



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

**CAM ELYAF TAKVİYELİ KOMPOZİT BORU ÜRETİMİNDE
ORTAYA ÇIKAN ATIK BORU TOZUNUN YENİDEN ÜRETİM
SÜRECİNE ENTEGRASYONU**

HASAN GÜNER

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. AHMET BEYCİOĞLU**

DÜZCE, 2019

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

CAM ELYAF TAKVİYELİ KOMPOZİT BORU ÜRETİMİNDE
ORTAYA ÇIKAN ATIK BORU TOZUNUN YENİDEN ÜRETİM
SÜRECİNE ENTEGRASYONU

Hasan GÜNER tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Ahmet BEYÇİOĞLU

Adana Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Mühendislik Fak./ İnşaat Müh.

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Ahmet BEYÇİOĞLU

Adana Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Mühendislik Fak./ İnşaat Müh.

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa DAYI

Düzce Üniversitesi Teknoloji Fak./ İnşaat Müh.

Dr. Öğr. Üyesi Ali MARDANI-AGHABAGLOU

Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fak. / İnşaat Müh.

Tez Savunma Tarihi 25/01/2019

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.

25 Ocak 2019

Hasan GÜNER

TEŞEKKÜR

Tez konusunun belirlenmesi, araştırılması, uygulamalar sırasında ve çalışmanın tamamlanmasında engin bilgi ve tecrübeleri ile desteğini esirgemeyen değerli hocam ve tez danışmanım Doç. Dr. Ahmet BEYÇİÖĞLU'na ayırdığı değerli zamanı ve sağladığı destek için teşekkür ederim.

Her türlü imkanı seferber ederek üretim ve deneylerimizin gerçekleştirilmesinde önemli rol oynayan tüm Superlit Boru Sanayi AŞ yönetimi ve çalışanlarına sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım boyunca bilgi ve yardımlarını esirgemeyen Superlit Teknoloji Direktörü Sn. Özcan ÇAĞLAR'a ve Superlit Proje Yöneticisi İnş. Müh. Hakan MİS'e, ilgisi ve önerileri ile tezin yazılmasında ve düzenlenmesinde çok büyük desteğini gördüğüm Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü öğretim elemanı Dr. Esra Deniz GÜNER hocama teşekkürü bir borç bilirim.

Bu zorlu süreç dahil hayatımın geçen tüm zamanlarında yanımda olan aileme, tezin başlangıcından bitimine kadar bana inanan ve her türlü desteği veren, beni çalışmaya motive eden eşim Berivan ADEM GÜNER ile biricik kızım İmge GÜNER'e çok teşekkür ederim.

Ocak 2019

Hasan GÜNER

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	viii
SİMGELER	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. CTP MALZEMELERİNİN GERİ DÖNÜŞÜM ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ	3
1.2. KOMPOZİT MALZEMELERİN ÖZELLİKLERİ	10
1.3. KOMPOZİT MALZEME ELEMANLARI.....	12
1.4. POLİMER MATRİSLİ KOMPOZİTLER.....	13
1.4.1. Polimer Matris Yapı.....	13
1.4.1.1. Termoplastik Matrisler	13
1.4.1.2. Termoset Matrisler	14
1.4.2. Takviye Elemanları	14
1.4.3. Katkılar	17
1.4.4. Dolgu Maddeleri	19
1.5. CTP KOMPOZİT BORULAR	19
1.5.1. CTP Kompozit Boruların Kullanım Alanları ve Özellikleri	19
1.5.2. CTP Kompozit Borulardan Beklenen Mühendislik Özellikleri.....	23
1.5.3. CTP Kompozit Boruların Üretim Yöntemleri.....	26
1.5.3.1. Sürekli Elyaf Sarma (CFW) Yöntemi	26
1.5.3.2. Savurma Döküm (CC) Yöntemi.....	27
1.5.4. CTP Kompozit Borularla İlgili Standartlar ve Testler.....	29
1.5.4.1. Rijitlik Deneyi	29
1.5.4.2. Çember Çekme Deneyi.....	31
1.5.4.3. Eksenel Çekme Deneyi.....	32
2. MATERYAL VE YÖNTEM	33
2.1. MATERYAL	33
2.2. YÖNTEM.....	36
2.2.1. Karışıma Giren Malzemelerin Hazırlanması	36
2.2.2. Boru Örneklerinin Üretimi.....	38
2.2.3. Boru Örnekleri Üzerinde Gerçekleştirilen Mekanik Testler	41
2.2.3.1. Rijitlik Deneyi	41

2.2.3.2. Çember Çekme Deneyi.....	41
2.2.3.3. Eksenel Çekme Deneyi.....	42
3. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	43
3.1. ÇEMBER ÇEKME TESTİ SONUÇLARI	43
3.2. EKSENEL ÇEKME TESTİ SONUÇLARI.....	48
3.3. RİJİTLİK TESTİ SONUÇLARI.....	54
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	57
5. KAYNAKLAR.....	59
ÖZGEÇMİŞ.....	63

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Sektörel olarak kompozit tüketim oranları (%) [2].	3
Şekil 1.2. Elyaf takviyeli kompozit malzeme.	11
Şekil 1.3. Kompozit malzemenin kullanım alanları.	11
Şekil 1.4. Matris malzeme elemanları [40].	13
Şekil 1.5. Kompozit malzemelerde kullanılan başlıca takviye elemanları.	15
Şekil 1.6. Nano kompozitlerin matris içerisinde dağılımı.	19
Şekil 1.7. Sulama hatları a) Sulama boru hattı döşemesi b) Genel görünüm.	20
Şekil 1.8. Hidroelektrik santrali a) Genel görünüm b) Kullanılacak CTP borular.	21
Şekil 1.9. Arıtma tesisi a) Genel görünüm b) Tesisi havuzuna döşenmiş CTP boru.	21
Şekil 1.10. Kanalizasyon a) Kullanılan CTP menholler b) CTP boru hattı.	21
Şekil 1.11. Termik santral a) Genel görünüm b) Su alma ve deşarj boru hatları.	22
Şekil 1.12. İçme suyu borusu a) CTP boru hattı b) CTP borular ve hendek.	22
Şekil 1.13. Soğutma kulesi a) Genel görünüm b) Kullanılan CTP borular.	22
Şekil 1.14. Tank a) CTP tank uygulamaları [51] b) CTP kompozitten üretilmiş tank tipleri.	23
Şekil 1.15. Üretim a) Hammadde beslenmesi b) Sürekli elyaf sarma metodu.	27
Şekil 1.16. Sürekli elyaf sarma ile üretilmiş CTP boru katmanları.	27
Şekil 1.17. Santrifüj (savurma) döküm yöntemi üretim akış şeması.	28
Şekil 1.18. Savurma döküm ile üretilmiş CTP boru katmanları.	29
Şekil 1.19. Rijitlik deneyi.	30
Şekil 1.20. Çember çekme numunesi [53].	31
Şekil 2.1. Boru tozu a) Numune görünümü b) SEM görüntüsü.	36
Şekil 2.2. Karıştırılmış numuneler a) %2.5 b) %5 c) %7.5 d) %10.	37
Şekil 2.3. Atık boru tozu ve kumun karıştırılması.	38
Şekil 2.4. Operasyon a) Kum haznesine boşaltma b) Kullanılan karışımın boşaltılması.	39
Şekil 2.5. Savurma döküm yöntemi ile boru üretiminde kullanılan besleyici kol.	39
Şekil 2.6. Üretilmiş CTP kompozit borular.	40
Şekil 2.7. Test numuneleri a) Rijitlik deneyi için b) Deneyin uygulanması.	41
Şekil 2.8. Çember çekme deneyi a) Aparat b) Deney için hazırlanan numuneler.	42
Şekil 2.9. Eksenel çekme deneyi a) Hazırlanan numuneler b) Deney düzeneği.	42
Şekil 3.1. Çember çekme ortalama değerleri ve AWWA standardı [43].	48
Şekil 3.2. Eksenel çekme mukavemeti ortalama değerleri ve AWWA standardı [43].	54
Şekil 3.3. Rijitlik mukavemeti ortalama değerleri ve EN standardı [49].	55
Şekil 3.4. Defleksiyon altındaki yapısal tabakalar a) Y-2.5 b) Y-5 c) Y-7.5 d) Y-10.	56

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa No

Çizelge 1.1. Atıkların bertarafı/geri kazanımı için alternatif yöntemler [8].	5
Çizelge 1.2. Türlerine göre elyafların karşılaştırılması [40].	16
Çizelge 1.3. Seviye A ve Seviye B sehim değerleri.	31
Çizelge 2.1. CTP boru üretiminde kullanılan polyester reçinenin özellikleri.	33
Çizelge 2.2. CTP boru üretiminde kullanılan silis kumu özellikleri.	34
Çizelge 2.3. CTP boru üretiminde kullanılan E-cam özellikleri.	34
Çizelge 2.4. Atık boru tozu elek analizi.	35
Çizelge 2.5. Boru karışımlarına giren malzeme miktarları.	38
Çizelge 2.6. Boru numunelerinden alınan test örneklerinin açıklanması.	40
Çizelge 3.1. Referans CTP boru için çember çekme dayanımı deney sonuçları.	43
Çizelge 3.2. %2.5 boru tozu içeren CTP boru için çember çekme dayanımı deney sonuçları.	44
Çizelge 3.3. %5 boru tozu içeren CTP boru için çember çekme dayanımı deney sonuçları.	45
Çizelge 3.4. %7.5 boru tozu içeren CTP boru için çember çekme dayanımı deney sonuçları.	46
Çizelge 3.5. %10 boru tozu içeren CTP boru için çember çekme dayanımı deney sonuçları.	47
Çizelge 3.6. Referans CTP boru için eksenel çekme deney sonuçları.	49
Çizelge 3.7. %2.5 boru tozu içeren CTP boru için eksenel çekme deney sonuçları.	50
Çizelge 3.8. %5 boru tozu içeren CTP boru için eksenel çekme deney sonuçları.	51
Çizelge 3.9. %7.5 boru tozu içeren CTP boru için eksenel çekme deney sonuçları.	52
Çizelge 3.10. %10 boru tozu içeren CTP boru için eksenel çekme deney sonuçları.	53
Çizelge 3.11. Rijitlik test sonuçları.	54

KISALTMALAR

AB	Avrupa birliği
ABD	Amerika birleşik devletleri
ABS	Acrylonitrile butadiene streyn
Al_2O_3	Alüminyum oksit
B_2O_3	Boron trioksit
BaO	Baryum oksit
$CaCO_3$	Kalsiyum karbonat
CaO	Kalsiyum oksit
CC	Centrifugal casting
CFW	Continuous filament winding
CTP	Cam elyaf takviyeli polyester
DN	Çap sınıfı
Fe_2O_3	Demir oksit
FT	Beslemenin yapıldığı taraf
GRP	Glass reinforced polyester
HDPE	High density polyethylene
K_2O	Potasyum oksit
KT	Arka tarafta kalan kapak tarafı
MgO	Magnezyum oksit
Na_2O	Sodyum oksit
PA	Poli amid
PAN	Polyacrylonitrile
PC	Polikarbonat
PE	Polietilen
PET	Polyester
PLC	Programmable logic controllers
PN	Basınç sınıfı
PP	Polipropilen
PS	Polistreyn
PTFE	Politetra floretilene
PVC	Sentetik plastik polimer (Poli vinil klorür)
SEM	Scanning electron microscopy
S/Ç	Su / çimento oranı
SiO_2	Silisyum dioksit
SN	Rijitlik sınıfı

SİMGELER

b	Test parçasının genişliği
d	Dış çap
d _m	Ortalama çap
e	Et kalınlığı
f	Defleksiyon faktörü
F	Maksimum kuvvet
F	Uygulanan kuvvet
GPa	Giga pascal
L	Numune ortalama genişliği
mm	Milimetre
MPa	Mega pascal
N	Newton
S ₀	Rijitlik
y	Defleksiyon
σ _{LA}	Eksenel çekme dayanımı

ÖZET

CAM ELYAF TAKVİYELİ KOMPOZİT BORU ÜRETİMİNDE ORTAYA ÇIKAN ATIK BORU TOZUNUN YENİDEN ÜRETİM SÜRECİNE ENTEGRASYONU

Hasan GÜNER
Düzce Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Müh. Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi
Danışman: Doç. Dr. Ahmet BEYÇİOĞLU
Ocak 2019, 62 sayfa

Bu tez çalışmasında, Cam Elyaf Takviyeli Polyester (CTP) kompozit boru üretiminden çıkan ve atık olan boru tozunun yeniden CTP kompozit boru üretiminde kullanım potansiyelinin araştırılmıştır. Çalışmada, atık boru tozu CTP boruların üretiminde kullanılan silis kumu miktarının %2.5, %5, %7.5 ve %10'u oranında karışıma ilave edilerek kullanılmıştır. Atık boru tozu içeren her bir karışım için, PN 6 bar basınç sınıfı ve SN 5000 N/m² rijitlik sınıfında 350 mm çap ve 6 metre uzunluğa sahip birebir ölçekli borular santrifüj yöntemiyle üretilmiştir. Üretimi yapılan CTP borularda mekanik özelliklerin değişimi çember çekme dayanımı, eksenel çekme dayanımı ve rijitlik dayanımı testlerinin sonuçları ile değerlendirilmiştir. Boru tozu içeren tüm CTP borular, referans boru ile karşılaştırılmış ve sonuçların ilgili standartlara uygunluğu değerlendirilmiştir. Sonuç olarak boru tozu kullanımı ile mekanik özellikleri iyileştirilmiş, standartlarda tanımlanan sınır değerleri sağlayan ve farklı projeler için tasarlanabilen CTP boru üretiminin mümkün olduğu belirlenmiştir. Ayrıca boru tozunun yeniden üretim sürecine entegrasyonunun atık yönetimi açısından da faydalı bir yaklaşım olarak değerlendirilebileceği ortaya konulmuştur.

Anahtar sözcükler: CTP, Kompozit boru, Atık boru tozu, Mekanik performans, Geri dönüşüm.

