lif ve hibrit lif.	46
Şekil 3.3. Kullanılan silika kumları ve Fuller 0,8 karışımı.	47
Şekil 3.4. Üretim sırasında beslemenin yapılması.	48
Şekil 3.5. Savurma döküm metodu ile üretilen borular.	49
Şekil 3.6. Boru No-2 ve Boru No-4 iç yüzeyi.	50
Şekil 3.7. Boru No-3 ve Boru No-4 dış yüzeyi.	50
Şekil 3.8. Rijitlik deneyi test cihazı.	52
Şekil 3.9. Rijitlik deneyi çalışma prensibi.	53
Şekil 3.10. Eksenel çekme deneyi test cihazı.	57
Şekil 3.11. Eksenel çekme deneyi numune boyutları.	57
Şekil 3.12. Yüksek sıcaklıklı kül fırın.	60
Şekil 4.1. Dış yüzey homojen olmayan renk dağılımı.	61
Şekil 4.2. İç yüzeyde meydana gelen çatlaklar.	62
Şekil 4.3. Reçine sarfiyat miktarının karşılaştırılması.	63
Şekil 4.4. Ortalama rijitlik değerlerinin kıyaslanması.	65
Şekil 4.5. Ortalama eksenel çekme dayanımının kıyaslanması.	68
Şekil 4.6. Yakmada kayıp deneyi sonuçlarının kıyaslanması.	71

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 2.1. Kompozit malzemelerin avantajları ve dezavantajları .	17
Çizelge 2.2. Matris ve takviye malzemenin görevleri .	19
Çizelge 2.3. Cam liflerin sınıflandırılması	25
Çizelge 2.4. Cam lif türlerinin kimyasal bileşimleri	25
Çizelge 2.5. Cam lif türlerinin mekanik ve fiziksel özellikleri	26
Çizelge 2.6. Bazalt lifin fiziksel ve mekanik özellikleri	34
Çizelge 2.7. Bazalt lifin termal özellikleri	34
Çizelge 3.1. Reçine teknik bilgileri.	45
Çizelge 3.2. Cam ve bazalt lif malzeme bilgileri.	46
Çizelge 3.3. Deneysel çalışma planı.	48
Çizelge 3.4. Fiziksel ve mekanik deney planı.	49
Çizelge 3.5. Deneyler için takip edilen standartlar.	49
Çizelge 3.6. Rijitlik deneyi numune özellikleri.	51
Çizelge 3.8. Boru No -1 eksenel çekme numune boyutları.	54
Çizelge 3.9. Boru No - 2 eksenel çekme numune boyutları.	54
Çizelge 3.10. Boru No – 3 eksenel çekme numune boyutları.	55
Çizelge 3.11. Boru No - 4 eksenel çekme numune boyutları.	55
Çizelge 3.12. Boru No - 5 eksenel çekme numune boyutları.	56
Çizelge 3.13. Boru No - 6 eksenel çekme numune boyutları.	56
Çizelge 3.14. Boru No-1 yakmada kayıp deneyi numune özellikleri.	58
Çizelge 3.15. Boru No-2 yakmada kayıp deneyi numune özellikleri.	58
Çizelge 3.16. Boru No-3 yakmada kayıp deneyi numune özellikleri.	59
Çizelge 3.17. Boru No-4 yakmada kayıp deneyi numune özellikleri.	59
Çizelge 3.18. Boru No-5 yakmada kayıp deneyi numune özellikleri.	59
Çizelge 3.19. Boru No-6 yakmada kayıp deneyi numune özellikleri.	59
Çizelge 4.1. Boru No -1 rijitlik deneyi test sonuçları.	63
Çizelge 4.2. Boru No-2 rijitlik deneyi test sonuçları.	64
Çizelge 4.3. Boru No-3 rijitlik deneyi test sonuçları.	64
Çizelge 4.4. Boru No-4 rijitlik deneyi test sonuçları.	64
Çizelge 4.5. Boru No-5 rijitlik deneyi test sonuçları.	64
Çizelge 4.6. Boru No-6 rijitlik deneyi test sonuçları.	65
Çizelge 4.7. Boru No -1 eksenel çekme deneyi sonuçları.	66
Çizelge 4.8. Boru No - 2 eksenel çekme deneyi sonuçları.	67
Çizelge 4.9. Boru No - 3 eksenel çekme deneyi sonuçları.	67
Çizelge 4.10. Boru No - 4 eksenel çekme deneyi sonuçları.	67
Çizelge 4.11. Boru No - 5 eksenel çekme deneyi sonuçları.	67
Çizelge 4.12. Boru No - 6 eksenel çekme deneyi sonuçları.	68
Çizelge 4.13. Boru No-1 yakmada kayıp deneyi sonuçları.	69
Çizelge 4.14. Boru No-2 yakmada kayıp deneyi sonuçları.	69
Çizelge 4.15. Boru No-3 yakmada kayıp deneyi sonuçları.	70
Çizelge 4.16. Boru No-4 yakmada kayıp deneyi sonuçları.	70
Çizelge 4.17. Boru No-5 yakmada kayıp deneyi sonuçları.	70

Çizelge 4.18. Boru No-6 yakmada kayıp deneyi sonuçları. 70



KISALTMALAR

Al_2O_3	Alüminyum trioksit
ASTM	American society for testing and materials (Amerika test ve malzeme birliği)
B_2O_3	Bor trioksit
CaO	Kalsiyum oksit
CTP	Cam lif takviyeli plastik
E - Modül	Elastik modül
F 0,8	Fuller 0,8 tane dağılımı
Fe_2O	Demir oksit
F	Uygulanan kuvvet
FT	Feeder tarafı
GPa	Gigapaskal
ISO	International organization for standardization (Uluslararası standartlar teşkilatı)
K_2O	Potasyum oksit
KT	Kalıp tarafı
MgO	Magnezyum oksit
MPa	Megapaskal
N	Newton
Na_2O	Sodyum oksit
OD	Dış çap
SiO_2	Silisyum dioksit
TiO_2	Titanyum dioksit
TS	Çekme mukavemeti
UV	Ultraviole

SİMGELER

b_g	Test parçası genişliği
cp	Centipoise
d	Çap
d_m	Ortalama çap
f	Sehim katsayısı
f_m	Matris oranı
f_f	Lif oranı
l	Uzunluk
l_c	Kritik fiber uzunluğu
ρ	Yoğunluk
S_m	Matris kırılma gerilimi
τ_i	Lif ile matris arasındaki bağlanma mukavemeti
t	Kalınlık
y	Sehim oranı
σ	Gerilme
μm	Mikrometre

ÖZET

HİBRİT LİF VE MİNERAL TAKVİYELİ YÜKSEK PERFORMANSLI POLİMER KOMPOZİT BORU ÜRETİMİNİN ARAŞTIRILMASI

Özcan ÇAĞLAR

Düzce Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, Kompozit Malzeme Teknolojileri Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Serkan SUBAŞI

Temmuz 2019, 76 sayfa

Bu çalışma kapsamında, polimer kompozit boru üretim tekniklerinden savurma döküm metodunu kullanarak yüksek fiziksel ve mekanik özelliklere sahip, hibrit lif ve mineral takviyeli, yüksek performanslı, polimer kompozit boru üretimi gerçekleştirilmeye çalışılmıştır. Üretilen kompozit borularda, matris olarak ortoftalik ve doymamış polyester reçinesi, takviye malzemesi olarak cam lifleri ve bazalt lifleri, mineral dolgu malzemesi olarak silis kumu kullanılmıştır. Kompozit boru üretimi için yapılan çalışmalar 4 aşamadan meydana gelmektedir. Birinci aşamada, farklı oranlarda bazalt ve cam lif kullanımıyla hibrit lif takviyeli kompozit boru üretimi yapılmıştır. İkinci aşamada, Fuller 0,8 tane dağılımına sahip silis dolgulu hibrit mineral ve cam lif takviyeli kompozit boru üretimi gerçekleştirilmiştir. Üçüncü aşamada, belli bir tanecik dağılımına sahip hibrit mineral takviyeli borular daha az reçine kullanımı ile üretimi gerçekleştirilmiştir. Dördüncü aşamada savurma döküm metodu ile üretilen hibrit lif ve mineral takviyeli CTP kompozit boruların mekanik ve fiziksel testlere tabi tutulmuştur. Mekanik test kapsamında rijitlik, aksenal çekme ve çembersel çekme deneyleri; fiziksel test kapsamında yakmada kayıp deneyleri uygulanmıştır. Deneyler sonucunda bazalt lif takviyeli boruların mekanik özelliklerinin arttığı fakat fiziksel özelliklerinin bozulduğu ve üretim sırasında kolay ıslanmadığı bundan dolayı da reçine sarfiyatının arttığı görülmüştür. F0,8 tane dağılımına sahip silis dolgulu hibrit mineral takviyeli CTP boruların mekanik ve fiziksel özelliklerinin sabit kaldığı görülmüştür. Silis kumunun daha az reçine sarfiyatı ile üretildiği CTP borularda ise mekanik değerlerin standart değerlerin üzerinde olduğu görülmüştür. Hibrit lif ve mineral kullanımı ile bazı boru mekanik özelliklerinde iyileşmeler sağlanmıştır.

Anahtar sözcükler: Bazalt lifi, hibrit mineral, savurma döküm, CTP, kompozit boru.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE PRODUCTION OF HYBRID FIBER AND MINERAL REINFORCED HIGH PERFORMANCE POLYMER COMPOSITE PIPE

Özcan ÇAĞLAR
Düzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Composite Material
Technologies
Master's Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Serkan SUBAŞI
July 2019, 76 pages

In this study, hybrid fiber and mineral reinforced polymer composite pipes have been produced with high mechanical and physical properties by centrifugal casting production method. Orthophthalic unsaturated polyester as resin, glass fiber and basalt fiber as reinforcement and silica sand with specific particule size as mineral have been used on production. Experimental works are consist of four stages of production for the polymer composite pipe. At first stage, basalt fiber and glass fiber reinforced composite pipes are produced with different fiber ratio. At second stage, silica sand filler having Fuller 0,8 partical size reinforced composite pipes are produced. At third stage, silica sand filler having Fuller 0,8 partical size reinforced composite pipes are produced using lower resin quantity. At fourth stage, mechanical and physical tests are applied on hybrid fiber and mineral reinforced composite pipe produced by centrifugal casting process. Stiffness and tensile tests as mechanical test and loss on ignition test as physical test are applied. As results of applied tests, bazalt fiber improved mechanical strength of pipe on the other hands it decreased pyhsical and visual properties. Also wetting of basalt fiber is harder than wetting of glass fiber, therefore resin quantity of basalt fiber was higher than standard production. Mineral with Fuller 0,8 partical size reinforced composite pipe has protected mechanical and physical properties. Mechanical properties of pipe with lower resin and hybrid mineral are above the related standard.

Keywords: Basalt fiber, hybrid mineral, centrifugal casting, GRP, composite pipe.

1. GİRİŞ

Günümüzde teknolojinin gelişmesi ile birlikte kullanılan teknolojiler sürekli kendini geliştirme ve gelişen teknolojiler ile birlikte kendi alternatif ürünlerini ortaya çıkarmaktadır. Gelişen dünyamızda kendini sürekli geliştiren teknolojilerden biriside kompozit malzemelerin dünyasıdır. Kompozit malzemeler sahip olduğu özelliklerden dolayı günümüzde çeşitli sektörlerde kullanılmaktadır. Bu sektörler içerisinde otomotivden havacılığa, yer altı uygulamalarından elektriğe kadar çeşitli sektörler yer almaktadır. Kullanıldığı sektörlerden birisi ise akışkanları taşımamıza ve depolamamıza yarayan boru sektörüdür. Boru sektöründe sahip olduğu fiziksel, mekanik ve hidrolik özelliklerinden dolayı cam lif takviyeli kompozit borular oldukça tercih edilmektedir.

Kompozit malzemeler yapı olarak matris, dolgu, takviye malzeme ve kimyasal ajanlardan meydana gelmektedir. Takviye malzeme olarak cam lif kullanıldığından bu tür kompozit malzemelere cam lif takviyeli kompozit malzeme denilmektedir. Cam lif takviyeli kompozit borularda kullanılan belli başlı üretim çeşitleri bulunmaktadır. Bunlara örnek olarak; sürekli lif sarma, açılı lif sarma ve savurma döküm verilebilir. Belirtilen bu üretim çeşitlerinde genel olarak reçine amacıyla termoset reçineler tercih edilmektedir. Ülkemizde de genellikle bu doğrultuda kullanılan termoset reçine türü doymamış polyesterdir. Mukavemeti sağlamak için yapıda bulunan takviye malzeme ise cam liften oluşmaktadır.

Cam lif takviyeli kompozit malzemelerin mekanik ve fiziksel özelliklerini iyileştirmek ve arttırmak için yapı içerisinde farklı takviye türleri ya da dolgu malzemeleri kullanılması oldukça yaygın bir yöntemdir. Bu doğrultuda bu çalışmanın amacı; bazalt lifin hibrit lif malzeme olarak cam lif ile birlikte ya da tek başına belirli bir partikül dağılımına sahip olan Fuller 0,8 parçaçık dağılımlı silika kum minerali ile savurma döküm metodunda kullanılmasının araştırılmasıdır.

Bu çalışma ile bazalt lifin kompozit boru üretim tekniklerinden biri olan savurma döküm metodunda uygulanabilirliği, avantajları ve dezavantajları görülmüş olacaktır. Bununla birlikte alternatif bir lif materyali olarak savurma döküm prosesi için literatürde yerini almış olacaktır.

Fuller 0,8 partikül dağılımına sahip olan mineral dolgu malzemesinin cam lif takviyeli kompozit boruların mekanik özelliklerine ve kullanılan reçine miktarına etkisi belirlenmiş olacaktır.

2. KURAMSAL TEMELLER VE LİTERATÜR TARAMASI

2.1. KOMPOZİT MALZEMELER

Plastik ya da polimer matrisin lif ile takviyelendirildiği malzemeler lif takviyeli plastik ya da polimer kompozit malzeme olarak geçmektedir. Matrisi desteklemek için kullanılan lif genellikle cam, karbon, bazalt ya da aramid lifleridir. Matris için kullanılan polimer malzeme ise genellikle termoset malzeme olan doymamış polyester, vinil ester, epoksi ve türevlerinden oluşmaktadır. Lif takviyeli plastik kompozitler elektrik sektöründen havacılığa, otomotiv ürünlerinden inşaat endüstrisine kadar çeşitli sektörlerde kullanılmaktadır.

Yukarıda değinildiği gibi kompozit malzemeler doğal olarak ya da yapay olarak iki ve ikiden fazla malzemenin bir araya gelmesinden oluşmaktadır. Doğal ya da mühendislik doğrultusunda bir araya getirilen bu bileşenlerin başlangıç ve son durumları arasında fiziksel ve kimyasal özelliklerinin değiştiği görülür. Lif takviyeli kompozit malzemelerde yapının desteklenmesi ve mukavemet artışını lifler sağlarken, matris malzeme liflere kıyasla daha düşük mukavemet değerlerine sahiptir. Burada amaç düşük yoğunluklu fakat yüksek mukavemete sahip malzemeler oluşturmaktır [1].

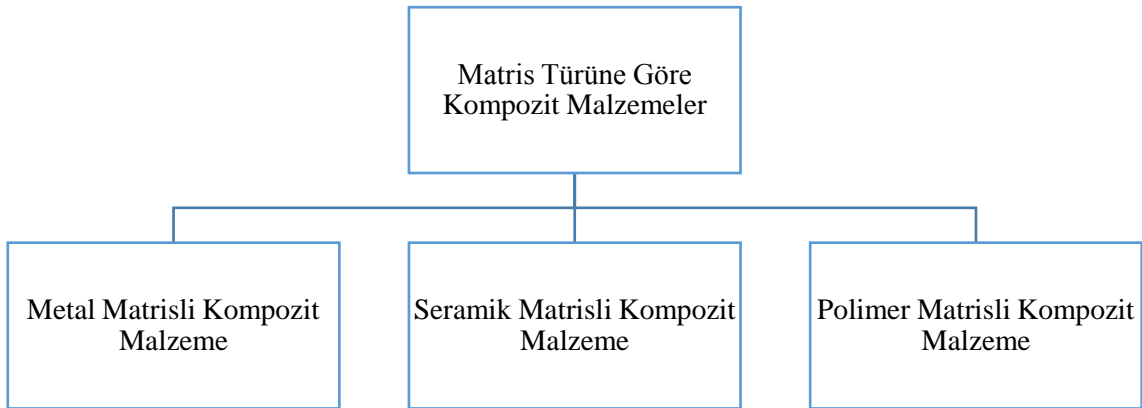
Çizelge 2.1'de kompozit malzemelerin sahip olduğu avantajları ve dezavantajları belirtilmiştir. Belirtilen bu bilgiler matris ve takviyelendirici malzemenin sahip olduğu bütün özelliklerin ortak bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır. Kullanılan matris ve lif takviyesinin değiştirilmesi ile farklı özelliklerde yapıların oluşturulması sağlanabilir [2].

Çizelge 2.1. Kompozit malzemelerin avantajları ve dezavantajları [2].