ABSTRACT

INTEGRATION OF THE WASTE PIPE POWDER INTO PRODUCTION OF GLASS FIBER REINFORCED COMPOSITE PIPE PRODUCTION

Hasan GÜNER

Düzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Civil Engineering

Master's Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ahmet BEYÇİOĞLU

January 2019, 62 pages

In this thesis, re-using potential of Glass Reinforced Polyester (GRP) pipe dust, which is a waste that occurs during manufacturing process, in GRP pipe production has been investigated. GRP pipe dust, was used as 2.5%, 5%, 7.5% and 10% of total amount of silica sand that is used for pipe producing. Centrifugal casted pipes were manufactured with a nominal diameter of 350 mm, nominal pressure class of 6 Bars and nominal stiffness of 5000 N/m^2 for each mixture combination and reference pipe which has pipe waste dust. Changes of mechanical properties are evaluated with results of as hoop tensile strength, axial tensile strength and hoop flexural strength tests. All GRP pipes which have pipe waste dust are compared with reference pipe and conformity of results to related standards is evaluated. Finally, it has been determined that manufacturing of GRP pipe, which has better mechanical properties, fulfill the required values defined in standards and is able to be designed for different kind of projects can be done by using waste pipe dust. Also it has been presented that entegration of waste dust in production is a usefull approach in terms of waste management.

Keywords: GRP, Composite pipe, Waste dust, Mechanical performance, Recycle.

1. GİRİŞ

Kompozit malzemeler makro boyutlarda en az iki bileşenden oluşmaktadır. Yüksek dayanımları, düşük ağırlıkları, korozyona karşı dirençli olmaları, uzun kullanım ömürleri gibi avantajlı özellikleri sayesinde geniş bir yelpazede kullanım alanı sunmaktadırlar. Özellikle havacılık, ulaştırma ve inşaat pazarlarında klasik mühendislik malzemelerine alternatif olmaları ile sağlık, savunma sanayisi, petrol ve gaz endüstrileri, yenilenebilir enerji gibi farklı sektörlerde çeşitli uygulamalar için kullanılmaktadır. Kompozitlerin 2020 yılına kadar dünya genelinde 95 milyar dolarlık bir pazar payına sahip olması beklenmektedir. Bu pazar payı 2014 yılındaki üretime (~67 milyar dolar) kıyasla %40'lık bir artış göstermiş ve sektördeki büyümeyi ortaya koymuştur [1]. 2016 yılı Türkiye Kompozit Derneği raporuna göre, Türkiye'de kompozit malzeme pazarı 1.225 milyar € ve 245.000 tonluk bir hacime ulaşmış bulunmaktadır. Kompozit sektörü tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de pazar payı artarak büyümektedir [2]. Gelişmişlik göstergesi olarak kabul edilen kişi başına düşen kompozit tüketim miktarı Dünya'da 4-10 Kg arasında bir dağılım izlerken, ülkemizde 3 Kg düzeyindedir [2]. Bu açıdan ülkemiz kompozit malzeme açısından gelişime açık bir pazar içerisinde yer almaktadır.

Gelişen endüstri ile hafif ve yüksek mukavemetli fiber takviyeli kompozit malzemelerin kullanımındaki artış (termoplastikler, termosetler), üretim ve tüketimden kaynaklı olarak kompozit atık madde miktarını da artırmaktadır. Özellikle termoset bazlı polimer kompozit atıklarının değerlendirilmesi heterojen yapılarından dolayı oldukça sınırlı olup beraberinde çevresel problemlerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Polimer kompozit malzemeler mekanik dayanımları ve kimyasal yapıları sayesinde kullanım ömürlerini tamamlasalar da doğada bozulmadan kalamakta ve çevre kirliliğine yol açmaktadırlar [3, 4]. Kompozitlerin kullanım alanlarının artması ile geri dönüşümü için daha fazla endüstriyel ölçekte çözümlere ulaşmanın gerekliliği günden güne artmaktadır.

CTP'nin fazla miktarlarda üretimi daha fazla atığa, daha fazla atık ise toksik tehditi ve çevresel endişelere yol açmaktadır. Bunun sebeplerinden biri kompozit malzemelerin önemli miktarlarda son kullanım olanakları bitmemiş atık malzeme ürünlerine neden

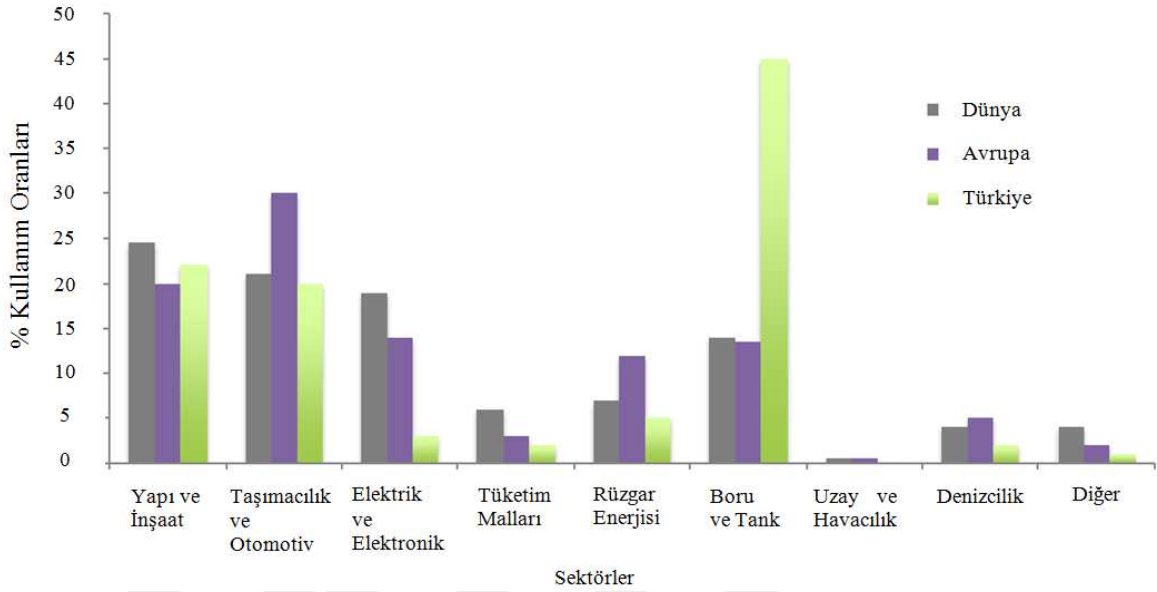
olmasıdır. Bu son ürün CTP atık malzemeleri de ilk ürün ile aynı yapıya sahip olup polimer ve cam liflerinin birleşiminden oluşmaktadır. Bu atıklar farklı boyut dağılımlarına sahip olup çoğunlukla kenar kesimi ve şekillendirme proseslerinden kaynaklanmaktadır. CTP atık malzemeleri, kullanım/hizmet ömrü sona erdikten sonra inşaat, otomobil, lokomotif ve havacılık endüstrilerinde de ciddi bir atık olarak ortaya çıkmaktadır [5, 6].

Düzenli depolama (toprak dolgu) ve yakma yöntemleri, CTP kompozit atıkları dahil olmak üzere termoset polimer kompozitlerinin bertarafı için en yaygın olarak kabul edilen yöntemlerdir [5, 7]. Ancak bu katı atıkların depolama alanına atılması büyük bir çevresel tehlike oluşturmaktadır. Gün geçtikçe çevresel bilincin ve duyarlılığın artması sonucu atık bertarafıyla ilgili yasal düzenlemeler genişlemekte ve hassaslaşmaktadır [8]. Yakma işlemi ise, fiber takviyeli plastik atık malzemenin bertarafı için önerilen çözümlerden biridir. Bununla birlikte, bu alternatif yöntem, atmosfere toksik maddelerin salınmasına katkıda bulunmakta ve daha yüksek bir işletim maliyeti içermektedir [9].

Günümüzde atıkların geri kazanılması üzerine yapılan çalışmaların sınırlı sayıda olduğu ve CTP atıklarının geri dönüşümü için uygulanabilir önerilerinde tam olarak ortaya konulamadığı görülmektedir. Çevre problemlerinin en aza indirilmesi için CTP atıklarındaki polimerik bileşiklerin ve cam elyafın yeniden kullanılma alternatiflerinin bulunması gerekmektedir. Cam fiber içerikli atıkların doğaya bırakılması yerine kompozit malzeme üretiminde yeniden kullanılması ile sürdürülebilir çevre anlayışı benimsenmiş olacaktır. Atıkların tekrar üretimde kullanılması maliyetlerin düşmesi ve en az aynı kalitede veya daha üstün özellikli ürünlerin elde edilmesine katkı sağlayacaktır.

Şekil 1.1.'de görülebileceği gibi ülkemizde toplam CTP kompozit pazarının yaklaşık %50'lik hacmini büyük yapısal projelerde boru ve tank üretimi oluşturmaktadır [2]. CTP boru, filaman sarımı veya santrifüj dökümü ile üretilen, takviye olarak cam elyaf içeren bir çeşit fiber takviyeli kompozit malzemedir. Üstün özellikleri ve yüksek dayanıklılığı sayesinde, CTP boruları temiz su ve içme suyu, sulama, su depolama sistemleri, hidroelektrik santralleri, kanalizasyon sistemi, yağmursuyu, su arıtma, deniz suyu alımı ve deşarjı gibi çeşitli inşaat mühendisliği uygulamalarında giderek daha fazla kullanılmaktadır [10, 11]. Boru ve tank üretiminde Avrupa pazarının, Dünya çapındaki üretimin dörtte birine sahip olduğu da görülmektedir [12]. Su ve atık su

projeleri için kullanılan boru sektöründeki büyüme beklentilerinden dolayı, bu pazarda ciddi bir hacim artışı beklenmektedir.



Şekil 1.1. Sektörel olarak kompozit tüketim oranları (%) [2].

1.1. CTP MALZEMELERİNİN GERİ DÖNÜŞÜM ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

İnşaat mühendisliği alanında geri dönüşüm malzemelerinin yeniden kullanımı dikkat çeken bir konudur. Özellikle kompozit malzemelerin geri dönüşümü günden güne önem kazanmaktadır. Matris ve takviye olmak üzere en az iki malzemeden oluşmaları kompozitlerin karmaşık kimyasal yapıya sahip olmalarına neden olmaktadır. Doğada bu karmaşık yapıdaki sentetik maddelerin geri dönüşü oldukça zordur. Doğada çözünmeyen kompozit atıkların geri dönüştürülüp tekrar kullanılabilirlik yeteneklerinin incelenmesi gerekli ve önemlidir [13,14].

Ancak, endüstriyel ölçekte geri dönüşümün uygulanabilmesi için, CTP geri dönüşümü ile üretilen malzemelerin piyasadaki düşük fiyatlı, yüksek kaliteli eşdeğer malzemeler ile rekabet edebilmesi gerekmektedir [13].

Kompozit atıkları için sürdürülebilir çözümler geliştirme ihtiyacı, çok çeşitli endüstrilerde kompozit kullanma eğiliminin artmasından kaynaklanmaktadır. Küresel olarak 8.5 milyon ton kompozit üretilmiş olup, bunun yaklaşık %90'a yakın kısmını polimer esaslı matrisler oluşturmaktadır. Avrupa'da, 2014 yılında yaklaşık 2.2 milyon ton cam lif takviyeli plastik üretilmiştir [12]. Türkiye'de CTP ürün hacimleri 2011-2014

yılları arasında sırasıyla 180, 195, 214, 225 (x1000 ton)'dur [12]. İngiltere piyasasında, cam elyaf kompozitleri 2010 yılında toplam talep hacminin yaklaşık %97'sini oluşturmuştur [15]. Aynı yıl, karbon ve cam elyaf kompozitlerinin ekonomik değeri 658 milyon £ ve 453 milyon £ olarak raporlanmıştır. Türkiye'de CTP kompozit malzeme pazarı 1.225 milyar € ve 245 bin tonluk bir hacime ulaşmıştır [16].

Dolayısıyla, atık CTP ürünlerinin geri kazanımı/geri dönüşümü için yapılan çalışmalar, atık hacminden kaynaklanan çevresel etkiyi azaltmak için önemlidir. Teknolojik yenilikler, büyüyen piyasa değeri ve Dünya'nın dört bir yanındaki CTP kompozitlere olan talep, CTP atık geri kazanımının optimize edilmesine yönelik ilgiyi arttırmıştır. Atık yapı malzemelerinin geri dönüşümü, doğal kaynakların korunmasında, enerji tasarrufunda, katı atığın azaltılmasında, hava ve su atıklarının minimum düzeye indirilmesinde, sera gazlarının azaltılmasında kilit rol oynamaktadır. Bu açıdan genel olarak CTP üretimi sırasında çıkan atıklarının değerlendirilmesi ilgili çalışmalar atığın öğütülerek yeniden kullanımına veya atığın içerdiği elyafı geri kazanmak üzerine yoğunlaşmıştır. Geri dönüşüm prosesleri atığın içerdiği elyafı geri kazanma amaçlı ısı (matris malzemeyi reçineden ısı temelli ayırmak) ve kimyasal (iki fazlı kimyasal çözeltiler ile ayırma) prosesler ile atığın öğütülerek doğrudan kullanımına yönelik mekanik temelli çalışmalar olarak sınıflandırılabilir.

Kompozit malzeme taleplerindeki önemli artışın daha yüksek imalat atıklarına neden olacağı açıktır. Kompozit hurda üretiminin toplam kompozit üretim hacminin %5 ila %40'ını oluşturduğu tahmin edilmektedir [17, 18]. Rüzgâr enerjisi sektöründe atık kompozit malzeme miktarının 2008-2028 yılları arasında 1 milyon tonu aşması beklenmektedir [19]. Avrupa Birliği (AB) ülkelerinde 2015 yılı itibari ile kullanım süresi biten ve üretim firesi olan termoset kompozit atıkların miktarının 304 bin tona ulaşacağı raporlanmıştır [20].

Kullanım süresi biten, üretim firesi ve bakım/onarım sonucu veya kesme işlemi gibi üretim sonrası elde edilen değişik partikül çapına sahip artıklar atık olarak sınıflandırılmaktadır. Bu atıkların yeniden kullanımı/geri dönüşümü çalışmaların odak noktasıdır. Ancak, kompozitlerin heterojen yapıları nedeniyle matris ve takviye elemanlarının ayrışma zorluğu geri dönüşüm proseslerinin en büyük problemidir. Geri dönüşüm için atık minimizasyonu; yeniden kullanım; geri dönüşüm; enerji geri kazanımı ile yakma ve enerji geri kazanımı olmadan düzenli depolama veya yakma

seçenekleri mevcuttur. Atıkların bertarafı/geri kazanımı için alternatif yöntemler Çizelge 1.1.'de özetlenmiştir.

Çizelge 1.1. Atıkların bertarafı/geri kazanımı için alternatif yöntemler [8].

Proses	Tanımı	Avantajlar	Dezavantajlar
Kimyasal Yöntem	Kompozit atık malzemelerin matris kısmı, tipik olarak 400 ⁰ C'den düşük sıcaklıklarda kimyasal reaktif veya su gibi çözücü kullanılarak çözülmesi işlemidir.	Uzun lifler, yüksek mukavemetli tutma ile geri kazanılabilir. Monomerleri veya reçineyi geri kazanma imkanı vardır.	Cam elyafın düşük sıcaklık dayanımı yüzünden aktif lif yüzeyine ve korozyona neden olmasından dolayı geri dönüşümü için termal ve kimyasal süreçler daha az tercih edilir.
Geleneksel Proliz	Kompozit malzemelerin organik kısmının oksijensiz ortamda ısı parçalanma işlemi ile ayrıştırılmasıdır.	Geri kazanılan sıvı ve gaz ürünleri, prosesi veya kimyasal hammaddeyi proses tekrar kendi enerji gereksinimlerini karşılamak için kullanma potansiyeline sahiptir.	Kazanılan ürünlerin yeniden kullanım için fiber boyutlandırma gibi uygulama sonrası ek prosesler gereklidir.
Mikrodalga Proliz	Kompozit malzemelerin organik kısmının oksijensiz ortamda mikrodalga ısıtma yoluyla ayrıştırılmasıdır.	Düşük enerji talebi ve hızlı ısıtma yüksek performanslı lif mukavemeti	
Yüksek Gerilimli Parçalama	Kompozit atıkları suda parçalamak için elektrik deşarjı kullanılmasıdır.	Yüksek performanslı lif mukavemeti Yeniden üretilen kompozitlerin iyi performansları	Proses sadece laboratuvar ölçeğinde kullanılabilir.
Akışkan Yataklı	Hava akımı, kompozit malzemelerin matris kısmının parçalamak için (450-650 ⁰ C) kullanılır. Silika yatağı üzerinde elyaf ve dolgu maddeleri gibi güçlendirici inorganik elementler ayrılır.	Kirlenmiş malzemeler ön işleme aşaması olarak temizlenmeden işlenebilir Kompozitin organik kısmının enerji geri kazanımı için potansiyeli vardır.	
Mekanik Yöntem	Kompozit atıkların toz (100 mm'den küçük) ve lif bakımından zengin (yaklaşık 5-10 mm uzunluğunda) fraksiyonlara indirgenmesidir.	Endüstriyel ölçekli kolay uygulama	Sadece kısa lifler ve dolgu maddeleri geri kazanılabilir Geri dönüşümlü ürünlerin düşük katma değere sahiptirler.

Genellikle kompozit atıkların bertarafında boyutları küçültüldükten sonra yakılması, çimento ve inşaat gibi sektörlerde dolgu maddesi olarak kullanılması veya çoğunlukla tercih edilen özel sahalara gömülmesi seçenekleri bulunmaktadır. Kompozit atıklarının yeniden kullanımı ve geri dönüşümünde, düzenli depolama, yaygın olarak kullanılan bertaraf yöntemidir [21]. İngiltere’de, kompozit atıklarının bertarafı için düzenli depolama yaygın yöntemdir [17]. Bununla birlikte, bu bertaraf prosedürü en az sürdürülebilir olan seçenektir. Ayrıca maliyet olarak, atık hiyerarşisinde geri dönüştürülmüş veya yeniden kullanılmış atıkları içeren proseslerden de daha ucuz bir seçenekte değildir [9]. Özellikle fiber takviyeli kompozitlerin düzenli depolama ile bertarafı Almanya’da yasaklanmış olup, diğer AB ülkelerinin de yasaklanma yönünde karar alınması beklenmektedir [22]. Avrupa’da da çevre mevzuatının daha sınırlayıcı hale gelmesiyle çöp alanlarına atılan bu malzemelerin geri dönüşümü için daha fazla endüstriyel ölçekte uygulamaların artmasına yönelik tutum yaygındır. Avrupa Birliği Konseyi, 2000a; atık yakma nedeniyle insan sağlığına yönelik çevresel etkileri ve riskleri azaltmayı amaçlayan yasal mevzuattır. Özellikle son yıllarda kompozit parçalarının kullanımı artan araç sektöründe ömrünü tamamlamış araçlar içinde Avrupa Birliği Konseyi, 2000b mevzuatı düzenlenmiştir. Bu mevzuat, ömrünü tamamlamış araçların %85’inin yeniden kullanılması veya geri dönüştürülmesi gerektiğini, yalnızca %10’unun enerji geri kazanımı ile yakılabileceğini ve %5’inin düzenli depolamaya gönderilmesini öngörmektedir. Ülkemizde de, atık yönetimi ve çevre mevzuatı, ömrünü tamamlamış tüm mühendislik malzemelerinin uygun bir şekilde geri kazanılmasını ve geri dönüştürülmesini teşvik etmektedir. Geri dönüşüm, yeniden kullanım ve matris malzemelerinin üretimi için kaynak ve enerji tasarufunda sağlayacaktır. Bu nedenle, önümüzdeki birkaç yıl içinde kompozit atık bertaraf maliyetinin hızla artacağı ve bu atıklar ile ilgili daha fazla düzenlemenin çıkarılacağı öngörülmektedir [21]. Bu artan yasal baskılar, genel çevresel kaygılar ve kompozit endüstrisinin daha sürdürülebilir ürünler üretmesi gerektiği düşüncesi, bu atık ürünlerinin daha yüksek düzeylerde geri kazanılması için çözümlerin geliştirilmesini teşvik etmektedir. Kompozit malzemelerin yeniden değerlendirilmesi/geri kazanılması endüstri kolu için oldukça kritik bir konudur. Çünkü bu malzemelerin bertaraf edilmesinin neden olduğu önemli çevresel etkiye rağmen, düzenli depolama sahalarına gönderimleri devam etmektedir. Gelişen teknoloji ile kompozitlerin kullanımı genişleyerek devam etmesi ve bunun nihayetinde daha fazla atığın oluşacağı açıkça ortadadır. Bu yüzden bu atıkların yönetmek için yenilikçi ve sürdürülebilir yaklaşımlar oldukça önemlidir.

Termoset matrisli kompozitlerin geri kazanım çözümlerine yönelik kapsamlı çalışmalarda kullanım ömrü biten ve üretim atığı olan termoset kompozitlerin toplanması, ayrıştırılması ve geri dönüşüm süreçleri açıklanmıştır [3]. Geri dönüşüm prosesi sonunda elde edilen ürünlerin maliyet giderlerinin yüksek olması ile düşük kaliteli olmaları sebebiyle ticari olarak tercih edilmedikleri raporlanmıştır. Bu sorunlar için, yeni ve kolay geri dönüştürülebilir kompozit malzemeler üretilmesi, ayrıştırma ve temizleme yöntemleri gelişmiş geri dönüşüm teknolojilerine öncelik verilmesi, üretimde geri dönüşüm ürünü fiberlerin orijinal fiberlerin yerine kullanılması çözüm olarak sunulmuştur.

Atıkları geri dönüşüm proseslerinden termal yöntemlerde esas olarak iki teknik vardır: (i) akışkanlaştırılmış yatak ısıtma işlemi [21] ve (ii) piroliz süreçleri [7, 23]. Hem karbon hem de cam elyaflar için araştırılan ve geliştirilen bu teknikler, temel olarak kompozit malzemenin polimerik matrisi uçucu hale getirmek için yeterince yüksek bir sıcaklığa ısıtılmasını ve böylece dolgu maddelerinin ve liflerin geri kazanılmasını mümkün kılmaktadır [24]. Aynı zamanda, polimer volatilizasyonundan kaynaklanan gazların yoğunlaşması, ısıtma işleminin kendisi için enerji sağlamak için kullanılabilen bir yakıt oluşturur. Ancak, malzemenin maruz kaldığı yüksek sıcaklıkların liflere zarar verebileceğine dikkat edilmelidir. Akışkanlaştırılmış yatak ısıtma işlemi, 450°C'ye ve 650°C'ye kadar ısıtmak, cam elyafların çekme mukavemetinde %50 ve %90'lık bir azalmaya neden olmaktadır [21]. Genel olarak mekanik yöntemlerle kompozit atığın öğütülerek geri dönüştürülmesi için çalışmalar yapılmıştır [25]. Ancak bu yöntem ile elde edilen ürünlerin yeni performans değerleri, çevresel etkileri, bu metodun enerji talebi gibi temel verileri büyük bir araştırma potansiyeline sahiptir. Mekanik geri dönüşüm şu anda termoset polimerler için ticari olarak kullanılan tek işlemdir [26]. Bu yöntem, geri dönüştürülmüş malzemelerin boyutlarını sırasıyla azaltan kesme, kırma ve öğütme gibi bir dizi işlemi içerir. İşlem aşaması, orijinal malzemeyi parçalara ayırmak için yavaş hız kesme veya kırma değirmenlerini kullandıktan sonra malzeme siklonlar ve elekler kullanılarak parçacık boyutuna ayrılarak yeni kompozitlerde dolgu malzemesi olarak veya takviye olarak kullanılabilir [21]. Öğütülmüş CTP dolgu malzemesi ve ahşap parçacıkları birlikte kullanarak ahşap-CTP kompozit kirişlerin üretiminde kullanılmıştır [9]. CTP geri dönüşüm takviyeli ve polyster matrisli rögar, ızgara ve pis su kapak üretimleri de termoset geri dönüşüm uygulama alanları olarak gösterilmiştir. Çevresel şartlara dayanıklı, ahşap kerestelerin yerini alabilecek polietilen (HDPE)

matrisli ve takviye malzemesi olarak atık CTP fiberi kullanılan plastik kirişler üretilmiştir. Üretilen bu kirişler, kıyı şeritlerinde dalga kıran, liman yer döşemesi ve tekneler için iskele koruyucusu olarak uygulamaları örnek gösterilmiştir.

Kumun %0 ile %20'sinin CTP ince atığı ile değiştirildiği beton karışımlarının özelliklerini değerlendirmek için testler yapılmıştır. Yüksek oranlarda CTP atığının eklenmesinin, hem mekanik hem de dayanıklılık ile ilgili özellikler açısından beton performansını kötüleştirdiği görülse de, düşük oranlarda dolgu ve CTP ince atıklarının betonda, özellikle de yapısal olmayan uygulamalarda yeniden kullanılmasının uygun olduğu görülmektedir [27]. Çimento fırınlarında kullanılan standart yakıtın, çimento performansını önemli ölçüde etkilemeksizin %10'a kadar bir oranda cam-polimer kompozit malzeme ile değiştirilebileceği de literatürde var olan bilgilerdendir. Daha yüksek katkı oranlarının, bor oksidinin varlığında, çimentonun özellikleri üzerinde zararlı bir etkiye neden olabileceği bildirilmiştir [28].

Çoğu ısıyla sertleşen CTP parçaları (pürüzlü profiller, kalıplanmış ızgaralar, paneller ve borular gibi) belirli bir amaç için üretilir ve bu nedenle diğer uygulamalarda kullanım sonrası yeniden kullanım şansı çok azdır. Çünkü uygulama benzer olsa bile, artık malzemenin mekanik özelliklerini hem çevresel bozulma hem de sünme etkilerini yeniden hesaplamak çok zor olacaktır. Çoğu durumda, belirli bir CTP parçasının yaşam döngüsünün sonunda, fiber/matris yapısı genellikle bilinmemektedir [9]. Özellikle yapısal kompozitlerin kesme artıklarının, imalat ve yapım sırasında üretilen diğer parçalar kolaylıkla tekrar kullanılamaz, ancak kesme işlemlerinde oluşan toz için önemli bir yeniden kullanım potansiyeli vardır. Bu toz, esas olarak, silis (örneğin cam elyaf takviyelerinden kaynaklanan) gibi maddeler içerebilen çok ince parçacıklardan (< 63 mm) oluşur. Mekanik geri dönüşüm ürünlerini, tane boyutu 0.5 mm'den küçük ise toz dolgu malzemesi, 0.5 mm ile 2 mm aralığında ise cam fiber olarak sınıflandırılmıştır [29]. Tane boyutlarının küçülmesi kütlece % cam içeriğinin azalmasına ve reçine miktarı bakımından zengin toz dolgu malzemesi elde edildiği raporlanmıştır. Bu çok ince parçacıklar için potansiyel uygulamalar, yeni CTP kompozitlerde veya beton karışımlarda dolgu maddesi olarak değerlendirilmesidir. %10'a kadar olan karışım da mekanik özelliklerin kaybı kabul edilebilir düzeydedir [24]. Geri dönüştürülmüş dolgu maddesinin %20'si kadar dahil edilmesinin, referans kompozit ile kıyaslandığında ürün performansını önemli ölçüde azaltmadığını ve bu nedenle malzemenin öz ağırlık ve nihai maliyetinde azalmayı temsil ettiği belirtilmiştir [26]. Bununla birlikte, daha

yüksek karışım için, matris yoğunluğu önemli ölçüde düşük olmasına rağmen, mekanik özelliklerde önemli ölçüde azalma olduğu raporlanmıştır [24]. Aynı çalışmada geri dönüştürülen maddelerin daha yüksek reçine emiliminden kaynaklanan işleme problemleri ortaya çıkabileceği de vurgulanmıştır.