Avantajları	Dezavantajarı
Hafiflik	Malzeme maliyetleri
Yüksek spesifik sağlamlık	Düzenli tasarım kurallarının eksikliği
Yüksek spesifik mukavemet	Metal ve kompozit dizaynlarının nadir olması
Özellikleri değiştirebilme	Uzun geliştirme süreleri
Kompleks şekiller kolaylıkla kalıplanabilir	Üretim zorlukları(manuel, yavaş, çevresel problemler, zayıf güvenilirlik)
Bütün parçalarının sistem maliyetlerini düşürmesi	Hızlandırıcılar
Kolayca bağlanabilir	Düşük esneklik
İyi yorulma direnci	Sıcaklık limitleri
İyi sönümlenme	Hasar tespiti
Kırılma değerliliği	Gizli hasarlar
Düşük termal genişleme	
Düşük elektriksel iletkenlik	

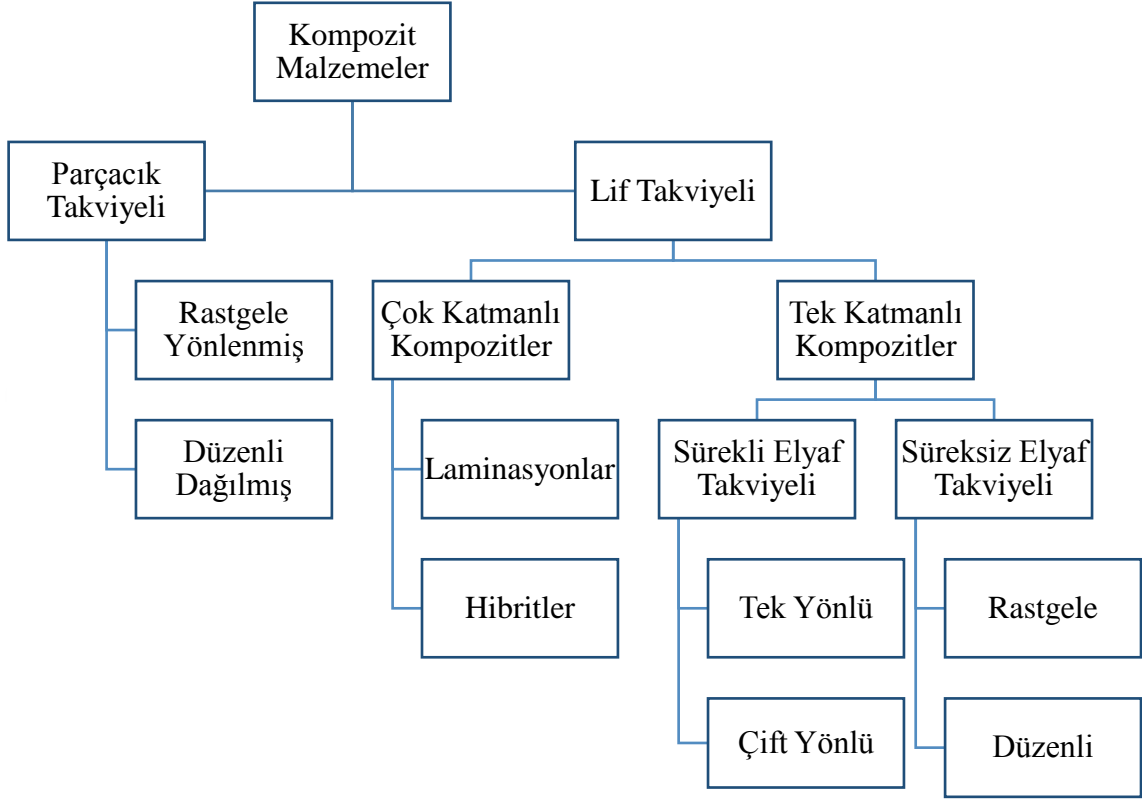
Kompozit malzemelerde sürekli fazlı matris oluşturmaktadır ve bu sayede yapıya şeklini vermektedir. Bundan dolayı matris malzemeler kolayca şekil alabilen ve sonrasında bu şeklini korumaya devam eden malzemelerdir. Matris malzemelerin en fazla bilinen malzeme çeşidi ise polimerlerdir. Bu durum güncel dünyamızda kompozit malzemelerin % 90 ve üzerinde kullanılan matris malzemenin polimer olması ile açıklanmaktadır.

Kompozitler, matris malzeme türüne göre 3 temel gruba ayrılır. Genel sınıflandırma aşağıda Şekil 2.1’de yer almaktadır [3]-[5].



Şekil 2.1. Matris türüne göre kompozit malzemeler [3].

Lif takviyeli kompozitler ise yukarıda belirtilen ana gruplardan herhangi birinin lifli mukavemetlendirilmesiyle ortaya çıkmaktadır. Kompozit ürünlerin takviyelendirme türlerine göre yaygın olan sınıflandırma Şekil 2.2’de yer almaktadır [6], [7], [8], [9].



Şekil 2.2. Takviye türüne göre kompozitlerin sınıflandırılması [7].

2.2. POLİMER MATRİSLİ KOMPOZİTLER

Polimerler; karbon, hidrojen ve diğer metalik olmayan elementlerden meydana gelen organik bileşenlerdir. Kompozit malzemelerde en fazla gelişen matris grubu polimer matris kompozitlerdir ve bu sayede uygulama alanları oldukça geniştir [10].

Polimer matrisli kompozit malzemenin uygulamalarında matris fazı için termoset veya termoplastik polimerler kullanılmaktadır. Matris malzeme aynı zamanda yapının takviye elemanı olan liflerin etrafını sarmakta ve örtmektedir. Bu durumda kompozit malzemenin dış yüzeyle direk temasta bulunan bölgesi matris malzemedir. Kompozit malzemenin herhangi bir mekanik etki ile temas ettiği ilk kısım aynı şekilde matris bölgesidir fakat lifler kadar mukavemetli olmadığından dolayı matrisin mekanik etkilere karşı üstün performans göstermesi beklediğimiz bir özelliği değildir. Matris malzemenin

bir diğ er görevi bu durumda ortaya çı kmaktadır ve maruz kald ığı mekanik etkiyi liflere do ğ ru bir biçimde iletebilmelidir. Kompozit malzemenin istenilen performansına ulaşı labilmesi için yük transferi oldukça en önemli parametrelerden birisidir [2], [10].

Takviye malzemenin görevi ise sahip oldu ğ u mekanik özelliklerden dolayı sa ğ lamlık ve mukavemet sa ğ lamaktır. Lifler en yüksek mukavemet de ğ erlerini lifleri do ğ rultusunda almaktadır. Bu özelliğ inden dolayı istenilen mukavemet de ğ erlerini yakalamak için kompozit malzemelerde liflerin do ğ rultusu ve oranı tasarımı yapan kiş ilere bırakılır. Kompozit malzemelerde liflerin yön lenmesi ve kuvvetlerin yön lerinin farklı olması birbirinden farklı üretim türlerinin ortaya çı kmasına neden olmuş tur.

Kompozit malzemelerin sahip oldu ğ u özellikler matris malzeme ve takviye liflerinin sahip oldu ğ u özelliklerin birleş iminden meydana gelmektedir. Matris yüzey, lifleri do ğ ru biçimde sarmazsa ve lifler yüksek mukavemet özelliklerine sahip de ğ ilse tasarlanan mukavemet de ğ erlerine ulaş ılması zordur. Matrisin ve takviye malzemenin görevleri Ç izelge 2.2’de gösterilmiş tir [2].

Ç izelge 2.2. Matris ve takviye malzemenin görevleri [2].

Matris	Takviye
Son ürünün ř eklini oluř turma,	Kompozit malzemenin mekanik özelliklerini, sa ğ lamlı ğ ı ve mukavemeti sa ğ lama,
Takviye malzemeyi dı ř etkileř imlerden koruma,	İ letkenlik, termal genleş me ve ısı l taş ınım gibi özellikleri sa ğ lama.
Mekanik gerilmeleri takviyeye iletme,	

Kompozit malzeme için düşünö len bir matrisin ař ağı daki özelliklere sahip olması istenmektedir;

- Düş ük viskozite,
- Lifleri dü zğ ün biçimde sarma ve katı forma geç iř ,
- Lifleri do ğ ru biçimde ıslatabilmeli,
- Boř luksuz bir ara yüzey meydana getirmelidir [11].

Polimer matris kompozitlerde matris malzeme termoset ya da termoplastik olabilir. Termoset matris malzemeler; polyester, vinilester, epoksi, bisfenol ve fenolik reç inelere

ayrılmaktadır. Termoplastik matris malzemeler ise poliamid ve polipropilen örnek verilebilir [12].

Termoset matris kompozitlerin kürlenmesi için 10-14 saat arasında kürlenme süresine ihtiyaç olmaktadır. Kürlenme işlemi iki aşamadan oluşmaktadır. İlk olarak reçinenin jelleşmeye başlaması için yapı içerisinde üç boyutlu çapraz bağlanmanın başlaması gerekir. Bu aşamada istenilen şekilde sonuçlanırsa kompozit ürünün son halinde arzulanan çevresel ve mekanik değerlere ulaşılır [13].

2.2.1. Termoplastik Polimerler

Termoplastik polimer malzemeler oda sıcaklığında katı halde bulunmaktadır ve kullanım işlemi sırasından ısıtılarak ergiyik hale getirilmeye ihtiyaç duyulmaktadır. Farklı proseslerle istenilen şekil verildikten sonra soğutularak son halini devam ettirilmesi sağlanır. Enjeksiyon ve ekstrüzyon gibi uygulamalarda termoplastiklerin bu davranışından yola çıkılarak ürün üretilir. En çok tercih edilen termoplastik türlerine polietilen, polipropilen, naylon, polivinilklorür ve polietilenterafitalat verilebilir. Termoplastik malzemeleri termoset malzemelerden ayıran en önemli özelliklerden birisi ısıtıldıktan sonra tekrardan kullanılabilmesidir [2].

2.2.2. Termoset Polimerler

Polimer matris kompozitlerde en çok tercih edilen matris materyali termoset polimerlerdir [14]. Termoset polimerler, termoplastikler malzemelerden farklı olarak ısıtıldıktan sonra tekrar tekrar kullanılamazlar. İstenilen son hali tek seferde alması gerekir [14], [15].

Çünkü, kürlenme işlemi sırasında termoset malzeme yapısı içerisinde çapraz bağlar oluşturmaya başlar. Oluşan bu çapraz bağlar daha sonra ısı uygulandığında malzemenin yumuşamasını ya da çözünmesini engeller. Belirttiğimiz bu sebeplerden dolayı termoset plastikler geri dönüştürülemez malzeme olarak bilinirler. Fakat sıcaklık arttıkça göstermiş oldukları mukavemet değerleri düşer [9], [14].

Termoset malzemeler yapısında bulunan çapraz bağlanmadan dolayı kırılğan malzemelerdir ve şekil değiştirme oranları düşüktür [8], [9].

Termoset reçineler arasında kullanım amacı ile en fazla kullanılan ürün çeşidi polyester ve vinil esterlerdir. Kompozit ürünlerde cam lif ile birlikte farklı varyasyonlar oluşturularak tercih edilmektedir [4].

2.2.3. Doymamış Polyester Reçine

Doymamış polyester reçineler termoset polimerler arasında en fazla tercih edilen matris türüdür. Bunun sebebi ise maliyet olarak daha ucuz olmasıyla birlikte doymamış polyester reçinelerin diğer avatanjları termoset reçine türlerinden daha kolay üretim parametlerine sahip olması, özelliklerinin kolaylıkla değiştirilebilmesi ve farklı teknolojilerde kolaylıkla kullanılmasıdır [2].

Doymamış polyester reçineler korozyon ve kimyasal direncinden dolayı tank ve boru üretiminde ilk sırada tercih edilir [2].

Doymamış polyester reçinesi, yapısında doymamış karbonlar arası çift bağları içerir. İki işlemlerle alkol ile doymamış organik asitin reaksiyona girmesiyle doymamış polyester elde edilir. Kullanılan alkol çeşitlerine örnek olarak malik, fümerik, fitalik ve terafitalik asit verilebilir. Alkollere propilen grikol verilebilir. [16] , [17].

Polyesterlerin üretimi sırasında yapısında bulundurduğu karbonlar arası çift bağlar oldukça önemlidir. Çünkü karbonlar arası çift bağlar çapraz bağ oluşumu sırasında sürekliliğin devamını sağlamaktadır fakat yapı içerisinde fazla çift bağ bulunması son üründe istenmeyen bazı durumlara yol açabilmektedir. Buna örnek olarak çapraz bağlanma arttıkça yapının kırılabilirliğinin artması verilebilir. Bu durumun önüne geçmek için bazı çift bağlar sadece çapraz bağlanır ya da doymamış bağlar başka doymuş bağ yapıları ile yer değiştirilir. Bahsedilen ikinci durum iki farklı iki fonksiyonlu asitin karıştırılmasıyla sağlanır.

Doymamış polyester reçinelerde reçineden istenilen fiziksel ya da mekanik özelliklere bu aşamada doymuş iki fonksiyonlu asitlerin seçimi karar verir. En yaygın kullanılan doymuş diasitler, ortofitalik ve izofitalik doymamış polyesterlerde kullanılan doymuş asitlerdir [2].

2.2.3.1. Ortofitalik Reçineler

Bu kategoride yer alan reçineler genel amaçlı ya da ortofitalik reçine olarak bilinmektedir. Sahip olduğu kimyasal içerik fitalik anhidrid, maleik anhidrid ve propilen

glikolden meydana gelmektedir. Aromatik karbon gruplarında yer alan karbonlara sahip olarak doymamış polyesterin özellikleri ortaya çıkar. Ortofitalik reçinelerin genel amaçlı olmasının sebeplerinden birisi diğer türlerine göre daha ucuz ve stirenle daha iyi uyuma sahip olmasıdır [2].

2.2.3.2. İzofitalik Reçineler

İzofitalik asit; en fazla kullanılan ikinci polyester çeşididir. Ortofitalik asitten farkı yapısında bulunan asidin aromatik karbona bağlanış yeridir. Bu bağlanma yerinin değişimi çoğu özelliklerini değiştirmektedir. Bu özellik değişimi izofitaliğin daha iyi mukavemet, tokluk, termal ve sıvı direncine sahip olmasına yol açar. İzofitalik reçine maliyet olarak ortofitalik reçineden biraz daha pahalıdır. İzofitalik reçine uygulama alanı olarak daha çok dış kaplama sistemlerinde tercih edilmektedir ve uygulamalarda jelkot olarak da geçmektedir [2]

2.3. LİF TAKVİYELİ POLİMER KOMPOZİTLER

Lif takviyeli kompozitler, takviyenin lif formunda bir faz içerisinde dağıldığı en önemli teknolojik gruplardan birisidir. Sistemde kullanılan lifler ana yükü taşır ve matrisin görevi liflere oldukça doğru şekilde iletmektir. Lif takviyeli kompozitlerin tasarım amaçları yüksek mukavemet ve spesifik mukavemet elde etmektir [10].

2.3.1. Lif Takviyeli Kompozitlerin Karakteristik Özellikleri

Lif takviyeli kompozitlerin tasarımı sırasında pek çok faktör düşünülmelidir. Bunlara örnek olarak lif uzunluğu, çapı, yönlenmesi, oranı, özellikleri, matrisin yapısı, matris ve lifin bağlanması verilebilir.

2.3.2. Lif Uzunluğu ve Lif Çapı

Lif takviyeli kompozitlerde kullanılan lifler kısa, uzun ve sürekli halde bulunmaktadır. Liflerin boyları sıklıkla kesit oranı (l/d) ile tanımlanmaktadır. l , lif uzunluğu, d ise çaptır. Standart liflerin çapları 10 μm ile 150 μm arasında değişmektedir. Kesit oranı arttığında kompozit malzemenin mukavemeti de artmaktadır. Çünkü lifler yüzey kusurlarından dolayı sürekli kırılmaktadır. Çapı mümkün olduğu kadar düşük yaptığımızda yüzey alanı düşmekte ve kusur miktarı da azalmaktadır. Ayrıca uzun lif tercih edilmektedir. Çünkü lif uçları geriye kalan bölgeden daha az yük taşır sonuç olarak uçların azlığı yük taşıma kapasitesini artırır [6].

Çoğu lif takviyeli sistemde, yüksek kesit oranlı kırpıntı lifler kolay kullanım ve özellikler arasında uygunluk yakalamak için tercih edilebilmektedir. Kritik lif uzunluğu, l_c , verilen herhangi bir lif çapı, d , için aşağıdaki denkleme göre bulunabilir.

$$l_c = \frac{TS_f d}{2\tau_i} \quad (2.1)$$

Formülde;

l_c : lif uzunluğu

d : lif çapı

TS_f : lif çekme mukavemeti

τ_i : lif ile matris arasındaki bağlanma mukavemeti'ni ifade etmektedir.

Lif uzunluğu eğer l_c 'den düşükse takviye etkisi az görünür, eğer $15l_c$ 'den büyükse sürekli gibi davranır. Kompozitin mukavemeti ise aşağıdaki denklemden hesaplanır [6].

$$\sigma_c = f_f TS_f \left(1 - \frac{l_c}{2l}\right) + f_m S_m \quad (2.2)$$

Formülde;

f_f : lif oranı

f_m : matris oranı

S_m : matris kırılma gerilimi'ni ifade etmektedir.

2.3.3. Lif Oranı

Karışım kuralı gereği kompozit malzemede lif oranı arttıkça mukavemet ve rijitlik değeri artmaktadır. Maksimum karışım oranı % 80'dir, bunun üzerindeki değerlerde matris lifi doğru biçimde saramamaktadır [6].

2.3.4. Liflerin Yönelmesi

Kompozit malzemede lifler matris içerisine belli oryantasyonlarda dahil edilmektedir. Kısa ve rastgele oryantasyona sahip lifler matris içerisine kolaylıkla dahil edilir ve yapıya kısmen izotropik özellik verir. Uzun ya da sürekli lifler tek yönlü yönelme meydana getirdiğinden anizotropik özellik verir. Lif doğrultusunda mukavemet ve rijitlik değerleri oldukça yüksektir fakat ters yönde mukavemet değeri daha düşüktür. Bunun için farklı yönelmelere sahip sistemler üretilmektedir [6].

2.3.5. Lifin Özellikleri

Lif takviyeli kompozitlerin çoğunda lifler güçlü, sert ve düşük ağırlığa sahiptir. Yüksek sıcaklıklarda kullanılan liflerin çoğu yüksek erime sıcaklığına sahiptir. Bu yüzden karakteristik mukavemet ve karakteristik modül önemlidir.

$$\text{Karakteristik mukavemet} = \text{çekme mukavemeti (TS)} / \text{yoğunluk } (\rho) \quad (2.3)$$

$$\text{Karakteristik modül} = \text{elastik modül (E)} / \text{yoğunluk } (\rho) \quad (2.4)$$

En yüksek karakteristik modül genellikle düşük atom numaralı ve kovalent bağlı malzemelerde görülür. Bunlara örnek olarak karbon ve bor lifleri verilebilir. Bu iki lif oldukça yüksek mukavemet ve ergime sıcaklığına sahiptir [6].

2.3.6. Lif ve Matris Bağlanması

Polimer matris kompozitlerde çeşitli bileşenler arasında iyi bir bağlanma elde edilmektedir. Eğer matristen liflere uygun bir yük transferi yapılıyorsa lifler matrise düzgünce tutunmuştur. Ayrıca, eğer tutunma zayıfsa, lifler yükleme sırasında matristen sıyrılabilir, mukavemet ve kompozitin kırılma direnci azalabilir.

Cam lifler silan ile kaplıdır ve kompozitlerde bu bağlanmayı ve nem direncini arttırmaktadır. Aynı durum karbon lifler için de geçerlidir. Dikkat edilmesi gereken bir diğer özellik ise matris ve takviye arasındaki termal genişleme katsayısıdır. Lif ve matris arasında genişleme farkları fazla ise lifler kırılabilir ya da tutunma bozulabilir. Bu durum ön kusurlara neden olur.

Çoğu kompozitlerde tekil tabaka ya da katmanlar bir araya getirilir. Bu katmanlar arasındaki tutunma iyi olabilir ya da deliminasyon olarak bilinen katmanlar arası ayrılma meydana gelir [6].

2.4. CAM LİFİ TAKVİYELİ POLİMER KOMPOZİTLER

Lif takviyeli kompozitler bütün mühendislik uygulamaları için yıllardır kullanılmaktadır [18]. Kompozit malzemeleri üretimde en yaygın olarak cam lif takviyeli kompozitler kullanılmaktadır. Matris olarak polyester, vinilester, fenolik ve epoksi vardır [19]. Lif takviyeli kompozitlerin mekanik davranışları lif mukavemeti, modülüsü, kimyasal kararlılığı, matris mukavemeti, gerilme transferi ve lif/matris arasındaki arayüz

bağlanmasına dayanmaktadır [20]. Çeşitli cam lif takviyeli örnek olarak boylamasına, dokuma örgü, kırpıntı lif ve kırpıntı mat, kompozitlerin mekanik ve tribolojik özelliklerini geliştirir [21]. Polimerlerin yüksek maliteyi ticari uygulamalarda kullanımını kısıtlayabilmektedir. Bundan dolayı maliyet düşürmek için dolgular da kullanılmaktadır [22]. Kompozit malzemeler endüstriyel uygulamalarında oldukça genişçe kullanılmaktadır. Deniz ve boru endüstrisinde çevresel dirençleri, iyi hasar toleransları, yüksek karakteristik mukavemeti ve rijitliğinden dolayı tercih edilmektedir [23].

2.4.1. Cam Liflerin Sınıflandırılması

Cam liflerin genel sınıflandırılması fiziksel özelliklerine göre belirlenir. Aşağıdaki çizelgelerde cam liflerin sınıflandırılması, kimyasal bileşimleri, mekanik ve fiziksel özellikleri yer almaktadır [5].

Çizelge 2.3. Cam liflerin sınıflandırılması [5].

Cam Lif Sınıfı	Fiziksel Özellik
A	Yüksek sağlamlık, mukavemet ve elektrik direnci
C	Yüksek korozyon direnci
D	Düşük dielektrik sabiti
E	Yüksek mukavemet ve elektrik direnci
AR	Alkali direnci
R	Yüksek mukavemet ve korozyon direnci
S	Yüksek çekme mukavemeti
S-2	Yüksek mukavemet, modül ve kararlılık

Çizelge 2.4. Cam lif türlerinin kimyasal bileşimleri [5].

Tür	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	TiO ₂ (%)	B ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	Fe ₂ O ₃ (%)
E	55,0	14,0	0,2	7,0	22,0	1,0	0,5	0,3	-
C	64,6	4,1	-	5,0	13,4	3,3	9,6	0,5	-
S	65,0	25,0	-	-	-	10,	-	-	-
A	67,5	3,5	-	1,5	6,5	4,5	13,5	3,0	-
D	74,0	-	-	22,5	-	-	1,5	2,0	-
R	60,0	24,0	-	-	9,0	6,0	0,5	0,1	-
EGR	61,0	13,0	-	-	22,0	3,0	-	0,5	-

Çizelge 2.5. Cam lif türlerinin mekanik ve fiziksel özellikleri [5].

Tür	Yoğunluk (g/cm³)	Çekme Mukavemeti (GPa)	Young Modül (Gpa)	Uzama (%)	Termal Genleşme Katsayısı (10⁻⁷/°C)
E	2,58	3,445	72,3	4,8	54
C	2,52	3,310	68,9	4,8	63
S₂	2,46	4,890	86,9	5,7	16
A	2,44	3,310	69,9	4,8	73
D	2,11 – 2,14	2,415	51,7	4,6	25
R	2,54	4,135	85,5	4,8	33
EGR	2,72	3,445	80,3	4,8	59
AR	2,70	3,241	73,1	4,4	65



Şekil 2.3. Cam lif üretim görselleri.

2.4.2. Cam Lif Uygulamaları

Elektronik: Cam lif takviyeli kompozitler elektronik devre üretiminde, radyo, bilgisayarlar, cep telefonları ve elektrikli motor kapaklarında kullanılmaktadır.

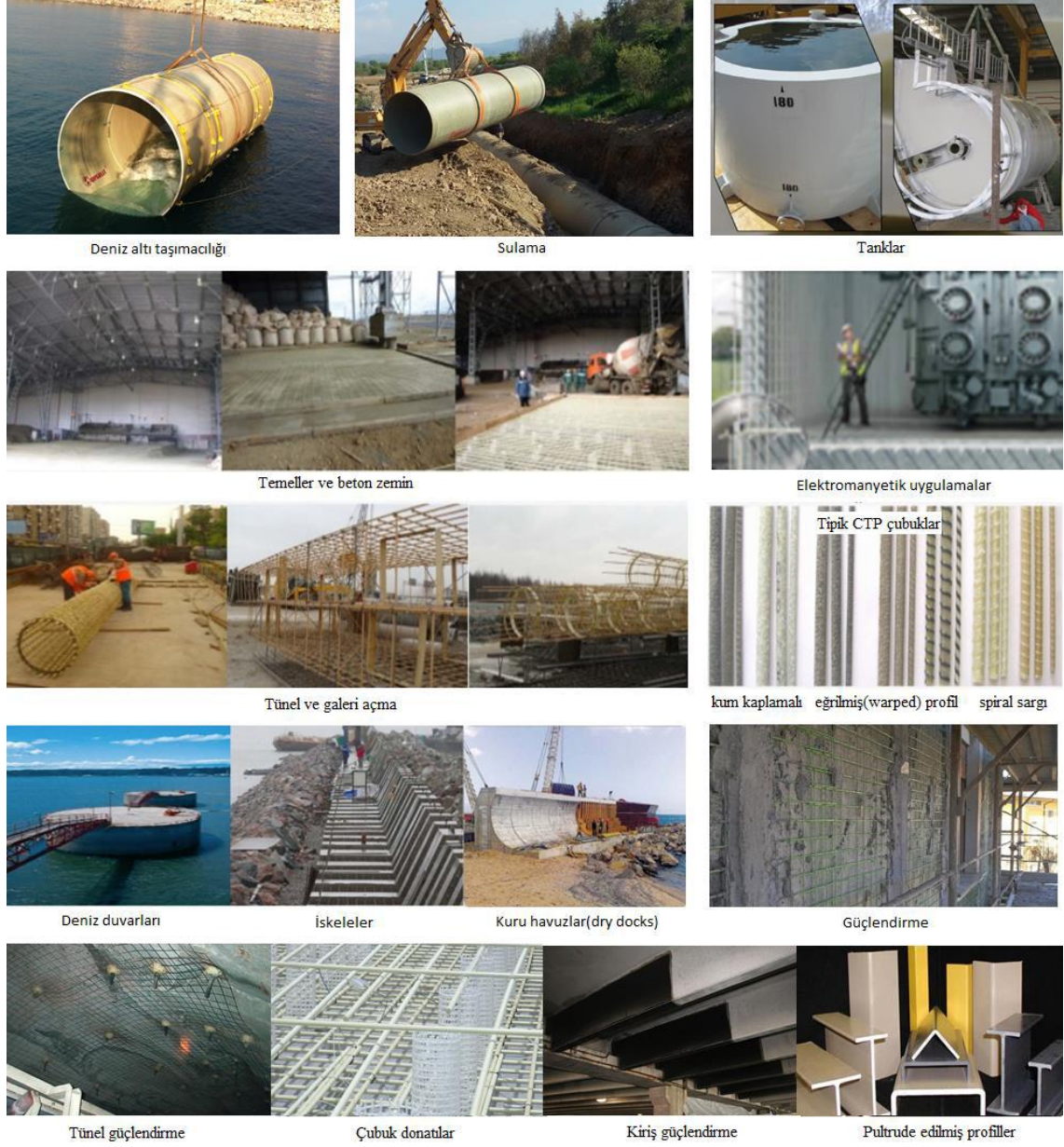
Ev ve mobilya: Çatı levhaları, banyo mobilyaları, pencereler, masalar örnek verilebilir.

Deniz uygulamaları: Deniz uygulamalarında bot yapımı için malzeme özellikleri uygundur. Ayrıca çelik ve odunla kıyasladığımızda hafif kalabilmektedir [5].

Yer altı uygulamaları: CTP borular yer altı ve yer üstü borulama sistemlerinde sahip olduğu özelliklerden dolayı kullanılabilir. Bunlara örnek olarak;

- İçme suyu ve temiz su iletim hatları
- Sulama ana iletim ve şebeke hatları
- Yağmur suyu ve drenaj hatları
- Kanalizasyon hatları
- Endüstriyel atık su iletim hatları
- Deniz altı borulama, su alma, deşarj hatları ve difüzörler
- Kimyasal tesislerin borulama hatları
- Enerji santralleri sirkülasyon hatları
- Hidroelektrik santral iletim ve cebri boru hatları
- Jacking boru ve relining (sürme) boru hatları örnek verilebilir [24].

Şekil 2.4'te CTP kompozitlerin uygulama alanları gösterilmektedir.



Şekil 2.4. CTP uygulama alanları.

2.5. BAZALT LİF TAKVİYELİ POLİMER KOMPOZİTLER

Kompozit malzemelerin üretiminde günümüzde yüksek bir artış gözlenmektedir. Yoğun şekilde gelişen polimer kompozit malzemeler farklı sektörlerde kullanılmaktadır. Kompozit malzemeleri güçlendirmede en temel yöntemlerden birisi liflerdir. Cam ve karbon lif takviye olarak farklı sektörlerde kullanılmaktadır. Karbon lif yüksek maliyeti yüzünden seri üretime tam anlamıyla uygun değildir. Günümüzde bazalt taşlarından sürekli lif üretimi gerçekleştirilmektedir. Bu üretimde maliyet cam lif ile eş ya da bazı durumlarda daha düşüktür. Bu sayede bazalt lif ve malzemeler cam ve karbon lif ile birlikte diğer takviye malzemelere kıyasla tercih edilebilir durumdadır [25].

2.5.1. Bazalt

Bazalt, volkanik magma ve akışkan volkanlardan çok sıcak sıvı veya katıya yakın sıvının açık ortamda katışlamasıyla oluşur. Bazalt yaygın olarak volkanik taş türüdür ve koyu gri renklidir [25- 28].

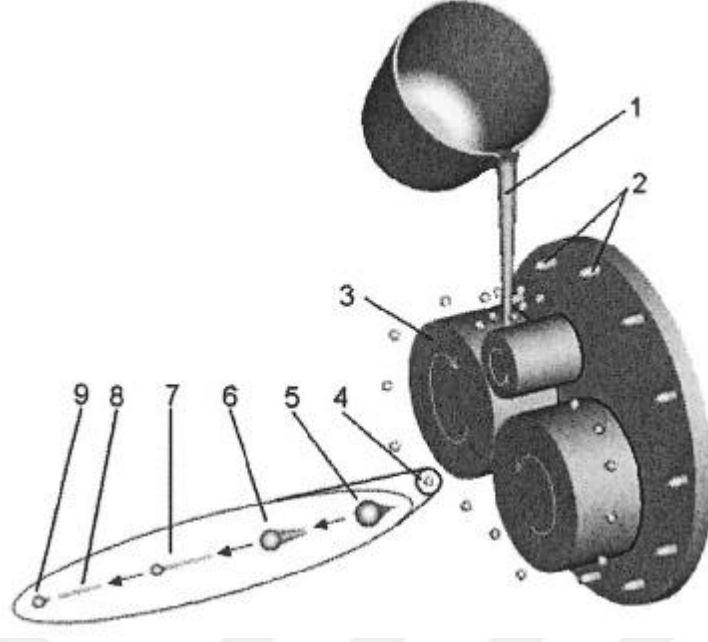
Bazalt taşı yatakları Doğu Asya da 200 metre yüksekliğe sahip kalınlıkta bulunmaktadır. Aynı zamanda Rusya sınırsız rezervlere sahiptir.

Bazalt lifi is malzeme olarak oldukça ince bazalt liflerinden meydana gelmektedir. Bu bazalt lifleri ise piroksin, pirojen ve olivinden minerallerinden meydana gelmektedir. Bazalt taş fiberleri hava ya da su ile toksik bir reaksiyon göstermez, yanmaz ve patlamazdır. İyi sertlik ve termal özelliklere sahiptir [29].

2.5.2. Bazalt Lif Üretimi

Bazalt liflerin üretim şekli, cam lif ile benzer özelliklere sahiptir. Hatta katkı ilavesinin olamaması ve enerji tüketiminin az olması üretim maliyetini ucuzlatmaktadır [30].

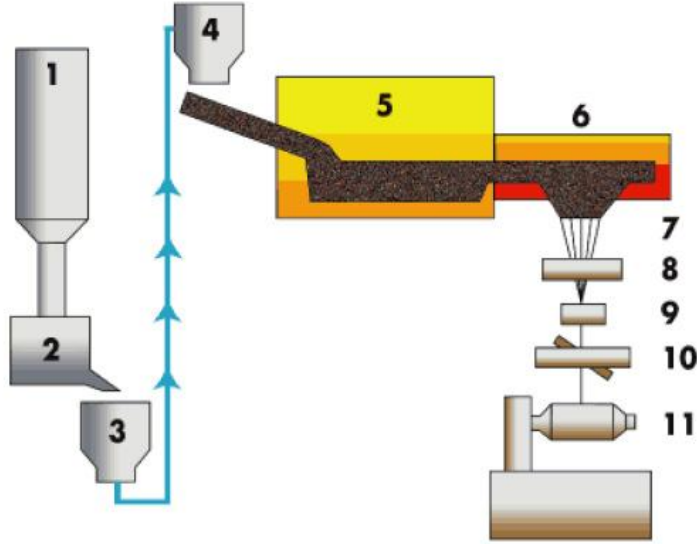
Bazalt lif üretiminde bazalt taşları ezilir bu süreç cam lifinkine kıyasla daha kısadır ve fırın içerisinde 1500°C – 1600°C’de ergiyik sıvı haline getirilir. Cam erime noktası 1400°C ve 1600°C arasındadır. Bazalt lifleri üretmek için iki tane teknoloji vardır. Bunlardan birisine savurma yöntemi ile üfleli üretime Junkers metodu denir ve bu yöntem ile ucuz kırpıntı lifler üretilir. Lif uzunluğu 60-100 mm, çap ise 8-20µm arasında değişmektedir. Çoğunlukla otomotiv ve inşaat sektöründe kullanılmaktadır. Şekil 2.5. Junkers tipi bazalt lif üretimini göstermektedir.



erimiş bazalt taşı(1), üfleme kanalları(2), liflendirme silindirleri(3), damlacıklar(4), lif oluşumu (5-7), lif(8) ve lif kafası(9)

Şekil 2.5. Junker tipi bazalt lif üretimi [29].

Sürekli bazalt lifler için tekstil teknolojileri uygulanır ve cam lifin üretimine benzemektedir. Üretilen sürekli fiberler çap olarak 10-14µm çapa sahiptir. Şekil 2.6.'da sürekli bazalt lif üretimi yer almaktadır [29]. Sürekli sarma yöntemi ile üretilen bazalt liflere ait görsel ise Şekil 2.7'de gösterilmiştir.



(1) ezilen taş silosu, (2) yükleme istasyonu, taşıma sistemi (3), yükleme istasyonu (4), ilk erime noktası (5), ikinci ısı kontrol alanı (6), lif formu (7), yüzey modifikasyon işlemi (8), düz formu verme (9), lif gerginleştirme (10), sarma (11)

Şekil 2.6. Sürekli bazalt lif üretimi [29].



Şekil 2.7. Sürekli sarma yöntemi ile üretilen bazalt lif [29].

2.5.3. Bazalt Lifin Özellikleri

Bazalt lif yüksek elastik modül, ısı direnci, ısı, ses ve titreşim sönümleme özelliğine sahiptir [31]. Çoğu diğer mineral gibi %100 organik bazalt lifin rengi koyu griden siyaha doğru gitmektedir. Bazalt lifler yüksek elyastik modül ve mukavemet, korozyon direnci, yüksek ısı direnci, daha geniş çalışma sıcaklık aralığı ve kolay kullanım ile dikkat çekmektedir. Bazalt lifi yoğunluğu $2,8 \text{ g/cm}^3$ ve $2,9 \text{ g/cm}^3$ arasında değişmektedir. Bu değer çelikten oldukça düşük aynı zaman da cam ve karbon life yakındır. Bazalt lif cam liften daha yüksek mukavemetli olduğu için ucuz daha kuvvetli

kompozit malzeme yapılmasını sağlamaktadır. Nem oranı %1'den düşüktür. Bazalt lifin en büyük avantajlarından birisi aklali ortamlara olan direncidir. Bundan dolayı pH değeri 13-14 olan ortamlarda oldukça kararlıdır. Bazalt malzemeler mantar ve mikroorganizmalara karşı da oldukça dirençlidir. Bazaltın zayıf bükülme özelliğinden dolayı dokumadan sonra kumaşların kolay zarar görmesi ve bazı kaplamalarla stabilize edilmesi gerekir. Bazalt malzemesi son derece serttir ve Mohr ölçeğinde 5 ila 9 arasında sertliğe sahiptir, bu da daha iyi aşınma özellikleri ile sonuçlanır. Bazalt lif dokuma kumaşların, pervane tipi aşındırıcılar üzerine sürekli aşınması bile, ince lifler oluşturmaz veya lifin kırılma yoluyla ayrılmasını sağlar ve yalnızca tek tek liflerin dokuma yapıdan kopmasına neden olur, bu da solunum ile ilgili tehlikelere neden olma olasılığını ortadan kaldırır. Liftteki kırıklar, esasen lif hacmindeki homojen olmamalardan kaynaklanmaktadır. Bazalt lifleri, liflerde bulunan kritik kusur büyüklüğüne bağlı olarak belirli yerlerde tehlikeli hataları göstermektedir. Kusurlar liflerde rastgele mevcut olduğu için, bu aynı zamanda karşılıklı bağımsız, çoklu arızalara yol açar. Düşük sıcaklıklarda tekrar ısıtma ve kristalize bazalt malzemelerin ayrıştırılması, özellikle indirgeme reaksiyonları nedeniyle, özellikle dış yüzeyde konsolide olmayan madde katmanlarının (regolit) oluşmasına neden olur. Bazalt lifleri, cam (E-tipi) ile karşılaştırıldığında mükemmel bir termal özelliklere sahiptir ve herhangi bir fiziksel hasar olmadan sürekli olarak saatlerce 1100 °C - 1200 °C sıcaklığa dayanabilirler. Sıkıştırılmamış bazalt lif ve kumaşlar, 1250 °C değerine kadar bile bütünlüğünü koruyabilmekte ve bu da cam ve karbon liflere göre daha üstün olmasını sağlamaktadır. Bazaltın iyi yalıtım özelliği daha önce tanınmıştı, bu yüzden inşaat sektöründe taşıyıcı şeklinde işlenmiş yaygın bir yalıtım malzemesidir [28, 31-36].

Çizelge 2.6 ve Çizelge 2.7'de bazalt lifin fiziksel ve mekanik özellikleri yer almaktadır. Aynı zamanda cam lif ve karbon lif ile kıyaslaması da bulunmaktadır [29]

Çizelge 2.6. Bazalt lifin fiziksel ve mekanik özellikleri [35].

Özellik	Bazalt Lif	Cam Lif (E-Tipi)	Cam Lif (S-Tipi)	Karbon Lif
Kırılma Mukavemeti, MPa	3000 - 4840	3100 - 3800	4020 - 4650	3500 - 6000
Elastik Modül, GPa	79,3 – 93,1	72,5 – 75,5	83 - 86	230 – 600
Kırılma Uzaması, %	3,1	4,7	5,3	1,5 – 2,0
Lif Çapı, µm	6 - 21	6 - 21	6 - 21	5 – 15
Çizgisel Yoğunluk, tex	60 - 4200	40 - 4200	40 - 4200	60 – 2400
Çalışma Sıcaklığı, °C	-260 / +700	-50/+380	-50/+300	-50/+700

Çizelge 2.7. Bazalt lifin termal özellikleri [29].