Geri dönüştürülmüş cam elyaf takviyeli polimidin özelliklerini karakterize etmek için deneysel çalışmalar yapılmıştır. Ancak uygunluk ve geri dönüşüm potansiyelleri henüz tam olarak belirlenememiştir [30, 31]. Bir başka çalışmada PVC boru üretiminde kullanılan CaCO_3 dolgu malzemesi yerine, CTP boru üretiminde sulu kesim sırasında çıkan Silisyum Dioksit (SiO_2), cam elyaf ve polyester reçine içerikli sanayi atığını kullanımını incelenmiştir [32]. Atık katkısı ile yoğunluğu daha düşük ürün elde etmişlerdir. Çalışmada, CaCO_3 dolgu malzemeli ürünlerin sertlik değerleri düşük bulunurken %35-40 atık ilaveli numunelerde en yüksek sertlik değerleri ölçülmüştür. CTP atık geri dönüşümü üzerine yapılan başka bir çalışmada, ince öğütülmüş (<100 μm) atık CTP tozunun %0.5, 10, 15, 20 oranlarında beton karışımında kum yerine kullanımı incelenmiştir [27]. %5'e kadar olan kullanımında CTP tozunun betonun elastikiyetini iyileştirdiği, böylece çatlama eğilimini azalttığı görülmüştür. CTP atıklarının köpük betonda ince agrega yerine kullanıldığında üretilen malzeme hafiflerken dayanım performansının arttığını tespit edilmiştir [33]. Elde edilen yeni malzemenin yaygın dayanıklılığı bakımından yapısal veya yarı yapısal yapı malzemelerinde kullanıma uygun olabileceğini belirtmişlerdir. Bir diğer çalışmada, CTP atık tozunun hem çimento harçlarında (%10, %15 ve %20'lik ikame oranları) hem de kendiliğinden yerleşen betonlarda (%25 ve %50'lik ikame oranları) kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bazı dayanıklılık ile ilgili özellikler geliştirilmiş olsa da, önemli mekanik performans kaybına neden olduğu da çalışmada belirtilmiştir. CTP ile çimento esaslı malzemelerin kılcal su emme ve kuruma büzülmesinin, CTP olmadan üretilen çimento esaslı malzemelere kıyasla önemli ölçüde daha düşük değerlere sahip olduğunu belirtilmiştir [11]. Yapısal malzemeler üzerine yapılan başka bir çalışmada ise, prekast beton ve mimari panel malzemelerinde CTP atığı ağırlıkça %5-%50 oranlarında ince beton agregası yerine ilave edilmiştir. Çalışmada, su/çimento (S/Ç) oranı 0.50 (%5 CTP) ile 0.71 (%50 CTP) aralığında değiştirilmiştir. Çalışmada, su kürü altında CTP hacmindeki artış ile basınç dayanımlarını düşerken, 180 güne kadar uzatılmış su kürlerinde basınç dayanımı kayıplarının azaldığı görülmüştür. Ayrıca çalışma sonucunda, CTP atığı %5-%15 oranında ikame edilen ve etüv kürü uygulanan panel

malzemelerinde basınç dayanımının arttığı görülmüştür [34]. Harçlarda, kuruma büzülmesinin ve kapiler su emiliminin neden olduğu çatlama riskinin, CTP tozunun varlığında önemli ölçüde daha düşük olduğu bildirilmiştir [35].

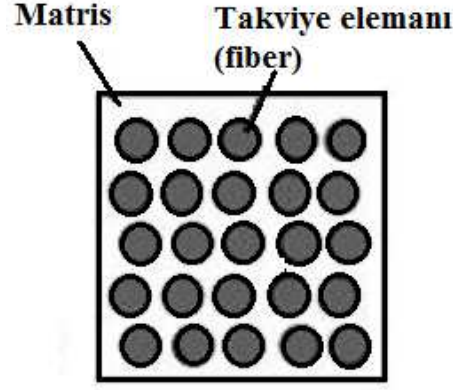
Ancak, çimentolu malzemelerde polimer matsili kompozit atığını kullanmak için olumsuz taraflar da bulunmaktadır. Örneğin, ince polimer matsili kompozit parçacıkları yüksek yüzey alanlarından dolayı betonun işlenebilirliğini azaltabilir. İşlenebilirliği sürdürmek için, S/Ç oranında kayda değer bir değişiklik ya da önemli miktarda bir süper-plastikleştiricinin eklenmesi gerekmektedir [27, 36]. Fakat, CTP'nin çimento hamurunun viskozitesini azalttığını ve CTP'nin uçucu külden daha etkili olduğunu gözlemlenmiştir [37]. Bununla birlikte CTP ile kum hacminin %5 ila %10'unu değiştirmenin kendiliğinden oluşan büzülmede artışa neden olduğunu bildirilmiştir [11]. Ayrıca, CTP ilavesinin çimento hamurunun oluşma zamanını geciktirdiğini de bulmuşlardır. Başka bir çalışmada ise, CTP'nin ince agreganın %50'si ile değiştirilen örnekte basınç dayanımında %60'lık bir azalma gözlemlenmiştir [38].

CTP atık tozunun betonda kullanımını da incelemiştir. %5, %15, %30 ve %50 oranlarında atık kullanarak, 90'dan fazla CTP atık dolgulu beton numunesi geliştirilmiştir. Bulgular, CTP atık içeriğindeki artışın basınç dayanımını azalttığını ortaya koymuştur [39].

1.2. KOMPOZİT MALZEMELERİN ÖZELLİKLERİ

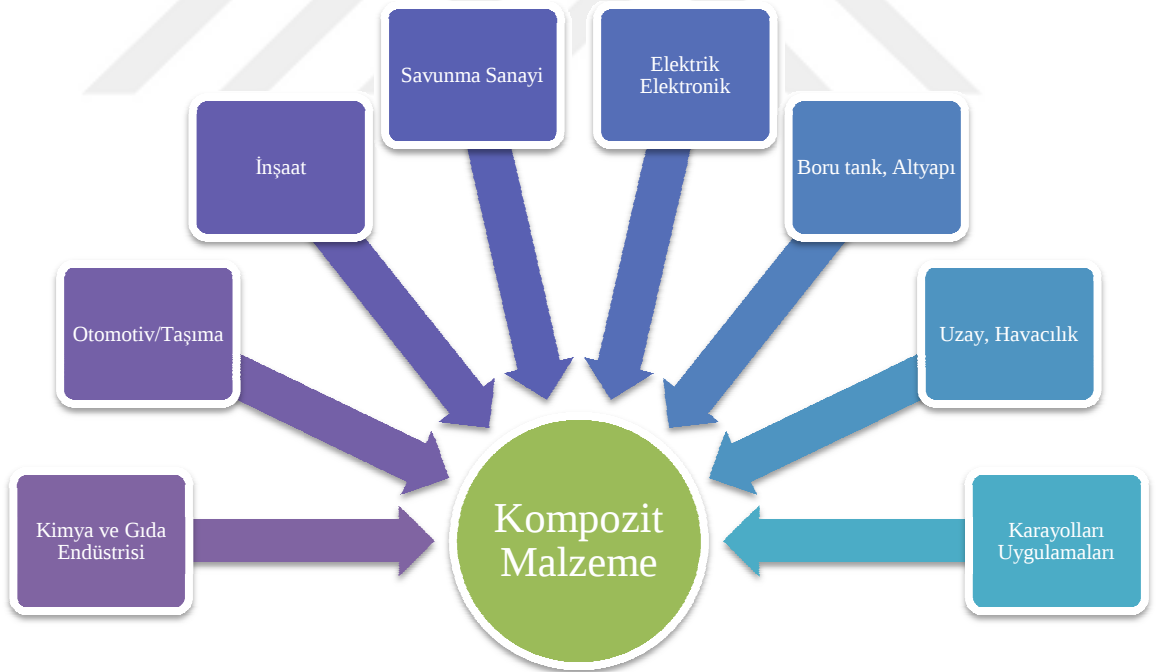
En az iki veya daha fazla sayıdaki benzer ya da birbirinden farklı malzemelerin, tasarım amacına hizmet eden en avantajlı özelliklerinden faydalanmak amacıyla birbiri içerisinde çözünmeyecek şekilde bir araya getirilmesi veya birlikte kullanılmasıyla oluşturulan yeni malzemelere kompozit malzemeler denir. “Elyaf ile güçlendirilmiş plastik malzemeler” olarak da genel anlamda tabir edilebilmektedir [40].

Kullanımı mısır uygarlığına kadar dayanan kompozit malzemelerin gerçek anlamda sanayide ilk kullanımı 1877 yılında cam liflerin kullanımıyla başlar. Teknolojik gelişmeler ile bir çok sektörde teknik problemlerin çözümünde sık kullanılan malzeme haline gelmiştir. Günümüzde en çok kullanılan kompozitler ise; cam fiber takviyeli reçine, tungsten-molibden takviyeli alüminyum, karbon ve fiber takviyeli plastiklerdir. Kompozit malzemeler matris ve takviye (fiber) olmak üzere iki bileşenden meydana gelir (Şekil 1.2.).



Şekil 1.2. Elyaf takviyeli kompozit malzeme.

Elyaf takviyeli kompozitler en yaygın kullanılan kompozitlerdendir. Bu tür kompozitlerde cam elyaf en çok kullanılan takviye malzemesidir. Matris olarak ise ucuzluğu nedeniyle polyester reçineler yoğun olarak kullanılmaktadır. Yüksek mukavemeti ve kimyasal dayanımı nedeniyle epoksi reçine uzay, havacılık, ev ve spor aletleri yapımına kadar birçok alanda kullanılmaktadır. Kompozit malzemenin kullanım alanları Şekil 1.3.'te şematik olarak sunulmuştur.



Şekil 1.3. Kompozit malzemenin kullanım alanları.

Tabakalı kompozit malzemeler yüksek dayanım/ağırlık oranına sahip oldukları için; uzay yapılarında, elektrik, kimya, konstrüksiyon ve gıda endüstrisinde, ulaşım araçlarında, giderek tercih edilir hale gelmişlerdir [41].

1.3. KOMPOZİT MALZEME ELEMANLARI

Kompozitler birbirleri içinde çözülmeyen veya karışmayan düşük modül ve dayanıma sahip matris veya reçine ile bunun içinde dağılmış daha az oranda bulunan takviye malzemeden oluşurlar. Başka bir deyişle, kalıp görevi gören reçine içine gömülmüş sürekli veya kırılmış elyaflardan oluşmaktadır. Kompozit malzemelerin üretiminde kullanılan elyaflar sertlik, sağlamlık gibi yapısal performans özelliklerini, reçine ise yapısal bütünlüğün oluşturulması için elyafın birbirine bağlanması, yükün elyaf arasında dağılması ve elyafın kimyasal etkilerden ve atmosfer şartlarından korunmasını sağlar. Kompozit malzemelerin avantaj ve dezavantajları aşağıdaki gibi özetlenebilir [40].

Kompozit malzemelerin avantajları;

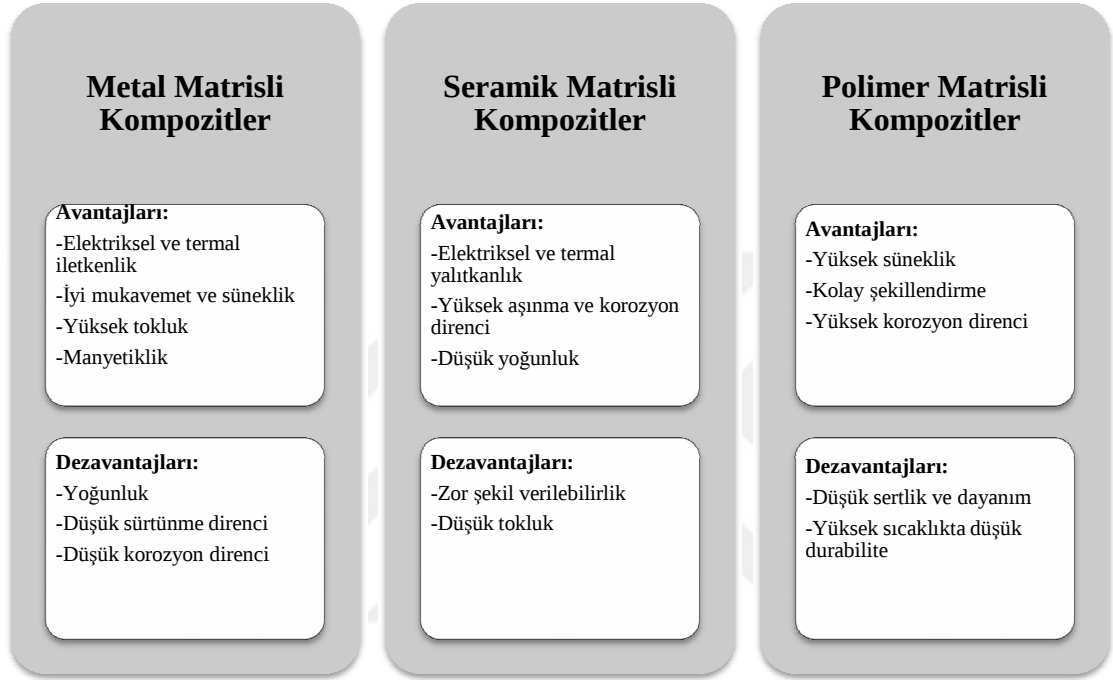
- 1) Farklı mekanik özelliklere sahip malzeme üretebilmek için farklı katmanlara sahip ve farklı birleşimlerde kompozit malzemeler tasarlanabilir.
- 2) Kimyasal etkilere, korozyon etkisine ve olumsuz hava koşullarına dayanıklılık gösterir.
- 3) Üretim süresi kısadır.
- 4) Yoğunluğuna oranla yüksek dayanıma sahiptir.
- 5) Ağırlığına oranla yüksek modülüse sahiptir.

Kompozit malzemelerin dezavantajları;

- 1) Hammaddenin fiyatı pahalıdır.
- 2) Laminasyonla üretilmiş kompozitlerin özellikleri her zaman ideal değildir.
- 3) Üretilen kompozitin kalitesi üretim yönteminin kalitesiyle ilişkilidir ve bundan dolayı beklenen özelliklerinde sapmalar meydana gelebilmektedir.
- 4) Kırılgan yani gevrek bir yapıya sahiptirler ve kolaylıkla zarar görürler.
- 5) Malzemelerin sınırlı raf ömürleri vardır.
- 6) Kürlenme aşamasının tamamlanması için sıcak işlem gereklidir.
- 7) Onarım yapılacaksa onarım öncesi çok iyi temizlenmeli ve kurutulmalıdır.
- 8) Kurutma işlemlerinde kullanılan yöntemler uzun zaman alabilir.

Matris; içerisinde bulunan takviye ve dolgu malzemelerini bir arada tutan, form veren ve bütünlüğü oluşturan yapıdır. Kompozit malzemeleri takviye elemanlarına göre sınıflandırmak mümkün olduğu gibi matris yapılarına göre de değişik şekillerde sınıflandırılabilirler. Matris çeşitlerine göre metal matrisli kompozitler, seramik matrisli

kompozitler ve polimer matrisli kompozitler olarak sınıflandırılabilirler. Üretilen kompozitlerde polimer matris kullanımı %90 gibi yüksek bir orana sahiptir. Pahalı ve işlenebilirliği zor olan metal matrisler ile yüksek kırılma dayanımı özelliği dezavantajı olan ve sadece sıcaklık dayanımı gerektiren ürünlerde tercih edilen seramik matrislerin kullanımı sınırlıdır. Matris malzemesine göre kompozitler ve bu kompozitlerin avantaj/dezavantajları Şekil 1.4.'te şematize edilmiştir.



Şekil 1.4. Matris malzeme elemanları [40].

1.4. POLİMER MATRİSLİ KOMPOZİTLER

1.4.1. Polimer Matris Yapı

Günümüzde “fiber glas” olarak bilinen ve polyester esaslı reçinelerin, cam elyafı takviyesiyle üretilen malzemelerdir. Güçlü yapışma kabiliyeti, ortam şartlarına karşı yüksek dayanım ve yüksek mekanik mukavemet beklentilerini en iyi karşılayan polimer esaslı matrisler termoplastik ve termoset matrisler olmak üzere ikiye ayrılırlar [41].

1.4.1.1. Termoplastik Matrisler

Termoplastik polimerler, çok çeşitli olmasına rağmen matris olarak sınırlı kullanıma sahiptirler. Termoplastikler düşük sıcaklıklarda sert halde bulunurlar ve ısıtıldıklarında yumuşarlar. Termoset polimerlerle kıyaslandığında matris olarak kullanımları daha az olmakla birlikte üstün kırılma tokluğu, yüksek sertlik ve çarpma dayanımı özellikleri,

hammadenin raf ömrünün uzun olması, geri dönüşüm kapasitesi ve sertleşme süreci için organik çözücülere ihtiyaç duyulmamasından dolayı güvenli çalışma ortamı sağlaması gibi avantajları bulunmaktadır [40]. Isıtıldığında eriyen termoplastiklerin matris olarak kullanımı termosetlere kıyasla daha azdır. Bunun başlıca nedeni üretim hem prosesinin zor olması sonucu yüksek maliyeti hem de hammaddesinin pahalı olmasıdır. Yaygın olarak kullanılan termoplastikler Acetal, Acrylonitrile-Butadiene-Streyn (ABS), Selüloz, Politetra-floretilene = Fluoropolymers (PTFE), Poli amids (PA), Polikarbonat (PC), Polietilen (PE), Polyester (PET), Polivinil klorür (PVC), Naylon 6.6, Polistreyne 20 (PS) ve Polipropilen (PP)'dir.

1.4.1.2. Termoset Matrisler

Sıvı halde bulunan termoset plastikler, ısıtıldığında kimyasal tepkimelerle sertleşerek sağlamlaşır. Polimerizasyon süreçleri geri dönüşü olmayan bir süreçtir. Sıcaklık çok fazla arttırılsa bile yumuşama yapmazlar. Çoğu termoset matris, sertleşmemeleri için dondurulmuş olarak depolanmak zorundadır. Dondurucuda saklandıklarında raf ömürleri 6 ay ile 18 ay arasında değişir. Bu tip reçineler kimyasal etkilerde çözülmezler ve hava koşullarına dayanıklıdır [40].

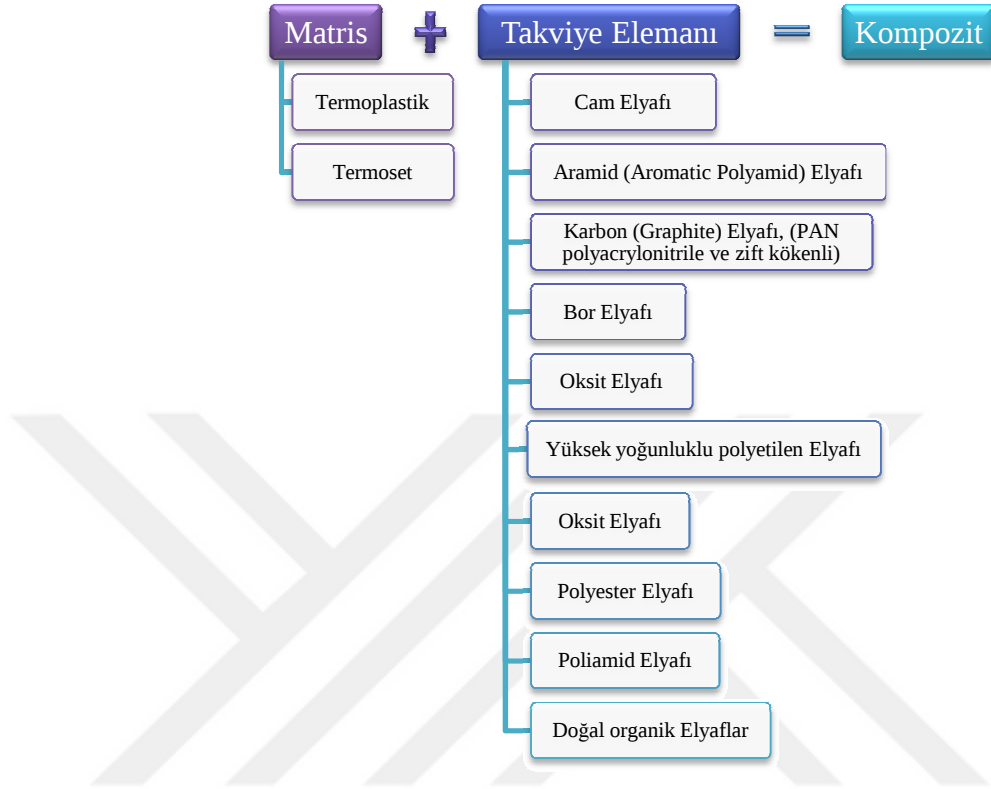
Özellikle denizcilik ve inşaat sektöründe termoset reçine en çok kullanılan reçine konumundadır.

1.4.2. Takviye Elemanları

Kompozit malzemelerde elyaflar yeni malzemenin özellikleri üzerinde çok önemli bir etkiye sahiptir. Takviye elemanları genel olarak 3 farklı biçimde bulunurlar; parçacık, süreksiz ve sürekli elyaf. Parçacık genelde küresel bir biçimde olmamasına rağmen her yönde yaklaşık olarak eşit boyutlardadır. Mikro balonlar, çakıllar ve reçine tozu parçacık haldeki takviye elemanlarına örnek olarak verilebilir. Takviye malzemelerinde bir boyut diğer boyuta göre daha fazla ise elyaf diye isimlendirilir. Süreksiz elyaflar birkaç milimetreden başlayarak birkaç santimetreye kadar farklı ölçülerde piyasada bulunabilmektedir. Birçok elyafta çap birkaç mikrometre civarlarında olabilmektedir [40].

Sürekli elyaflar ise tel sarma yöntemi gibi yöntemlerde kesilmeden ip şeklinde kullanılmaktadır. Elyaflar boyuna doğrultuda daha yüksek performans gösterirler ve anizotropik malzeme özelliği sergilerler. Bu özelliği nedeniyle tasarımda elyafların matris içindeki yerleşimini göz önünde bulundurmak gerekir.

Bazen tüm doğrultularda eşit mukavemet sağlamak amacıyla elyaflar kumaş olarak dokunabilmektedir [40]. Kompozit malzemelerde kullanılan başlıca takviye elemanları Şekil 1.5.'te verilmiştir.



Şekil 1.5. Kompozit malzemelerde kullanılan başlıca takviye elemanları.

Elyaf matris arasındaki bağ yapısı da kompozitin performansı açısından son derece önemlidir. Matris yapıda boşluklar bulunursa elyaflarla temas azalır. Nem durumu da elyaf ile matris arasındaki bağ bozan çok önemli bir etkidir. Günümüzde kompozit yapılarda en önemli takviye malzemeleri sürekli elyaflardır. Bu elyaflar özellikle modern kompozitlerin oluşturulmasında önemli bir yer tutarlar. Cam elyaflar endüstriyel olarak kullanılan en eski elyaf tiplerindendir. Son yıllarda geliştirilmiş olan bor, karbon, silisyum karbür ve aramid elyaflar ise gelişmiş kompozit malzemelerin üretiminde kullanılan elyaf türleridir.

Kompozit malzeme kombinasyonlarında en sık kullanılanlar, cam elyafı + polyester, karbon elyafı + epoksi, aramid elyafı + epoksi birleşimleridir.

CTP ise günümüzde en çok kullanılan kompozit malzemelerden birisidir [42]. Kompozit malzemelerde kullanılan başlıca elyaf türlerine ait bazı fiziksel ve mekanik

özellikler Çizelge 1.2.'de verilmiştir. Çizelge'de verilen elyaflardan cam, karbon ve aramid elyafları en çok kullanılanlardır [40].

Çizelge 1.2. Türlerine göre elyafların karşılaştırılması [40].

Malzeme	Yoğunluk (g/cm ³)	Çekme Dayanımı (MPa)	E-Modülü (GPa)
E-Cam	2.55	2000	80
S-Cam	2.49	4750	89
Alüminyum	3.28	1950	297
Karbon	2.00	2900	525
Kevlar 29	1.44	2860	64
Kevlar 49	1.44	3750	136

Cam Elyaf: Silika, kolemanit, alüminyum oksit, soda gibi cam üretim maddelerinden üretilmektedir. Özel olarak tasarlanmış ve dibinde küçük deliklerin bulunduğu özel bir ocaktan eritilmiş camın itilmesiyle cam elyafı üretimi yapılır. Bu ince lifler soğutulur ve sonra makaralara sarılarak kompozit hammaddesi olarak kullanacağı sektöre nakliye edilir. Elyaflar işlem sırasında dayanıklılıklarının %50'sini kaybetmelerine rağmen son derece sağlamdırlar [40]. Kompozit CTP borunun mukavemet değerleri, kullanılan takviye elyafların tip, miktar ve matris içerisindeki dağılımı ile birebir etkilenmektedir. Kullanılan cam elyafın sayısını çoğaltmak ve sağlam olması istenen yönde elyafları boyuna kullanmak mekanik dayanımı artırmaktadır [47].

Cam elyafların kullanım avantajları ve kimyasal özellikleri aşağıdaki gibi sıralanmıştır [44].

Kullanım avantajları;

- Cam elyaflar pek çok tipte imal edilebilme potansiyeline sahiptir.
- Yüksek çekme mukavemetleri vardır.
- Düşük ısı dirence sahiptirler.
- Kimyasal etkilere karşı dirençlidirler.
- Nem absorbe etmezler.

- Elektriği iletmezler.

Takviye cam elyafların farklı proses ve ürün gruplarında kullanılabilecek şekilde farklı formları bulunmaktadır. Bunlar,

Fitil: Sarılmış elyaf demetlerine fitil denir. Kullanılacağı yere göre birlikte sarılan demet adeti, sarılan tel sayısı değişir. Püskürtme, elyaf sarma veya kırpma gibi metotlar kullanılarak CTP ve diğer kompozitlerin üretiminde kullanılabilirler.

Dokunmuş Fitil: Farklı ağırlıklara sahip fitillerin atkı ve çözgüde kullanılarak dokunması şeklinde elde edilirler. Kalıplama, pres kalıplama ve reçine enjeksiyonu ile el yatırması gibi uygulamalarda kullanılmaktadırlar.

Kırpılmış Demet: Belirli uzunluklarda kırılarak hazırlanmış parçalar halindeki elyaflardır.

Keçe: Kırpılmış elyaflar toz veya sıvı bağlayıcı ile birbirine bağlanır. Keçe halindeki cam elyafı, el yatırması metodu ile üretilen CTP ürünlerinde veya makine ile üretilen ışık geçirgen ve opak levhalarda kullanılır [45].

1.4.3. Katkılar

Katkılar niteliklerine göre bazı özelliklerin geliştirilmesi amacıyla ilave edilirler. Kompozit üretiminde kullanılan başlıca katkıları aşağıdaki özetlenmiş ve tanımlanmıştır.

Tiksotropikler: Tiksotropik katkı ilave edilmiş reçineler durgun haldeyken jel gibi, karıştırıldığında vizkoz bir sıvı gibi davranırlar. Bu sayede dik ve eğimli yüzeylerde akma eğilimi göstermezler. El yatırması ve spreysel uygulamaları gibi üretim proseslerinde kullanılırlar.

Boya ve Renklendiriciler: Görsel müdahaleler veya hava koşullarına olan dayanıklılığı artırmak amacı ile reçine içerisine pigment tozları ve renklendirici macunlar ilave edilebilir. Birçok pigment, polyester reçine içerisinde farklı davranarak reçinenin jelleşme süresinde artış ya da azalmaya sebep olabilir.

Alev Geciktiriciler: Birçok termoset reçine yanıcıdır ve yandığı zaman ortamda zehirli duman salınımı oluşturlar. Yanma dayanımı alev geciktirici katkıları kullanılarak iyileştirilebilir. Bu kategoride yer alan malzemeler alümina trihidrat, brom, klor, borat ve fosfor içerirler.

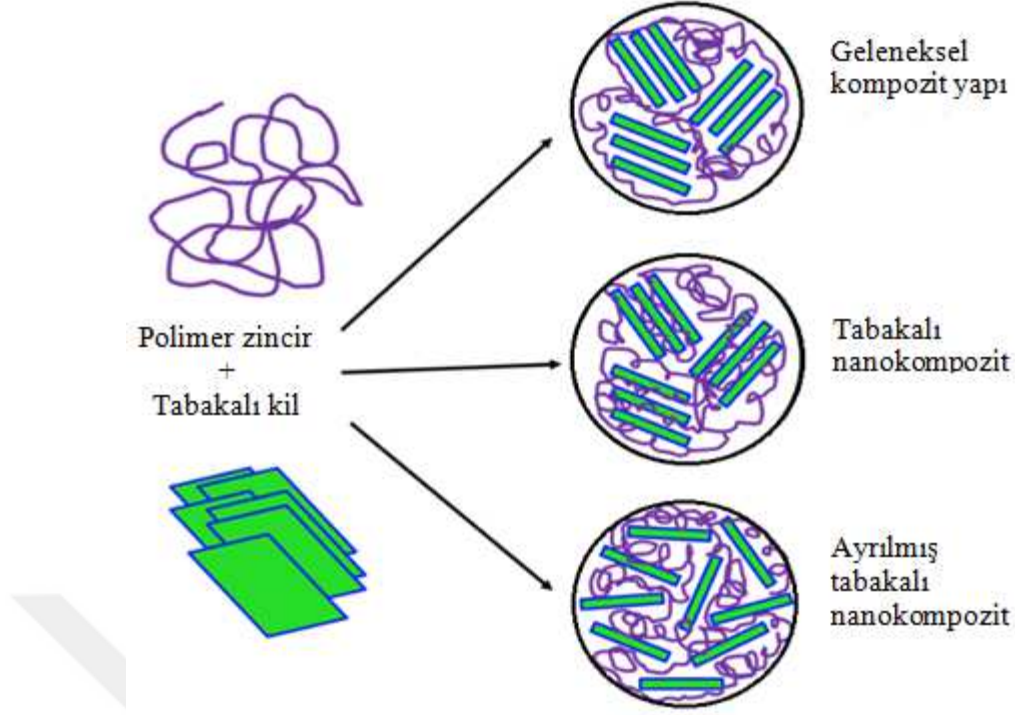
Baskılayıcılar (Kesiciler): Reçineler içerisinde yer alan stiren gazının ortama yayılarak hava kirliliği yaratmasını engellemek amacıyla kullanılan bal mumu esaslı katkılardır. Reçine yüzeyinde bir film tabakası oluşturarak kürlenme sırasındaki stiren emisyonunu azaltır veya engeller.