Termal Özellikler	Bazalt	Cam Lif (E-Tipi)
Maksimum çalışma sıcaklığı, °C	980	650
Sürekli çalışma sıcaklığı, °C	700	480
Minimum çalışma sıcaklığı, °C	-260	-60
Isıl iletkenlik, W/mK	0,031 – 0,038	0,034 – 0,04
Ergime sıcaklığı, °C	1280	1120
Termal genleşme katsayısı, ppm/°C	8,0	5,4

Bazalt lifleri uygun bir termoset reçine içerisinde daha önce yapılan binaların deprem direncini arttırmak için kullanılabilir. Fiber takviyeli betonlar bu amaçla kullanılmaya başlanmıştır. Beton içerisinde hem pahalı olmamakla birlikte alternatif ürünleri ile de yarışabilmektedir. Karayolu uygulamalarında asfalt betonu sağlamlaştırmak için kırıpıntı bazalt lif kullanılmaktadır. Bazalt lif bununla birlikte cam liften % 30 daha

mukavemetli, % 15-20 daha rijit ve % 8-10 daha hafiftir. Bununla birlikte bazalt lif çeşitli spor ekipmanlarında da kullanılmaktadır [29].

2.5.4. Bazalt Lifin Endüstriyel Uygulamaları

Bazalt lifleri uygun bir termoset reçine içerisinde daha önce yapılan binaların deprem direncini arttırmak için kullanılabilir. Fiber takviyeli betonlar bu amaçla kullanılmaya başlanmıştır. Beton içerisinde hem pahalı olmamakla birlikte alternatif ürünleri ile de yarışabilmektedir. Karayolu uygulamalarında asfalt betonu sağlamlaştırmak için kırpıntı bazalt lif kullanılmaktadır. Bazalt lif bununla birlikte cam liften % 30 daha mukavemetli, % 15-20 daha rijit ve % 8-10 daha hafiftir. Bununla birlikte bazalt lif çeşitli spor ekipmanlarında da kullanılmaktadır.

Bazalt lif takviyeli kompozitler boru ve sıkıştırılmış doğal gaz tanklarının yapımında kullanılmaktadır. Bu üretim sisteminde kullanılan yöntem ise lif sarma yöntemidir. Lif sarma yöntemi ile kullanıldığından bazalt lifin herhangi bir problem meydana getirmemiştir dahası iyi bir ıslanma özelliği göstermiştir. Bu durum bazalt life lif sarma yönteminde maliyeti azaltmak ve kaliteyi arttırmak için bir fırsat vermektedir. Bu sebeple Avrupa firmaları son 10 yılda bazalt lifi kompozit tanklarda takviye olarak kullanılmaktadır. Döngü testlerinden sonra 200 bar çalışma basıncı için üretilen borularda yüksek yorulma değerleri göstermiştir (260 Bar) [30].

2.6. HİBRİT LİF TAKVİYELİ KOMPOZİTLER

Lif takviyeli polimer kompozitlerin kullanıldığı ürünlerin artışı her geçen gün yükselmektedir. Havacılık, deniz, ulaşım gibi çeşitli sektörlerde kullanımı yoğun şekilde artmaktadır [37]. Avantajları arasında yüksek karakteristik mukavet ve rijitliği, metallere kıyasla korozyon direnci, takviyenin dizili ve türüne bağlı olarak ortaya çıkan anizotropisi öne çıkmaktadırlar [48]. Lif takviyeli polimer malzemeler arasında hibrit polimer kompozitler takviye olarak farklı liflerin birleşimiyle yüksek karakteristik özelliklere sahip malzeme ortaya çıkarmasıyla dikkat çekmektedir [37, 39-41].

Hibritleştirme kullanımı artmaktadır ve çalışmaları yapılmaktadır. Jung ve Kim tarafından geliştirilen çalışmada karbon ve cam lifin hibrit yapılarak kullanıldığı kompozit malzemedeki kırılma tokluğuna etkisi analiz edilmiştir. Sonuçlar ise kompozit malzemelerin tokluğuna lif diziliminin etkisi olduğunu göstermiştir [38].

2.7. KOMPOZİT BORU ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Cam lif borular; cam lif takviyesi, termoset reçine ve eklentiler ile üretilen kompozit bir malzeme sistemidir. Doğru kombinasyon ve miktarın seçilmesiyle tasarım mühendisi en fazla talep edilen gereksinimleri karşılayabilmektedir.

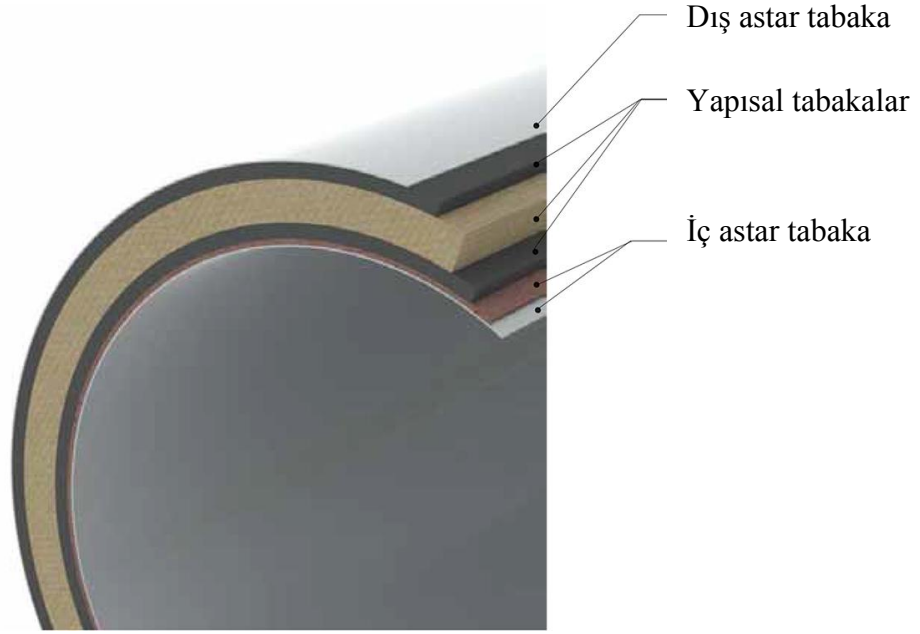
Cam lif takiveli kompozit borular makine yöntemi ile iki ana proses ile üretilmektedir. Bunlar sürekli sarım ve savurma döküm prosesleridir. Her proses kendi ana karakteristik özelliklerini barındırmaktadır [42].

2.7.1. Sürekli Sarım Yöntemi

Sürekli sarım yönteminde; sistemi oluşturan makine çelik bantların bir mandrel aracılığıyla sürekli bir silindir hale gelmesi ve çelik bantın sürekli makine içinde tekrar etmesinden meydana gelmektedir. Cam lif takviyeli kompozit borular sürekli bir şekilde cam lifin, reçine ve dolgu malzemesi ile birlikte otomatik çelik bir mandrel sisteminin üzerine sarılmaktadır. Proses sırasında cam lif ve termoset reçine parametreler doğrultusunda kompozit borunun iç ve dış katmanlarını oluşturmakta ve orta kısmında ise dolgu malzemeleri ilave edilmektedir. Şekil 2.8’de sürekli sarım yöntemi ile üretilen kompozit borunun katmanları yer almaktadır.

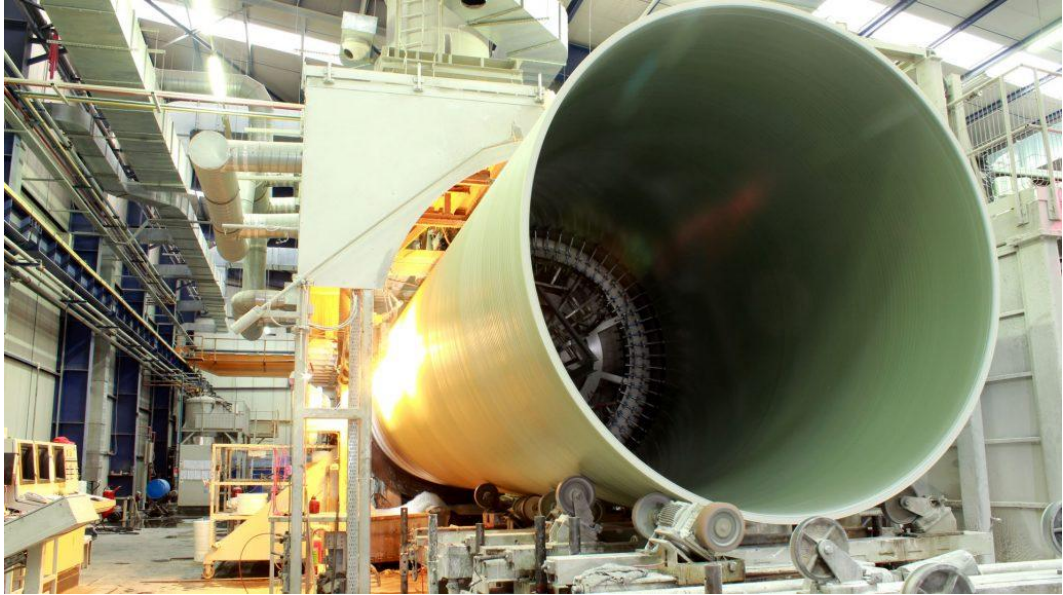
Üretim sırasında borunun iç çapını üzerine sarıldığı otomatik çelik mandrel sisteminin dış çapı belirlemektedir. Dizaynı yapılan borunun dış çapı ise üretim sırasında sisteme yapılan hammadde beslemesi ile belirlenmektedir.

Sürekli sarım yönteminde en fazla tercih edilen reçine türleri ortofitalik ve terefitalik doymamış polyeşter reçinelerdir. Üründe istenilen son özelliklere göre izofitalik ya da vinileşter reçine de tercih edilebilmektedir.



Şekil 2.8. Kompozit boru katmanları - Sürekli sarım metodu [43].

Şekil 2.9' da mevcut bir sürekli sarım makinesi yer almaktadır [43].



Şekil 2.9. Sürekli sarım makinesi [43].

2.7.2. Savurma Döküm Yöntemi

Savurma döküm metodu; dönen ve ısıtılan bir kalıp sistemi içerisine lif ve reçinenin tatbik edilmesiyle tüp şeklinde ürünler üretmek için kullanılır. Bitmiş borunun dış çapı kullanılan döner kalıbın iç çapı ile belirlenir. Üretilen borunun iç çapı ise üretim sırasında kalıbın içerisine gönderilen hammadde miktarları ile belirlenir. Üretim sırasında dolgu gibi diğer ham maddeler de sisteme dahil edilerek borunun üretiminde kullanılabilir.

Savurma döküm metodunda iki farklı yöntem kullanılmaktadır:

1-Önceden şekillendirilen cam takviyeli kılıf metodu: önceden şekil verilen cam lif takviyeli kılıf çelik kalıp içerisine yerleştirilir. Çelik kalıp dönerken reçine ve dolgu kalıbın beslenmesiyle içeriye gönderilir. Sistem besleme yaptığı sırada besleme kısmı ileri geri hareket ederek sistemi beslemektedir.

2-Kırpıntı lif takviyeli metod: cam elaf takviyeleri sistemin içerisinde kırpıntı olarak reçine ve dolgu ile birlikte kullanılır. Sistemde aynı şekilde kalıp dönmekte ve besleme ağız ileri geri hareket ederek sistemde besleme yapmaktadır [42].

Savurma döküm yöntemi teknolojik olarak otomatik ve elektronik kontrollü bir sistemdir. Bu özellikler doğrultusunda istenilen et kalınlığına ulaşılan kadar sistem devam etmektedir. Otomatik ve elektronik sistem hammadde miktarlarını, kalıp dönme hızını, boru katmanlarını ve kalıp içi sıcaklık değerlerini düzgün ve doğru biçimde işletmemizi sağlamaktadır.

Besleme düzeneği sisteme girilen hammadde miktarlarını kalıp içerisine göndermektedir. Üretim sırasında kullanılacak cam lifleri, reçine, dolgu maddesi ve kürlenme eklentileri besleme düzeneğinin ucunda yer alan kafadan boşaltılmaktadır. Tasarlanan borunun mukavemet değerlerini yakalayacak şekilde boru tabakalarında kullanılacak lif miktarının özellikleri belirlenir. Sistem çalışma sırasında sabit bir hızda dönmektedir, hammadde besleme işlemini gerçekleştirme sırasında sistem kısmen yavaş dönmektedir. Hammadde besleme işlemi tamamlandığında yapının sıkıştırılması gerekir bundan dolayı kalıp hızı artırılarak bir süre hızlı biçimde döndürülür. Sıkıştırma işlem sırasında reçine sistemi aynı zamanda kürlenmeye başlamaktadır. Tasarlanan CTP borunun et kalınlığı ve tabakaları üretim sırasında besleme sisteminin kalıp içerisinde kalıbın iki ucu arasında hareket etmesi ile sağlanmaktadır. Besleme ünitesi Şekil 2.10'da savurma döküm üretim hattı Şekil 2.11'de yer almaktadır.

Et kalınlığı dizaynı: Boru katmanları "katı blok" şeklinde polimerize olmaktadır. İmalatta cam lif dağılımı değişik kesiciler ve kalıp hızları kullanılarak çevresel ve aksel mukavemet gereksinimleri doğrultusunda tamamen kontrol altında tutulmaktadır. Boru katmanlarını oluşturan her tabakanın özel bir işlevi mevcuttur. Boru içine bakıldığında, lif bulunmayan esnek bir reçine tabakası olduğu görülür. Reçineden oluşan bu astar (astar) tabakasının kalınlığı en az 1 mm olup boruya çok iyi hidrolik özellikler ve yüksek aşınma direnci kazandırmaktadır. Astar tabakasının gerisinde bir

bariyer tabakası mevcuttur. Astar ve bariyer tabakası birlikte boru yapısal katmanlarına herhangi bir maddenin nüfuz etmesini engelleme işlevi de görmektedirler.

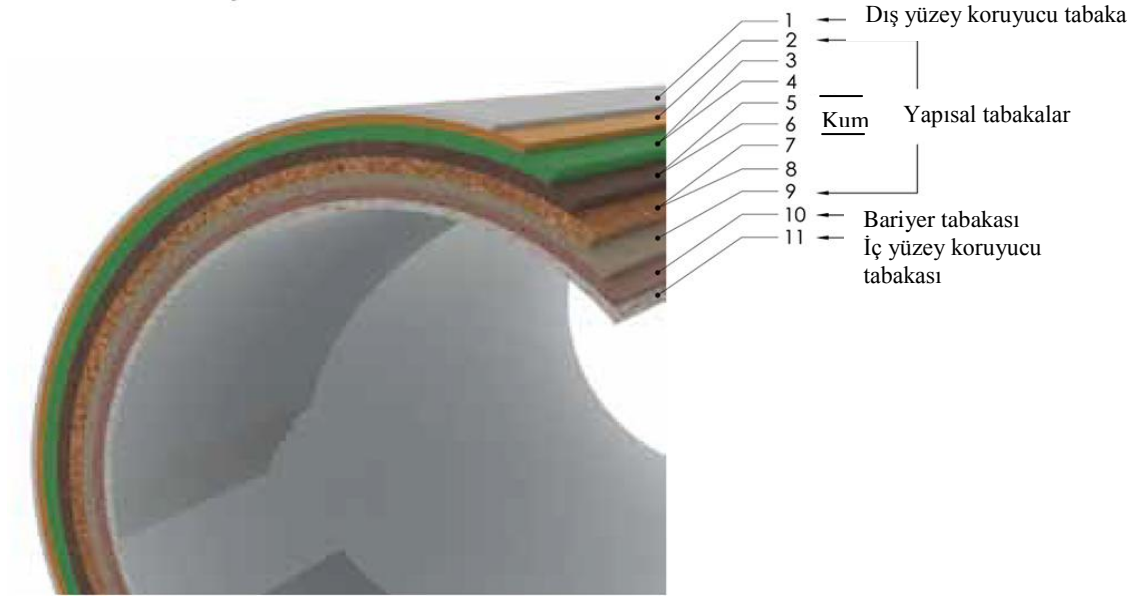


Şekil 2.10. Savurma döküm metodu besleme sistemi [4].



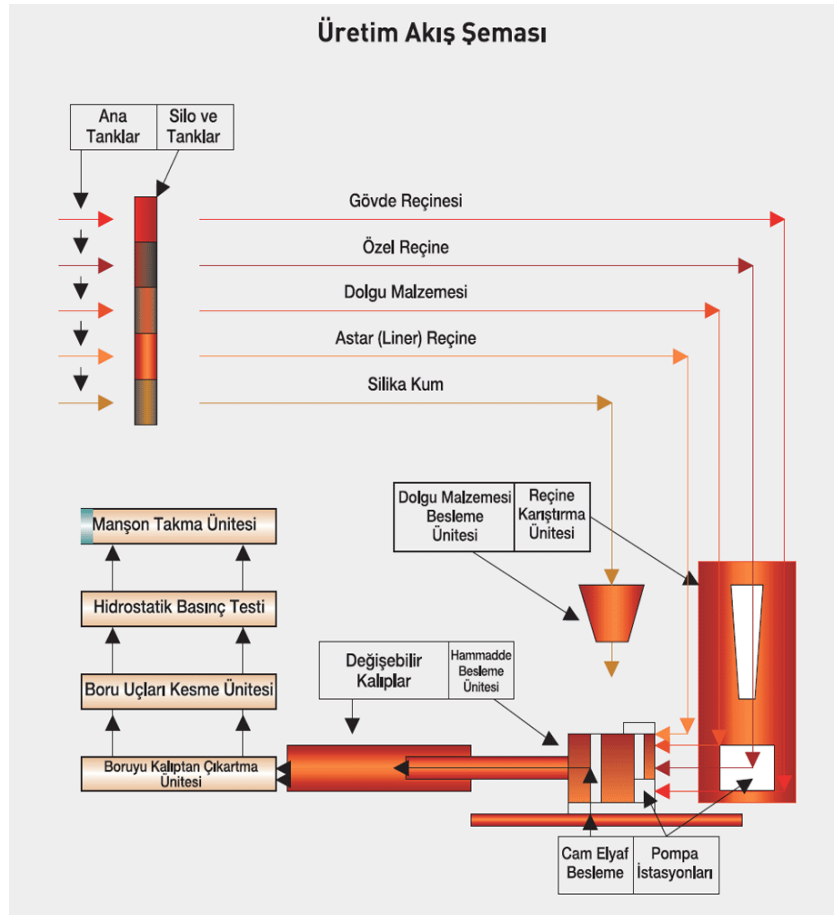
Şekil 2.11. Savurma döküm üretim hattı [44].

Bariyer tabakasının gerisinde de borunun basınç ve rijitlik sınıfına göre tasarımında değişiklik gösteren yapısal tabakalar başlamaktadır. Boru sonunda ise, boruyu yükleme işlemleri esnasında darbe ve çiziklerden koruyan dış tabaka bulunmaktadır. Bu tabaka ayrıca boruyu UV radyasyon penetrasyonundan da korumaktadır.



Şekil 2.12. Savurma döküm metodu CTP boru katmanları [44].

Savurma döküm yönteminin üretim akış şeması Şekil 2.13’de, boru kesiti Şekil 2.12’de görülmektedir [44].