UV İnhibitörleri ve Stabilizatörler: UV ışınlarını absorbe ederek kompozitleri koruyan katkı maddelerine ultraviyole emiciler adı verilir. Hem termoset hem de termoplastik kompozitler ultraviyole (UV) radyasyona bağlı olarak parlaklık, çizik, tebeşirlenme, renk değişimi, elektriksel özelliklerdeki değişiklikler, kırılabilirlik ve parçalanmayı önlemek için ilave edilen özel malzemeler kullanabilir. Jel içermeyen kaplanmış bir reçinenin güneş ışığına maruz kalması durumunda, bir UV stabilizatörünün eklenmesi yüzey bozulmasını yavaşlatacaktır.

İletken Katkı Maddeleri: Çoğu kompozit elektrik akımını iletmez. Metal, karbon parçacıkları veya iletken liflerin eklenmesiyle bir dereceye kadar elektriksel iletkenlik elde etmek mümkündür. Elektromanyetik bir yüzeyi, koruyucu iletken malzemeleri katkı olarak kullanarak elde etmek mümkündür.

Ayırıcı Maddeler: Ayırma maddeleri, parçaların kalıplardan çıkarılmasını kolaylaştırır. Bu ürünler, reçineye kalıplara veya her ikisine de uygulanabilir. Çinko stearat, sıkıştırma kalıplama için reçineye karıştırılan popüler bir kalıp ayırıcı maddedir. Mumlar, silikonlar ve diğer ayırıcı maddeler doğrudan kalıpların yüzeyine uygulanabilir [46].

Son yıllarda gerçekleştirdiği gelişim ile adından söz ettiren nano partikül katkılar, özellikle ileri malzemelerin (uzay, hava, savunma sanayi ürünleri gibi) matrisleri içerisine ilave edilmekte ve bu sayede de mukavemet özelliklerinde iyileştirmeler görülmektedir. Genellikle, nano malzemeler yüksek çap/boy oranı sayesinde yüksek takviyeleme verimi sağlarlar. Nano kompozitlerin özellikleri, takviye fazın büyüklük oranı ve iki faz arasındaki karışma derecesinden büyük ölçüde etkilenir. Kullanılan takviye elemanının cinsine ve üretim yöntemine bağlı olarak kompozitin özelliklerinde önemli farklar elde edilebilir. Örneğin aşağıdaki Şekil 1.6. tabakalı nanokompozitlerin 3 ana yapısını göstermektedir. Polimer silikat tabakaları arasına giremezse, özellikler mikrokompozitlere benzer olarak kalır.



Şekil 1.6. Nano kompozitlerin matris içerisinde dağılımı.

1.4.4. Dolgu Maddeleri

Matris ve takviye malzemelerin yanı sıra, proses ve ürün performansına etkisi olan bir diğer eleman kompozit içerisinde yer alan inorganik dolgu malzemeleridir [47]. Dolgu malzemelerinin kullanımı; kompozit ürünlerin sadece maliyetini düşürmek amaçlı olmamakla beraber, üretilen kompozitin durabilitesini artırabilmektedir. Dolgu maddeleri kompozit laminatlardaki organik içeriği azaltarak mekanik özellikleri geliştirebilir. Aynı zamanda doldurulmuş reçineler, doldurulmamış reçinelerden daha az büzülme ve böylece kalıplanmış parçaların boyutsal kontrolünü geliştirmektedir. Su direnci, hava şartları, yüzey düzgünlüğü, sertlik, boyutsal kararlılık ve sıcaklık dayanımı gibi önemli özellikler dolgu maddelerinin doğru kullanımı ile geliştirilebilir.

1.5. CTP KOMPOZİT BORULAR

1.5.1. CTP Kompozit Boruların Kullanım Alanları ve Özellikleri

CTP, takviye cam elyafı ile silis kumunun polimer matrisli termoset reçine içerisinde kullanılmasıyla elde edilen kompozit bir malzemedir. Reçine, cam elyaf ve dolgu malzemelerinin, değişik kombinasyonları ile değişik işlevlere hizmet eden ürünler elde

etmek CTP ile mümkün olabilmektedir. Altyapı sektöründe; akışkan transferlerinde CTP malzemeden boru üretilmesi, CTP'nin çok yönlü tasarım ürünü olması özelliğinden kaynaklanmaktadır.

CTP boru ilk olarak 1948 yılında imal edilmiştir. İlk sarma patenti de 1948 yılında ABD'de alınmıştır [48]. CTP borunun ilk ve hala en yaygın kullanım alanlarından birisi petrol endüstrisidir. Korozyona olan yüksek direnci ve düşük maliyeti nedeniyle metal borulara alternatif olarak kullanılmaya başlanmıştır. 1950-1960 yılları arasında yüksek basınçlı uygulamalarda ve kimyasallara karşı dirençli yapısı nedeniyle endüstriyel proseslerde kullanımı yaygınlaşmıştır. 1960'lardan 1990'lara gelindiğinde de CTP boruların içme suyu ve atıksu hatlarında kullanımı giderek artmıştır [47]. Günümüzde hemen hemen bütün boru uygulama alanlarında kullanılmaktadır.

CTP borular içme suyu iletimi ve dağıtım projeleri, kanalizasyon projeleri, kent yağmur suyu projeleri, drenaj projeleri, sulama projeleri, sifon projeleri, menfez, galeri projeleri, dip savak projeleri, deniz deşarjı projeleri, deniz ve göletten soğutma suyu temini projeleri, çamur ve/veya külün uzaklaştırılması projeleri gibi pek çok alanda kullanılabilir. Bahsedilen projelerin dışında CTP boruları; sanayi boru hatlarında, hidroelektrik santrallerinin cebri borularında, kazısız (jacking) uygulamalarda, gaz hattı ve petrol enjeksiyon projelerinde, kimyasal atıkların uzaklaştırılması projelerinde, arıtma tesisi projeleri gibi özel pek çok alanda kullanılabilir [50]. Sulama sistemlerinde (Şekil 1.7.), hidroelektrik santrallerinde (Şekil 1.8.), arıtma tesisi projelerinde (Şekil 1.9.), kanalizasyonlarda (Şekil 1.10.), su alma ve deşarj hatlarında (Şekil 1.11.), içme suyu hatlarında (Şekil 1.12.), soğutma kulelerinde (Şekil 1.13.) ve tank (Şekil 1.14.) gibi mühendislik uygulamalarında CTP boru kullanımına ait Superlit arşivinden alınan bazı saha örnekleri aşağıda sunulmuştur.



Şekil 1.7. Sulama hatları a) Sulama boru hattı döşemesi b) Genel görünüm.



a)



b)

Şekil 1.8. Hidroelektrik santrali a) Genel görünüm b) Kullanılacak CTP borular.



a)



b)

Şekil 1.9. Arıtma tesisi a) Genel görünüm b) Tesisi havuzuna döşenmiş CTP boru.



a)



b)

Şekil 1.10. Kanalizasyon a) Kullanılan CTP menholler b) CTP boru hattı.



a)



b)

Şekil 1.11. Termik santral a) Genel görünüm b) Su alma ve deşarj boru hatları.



a)



b)

Şekil 1.12. İçme suyu borusu a) CTP boru hattı b) CTP borular ve hendek.



a)



b)

Şekil 1.13. Soğutma kulesi a) Genel görünüm b) Kullanılan CTP borular.



a)



b)

Şekil 1.14. Tank a) CTP tank uygulamaları [51] b) CTP kompozitten üretilmiş tank tipleri.

CTP boruların genel özellikleri: Uzun ömürlü (min. 50 yıl servis ömrüne göre üretilirler) olmalarının yanı sıra CTP borular yüksek teknoloji ile üretilir, projenin gereksinimlerine göre özel olarak tasarlanabilir, yüksek basınçlar için üretilebilir, farklı rijitlik sınıflarında dış çap değeri değişmez şekilde üretim olanağı sağlar, pürüzsüz iç yüzeye sahiptir, hidrolik kayıpları düşüktür, korozyondan etkilenmez, katodik koruma gerektirmez, boru iç çeperinde zaman içinde daralma tıkanma olmaz, pompaj hatlarda enerji tasarrufu sağlar, diğer borulara nazaran daha düşük çapla aynı debiyi taşır, aşınma dayanımları yüksek, farklı koşullar için astar tabakası tasarımı yapılabilir, hafiftir, döşemesi kolay ve hızlıdır, gerektiğinde tamirata kolaydır, bakım gerektirmez, indüksiyon yer akımından etkilenmez, yalıtıcıdır, yüksek akış hızında kullanılabilir, dış yüzeyi emici değildir, dış yüklere karşı dayanıklıdır, montaj maliyetleri düşüktür, şantiyede ihtiyaca göre kesilebilir, yüksek eğimli arazilerde kullanılabilir, su (koç) darbelerine dayanıklıdır, pek çok kimyasala karşı dayanıklıdır, eski hatların içine dönebilir, boru jacking (kazısız) uygulamasına uygun olarak üretilebilir [50].

Bu yaygın kullanım alanı ve ihtiyaçlara cevap verebilecek özellikleri sayesinde CTP borular akışkan transferlerinde öncelikle tercih edilen boru tiplerinden biri olmaktadır.

1.5.2. CTP Kompozit Borulardan Beklenen Mühendislik Özellikleri

CTP kompozit borulardan iç basınç dayanımı, rijitlik dayanımı, aşınma dayanımı ve hidrolik özellikler gibi bazı mühendislik performansları beklenmektedir.

CTP borular kullanıldıkları projenin ihtiyacı olan akışkan basınçlarını emniyetli bir şekilde karşılamak üzere tasarlanır. CTP boru basınç sınıfı (PN) belirlenirken boru hattı

üzerinde oluşabilecek tüm etkiler göz önüne alınır. Statik basınç, işletme basıncı, boru hattında meydana gelebilecek ani akışkan hızı değişimlerinde ortaya çıkan darbe basınçları, negatif basınçlar (vakum) CTP borunun basınç sınıfının belirlenmesi için gerekli basınç ile ilgili dizayn parametreleridir.

İç basınç özelliklerinin yanı sıra CTP boruların dış yükler altında emniyetli bir şekilde servis verebilmesi adına, hesaplanan rijitlik değerine göre tasarlanmalı ve üretilmelidir. CTP borular dış yükler altında elastik davranış gösteren boru sınıfına girmektedir. Bu davranış biçiminde; elastik boru dış yükler altında düşey çapının azalması (vertical deflection), yatay çapının genişlemesi şeklinde olur. Bu davranış biçimi sayesinde tüm düşey yükler, boru etrafını saran dolgu malzemesine, devamında doğal zemine iletilmiş olur. CTP borular, elastik davranış göstermeyen boru tiplerine göre daha ince et kalınlıklarında üretilmektedir. Bir projede CTP borunun; proje ihtiyacını karşılayabilmek adına sahip olması gereken rijitlik sınıfı (Stiffness Class, SN) belirlenirken, gömülü borunun düşeyde yaptığı defleksiyonun belirli bir değerin üzerine çıkmaması esası üzerine tasarlanır (basıncılı hatlarda %5, basıncsız hatlarda %6 değerleri genel tasarım kriterleridir) [50]. Boru üzerinde oluşacak maksimum düşey defleksiyon değerinin uzun dönemde %5'in altında kalması istenir ve Dünya genelinde yaygın olarak AWWA M45 veya ATV A127 standardında verilen hesap yönergelerine göre tasarımı yapılmaktadır. Elastik davranış biçiminde boru ile zemin arasında yük aktarımı olduğundan dolayı CTP borularda proje ihtiyacına göre boru rijitlik sınıfı (SN) belirlenirken aşağıdaki parametreler dikkate alınmaktadır.

- Boru çapı.
- Boru basınç sınıfı.
- Doğal zemin cinsi.
- Dolgu zemin cinsi.
- Dolgu zemin sıkıştırma miktarı (standart proctor yoğunluğu).
- Hendek genişliği.
- Maksimum boru üstü dolgu yüksekliği.
- Minimum boru üstü dolgu yüksekliği.
- Yeraltı suyu.
- Trafik yükleri.

Yer üstünden giden borularda, mesnetler arası mesafeler önemli bir dizayn kriteridir. Burada CTP boruya etki eden yükler; borunun kendi ağırlığı, içerisindeki suyun ağırlığı,

bölgesine göre var ise boru üstündeki kar yükleridir. Burada orta açıklıkta oluşan eğilme momentlerini ve sehimi karşılayabilecek şekilde boru rijitlik sınıfı ve eğilme gerilmesi dayanımı belirlenir ve boru tasarlanır.

CTP borular için aşınma dayanımı da bir diğer mühendislik kriteridir. İçerisinden geçen akışkanların ve akışkan içerisindeki katı partiküllerin aşındırıcı etkilerine karşı yeterli düzeyde dayanıma sahip olmalıdır. Burada aşınma miktarına karşı dayanımı gerçekleştiren iç yüzey tabakasıdır. Aşınma miktarını etkileyen en önemli parametrelerden biri de akış hızıdır. Bu nedenle CTP borularda korozif maddelerin yoğun olduğu (atık su ve kanalizasyon hatları gibi) iletim hatlarında akış hızı, temiz su hatlarındaki akış hızından daha az seçilmektedir. Maksimum akış hızı, temiz su hatlarında 3.79 m/s ile sınırlandırılırken, korozif maddelerin yoğun olduğu hatlarda, bu değer 1.88 m/s'ye düşürülmektedir [47]. Kompozit borular farklı ihtiyaçlara cevap verebildiği için geliştirilecek iç yüzeyi sayesinde akışkanın temas ettiği yüzey çok yüksek akışkan hızlarında da üstün performans gösterecek şekilde tasarlanabilmektedir. CTP borularının aşınmaya karşı direnci DIN 19565'e göre yapılan aşınma testi ile belirlenir.

CTP boru tasarımında hidrolik özellikler önemli bir ölçüttür. CTP borunun pürüzsüz iç yüzeyi, pompajlı sistemler için gereken beygir gücünü azaltabilecek düşük sıvı direnci sağlar. Borunun iç yüzeyi, birçok akışkan hizmetinde zaman geçtikçe tipik bir şekilde pürüzsüz kaldığından dolayı akışkan direnci zamanla içerisinde artmaz. Buna ek olarak; pürüzsüz iç yüzey, istenilen debiyi sağlamanın yanı sıra boru çapının düşürülmesine de olanak tanır [47]. Üstün boru iç cidarı sayesinde bir çok projede CTP boru, muadillerine göre avantaj sağlar. Pürüzlülük katsayısı (Hazen-Williams katsayısı $C = 150$ - uzun dönem); pompaj projelerinin tasarımında, öncelikle sürtünmeden kaynaklı enerji kayıplarını diğer boru tiplerine göre daha az verdiği için pompa seçiminde basma yüksekliği daha düşük pompa seçilebilir ve ilk yatırım maliyetinin azalmasına neden olur. Bunun yanında işletme boyunca diğer boru tiplerine göre daha az basma yüksekliği ile ihtiyacı karşılayabildiğinden dolayı elektrik masrafları ciddi anlamda düşer. Bunun tersi olarak hidroelektrik santrali projelerinde, boru hattı boyunca sürtünmeden kaynaklı enerji kaybı daha az olduğu için, türbinlerden üretilen enerji miktarı çoğalır. Yine bu hidrolik üstünlük sayesinde aynı debiyi, aynı enerji kaybı ile geçirme esasına göre hesap yapıldığında projenin ihtiyacını (beton veya çelik boru kullanılması alternatifine göre) bir düşük çap ile karşılama imkanı sağlar. Bu da boru

bedelinden diğer inşaat masraflarına kadar (kazı, montaj, geri dolgu gibi) ciddi bir fayda sağlar. Ayrıca rehabilitasyon projelerinde eski hattın içerisine (örneğin eski bir beton boru) birebir aynı debiyi sağlayarak, daha küçük çaptaki bir CTP boru olarak sürülebilir (Relining uygulaması).

Bu sayılan temel özelliklerin yanında projenin ihtiyacına uygun olacak şekilde kimyasal direnç ve sıcaklık dayanım kriterleri de göz önünde bulundurulması gereken, CTP boruların diğer mühendislik özelliklerini belirleyen faktörlerdir.

1.5.3. CTP Kompozit Boruların Üretim Yöntemleri

CTP boru teknolojisinin kullanılmaya başlandığı günden bugüne hem hammadde cinsi hem de üretim metodu ve teknolojisi ile gelişme göstermektedir. Yeni nesil üretim teknolojileri santrifüj savurma döküm ve sürekli elyaf sarma teknolojileridir.

1.5.3.1. Sürekli Elyaf Sarma (CFW) Yöntemi

Sürekli elyaf sarma metodu ile CTP boru üretimine ait görseller Şekil 1.15.'te verilmiştir. CFW makinasında, üretilecek olan çapa göre özel olarak hazırlanmış mandrenin üzerine çelik bant sarılır. Boruyu oluşturacak olan hammaddelerin beslemesi bu bant üzerine yapılır. Bu bant sayesinde boru mandren üzerinde hem aksel hem de radyal yönde ilerler. Mandren üzerinden belirli aralıklarla ve belirlenmiş miktarlarda hammadde beslemesi yapılarak boru et kalınlığı oluşturulur. Hammadde beslemesi, mandrenin hızına uyumlu olarak PLC ve bilgisayar denetiminde gerçekleştirilir. Tanklarda kobalt katılarak hazırlanmış reçineye, mandrenin üzerine dökülmeden hemen önce katalist ilave edilir. Reçine beslemesi, iki farklı hattan yapılır. Bu sayede boru içinden geçecek akışkanın özelliklerine göre, boru iç katmanına özel reçine tatbik edilebilir. Üretim sırasında takviye malzemesi olarak kullanılan iplik elyaflar belirli aralıklarla mandrene sarılır, kırpık elyaf bobinleri de kırılarak mandren üzerine dökülür. Rijitliği sağlamak için kullanılan silika kum, belirli bir aralıktan mandren üzerine dökülür. Et kalınlığı oluştuktan sonra, boru mandren üzerinde ilerlerken ısıtıcılar yardımıyla kürleşmenin tamamlanması sağlanır. Kürleşme boyunca ,sıcaklık termal kamera yardımıyla ölçülür ve sıcaklık grafiği bilgisayar monitöründen izlenir. Mandrenin aksel hareketine uyumlu olan kesme ünitesi yardımıyla boru istenilen boyda düzgün olarak kesilir. Kesilen boru, özel olarak tasarlanmış sehpa yardımıyla kalibrasyon ünitesine ulaşır. Bu ünite, borunun manşon takılacak olan uçları standartlara uygun ölçülerde kalibre edilir. Bu aşamadan sonra borunun sızdırmazlığını

kontrol etmek amacıyla hidrostatik basınç testi yapılır. Testten geçmiş ve kalite departmanı tarafından onaylanmış olan boruya, en son aşama olarak manşon takılır. Son kontrolüde yapıldıktan sonra boru stok sahasına alınır [50].

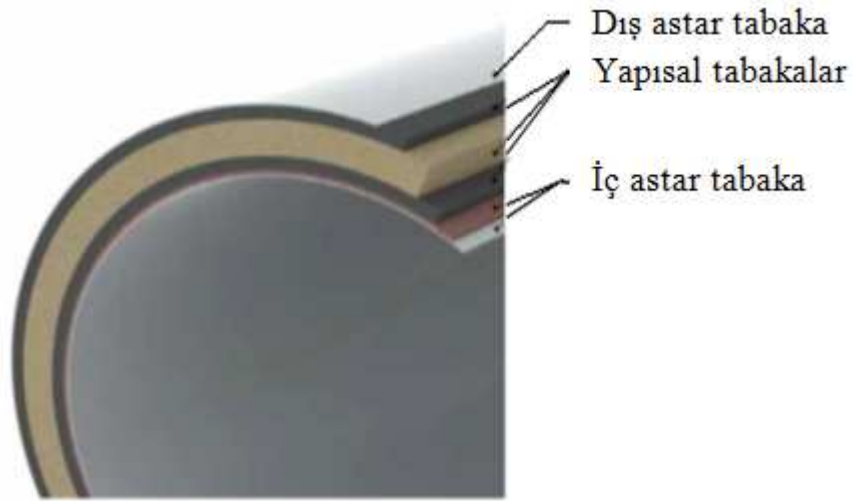


a)

b)

Şekil 1.15. Üretim a) Hammadde beslenmesi b) Sürekli elyaf sarma metodu.

Sürekli elyaf sarma yöntemiyle üretilen borularda Şekil 1.16.'da görülen tabakalar yer almaktadır.

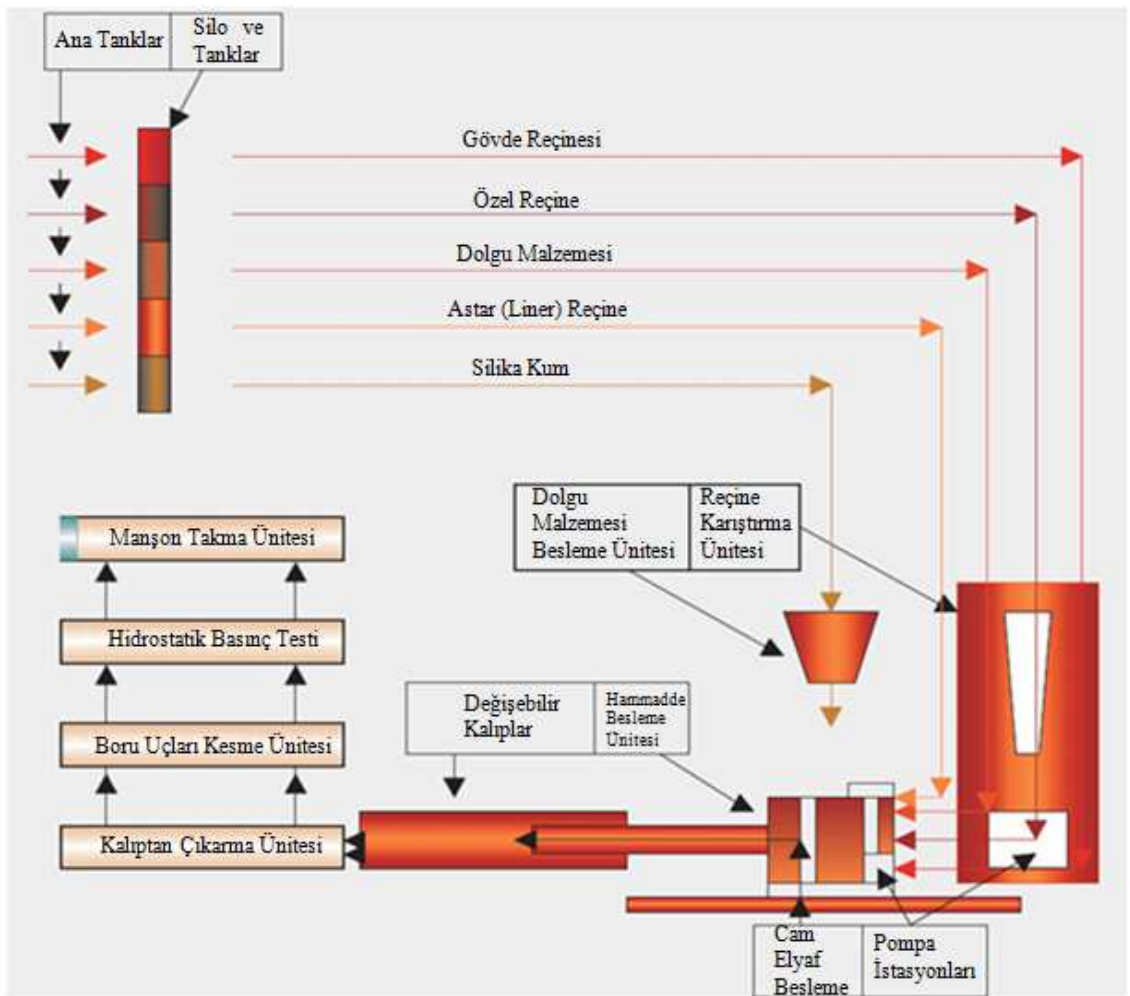


Şekil 1.16. Sürekli elyaf sarma ile üretilmiş CTP boru katmanları.

1.5.3.2. Savurma Döküm (CC) Yöntemi

Tamamen otomatik ve elektronik kontrollü bu proseste, CTP boruları, üretilecek çapa göre belirlenen ve dönen kalıp içine, boru dış yüzeyinden başlayarak, belirlenen boru katman tasarımına göre hammaddelerin beslenmesi ile üretilmektedir. Hammadde besleme işlemini besleyici kol (feeder) yapmaktadır. Bu işlem sırasında kalıp, elyaf ve

silikanın homojen dağılımını sağlamak için kısmen yavaş dönerken besleme işlemi bittikten sonra kalıp devir hızı artırılır. Kalıp içindeki hammaddeler ve ilgili katmanlar, uygulanan bu santrifüj kuvvetinin etkisi ile içinde hava boşluğu kalmayacak şekilde sıkıştırılır. Bu andan itibaren kalıp bir fırın görevi de üstlenir ve uygulanan sıcak su ile kürleşme (katıya geçiş) prosesi gerçekleştirilir. Bu esnada borunun pişirilme süreci sıcaklık ölçerler ile kontrol altındadır. Borunun ideal kürleşmesi tamamlandıktan sonra kalıp durdurularak boru kalıptan çıkarılır. Boru uçlarındaki itme ve çekme payları kesilerek boru boyu standart 6 metreye getirilir. Santrifüj ile boru üretim prosesi Şekil 1.17.'de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 1.17. Santrifüj (savurma) döküm yöntemi üretim akış şeması.

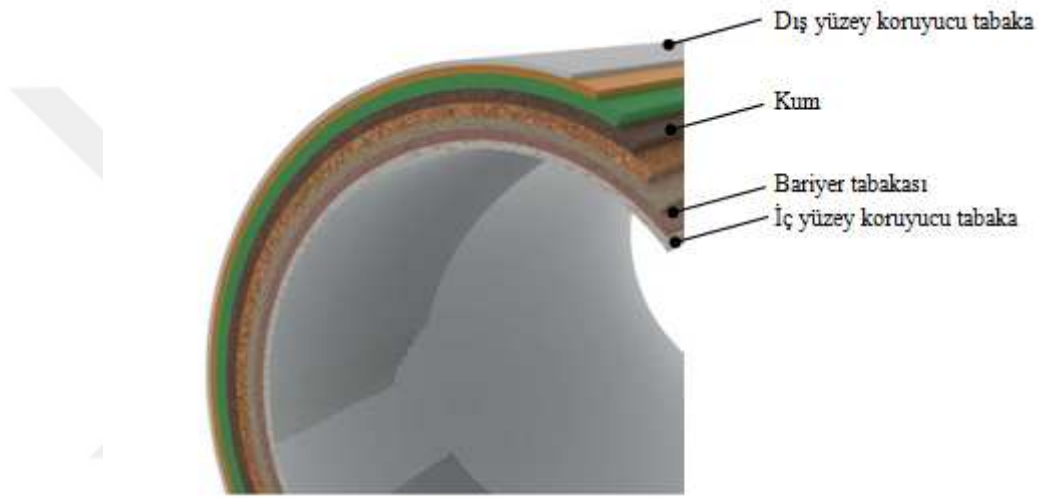
Santrifüj yöntemiyle üretilen CTP borularda Şekil 1.18.'de görülen ve aşağıda tanımlanan tabakalar yer almaktadır;

İç Cidar: Esnek reçineden oluşan bu tabakanın kalınlığı en az 1 mm olup boruya çok iyi hidrolik özellikler ve yüksek aşınma direnci kazandırmaktadır.

Bariyer: İç cidar tabakasının gerisinde bir bariyer tabakası mevcuttur. İç tabaka ve bariyer tabakası birlikte boru yapısal katmanlarına herhangi bir maddenin nüfuz etmesini engelleme işlevi de görmektedirler.

Yapısal Tabakalar: Bariyer tabakasının gerisinde de borunun basınç ve rijitlik sınıfına göre tasarımında değişiklik gösteren yapısal tabakalar başlamaktadır.

Koruyucu Tabaka: Boru dışında ise, boruyu yükleme esnasında darbe ve çiziklerden koruyan dış tabaka bulunmaktadır. Bu tabaka ayrıca boruyu UV radyasyon penetrasyonundan da korumaktadır [50].