Şekil 2.13. Savurma döküm metodu üretim akış şeması.

2.8. Bazalt Lif ve CTP Kompozit Boru ile İlgili Literatür Çalışmaları

Manikan ve arkadaşları, lif yüzey modifikasyonlarının bazalt ve cam lif takviyeli doymamış polyeesterin mekanik özelliklerine etkisini araştırmıştır. Asit ve alkali yüzey işlemleri sonunda el yatırması ile oda sıcaklığından kompozitler üretilmiştir. Çalışmada çekme, kesme ve darbe deneyleri araştırılmıştır. Çalışma sonucunda bazalt lifin cam life göre çok daha iyi sonuçlar ortaya çıkmıştır. Ayrıca asit modifikasyonlu bazalt lif takviyeli kompozitler daha yüksek çekme dayanımı göstermiştir [45].

Gideon ve arkadaşları 3 nokta eğme testinde bazalt lif takviyeli doymamış polyeesterin yük analizini yapmışlardır. Üç çeşit laminasyon kullanılmıştır, tek yönlü, çapraz katlı ve dokuma, el yatırması ve sıcak presleme metodu kullanılmıştır. Tek yönlü bazalt lifleri sabit yük altında dokuma ve çapraz katlı laminasyonlardan daha iyi sonuçlar vermiştir. Dinamik yük altında ise tam tersi durum ortaya çıkmıştır. Hasar bölgelerine baktığımızda ise tek yönlü laminasyonda hasar lif doğrultusunda iken çapraz katlı ve dokuma için hasarlı bölgenin etrafında yoğunlaşmıştır [46].

Zhang ve arkadaşları bazalt lif takviyeli polibütülen süsinat kompozitlerin mekanik ve termal kararlılığı üzerine çalışmıştır. % 15 lif oranında enjeksiyon kalıplama ile üretimi gerçekleştirmişlerdir. Bazalt lifin iyi termal kararlılığı üretim sonrasında kompozitin üzerinde ısı işleme olanak sağlamıştır [47].

Kolombo ve arkadaşları vinilester ve epoksi reçinelerde statik ve yorulma özellikleri üzerine çalışmıştır. Çalışmada kullanılan kompozitler vakum infüzyon yöntemi ile % 50 lif oranında yapılmıştır. Farklı çeşit mekanik deneyler planlanmıştır; statik çekme ve basma testleri, statik deliminasyon testleri ve yorulma testleri. Epoksi kompozitler vinilesterden daha yüksek mekanik özellikler göstermiştir [48].

Carmisciano ve arkadaşları bazalt ve E-cam lif dokuma takviyeli epoksi tabanlı vinilester reçineler üzerine kıyaslamalı bir çalışma yapmıştır. Kullanılan dokumaların alan yoğunluğu 220 g/m^2 'dir. Laminasyon işlemi reçine transfer metodu ile yapılmıştır ve lif oranı % 28'dir. Kompozitlerin mekanik özellikleri üç nokta eğme testi ile hesaplanmıştır. Deneysel sonuçlar ışığında bazalt lif, E-cam liften daha yüksek eğme modülüsüne ve katmanlar arası mukavemete sahip iken daha düşük eğme mukavemetine sahiptir [49].

Zhang ve arkadaşları, dokuma bazalt/vinilester reçine kompozitlerin basma davranışlarını yüksek gerinme oranlarında incelemiştir. Buradan çıkan sonuçla dokumanın yapısı ve reçinenin hıza bağlı davranışı basma özelliklerinin gerinme hızına bağlılığına oldukça bağlıdır [50].

Martiny ve arkadaşları, bazalt, E-cam ve S-cam lif çeşitlerini kullanarak çubuk ve tüp şeklinde numuneler üretmiştir. Numunelerin üretimi için lif sarma yöntemi epoksi reçine ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmada yırtılma mukavemeti, yorulma davranışı ve tüplerin mukavemeti sızma ve patlatma testi için farklı çift eksenlik yükler altında hesaplanmıştır. Sızdırma testleri sonucunda bazalt lif, E-cam liften daha yüksek dayanım göstermiştir fakat S-cam liften daha düşüktür. Patlatma testinde ise bazalt lif aynı şekilde E-cam liften yüksek, S-cam liften daha düşük gelmiştir [51].

Demirci ve arkadaşları, lif sarma yöntemi ile bazalt lif takviyeli epoksi uçları açık borular üretmişlerdir. Çalışmada üretilen borunun lif sarma açısı ± 55 ve 12 katmandan meydana gelmektedir. Çalışma aynı şartlardaki Samancı ve arkadaşlarının çalışması cam lif takviyeli boru ile kıyaslanmıştır. Bazalt lif takviyeli borular daha yüksek mekanik özellikler göstermiştir ve patlama etkilerini araştırmak için mikroyapı araştırması uygulanmıştır. Bazalt lif takviyeli borular cam lif takviyeli borulardan daha yüksek gerilme değerlerine sahiptir. Bazalt lif takviyeli borunun patlama değeri 614 MPa da gözlenmiştir ve bu değer cam liften %35 daha yüksektir. Aynı şekilde bazalt lif takviyeli boru %13 daha yüksek elastik modüle sahiptir [52].

Bazalt liflerin, kompozit malzemeler için takviye amaçlı kullanılmasını araştıran Lopresto ve ark., vakumlu torbalama (vacuum bag) teknolojisi ve el yatırması yöntemiyle, 300 x 300 mm ebatlarında ürettikleri E-camı ve bazalt lif takviyeli lamine kompozitlerin mekanik özelliklerini karşılaştırmıştır. Güçlendirme amacıyla farklı türlerde takviyeler kullanılmıştır. Bunlar; düz dokumalı kuru bazalt kumaş (200 g/m^2 , 100 teks), düz dokumalı kuru E camı kumaş (290 g/m^2 , 300 teks) takviye malzemeleridir. İstenilen kalınlıkta lamine kompozit üretmek için matris yapı olarak epoksi reçineler kullanılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde, E-camı takviyeli numunelerin daha yüksek çekme yükü taşıdığı, ancak bazalt lifli lamine kompozitlerin E modülü değerinin, E camına göre %35-42 daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte, E cam lifli lamine kompozitlerin, eğilme ve basma yüklemelerine karşı, bazalt lif takviyeli kompozitlerden daha yüksek mukavemet gösterdiklerini belirlemişlerdir.

Çekme, eğilme ve basma yüklemeleri karşında, bazalt lif takviyeli kompozit numunelerin elastikiyet modüllerinin daha yüksek olduğu sonucuna ulaşmışlardır [53].

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. MATERYAL

Bu başlık altında hibrit lif ve mineral takviyeli kompozit boru üretimini gerçekleştirmek için kullanılan hammaddeler yer almaktadır. Matris olarak ortofitalik doymamış reçine, dolgu malzemesi olarak silis ve kuvars kumu, takviye malzemesi olarak kırılmış cam ve bazalt lifleri kullanılmıştır.

3.1.1. Kompozit Boru Üretiminde Kullanılan Malzemeler

Kompozit boru üretiminde matris olarak üretilen borunun gövde kısmında doymamış ortafitalik reçine (Boytek BRE 310), iç yüzey kısmında doymamış ortafitalik reçine (Boytek BRE 816) kullanılmıştır. Termoset reçinenin çapraz bağlanma işlemlerini gerçekleştirmek için başlatıcı (kürleştirici) olarak metil etil keton peroksit (MEKP; Akperox ER 59), hızlandırıcı (katalizör) olarak da kobalt oktoat (Akkobalt RC88) kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan reçine ve katkıları Şekil 3.1’de gösterilmiştir. Bununla birlikte kullanılan doymamış polyeşter reçinenin bazı özellikleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.



Ortofitalik Reçine



Astar Reçine



Hızlandırıcı
(Katalizör)



Başlatıcı
(Kürleştirici)

Şekil 3.1. Kullanılan reçine ve kürleştirme ilaveleri.

Çizelge 3.1. Reçine teknik bilgileri.

Özellik	Birim	Ortofitalik Reçine - Gövde	Ortofitalik Reçine - İç yüzey
Viskozite	(cp)	300 – 600	400 – 700
Katı madde oranı	(%)	56 – 62	66 – 69
Çekme modülü	(MPa)	4000	150
Çekme dayanımı	(MPa)	65	12
Eğilme modülü	(MPa)	3900	-
Eğilme dayanımı	(MPa)	105	-
Kopma uzaması (çekme)	(%)	1.8	50 - 55

Boru üretiminde takviyelendirici materyal olarak, kırılmış cam lif ve bazalt lif olmak üzere iki çeşit takviyelendirici denenmiştir. Şekil 3.2’de, tercih edilen takviyelendirici materyaller gösterilmiştir. Kompozit boru üretiminde tercih edilen kırılmış lif takviyelendirici materyallerin fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 3.2’de verilmiştir.



E Cam Lifi



Bazalt Lifi



Hibrit lifler

Şekil 3.2. Cam lif, bazalt lif ve hibrit lif.

Çizelge 3.2. Cam ve bazalt lif malzeme bilgileri.

Özellik	Birim	Takviyelendirici Materyal	
		Cam Lif	Bazalt Lif
Nem miktarı	(%)	0,92	0,95
Lif ağırlığı	(g/m)	2400	2400
Yoğunluk	(g/cm ³)	2,60	2,61
Çekme dayanımı	(MPa)	3400	4700
Elastisite modülü	(MPa)	77	328

Çalışmada, farklı boyut dağılımlarına sahip silika kumu (Siltaş, AFS 40-45) ve kuvars kumu olmak üzere iki tür dolgu materyali 0-1000 mikron aralığında kullanılmıştır. Kullanılan dolgu materyallerine ait bir resim Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Kullanılan silika kumları ve Fuller 0,8 karışımı.

3.2. YÖNTEM

Bu çalışma kapsamında hibrit lif ve mineral takviyeli kompozit boru üretimi için kullanılan kompozit boru üretim metodu savurma döküm yöntemidir. Bu metod kullanılarak üretilmesi planan borunun özelliği anma çapı 350 mm, basınç sınıfı 6 bar ve rijitlik sınıfı 10000 N/m^2 'dir. Savurma döküm metodu kullanılarak yapılan üretim 4 farklı aşamadan meydana gelmektedir. İlk aşamada bazalt lif takviye malzeme olarak cam lifle birlikte ya da cam lifsiz olarak üretimde kullanılan AFS 40-45 tane dağılımındaki silis kumu ile birlikte kullanılmıştır. İkinci aşamada ise Fuller= $100 \cdot \left(\frac{d}{D}\right)^n$ parabolü kullanılarak farklı bir tane dağılımı belirlenmiştir. Bu formülde $n=0,8$ alınarak herbir elek çapında elekten geçen malzeme yüzdeleri hesaplanmıştır. Fuller denkleminde $n=0,8$ alınarak hesaplanan bu tane dağılımı Fuller 0,8 olarak adlandırılmıştır. Fuller 0,8 tane dağılıma sahip silis kumu karışımı kullanılarak lif takviyeli kompozit boru üretimleri gerçekleştirilmiştir. Üçüncü aşamada ise Fuller 0,8 tane dağılımına sahip karışımlar reçine sarfiyatını düşürmek için ikinci aşamada kullanılan reçineden ağırlıkça % 5 – 7 daha az miktarda kullanılmıştır. Dördüncü aşamada ise üretilen boruların mekanik ve fiziksel özelliklerini kıyaslamak için üretim sonrasında deneylere tabi tutulmuştur.



Şekil 3.4. Üretim sırasında beslemenin yapılması.

3.2.1. CTP Kompozit Boru Karışım Oranlarının Belirlenmesi

Çalışma kapsamında yapılması planlanan deneysel çalışmalar ile hibrit lif ve mineral takviyeli CTP kompozit boruların oldukları karışım oranları Çizelge 3.3'te verilmiştir. Çizelge 3.3'te belirtilen karışım oranlarına sahip olarak üretilen 6 adet borunun üretim sonrası görselleri Şekil 3.5'te görülmektedir.

Çizelge 3.3. Deneysel çalışma planı.

Boru Özelliği	Boru Numarası	Lif Türü ve Oranı	Dolgu Türü	Reçine Miktarı (kg/6 m)	
				Gövde Kısmı	İç Yüzey Kısmı
DN 350 – PN 06.0 – SN 10000	1	% 100 Cam Lif	AFS 40 - 45	29	14
	2	% 100 Bazalt Lif	AFS 40 - 45	45	39
	3	% 50 Cam Lif	AFS 40 - 45	36	33
		% 50 Bazalt Lif			
	4	% 50 Cam Lif	Fuller 0,8	35	24
		% 50 Bazalt Lif			
	5	% 100 Cam Lif	Fuller 0,8	28	14
6	% 100 Cam Lif	Fuller 0,8	25	15	



Şekil 3.5. Savurma döküm metodu ile üretilen borular.

3.2.2. Deney Numunelerinin Hazırlanması

Fiziksel ve mekanik deneyler kapsamında hibrit lif ve mineral takviyeli CTP kompozit borulardan Çizelge 3.4.'te belirtilen adetlerde deney numuneleri hazırlanmıştır.

Çalışma kapsamında yapılması planlanan fiziksel ve mekanik deney standartları Çizelge 3.5.'te yer almaktadır.

Çizelge 3.4.Fiziksel ve mekanik deney planı.

Boru Numarası	Rijitlik Deneyi (Numune Sayısı)	Eksenel Çekme Dayanımı Deneyi (Numune Sayısı)	Yakmada Kayıp Deneyi (Numune Sayısı)
1	6	5	3
2	6	5	3
3	6	5	3
4	6	5	3
5	6	5	3
6	6	5	3

Mekanik ve fiziksel deneyler için uyulan standartların tablosu aşağıda yer almaktadır.

Çizelge 3.5. Deneyler için takip edilen standartlar.

Deney İsmi	Geçerli Standart
Rijitlik Deneyi	ISO 7685 [54]
Eksenel Çekme Deneyi	ISO 8513, ASTM D 3517 [55], [56]
Yakmada Kayıp Deneyi	ASTM D 7348 [57]

3.2.3. Rijitlik Deneyi

Bu kısımda rijitlik deneyi için kullanılan numunelerin boyutları, numune ve deney cihazı görseli ve deneyin işlem basamakları yer almaktadır.

Rijitlik deneyi için üretimi yapılan hibrit lif ve mineral takviyeli CTP kompozit boruların ön (borunun besleme yapıldığı taraf –FT) ve arka (borunun üretim sonrası çıkartıldığı taraf – KT) uçlarından 3'er adet olmak üzere toplam da 6 adet rijitlik deneyi numunesi ISO 7685 standartına göre hazırlanmıştır.

Deneyde kullanılan numunelerin görselleri Şekil 3.6'da yer almaktadır:



Şekil 3.6. Boru No-2 ve Boru No-4 iç yüzeyi.



Şekil 3.7. Boru No-3 ve Boru No-4 dış yüzeyi.

Deneyde kullanılan numunelerin boyut özellikleri Çizelge 3.6 ve 3.7' de yer almaktadır.

Çizelge 3.6. Rijitlik deneyi numune özellikleri.

Boru No	Numune No	Uzunluk (mm)	Dış çap (mm)	Ortalama Kalınlık (mm)	Ortalama Çap (mm)
1	KT – 1	301	375,6	11,13	364,5
	KT – 2	302	375,6	11,14	364,5
	KT – 3	285	375,6	11,09	364,5
	FT – 1	320	375,6	11,08	364,5
	FT – 2	313	375,6	10,99	364,6
	FT – 3	315	375,6	10,94	364,7
2	KT – 1	297	375,5	14,65	360,9
	KT – 2	291	375,5	14,54	361,0
	KT – 3	301	375,5	14,58	360,9
	FT – 1	314	375,5	14,41	361,1
	FT – 2	296	375,5	14,28	361,2
	FT – 3	305	375,5	14,30	361,2
3	KT – 1	306	375,6	14,50	361,1
	KT – 2	302	375,6	14,29	361,3
	KT – 3	289	375,6	14,34	361,3
	FT – 1	311	375,6	14,19	361,4
	FT – 2	314	375,6	14,33	361,3
	FT – 3	308	375,6	14,13	361,5
4	KT – 1	297	375,6	13,58	362,0
	KT – 2	298	375,6	13,43	362,2
	KT – 3	296	375,6	13,45	362,2
	FT – 1	305	375,6	13,46	362,1
	FT – 2	300	375,6	13,39	362,2
	FT – 3	308	375,6	13,31	362,3
5	KT – 1	299	375,6	11,34	364,3
	KT – 2	304	375,6	11,24	364,4
	KT – 3	306	375,6	11,19	364,4
	FT – 1	320	375,6	11,38	364,2
	FT – 2	319	375,6	11,21	364,4
	FT – 3	305	375,6	11,16	364,4
6	KT – 1	307	375,6	10,91	364,7
	KT – 2	303	375,6	10,87	364,7
	KT – 3	300	375,6	10,79	364,8
	FT – 1	312	375,6	10,96	364,6
	FT – 2	298	375,6	10,71	364,9
	FT – 3	292	375,6	10,53	365,1

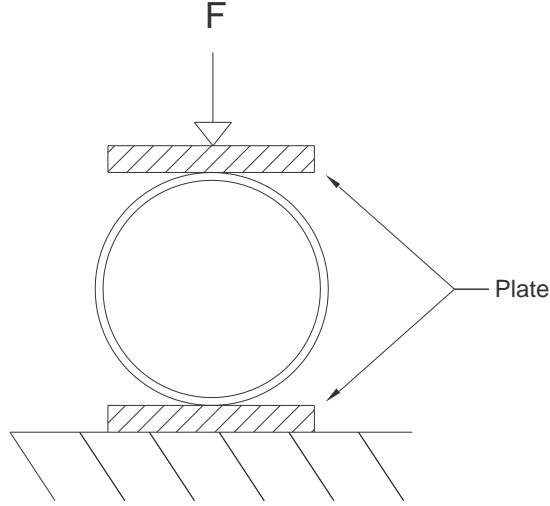
Hazırlanan rijitlik deneyi numuneleri YLE marka rijitlik deneyi cihazında test edilmiştir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Rijitlik deneyi test cihazı.

Rijitlik deneyinin uygulanması için takip edilen işlem basamakları ve rijitlik değerinin hesaplanması için kullanılan formüller aşağıda açıklanmıştır.

- Deney numunesi, test cihazında bulunan alt ve üst plakaların tam ortasına temas edecek şekilde yerleştirilir,
- Deney hızı ve uygulanacak sehım miktarı hesaplanır,
- Deney başlatılır,
- Uygulanacak sehım miktarına geldiğinde 120 saniye boyunca bekletilir ve okunan kuvvet değerinden rijitlik hesabı



Şekil 3.9. Rijitlik deneyi çalışma prensibi.

Spesifik halka rijitliği (S_0), aşağıdaki formülasyona göre hesaplanır.

$$f = \left\{ 1860 + \frac{2500 \times y}{d_m} \right\} \times 10^{-5} \quad (3.1)$$

$$S_0 = \frac{f \times F}{L \times y} \quad (3.2)$$

Formüllerde;

S_0 : spesifik halka rijitliği (N/m^2)

f : sehim katsayısı

y : sehim miktarı(m)

d_m : ortalama çap (m)

F : uygulanan kuvvet (N)

L : test parçasının uzunluğu (m) ifade etmektedir.

3.2.4. Eksenel Çekme Deneyi

Bu kısımda eksenel çekme deneyi için kullanılan numunelerin boyutları, deney cihazı görseli ve deneyin işlem basamakları yer almaktadır.

Eksenel çekme deneyi için üretimi yapılan hibrit lif ve mineral takviyeli CTP kompozit borudan 5 adet eksenel çekme deneyi numunesi ISO 8513 standartına göre hazırlanmıştır. Üretimi gerçekleştirilen her bir borudan alınan deney numunelerinin

boyutları Çizelge 3.8-3.13’de verilmiştir.

Çizelge 3.7. Boru No -1 aksenal çekme numune boyutları.

Numune No	Et Kalınlığı (mm)		Uzunluk (mm)	Genişlik (mm)	
	Ölçülen (mm)	Ortalama (mm)		Ölçülen (mm)	Ortalama (mm)
1	11,07	11,05	300	24,46	24,08
	11,16			24,27	
	10,91			23,52	
2	11,06	11,04	300	21,59	22,13
	10,94			22,64	
	11,13			22,15	
3	11,25	11,14	300	25,32	24,96
	11,01			24,54	
	11,15			25,01	
4	10,95	10,99	300	24,27	24,25
	11,01			24,22	
	11,00			24,25	
5	11,15	11,15	300	23,24	23,72
	11,21			24,16	
	11,09			23,76	

Çizelge 3.8. Boru No - 2 aksenal çekme numune boyutları.

Numune No	Et Kalınlığı (mm)		Uzunluk (mm)	Genişlik (mm)	
	Ölçülen (mm)	Ortalama (mm)		Ölçülen (mm)	Ortalama (mm)
1	14,67	14,51	300	23,02	22,87
	14,41			22,43	
	14,45			23,15	
2	14,63	14,35	300	23,08	23,85
	14,28			24,33	
	14,15			24,15	
3	14,21	14,32	300	20,94	22,17
	14,25			23,43	
	14,51			22,15	
4	14,40	14,23	300	22,83	23,16
	14,10			23,66	
	14,19			22,98	
5	14,32	14,21	300	25,04	25,10
	14,10			25,15	
	14,20			25,10	

Çizelge 3.9. Boru No – 3 eksenel çekme numune boyutları.

Numune No	Et Kalınlığı (mm)		Uzunluk (mm)	Genişlik (mm)	
	Ölçülen (mm)	Ortalama (mm)		Ölçülen (mm)	Ortalama (mm)
1	14,03	14,01	300	24,97	25,11
	14,02			25,31	
	13,97			25,05	
2	14,04	14,17	300	24,35	24,22
	14,15			24,12	
	14,32			24,20	
3	14,20	14,10	300	21,92	22,23
	14,01			22,45	
	14,10			22,32	
4	13,95	14,03	300	21,93	21,44
	13,98			21,04	
	14,15			21,36	
5	14,01	14,12	300	23,08	23,81
	14,10			24,24	
	14,25			24,12	

Çizelge 3.10. Boru No - 4 eksenel çekme numune boyutları.

Numune No	Et Kalınlığı (mm)		Uzunluk (mm)	Genişlik (mm)	
	Ölçülen (mm)	Ortalama (mm)		Ölçülen (mm)	Ortalama (mm)
1	13,34	13,30	300	25,52	25,36
	13,30			25,20	
	13,25			25,36	
2	13,25	13,38	300	23,75	24,02
	13,47			24,30	
	13,41			24,01	
3	13,60	13,44	300	23,96	23,77
	13,21			23,62	
	13,50			23,74	
4	13,15	13,24	300	24,33	24,87
	13,24			25,39	
	13,32			24,89	
5	13,20	13,36	300	27,65	27,02
	13,49			26,44	
	13,40			26,98	

Çizelge 3.11. Boru No - 5 eksenel çekme numune boyutları.

Numune No	Et Kalınlığı (mm)		Uzunluk (mm)	Genişlik (mm)	
	Ölçülen (mm)	Ortalama (mm)		Ölçülen (mm)	Ortalama (mm)
1	11,08	11,16	300	23,89	23,93
	11,15			23,99	
	11,26			23,92	
2	11,32	11,25	300	24,08	24,78
	11,27			25,69	
	11,15			24,58	
3	11,05	11,25	300	24,66	25,09
	11,19			25,45	
	11,52			25,15	
4	11,21	11,22	300	25,78	24,98
	11,20			24,66	
	11,26			24,51	
5	11,41	11,30	300	24,49	24,54
	11,40			24,64	
	11,10			24,50	

Çizelge 3.12. Boru No - 6 eksenel çekme numune boyutları.

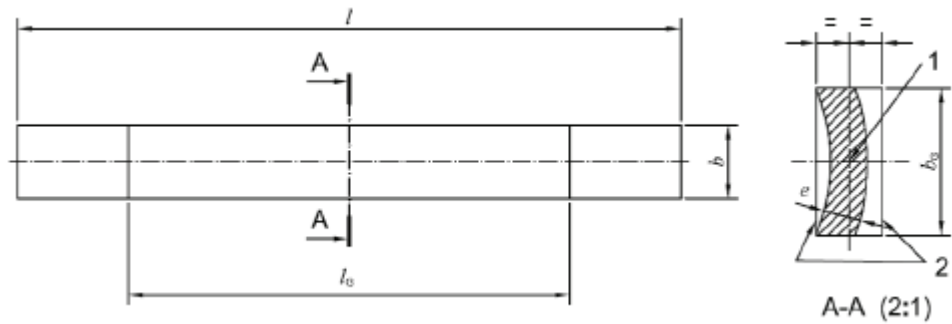
Numune No	Et Kalınlığı (mm)		Uzunluk (mm)	Genişlik (mm)	
	Ölçülen (mm)	Ortalama (mm)		Ölçülen (mm)	Ortalama (mm)
1	10,40	10,43	300	25,45	25,39
	10,52			25,33	
	10,36			25,40	
2	10,51	10,45	300	24,83	24,63
	10,39			24,56	
	10,45			24,50	
3	10,40	10,42	300	24,89	24,61
	10,45			24,43	
	10,41			24,50	
4	10,29	10,24	300	22,91	23,03
	10,27			23,20	
	10,15			22,98	
5	10,15	10,25	300	23,72	23,80
	10,09			23,87	
	10,51			23,80	

Hazırlanan aksenal çekme deney numuneleri 25 ton kapasiteli YLE marka çekme deney cihazında kullanılarak test edilmiştir (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Aksenal çekme deneyi test cihazı.

Eksenal çekme deneyinin uygulanması için takip edilen işlem basamakları ve aksenal çekme dayanımının hesaplanması için kullanılan formüller aşağıda açıklanmıştır. Ayrıca borulardan aksenal çekme deneyi için alınan numune şekli Şekil 3.11’de görülmektedir.



Şekil 3.11. Aksenal çekme deneyi numune boyutları.

- Test parçası; çekme testi cihazının çeneleri arasına çekme yönüne paralel olacak şekilde yerleştirilir,
- Kelepçelerin uzaklaşması ile yük uygulanır ve maksimum yük kaydedilir,
- Maksimum kuvvet formülasyona yazılır ve eksenel çekme dayanımı hesaplanır.

Eksenel çekme özellikleri aşağıda yer alan formülasyon kullanılarak hesaplanır:

$$\sigma_{LA} = \frac{F}{b_G} \quad (3.3)$$

Formülde;

σ_{LA} :Eksenel çekme dayanımı (N/mm)

F : maksimum kuvvet (N)

b_G : test parçasının genişliği (mm)'ifade etmektedir.

3.2.5. Yakmada Kayıp Deneyi

Bu kısımda yakmada kayıp deneyi için kullanılan numunelerin boyutları, deney cihazı görseli ve deneyin işlem basamakları yer almaktadır.

Yakmada kayıp deneyi için üretimi yapılan hibrit lif ve mineral takviyeli CTP kompozit borudan belli bölgelerden 3 adet numune ASTM D 7348 standartına göre hazırlanmıştır. Üretilen borulardan alınan yakmada kayıp deney numunelerinin kütle ölçümleri Çizelge 3.14-3.19'da verilmiştir.

Çizelge 3.13. Boru No-1 yakmada kayıp deneyi numune özellikleri.

Numune No	Kroze + Numune (Isıtma Öncesi), (g)	Kroze Ağırlığı, (g)	Numune Ağırlığı, (g)
1	55,30	33,15	22,15
2	57,80	36,84	20,96
3	48,51	30,57	17,94

Çizelge 3.14. Boru No-2 yakmada kayıp deneyi numune özellikleri.

Numune No	Kroze + Numune (Isıtma Öncesi), (g)	Kroze Ağırlığı, (g)	Numune Ağırlığı, (g)
1	58,96	30,51	28,45
2	60,79	34,72	26,07
3	57,89	30,61	27,28

Çizelge 3.15. Boru No-3 yakmada kayıp deneyi numune özellikleri.

Numune No	Kroze + Numune (Isıtma Öncesi), (g)	Kroze Ağırlığı, (g)	Numune Ağırlığı, (g)
1	56,77	34,14	22,63
2	51,36	32,28	19,08
3	55,12	32,36	22,76

Çizelge 3.16. Boru No-4 yakmada kayıp deneyi numune özellikleri.

Numune No	Kroze + Numune (Isıtma Öncesi), (g)	Kroze Ağırlığı, (g)	Numune Ağırlığı, (g)
1	57,23	31,74	25,49
2	59,04	30,74	28,30
3	58,01	30,57	27,44

Çizelge 3.17. Boru No-5 yakmada kayıp deneyi numune özellikleri.

Numune No	Kroze + Numune (Isıtma Öncesi), (g)	Kroze Ağırlığı, (g)	Numune Ağırlığı, (g)
1	48,68	31,27	17,41
2	49,06	30,55	18,51
3	51,98	28,29	23,69

Çizelge 3.18. Boru No-6 yakmada kayıp deneyi numune özellikleri.

Numune No	Kroze + Numune (Isıtma Öncesi), (g)	Kroze Ağırlığı, (g)	Numune Ağırlığı, (g)
1	51,25	30,19	21,06
2	54,35	31,71	22,64
3	56,56	36,85	19,71

Hazırlanan yakmada kayıp deneyi numuneleri Protherm marka yüksek sıcaklıklı fırında test edilmiştir (Şekil 3.12).



Şekil 3.12. Yüksek sıcaklıklı kül fırın.

Yakmada kayıp deneyinin uygulanması için takip edilen işlem basamakları ve hesaplanması için takip edilmesi gereken prosedür aşağıda açıklanmıştır.

- Üç porselen krozenin ağırlıkları tartılır ve not edilir.
- Darası alınan krozeler içerisinde numuneler tartılır. Numunenin ağırlığı (a) kaydedilir.
- Daha sonra kroze+numune birlikte tartılır (b) ve aynı forma kaydedilir.
- Numune+kroze 625+/-10 °C ayarlanmış kül fırında minimum 1 saat bekletilir.
- Bekleme süresinin sonunda reçinenin numuneden tamamen uzaklaştığından emin olunur.
- Etüvden çıkarılan kroze+numune desikatörde yaklaşık 20 dk. soğutulduktan sonra tekrar tartılır (c) ve forma kaydedilir. (c-b) formülü ile reçine ağırlığı bulunur.
- Kum elek yardımıyla kırıntı liften ayrılır.
- Kum, kırıntı lif miktarları tartılarak kaydedilir.
- Kum yüzdesi; kumun ağırlığı numune ağırlığına bölünüp sonucun 100 ile çarpılmasıyla hesaplanır.
- Lif yüzdesi; lif ağırlığı numune ağırlığına bölünüp sonucun 100 ile çarpılmasıyla hesaplanır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. CTP KOMPOZİT BORU ÜRETİMİNDE GÖZLEMSEL BULGULAR

Hibrit lif ve mineral takviyeli CTP kompozit boru üretimi sırasında ve sonrasında standart üretimde meydana gelmeyen ya da olması durumunda kusurlu CTP boru olarak kabul edilebilen bazı durumlar meydana gelmiştir. Bu durumlar aşağıda açıklanmaya çalışılmıştır.

4.1.1. Boru Dış Yüzeyine Ait Gözlemsel Bulgular

Boru No -2 kodlu lif takviyeli CTP kompozit boru üretiminde sadece bazalt lifi kullanılmıştır. Bazalt lifin yapısında sahip olduğu koyu renklerden dolayı dış yüzeyde homojen olmayan renk dalgalanmaları görülmüştür. Bazalt lifin takviye malzeme olarak kullanıldığı çalışmalarda bu renk dağılımlarına rastgelinmiştir.



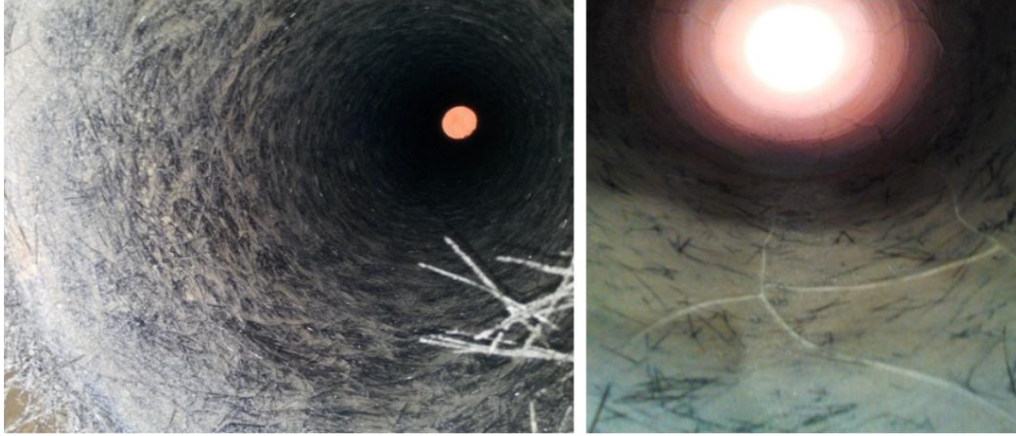
Şekil 4.1. Dış yüzey homojen olmayan renk dağılımı.

Bazalt lif ile ilgili yapılan literatür taramasında yapılan çalışmalarda çoğunlukla el yatırması ve açılı lif sarma yöntemi ile numuneler üretilmiştir. Bu çalışmalarda dolgu malzemesi kullanılmadığından dolayı renk dağılımı meydana gelmemiştir. Açılı lif sarma yöntemi ile üretildiğinde ise bazalt lifin renginden dolayı koyu bir yüzey meydana gelmiştir [45], [49], [51], [52].

4.1.2. Boru İç Yüzeyine Ait Gözlemsel Bulgular

Savurma döküm metodu ile üretilen standart CTP kompozit boruların iç yüzeylerinde çatlak olmaması oldukça önemli bir kriterdir. Kullanım amacına göre sıvı ile temas eden

ilk yüzey burasıdır ve burada meydana gelebilecek çatlaklar CTP borunun ömrünü ve performansını olumsuz şekilde etkiler. Bazalt lifi ile üretilen CTP kompozit boruların iç yüzeylerinde büyük çatlakların olduğu üretim sonrasında görülmüştür.



Boru No - 2

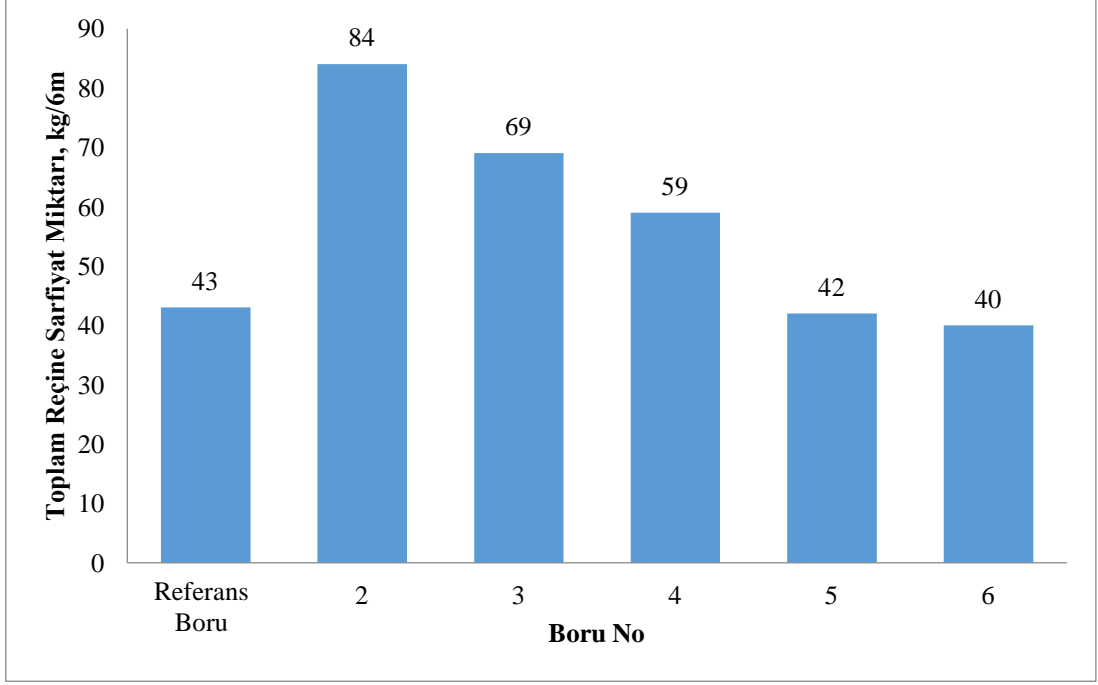
Boru No - 3

Şekil 4.2. İç yüzeyde meydana gelen çatlaklar.

Demirci ve arkadaşları, yaptıkları çalışmada üretim metodu olarak lif sarma yöntemini kullanmıştır. Bu çalışmada bazalt lif bir mandrel kalıp üzerine sarılmasından ve bazalt lifin kırpıntı yerine sürekli olarak kullanılmasından dolayı iç yüzeyde çatlaklar meydana gelmemiştir [52]. Bazalt lifin cam liften daha sert olması ve savurma döküm yönteminde kırpıntı olarak kullanılması üretildiği çap itibari ile tam anlamıyla boru şeklini alamamış ve astar iç yüzeyin çatlamlarına sebep olduğu söylenebilir.

4.1.3. Reçine Sarfiyatı Deneyi Sonuçları

Bazalt ve hibrit lif takviyeli CTP kompozit boruların üretiminde lifleri ıslatmak için ihtiyaç duyulan reçine sarfiyatının savurma döküm metodu ile üretilen referans borunun reçine sarfiyatından daha fazla olduğu görülmüştür. Hibrit mineral takviyeli 5 ve 6 nolu borularda ise kullanılan hibrit mineralden dolayı daha düşük reçine sarfiyatı sağlanmıştır. Bu sayede kullanılan reçine miktarı kilogram ağırlık olarak % 5 – 7 azaltılmıştır. Bu durumu gösteren grafik Şekil 4.3.'te gösterilmektedir.



Şekil 4.3. Reçine sarfiyat miktarının karşılaştırılması.

4.2. RİJİTLİK DENEYİ SONUÇLARI

Hibrit lif ve mineral takviyeli CTP kompozit boruların üretim parametrelerine göre sahip olduğu rijitlik sınıf SN 100000 olarak belirlenmiştir. Yapılan rijitlik deneyi sonucunda her bir rijitlik numunesi için bulunan değerler Çizelge 4.1-4.6’da verilmiştir.

Çizelge 4.1. Boru No -1 rijitlik deneyi test sonuçları.

Numune Kodu	%3 Sehim Kuvveti (N)	L (mm)	OD (mm)	t (mm)	Dm (mm)	%3 Sehim (mm)	f	Stiffness (N/m ²)
Boru 1 KT 1	2480	301	375,6	11,13	364,5	10,93	0,0194	14581
Boru 1 KT 2	2604	302	375,6	11,14	364,5	10,93	0,0194	15260
Boru 1 KT 3	2220	285	375,6	11,09	364,5	10,94	0,0194	13783
Boru 1 FT 1	2931	320	375,6	11,08	364,5	10,94	0,0194	16207
Boru 1 FT 2	2730	313	375,6	10,99	364,6	10,94	0,0194	15429
Boru 1 FT 3	2468	315	375,6	10,94	364,7	10,94	0,0194	13858

Çizelge 4.2. Boru No-2 rijitlik deneyi test sonuçları.

Numune Kodu	%3 Sehim Kuvveti (N)	L (mm)	OD (mm)	t (mm)	Dm (mm)	%3 Sehim (mm)	f	Stiffness (N/m ²)
Boru 2 KT 1	3833	297	375,5	14,65	360,9	10,83	0,0194	23068
Boru 2 KT 2	3536	291	375,5	14,54	361,0	10,83	0,0194	21713
Boru 2 KT 3	3756	301	375,5	14,58	360,9	10,83	0,0194	22300
Boru 2 FT 1	3629	314	375,5	14,41	361,1	10,83	0,0194	20644
Boru 2 FT 2	3238	296	375,5	14,28	361,2	10,84	0,0194	19533
Boru 2 FT 3	3360	305	375,5	14,30	361,2	10,84	0,0194	19672

Çizelge 4.3. Boru No-3 rijitlik deneyi test sonuçları.

Numune Kodu	%3 Sehim Kuvveti (N)	L (mm)	OD (mm)	t (mm)	Dm (mm)	%3 Sehim (mm)	f	Stiffness (N/m ²)
Boru 3 KT 1	2834	306	375,6	14,50	361,1	10,83	0,0194	16543
Boru 3 KT 2	2811	302	375,6	14,29	361,3	10,84	0,0194	16616
Boru 3 KT 3	2555	289	375,6	14,34	361,3	10,84	0,0194	15785
Boru 3 FT 1	3154	311	375,6	14,19	361,4	10,84	0,0194	18099
Boru 3 FT 2	2580	314	375,6	14,33	361,3	10,84	0,0194	14670
Boru 3 FT 3	2460	308	375,6	14,13	361,5	10,84	0,0194	14252

Çizelge 4.4. Boru No-4 rijitlik deneyi test sonuçları.

Numune Kodu	%3 Sehim Kuvveti (N)	L (mm)	OD (mm)	t (mm)	Dm (mm)	%3 Sehim (mm)	f	Stiffness (N/m ²)
Boru 4 KT 1	3290	297	375,6	13,58	362,0	10,86	0,0194	19736
Boru 4 KT 2	3180	298	375,6	13,43	362,2	10,87	0,0194	19005
Boru 4 KT 3	3154	296	375,6	13,45	362,2	10,86	0,0194	18978
Boru 4 FT 1	3258	305	375,6	13,46	362,1	10,86	0,0194	19025
Boru 4 FT 2	3230	300	375,6	13,39	362,2	10,87	0,0194	19173
Boru 4 FT 3	3215	308	375,6	13,31	362,3	10,87	0,0194	18584

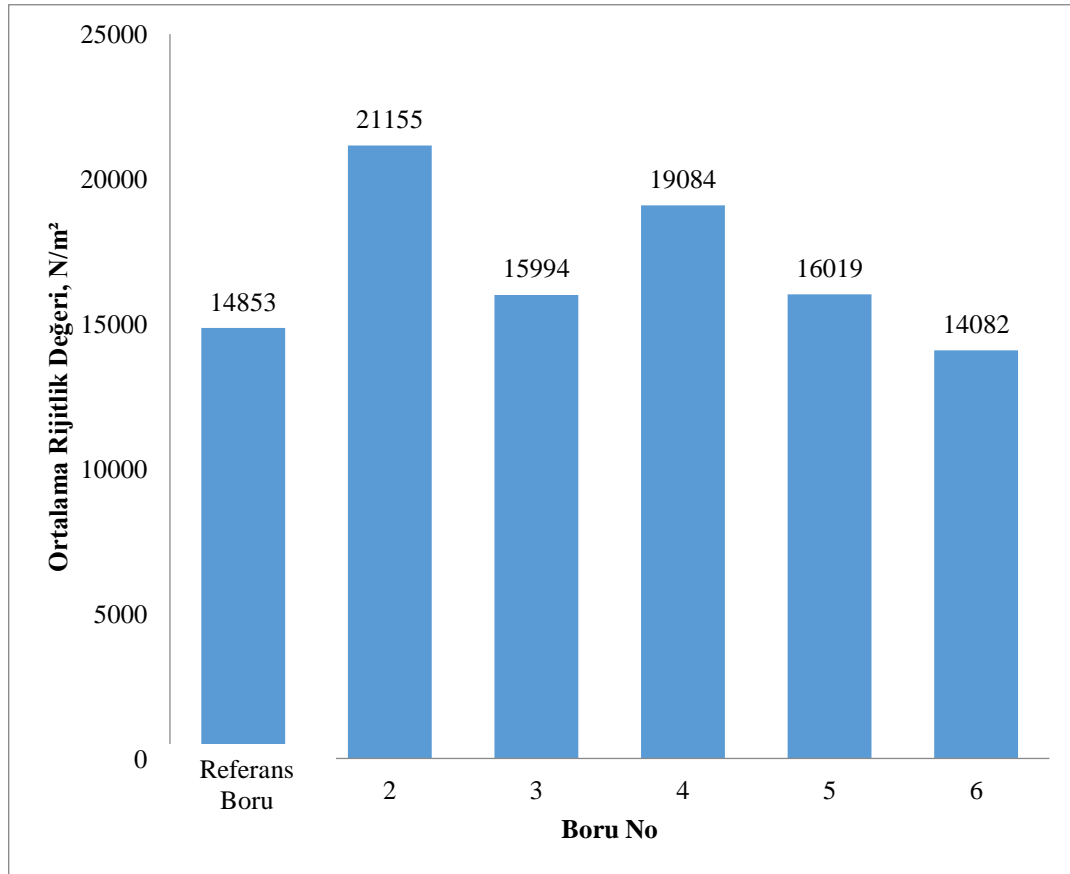
Çizelge 4.5. Boru No-5 rijitlik deneyi test sonuçları.

Numune Kodu	%3 Sehim Kuvveti (N)	L (mm)	OD (mm)	t (mm)	Dm (mm)	%3 Sehim (mm)	f	Stiffness (N/m ²)
Boru 5 KT 1	2432	299	375,6	11,34	364,3	10,93	0,0194	14403
Boru 5 KT 2	2638	304	375,6	11,24	364,4	10,93	0,0194	15361
Boru 5 KT 3	2580	306	375,6	11,19	364,4	10,93	0,0194	14923
Boru 5 FT 1	3186	320	375,6	11,38	364,2	10,93	0,0194	17632
Boru 5 FT 2	2990	319	375,6	11,21	364,4	10,93	0,0194	16591
Boru 5 FT 3	2965	305	375,6	11,16	364,4	10,93	0,0194	17205

Çizelge 4.6. Boru No-6 rijitlik deneyi test sonuçları.

Numune Kodu	%3 Sehim Kuvveti (N)	L (mm)	OD (mm)	t (mm)	Dm (mm)	%3 Sehim (mm)	f	Stiffness (N/m ²)
Boru 6 KT 1	2514	307	375,6	10,91	364,7	10,94	0,0194	14483
Boru 6 KT 2	2305	303	375,6	10,87	364,7	10,94	0,0194	13453
Boru 6 KT 3	2110	300	375,6	10,79	364,8	10,94	0,0194	12435
Boru 6 FT 1	2771	312	375,6	10,96	364,6	10,94	0,0194	15710
Boru 6 FT 2	2334	298	375,6	10,71	364,9	10,95	0,0194	13845
Boru 6 FT 3	2506	292	375,6	10,53	365,1	10,95	0,0194	15163

Bulunan rijitlik değerleri sonucunda rijitlik değişim grafiği Şekil 4.4’de gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Ortalama rijitlik değerlerinin kıyaslanması.

Belirlenen rijitlik sınıfına göre üretim yapıldığında kalite kontrol testleri sonucunda rijitlik değerlerinin rijitlik sınıfının altında olmaması gerekir ve değer olarak minimum %20 rijitlik sınıfının üzerinde olmalıdır.

Yukarıda yer alan rijitlik deneyi sonuçlarında bazalt lif ve hibrit lif takviyeli CTP kompozit boruların (Boru No-2 ve Boru No-3) rijitlik değerinin ortalama % 7 ile % 42 arasından arttırdığı ortaya çıkmıştır. Fuller 0,8 tanecik dağılımına sahip hibrit mineral

Çizelge 4.8. Boru No - 2 eksenel çekme deneyi sonuçları.

Numune No	Ortalama Et Kalınlığı (mm)	Uzunluk (mm)	Ortalama Genişlik (mm)	Uygulanan Kuvvet (N)	Eksenel Çekme Dayanımı (N/mm)
1	14,51	300	22,87	5257	229,9
2	14,51	300	23,85	5757	241,3
3	14,35	300	22,17	5105	230,2
4	14,23	300	23,16	4243	183,2
5	14,21	300	25,10	5399	215,2

Çizelge 4.9. Boru No - 3 eksenel çekme deneyi sonuçları.

Numune No	Ortalama Et Kalınlığı (mm)	Uzunluk (mm)	Ortalama Genişlik (mm)	Uygulanan Kuvvet (N)	Eksenel Çekme Dayanımı (N/mm)
1	14,01	300	25,11	6130	244,1
2	14,17	300	24,22	7132	294,4
3	14,10	300	22,23	4761	214,2
4	14,03	300	21,44	7137	332,8
5	14,12	300	23,81	8689	364,9

Çizelge 4.10. Boru No - 4 eksenel çekme deneyi sonuçları.

Numune No	Ortalama Et Kalınlığı (mm)	Uzunluk (mm)	Ortalama Genişlik (mm)	Uygulanan Kuvvet (N)	Eksenel Çekme Dayanımı (N/mm)
1	13,30	300	25,36	4539	179,0
2	13,38	300	24,02	4428	184,3
3	13,44	300	23,77	4996	210,2
4	13,24	300	24,87	5718	229,9
5	13,36	300	27,02	6702	248,0

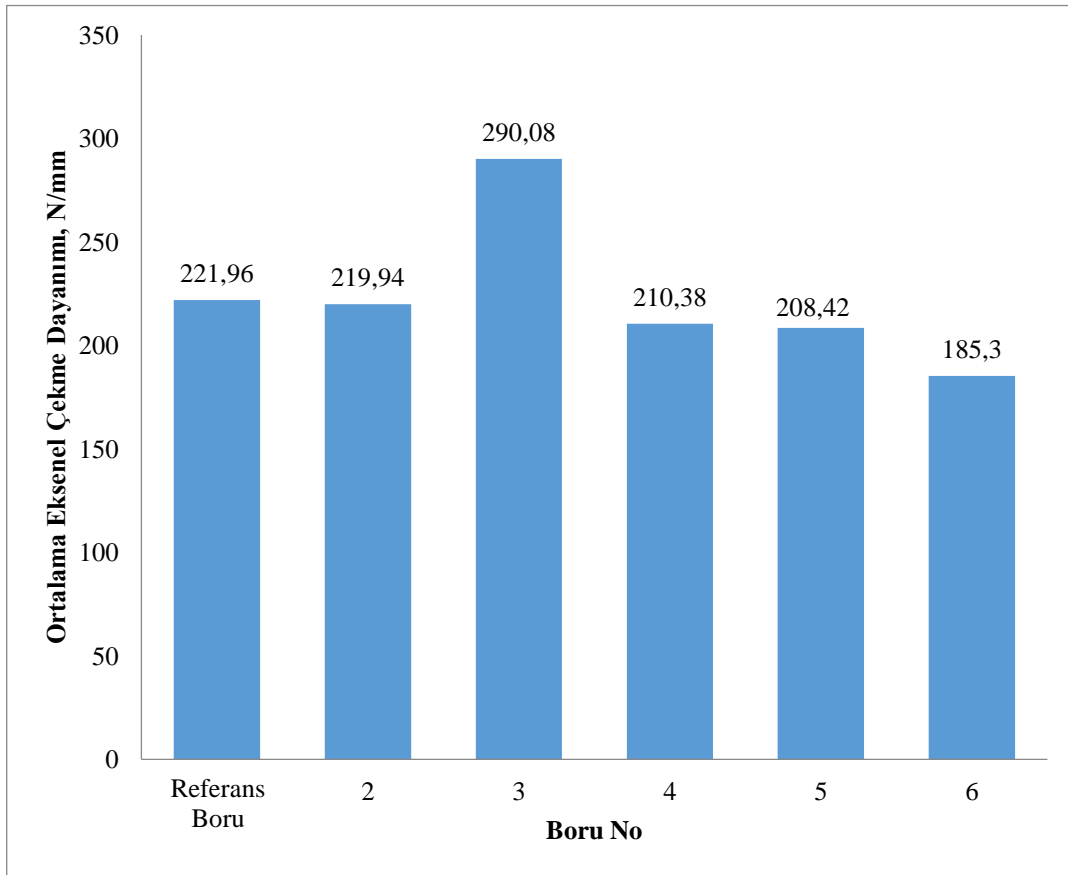
Çizelge 4.11. Boru No - 5 eksenel çekme deneyi sonuçları.

Numune No	Ortalama Et Kalınlığı (mm)	Uzunluk (mm)	Ortalama Genişlik (mm)	Uygulanan Kuvvet (N)	Eksenel Çekme Dayanımı (N/mm)
1	11,16	300	23,93	5327	226,6
2	11,25	300	24,78	4963	200,3
3	11,25	300	25,09	4772	190,2
4	11,22	300	24,98	4959	198,5
5	11,30	300	24,54	5658	230,5

Çizelge 4.12. Boru No - 6 eksenel çekme deneyi sonuçları.

Numune No	Ortalama Et Kalınlığı (mm)	Uzunluk (mm)	Ortalama Genişlik (mm)	Uygulanan Kuvvet (N)	Eksenel Çekme Dayanımı (N/mm)
1	10,43	300	25,39	3949	155,5
2	10,45	300	24,63	4576	185,8
3	10,42	300	24,61	5409	219,8
4	10,24	300	23,03	4880	211,9
5	10,25	300	23,80	3842	161,5

Çekme deneyi sonucunda hibrit lif ve mineral takviyeli CTP kompozit boruların ortalama eksenel çekme değerleri üretilen boru numunesine göre aşağıdaki grafikte kıyaslanmıştır.



Şekil 4.5. Ortalama eksenel çekme dayanımının kıyaslanması.

Yukarıda yer alan eksenel çekme deneyi sonuçlarında bazalt lifin Boru No-2'nin eksenel çekme dayanımı referans boruya benzer gelmiştir ve eksenel çekme dayanımını çok etkilememiştir. Hibrit lif olarak kullanıldığı Boru No-3'te ise eksenel çekme dayanımının % 30 arttığı görülmüştür. Bu artışın nedenlerinden birisi Boru No-2'nin yüzeyinde yer alan çatlakların Boru No-3'ten daha yoğun ve fazla olması olabilir.

Bununla birlikte bazalt lifin üretim sırasında reçineyi zor emmesi Boru No-2’de beklenen mukavemet artışının olmasını engellemiştir. Hibrit lif ve mineral takviyeli Boru No 4 ve mineral takviyeli Boru No 5 ile Boru No 6’da eksenel çekme dayanımı referans numuneden %5 ile %16 arasında düşük gelmiştir. En düşük eksenel çekme dayanımı ise Boru No 6’ da elde edilmiştir.

ASTM D 3517 standartına göre CTP kompozit boru üretiminde üretimi yapılan anma çapı, basınç ve rijitlik sınıfı için olması gereken minimum eksenel çekme dayanımı 102 N/mm olması gerekmektedir. Bu bilgiler ışığında üretimini gerçekleştirmiş olduğumuz CTP boruların eksenel çekme dayanımı standardı karşılamaktadır. Aynı zamanda en düşük eksenel çekme dayanımına sahip olan Boru No 6 ise belirtilen standartın % 81 üzerinde gelmiştir.

4.4. YAKMADA KAYIP DENEYİ SONUÇLARI

Hibrit lif ve mineral takviyeli CTP kompozit boruların yapısında sahip oldukları reçine matris, takviye ve dolgu miktarları yakmada kayıp deneyi sonucunda ortaya çıkmaktadır. Bu deney sonucunda elde edilen miktarlar Çizelge 4.13 ve Çizelge 4.18 arasında gösterilmiştir.

Çizelge 4.13. Boru No-1 yakmada kayıp deneyi sonuçları.

Numune No	1	2	3	Ortalama
Reçine & kimyasal oranı, (%)	32,96	34,35	32,26	33,26
Dolgu oranı, (%)	54,63	54,34	53,85	54,27
Takviye oranı, (%)	12,42	11,16	13,66	12,41
Toplam, (%)	100	99,95	99,89	99,95

Çizelge 4.14. Boru No-2 yakmada kayıp deneyi sonuçları.

Numune No	1	2	3	Ortalama
Reçine & kimyasal oranı, (%)	47,35	46,18	45,60	46,38
Dolgu oranı, (%)	42,14	43,27	43,88	43,10
Takviye oranı, (%)	10,47	10,51	10,52	10,50
Toplam, (%)	99,96	99,96	100,00	99,98

Çizelge 4.15. Boru No-3 yakmada kayıp deneyi sonuçları.

Numune No	1	2	3	Ortalama
Reçine & kimyasal oranı, (%)	43	43,40	45,47	43,96
Dolgu oranı, (%)	47,37	47,64	44,46	46,49
Takviye oranı, (%)	9,63	8,81	10,06	9,50
Toplam, (%)	100,00	99,84	10,00	99,95

Çizelge 4.16. Boru No-4 yakmada kayıp deneyi sonuçları.

Numune No	1	2	3	Ortalama
Reçine & kimyasal oranı, (%)	40,13	39,89	39,87	39,97
Dolgu oranı, (%)	51,63	49,75	50,44	50,61
Takviye oranı, (%)	8,16	10,11	9,51	9,26
Toplam, (%)	99,92	99,75	99,82	99,83

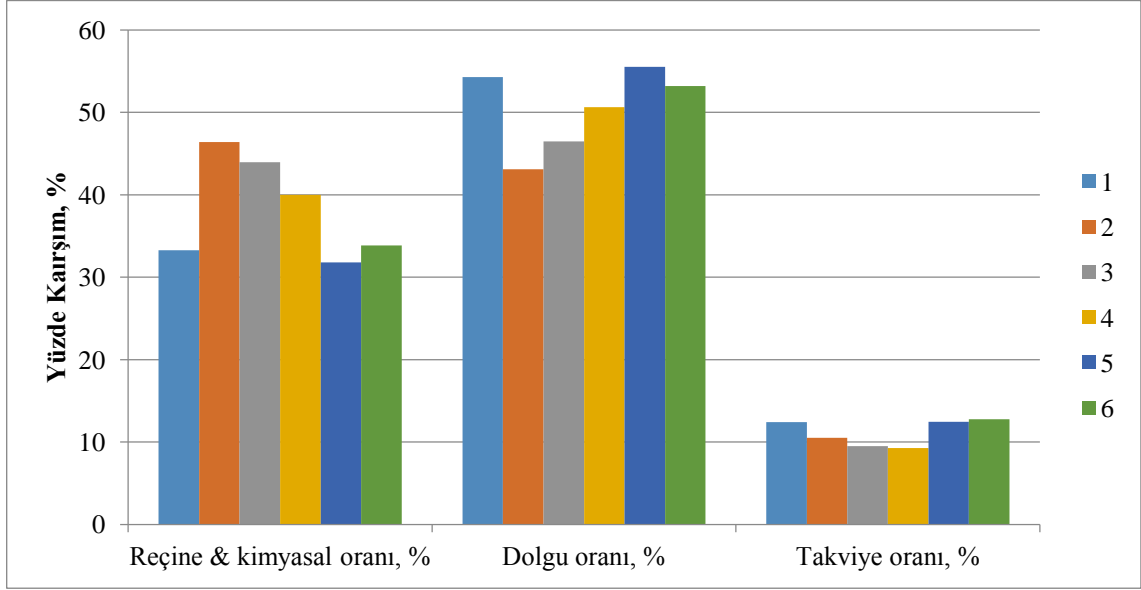
Çizelge 4.17. Boru No-5 yakmada kayıp deneyi sonuçları.

Numune No	1	2	3	Ortalama
Reçine & kimyasal oranı, (%)	31,53	30,79	33,05	31,79
Dolgu oranı, (%)	55,89	56,35	54,33	55,52
Takviye oranı, (%)	12,46	12,59	12,33	12,46
Toplam, (%)	99,89	99,73	99,70	99,77

Çizelge 4.18. Boru No-6 yakmada kayıp deneyi sonuçları.

Numune No	1	2	3	Ortalama
Reçine & kimyasal oranı, (%)	37,32	32,99	31,20	33,84
Dolgu oranı, (%)	51,53	53,58	54,79	53,20
Takviye oranı, (%)	11,25	13,12	13,90	12,76
Toplam, (%)	99,81	99,69	99,90	99,80

Yakmada kayıp deneyi sonucunda hibrit lif ve mineral takviyeli CTP kompozit boruların hammadde miktarları Şekil 4.6.'da kıyaslanmıştır.



Şekil 4.6. Yakmada kayıp deneyi sonuçlarının kıyaslanması.

Kıyaslama sonucunda kullanılan hammadde miktarları ile orantılı % değerler elde edilmiştir. Bazalt lifin takviye olarak kullanıldığı Boru No-2'de bazalt lifi kullanımı ile lifleri ıslatmak için gerekli olan reçine miktarı artmıştı bu durum bu deney sonucu ile burada da görülmüştür. Reçine miktarının azaltılmaya çalışıldığı Boru No-6'da reçine miktarı Boru No-1 ile benzer gelmiştir bunun sebebi azaltılan reçine miktarının % değeri çok fazla olmadığından ve yakma numunesi boyutundan kaynaklı olabilir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Hibrit lif ve mineral takviyeli kompozit boruların üretimi savurma döküm metodu ile gerçekleştirilmiştir. Üretim sırasında bazalt lif tek başına ve cam lif ile hibrit olarak takviye malzemesi olarak denenmiştir. Hibrit mineral olarak ise Fuller 0,8 karışımı sağlanmıştır. Üretimi gerçekleştirilen hibrit lif ve mineral takviyeli boruların mekanik ve fiziksel karakterizasyonu için mekanik ve fiziksel deneyler yapılmıştır. Mekanik deneyler kapsamı içerisinde rijitlik ve eksenel çekme deneyi yer almaktadır. Fiziksel deneyler kapsamında ise yakmada kayıp deneyi yer almaktadır. Bununla birlikte bütün üretim ve deney süreci görsel olarak incelenmiştir.

Yapılan bu çalışmada ortaya çıkan sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

Bazalt lif ya da hibrit takviyenin standart kompozit borunun mekanik değerlerinin olumsuz yönde etkilemediği hatta rijitlik değerini arttırdığı görülmüştür. Fakat bazalt lifin tek başına ya da hibrit lif olarak kullanıldığında savurma döküm yöntemi için şimdilik çok uygun olmadığı görülmüştür. Bunun sebebi olarak ise en başta üretilen kompozit boruların iç yüzeydeki astar tabakada meydana gelen matris çatlakları olmakla birlikte reçine sarfiyatının yükselmesi gösterilebilir.

Mineral takviyeli kompozit boru denemelerinde ise Fuller 0,8 karışımının eksenel çekme dayanımını düşürdüğü görülmüştür. Rijitlik deneyi sonuçlarında ise standart reçine kullanımında sonuçları iyileştirdiği fakat gövde kısmında reçine miktarı azaltıldığında ise rijitlik değerinin düştüğü görülmüştür.

Mineral takviyeli kompozit boru denemelerinde reçine sarfiyatını azaltmak için kullanılan reçine miktarından kilogram olarak % 5 – 7 daha düşük reçine miktarının kullanıldığı denemede elde edilen rijitlik ve eksenel çekme dayanımının standartlarda belirtilen değerlerin üzerinde olduğu görülmüştür. Hibrit mineral karışımı kullanılarak hem daha düşük reçine sarfiyatı yakalanmış hem de mekanik değerler korunmuştur.

Bazalt lif ile yapılacak ilerleyen çalışmalarda kompozit ürünün üretime doğru bir şekilde entegre edebilmesi için doğru üretim metodu, ürün boyutu ve geometrisi ve lif boyutu iyi seçilmelidir. Bazalt ya da hibrit lif takviyeli kompozit ürülerde ürün geometrisi daha basit ya da son kullanımda uygulamanın yapılacağı yüzeyin yardımcı bir kalıp tarafından şekillendireceği yöntemlerin seçilmesi daha faydalı olabilir.

6. KAYNAKLAR

- [1] M. Martin Alberto, "Introduction of Fibre-Reinforced Polymers – Polymers and Composites: Concepts, Properties and Processes", In *Fiber Reinforced Polymers The Technology Applied for Concrete Repair*, 1. baskı, London, United Kingdom: Intech Open, 2013, s. 1, ss. 4-40.
- [2] A. Strong Brent, *Fundamentals of Composites Manufacturing Materials, Methods, and Applications*, 2. baskı, Dearborn, Michigan: Society of Manufacturing Engineers, 2008.
- [3] Y. Şahin, *Kompozit Malzemelere Giriş*. Ankara, Türkiye: Gazi Kitabevi, 2000, ss. 1-11.
- [4] W. D. Callister and J. G. Rethwisch, *Materials Science and Engineering*, 8. baskı, 2013, böl. 14, 15, 16, ss. 532-672.
- [5] T. P. Sathishkumar, S. Satheeshkumar, and J. Naveen, "Glass fiber-reinforced polymer composites – a review," *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, c. 33, s. 13, ss. 1258–1275, 2014.
- [6] D. R. Aaskeland, P.P. Fulay, W.J. Wright, and D.K. Bhattacharya, *The Science And Engineering of Materials*, 6. baskı, Global Engineering, 2011, ss. 601-679.
- [7] R. Jones, *Mechanics of Composite Materials*, 2. baskı, Taylor & Francis, 1999, ss. 1-15.
- [8] A. Can, *Makine Tasarımcıları İçin Malzeme Bilgisi*, İstanbul, Türkiye: Birsen yayınevi, 2010, ss. 235-247.
- [9] K. Onaran, *Malzeme Bilimi*, 5. baskı, İstanbul, Türkiye: Bilim Teknik Yayınevi, 1995, ss. 328-366.
- [10] G. Akovalı, *Handbook of Composite Fabrication*, 1. baskı, Shropshire, England: Rapra Technology LTD., 2001, ss. 3-50.
- [11] İ. Türkmen, ve N. S. Köksal, "Cam elyaf takviyeli polyester matrisli kompozit malzemelerde (CTP) elyaf tabaka sayısına bağlı mekanik özelliklerin ve darbe dayanımının incelenmesi," *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, c. 2, s. 8, ss. 17-30, 2012.
- [12] S. Doğanay ve Y. Ulcay, "Farklı oranlarda takviye edilmiş cam lifi polyester kompozitlerin deniz suyu etkisi altında yorulma davranışının incelenmesi," *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 12, s. 2, ss. 85–95, 2007.
- [13] Y. Ulcay, M. Akyol ve R. Gemici, "Polimer esaslı lif takiyeli kompozit malzemelerin arabirim mukavemeti üzerine farklı kür metotlarının etkisinin

incelenmesi,” *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Fakültesi Dergisi*, c.7, s. 1, ss. 93–116, 2002.

- [14] H. Yıldızhan, “Polimer matrisli kompozitlerin mekanik özelliklerinin incelenmesi,” Yüksek lisans tezi, Makine Eğitimi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye, 2008.
- [15] C. Hall, *Polymer Materials*, The Macmillan Press LTD, 1989, ss. 1-180.
- [16] S. Mazumdar, *Composites Manufacturing: Materials, Product, and Process Engineering*, CRC Press, 2002, ss. 28-31.
- [17] K. K. Chawla, *Composite Materials: Science and Engineering*, 2nd ed., New York, NY: Springer New York, 1998, ss. 80-153.
- [18] M.T. Mathew, V. Naveen Padaki, L.A. Rocha, “Tribological properties of the directionally oriented warp knit GFRP composites,” *Wear*, c. 263, ss. 930–938, 2007
- [19] F. A. Lopez, M. A. Martin, F. J. Alguacil, “Thermolysis of fibreglass polyester composite and reutilisation of the glass fibre residue to obtain a glass ceramic material,” *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, c. 93, ss. 104-112, 2012.
- [20] S. Erden, K. Sever, Y. Seki, “Enhancement of the mechanical properties of glass/polyester composites via matrix modification glass/polyester composite siloxane matrix modification,” *Fibers and Polymers*, c. 11, ss. 732–737, 2010.
- [21] S. Alam, F. Habib, M. Irfan, “Effect of orientation of glass fiber on mechanical properties of GRP composites,” *Journal of The Chemical Society of Pakistan*, c. 32, ss. 3, 265–269, 2010.
- [22] N. Gupta, “Effect of filler addition on the compressive and impact properties of glass fibre reinforced epoxy,” *Bulletin of Materials Science*, c. 24, s. 2, ss. 219–223, 2001
- [23] L. W. H. Leonard, K.J. Wong, K.O. Low, “Fracture behavior of glass fiber reinforced polyester composite,” *Journal of Materials Design and Applications*, c. 223, ss. 83–89, 2009.
- [24] Superlit. (2019, 18 Ocak), *CTP boru kullanım alanları ve avantajları*, [Online]. Erişim: <http://www.superlit.com/tr/urunler-hizmetler/ctp-boru/#kullanim-alanlari-ve-avantajlari>
- [25] Bazaltfm. (2019, 18 Ocak), *Bazalt*, [Online], Erişim: <http://bazaltfm.com/eng/index.html>
- [26] G. Deshmukh, “Bazalt - The Technical Fibre,” *Man-made Textiles in India*, c. 50, s. 7, ss. 258-261, 2007.

- [27] Anonim. (2019, 18 Ocak), *Bazalt rock fibre*, [Online], Erişim: <http://www.seminarprojects.com/Thread-bazalt-rock-fibre-brf>
- [28] D. Saravanan, "Spinning the Rocks - Bazalt Fibres," *Journal of the Institution of Engineers (India): Textile Engineering Division*, c. 86, ss. 39-45, 2006.
- [29] K. Singha, "A short review on bazalt fiber," *Journal of Textile Science*, c. 1, s. 4, ss. 19-28, 2012.
- [30] V. Fiore, et al., "A review on bazalt fibre and its composites," *Composites Part B: Engineering*, c. 74, ss. 74-94, 2015.
- [31] T. Czighny, "Discontinuous Bazalt Fiber-Reinforced Hybrid Composites," In *Polymer composites*, 1st ed., Boston, USA, Springer, 2005, c. 4, böl. 17, ss. 309-328.
- [32] T. Czigány, T. Deák, P. Tamás, "Discontinuous bazalt and glass fiber reinforced PP composites from textile prefabricates: effects of interfacial modification on the mechanical performance," *Composite Interfaces*, c. 15, s. 7-9, ss. 697-707, 2008.
- [33] H. Mankodi. (2019, 23 Ocak), *New reinforced material for textile composite - bazalt fiber*, [Online], Erişim: <https://www.technicaltextile.net/articles/new-reinforced-material-2514>
- [34] A. A. Dalinkevich, K. Z. Gumargalieva, S. S. Marakhovsky, A. V. Soukhanov, "Modern bazalt fibrous materials and bazalt fiber-based polymeric composites," *Journal of Natural Fibers*, c. 6, ss. 248-271, 2009.
- [35] J. Sim, C. Park, D. Y. Moon, "Characteristics of bazalt fiber as a strengthening material for concrete structures," *Composites: Part B Engineering*, c. 36, ss. 504-512, 2005.
- [36] T. Czigany, J. Vad, K. Pölöskei, "Bazalt fiber as a reinforcement of polymer Composites," *Periodica Polytechnica ser. Mechanical. Engineering*, c. 49, s. 1, ss. 3-14, 2005.
- [37] R. Yahaya, S. M. Sapuan, M. Jawaid, Z. Leman, E. S. Zainudin, "Mechanical performance of Woven knaf-Kevlar hybrid composites," *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, c. 33, s. 24, ss. 2242-2254, 2014.
- [38] H. Jung, Y. Kim, "Mode I fracture toughness of carbon-glass/epoxy interply hybrid composites," *Journal of Mechanical Science and Technology*, c. 29, s. 5, ss. 1955-1962, 2015.
- [39] Y. Z. Wan, G. C. Chen, Y. Huang, Q. Y. Li, F. G. Zhou, J. Y. Xin, "Characterization of three-dimensional braided carbon/Kevlar hybrid composites for orthopedic usage," *Materials Science and Engineering: A*, c. 398, s. 1-2, ss. 227-232, 2005.

- [40] Y. Z. Wan, J. J. Lian, Y. Huang, Y. L. Wang, G. C. Chen. "Two-step surface treatment of 3D braided carbon/Kevlar hybrid fabric and influence on mechanical performance of its composites," *Materials Science and Engineering: A*, c. 429, ss. 304-311, 2006.
- [41] N. K. Naik, C. Veerajju, R. K. Venkateswara, "Hybrid composites under high strain rate compressive loading," *Materials Science and Engineering: A*, c. 498, ss 87-99, 2008.
- [42] Fiberglass Pipe Desing, Awwa M45, 2013.
- [43] Superlit. (2019, 23 Ocak), *Sürekli elyaf sarma yöntemi*, [Online], Erişim: <http://www.superlit.com/tr/teknoloji-ve-kalite/surekli-elyaf-sarma-fw/>
- [44] Superlit. (2019, 23 Ocak), *Savurma döküm yöntemi*, [Online], Erişim: <http://www.superlit.com/tr/teknoloji-ve-kalite/savurma-dokum-cc/>
- [45] V. Manikandan, J.T. Winowlin Jappes, SM. Suresh Kumar, P. Amuthakkannan, "Investigation of the effect of surface modifications on the mechanical properties of bazalt fibre reinforced polymer composites," *Composites Part B: Engineering*, c. 43, ss. 812-818, 2012.
- [46] R. K. Gideon, H. Hu, P. Wambua, B. Gu, "Characterizations of bazalt unsaturated polyester laminates under static three-point bending and low-velocity impact loadings," *Polymer Composites*, c. 35, ss. 2203-2213, 2014.
- [47] M. Černý, P. Glogar, V. Goliáš, J. Hruška, P. Jakeš, Z. Sucharda, "Comparison of mechanical properties and structural changes of continuous bazalt and glass fibres at elevated temperatures," *The Journal Ceramics- Silikat*, c. 51, s. 2, ss. 82-88, 2007.
- [48] C. Colombo, L. Vergani, M. Burman, "Static and fatigue characterisation of new bazalt fibre reinforced composites," *Composite Structures*, c. 94, ss.1165-1174, 2012.
- [49] S. Carmisciano, I. M. De Rosa, F. Sarasini, A. Tamburrano, M. Valente, "Bazalt woven fibre reinforced vinylester composites: flexural and electrical properties," *Materials and Design*, c. 32, ss. 337-342, 2011.
- [50] F. Zhang, L. Wu, Y. Wan, R. K. Gideon, B. Gu, B. Sun, "Numerical modeling of the mechanical response of bazalt plain woven composites under high strain rate compression," *Journal of Reinforced Plastic Composites*, c. 33, ss. 1087-1104, 2014.
- [51] P. Mertiny, K. Juss, M. M. El Ghareeb, "Evaluation of Glass and Bazalt Fiber Reinforcements for Polymer Composite Pressure Piping," *Journal of Pressure Vessel Technology*, c. 131, ss. 061407-1, 2009.

- [52] M. T. Demirci, N. Tarakçıoğlu, A. Avcı, R. Yakut, “Burst Failure of Bazalt Fiber Reinforced Filament Wound Pipe,” *14th International Materials Symposium (Imsp’2012)*, Denizli, Türkiye, 2012, ss. 287-293.
- [53] V. Lopresto, C. Leone and I. De Iorio, “Mechanical characterisation of bazalt fibre reinforced plastic,” *Composites Part B: Engineering*, c. 42, s. 4, ss. 717–723, 2011.
- [54] *Plastic piping systems - Glass-reinforced thermosetting plastics (GRP) pipe – Determination of initial specific ring stiffness*, ISO 7685, 1998.
- [55] *Plastic piping systems – Glass-reinforced thermosetting plastics (GRP) pipes – Test methods for the determination of the initial longitudinal tensile strength*, ISO 8513, 2016.
- [56] *Standard Specification For “Fiberglass” (Glass-Fiber-Reinforced Thermosetting-Resin) Pressure Pipe*, ASTM D3517, 2014.
- [57] *Standard test methods for loss on ignition (LOI) of solid combustion residues*, ASTM D7348, 2013

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı :Özcan Çağlar
Doğum Tarihi ve Yeri : 1967 - Düzce
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : ocaglar@superlit.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Makine Müh.	Yıldız Teknik Üniversitesi	1990
Lise	Makine Teknisyenliği	İzmit Teknik Lisesi	1985

YAYINLAR