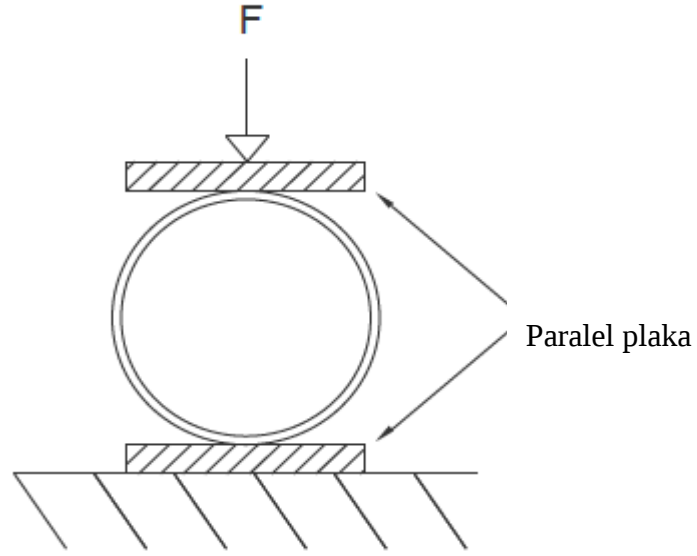


Şekil 1.18. Savurma döküm ile üretilmiş CTP boru katmanları.

1.5.4. CTP Kompozit Borularla İlgili Standartlar ve Testler

1.5.4.1. Rijitlik Deneyi

Teste tabi tutulacak boru üzerinden 300 mm genişliğinde bir halka numune kesilerek Şekil 1.19.'da görüldüğü üzere paralel plakaya sahip basma makinesi üzerine yerleştirilir.



Şekil 1.19. Rijitlik deneyi.

ISO 7685 standardına göre yapılan bu deneyde farklı noktalardan boru numunesinin et kalınlığı, dış çapı ve genişliği ölçülür. İlk olarak %3 defleksiyon verilir. %3 defleksiyona ulaşıldıktan sonra 2 dakika beklenerek düşey kuvvet makine üzerinden okunur ve aşağıda yer alan formülasyon ile boru rijitlik değeri Denklem (1.1) ve Denklem (1.2)'ye göre hesaplanır [52].

$$S_0 = \frac{F \times f}{L \times y} \quad (1.1)$$

$$f = \left\{ \frac{1860 + \left[\frac{(2500 \times y)}{dm} \right]}{100000} \right\} \quad (1.2)$$

S_0 : Rijitlik (N/m^2)

dm : Ortalama çap : $dm = de - e$ (m)

e : Et kalınlığı (m)

de : Dış çap (m)

L : Numune ortalama genişliği (m)

y : Defleksiyon (m)

f : Defleksiyon faktörü

F : Uygulanan kuvvet (N)

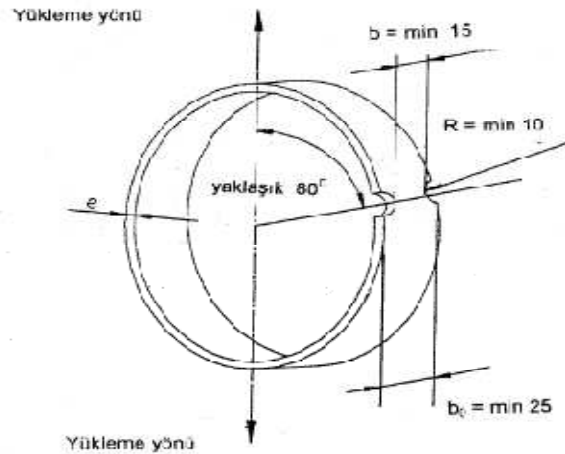
Standartların bir gerekliliği olarak çalışma koşulları karşısında müsaade edilen kısa dönem ve uzun dönem sehim değerlerinden daha ileri düzeyde çembersel defleksiyon oluşturularak boruların tabakaları arasındaki davranışı ile hasar durumları da Seviye A ve Seviye B testleri olarak rijitlik numunelerine uygulanır. Çizelge 1.3.'te defleksiyon değerleri belirtilmiştir. Buna göre %11.3 defleksiyona ulaşıldığında boru iç cidarında bir çatlak olmamalı ve %18.9 defleksiyonda et kalınlığı içerisinde, tabakalar arasında herhangi bir yapısal hasar olmamalıdır.

Çizelge 1.3. Seviye A ve Seviye B sehim değerleri.

Test Adı	Defleksiyon Miktarı (%)
Seviye A Testi	11.3
Seviye B Testi	18.9

1.5.4.2. Çember Çekme Deneyi

CTP borular için borudan minimum 10 mm, maksimum 30 mm kalınlığında bir halka kesilerek TS EN 1394 standardında belirtilen metod b'ye göre testler gerçekleştirilir. Çember çekme deney düzeneği için hazırlanacak numune şematik olarak Şekil 1.20.'de verilmiştir.



Şekil 1.20. Çember çekme numunesi [53].

Şekil 1.20.'de görülen deney numunesinde deney parçasının genişliği (b), birisi çentikli bölgedeki halkanın içinden, diğeri dışından alınan iki ölçmenin ortalaması olarak ± 0.1 mm hassasiyetle belirlenir. Hasar beklenen bölgede yer alan yarık, diskin dış çevresi

üzerine yerleştirilir. Numuneye 1 dakika ile 3 dakika arasında hasar meydana gelecek şekilde sabit bir ayırma hızı uygulanır. Uygulanan en büyük kuvvet kaydedilir [53].

Çember çekme dayanım değeri aşağıda yer alan Denklem (1.3) formülasyonu kullanılarak hesaplanır.

$$\sigma_A = \frac{F}{2xbG} \quad (1.3)$$

σ_A : Çember çekme dayanımı (N/mm)

F : Maksimum kuvvet (N)

bG: Test parçasının genişliği (mm)

1.5.4.3. Eksenel Çekme Deneyi

Eksenel çekme deneyinde; ISO 8513 standardının içerisinde metod a (şerit test parçası) olarak tanımı yapılan deney için test parçası, çekme testi cihazının çeneleri arasına çekme yönüne paralel olacak şekilde yerleştirilir. Numunenin genişliği (mm) ve kalınlığı 3'er noktadan ölçülerek veriler kaydedilir. Kelepçelerin birbirinden uzaklaşması ile yük uygulanır ve kopma anındaki maksimum yük kaydedilir [54].

Eksenel çekme özellikleri aşağıda yer alan Denklem (1.4) formülasyonu kullanılarak hesaplanır:

$$\sigma_{LA} = \frac{F}{bG} \quad (1.4)$$

σ_{LA} : Eksenel çekme dayanımı (N/mm)

F : Maksimum kuvvet (N)

bG: Test parçasının genişliği (mm)

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. MATERYAL

Bu tez çalışmasında özellikle altyapı sistemlerinde yaygın olarak kullanılan bir kompozit olan CTP boruların üretiminde ortaya çıkan atık boru tozunun, yeniden üretim sürecinde kullanımı üzerine deneysel bir değerlendirme yapılmıştır. CTP boru üretiminde, bağlayıcı olarak termoset karakteristikli ortoftalik doymamış polyester reçinesi, dolgu malzemesi olarak silis kumu ve takviye malzemesi olarak E-cam elyafı kullanılmıştır. Tez çalışması kapsamında, boru üretiminde kullanılan silis kumu ağırlığının %2.5, %5, %7.5 ve %10 oranlarında atık boru tozu ilave edilerek santrifüj yöntemiyle bire bir ölçekli boru numunesi üretimi gerçekleştirilmiştir.

Boruların üretiminde bağlayıcı matris olarak iki tip reçine kullanılmıştır. Boru iç yüzeyinde kullanılan ve esneklik özelliği daha yüksek olan reçine ilk 1 mm kalınlıkta yer almaktadır. Borunun kalan tüm katmanlarında ise ortofitalik polyester reçine kullanılmıştır. Kullanılan reçinelerin tipleri, kabul koşullarına uygunluğu için yapılan test sonuçları ve ilgili standart limitleri Çizelge 2.1.'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. CTP boru üretiminde kullanılan polyester reçinenin özellikleri.

Parametre	Test Metodu	Ortoftalik Polyester Reçine (gövde tabakası)		Liner Polyester Reçine (iç astar tabakası)	
		Kabul Aralığı	Sonuç	Kabul Aralığı	Sonuç
Viskozite (@25 ⁰ C)	ASTM D 2196	175 – 250 cp	225 cp	500 – 600 cp	570 cp
Jel Süresi (@25 ⁰ C)	ASTM D 3056	7 – 12 dk.	11 dk.	12 – 24 dk.	12 dk.
Pik Sıcaklığı	ASTM D 2471	160 – 210 °C	160 °C	120 – 140 °C	135.8 °C
Pik/Jel Süresi	ASTM D 3056	≤2	2	≤ 2	1.8
Katı Madde (@300cp)	ISO 3344	> %60	%64.09	> %60	%77.04

Farklı çalışma şartlarına ve yüklere karşı dayanım göstermesi amacıyla kompozit CTP borular içerisinde silis kumu dolgu malzemesi olarak kullanılmıştır. Agregada olarak kullanılan silis kumu %30 oranında reçine tüketimine ve en fazla 0.85 mm dane çapına sahiptir.

CTP boru üretiminde tercih edilen silis kumuna ait özellikler, kabul koşullarına uygunluğu için yapılan test sonuçları ve ilgili standart limitleri Çizelge 2.2.'de özetlenmiştir.

Çizelge 2.2. CTP boru üretiminde kullanılan silis kumu özellikleri.

Parametre	Kabul Aralığı	Test Sonucu
Reçine ve kum karışımının jel süresi	5-10 dk.	07:15 dk.
Nem içeriği (@105 ⁰ C, 2 saat)	Maks. %0.5	%0.03
Yoğunluk	Min.1.5- Maks. 1.7 g/cm ³	1.52 g/cm ³
Tane boyut dağılımı	Maks. %1 (AFS 40-45)	%0.81
Yanma kaybı (@ 625 ⁰ C, 30 dk)	Maks. %2.0	%0.13

Tüm CTP borularının üretiminde takviye malzemesi olarak E cam elyafı kullanılmış olup kullanılan elyafa ait özellikler, kabul koşullarına uygunluğu için yapılan test sonuçları ve ilgili standart limitleri Çizelge 2.3.'te özetlenmiştir.

Çizelge 2.3. CTP boru üretiminde kullanılan E-cam özellikleri.

Parametre	Kabul Kriteri (g/km)		Deney Sonucu
Tex tespiti	600: Tex	Min. 540 - Maks. 660	2409.5
	1200: Tex	Min. 1080 - Maks. 1320	
	2400: Tex	Min. 2160 - Maks. 2640	
	4800: Tex	Min. 4320 - Maks. 5280	
Nem içeriği tespiti	Maks. 0.1%		%0
Bağlayıcı içeriği tespiti	Chop : Min. 0.7 - Maks. 1.5 Hoop : Min. 0.35 - Maks. 0.75		0.74

Termoset polyester reçine, silika kumu ve cam elyaf hammaddeleri ile birlikte, üretim prosesleri neticesinde ortaya atık olarak çıkan CTP boru tozu da dolgu kısmında ilave olarak kullanılmıştır. Kullanılan boru tozu, CTP kompozit borunun üretim prosesinde ek parçalarının kesilmesi ya da işlenmesi sırasında ortaya çıkan atık tozdur. Atık olarak ortaya çıkan boru tozu, üretilen borunun küçük bir parçası olması sebebi ile SiO₂, cam

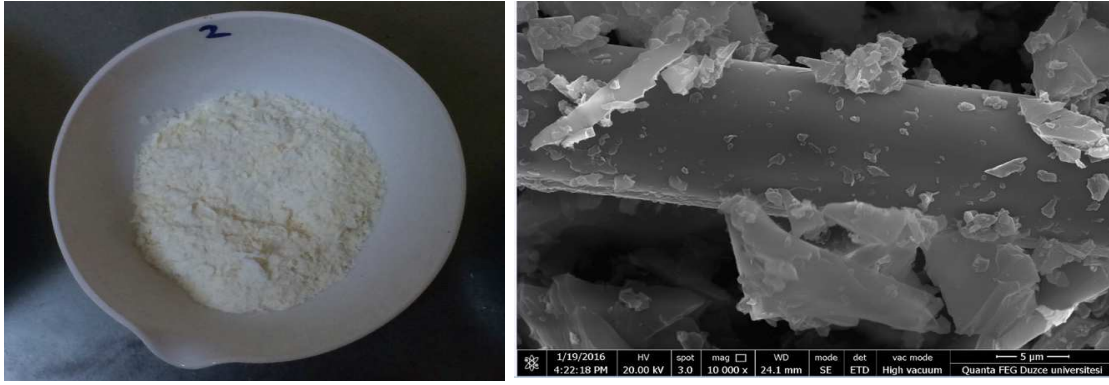
elyaf ve polyester reçineden oluşmaktadır. CTP boru ek parçalarının işlenmesi sırasında kuru toz olarak ortaya çıkan tanecikler vakumlanarak toz toplama ünitesinde hapsedilmektedir. Torna prosesi neticesinde toplanan bu toz içerisinde daha uzun ve toz taneciğinden farklı geometriye sahip kıymık parçalar da bulunmaktadır. Çalışma kapsamında kullanılan atık boru tozu 1 mm'lik göz açıklığına sahip elekten geçirilerek homojenize edilmiş ve tüm boru tozu içeren CTP'lerde 0-1 mm aralığında tane dağılımına sahip boru tozu kullanılmıştır.

Atık boru tozu numunesi üzerinde yapılan elek analizi sonucunda %27.57 oranında 0.15 mm dane boyutundan daha küçük parçacıklar görülmüştür. Atık boru tozu elek analizi sonuçları Çizelge 2.4.'te verilmiştir.

Çizelge 2.4. Atık boru tozu elek analizi.

Elek No	Tanecik Boyutu (mm)	Elek Ağırlığı (g)	Elek-Toz Ağırlığı (g)	Toz Ağırlığı (g)	Boyut Dağılımı (%)
20	0.85	301.95	328.57	26.62	26.62
25	0.71	328.89	334.89	6.00	6.00
30	0.60	281.12	288.40	7.28	7.28
35	0.50	284.16	291.14	6.98	6.98
50	0.30	263.33	278.21	14.88	14.88
60	0.25	250.93	254.43	3.50	3.50
80	0.18	255.15	260.67	5.52	5.52
100	0.15	238.20	241.11	2.91	2.91
Toplama Kabı	0.00	340.00	366.31	26.31	26.31
				Toplam	100.00

Kullanılan atık boru tozu hakkında fikir edinebilmek amacıyla Scanning Electron Microscope (SEM) görüntüsü alınmıştır. Şekil 2.1. a)'da 1 mm elekten elenerek kullanıma hazır hale getirilmiş boru tozu görünmektedir. Şekil 2.1. b)'de ise çalışmada kullanılan boruz tozunun SEM görüntüsü verilmiştir.



a)

b)

Şekil 2.1. Boru tozu a) Numune görünümü b) SEM görüntüsü.

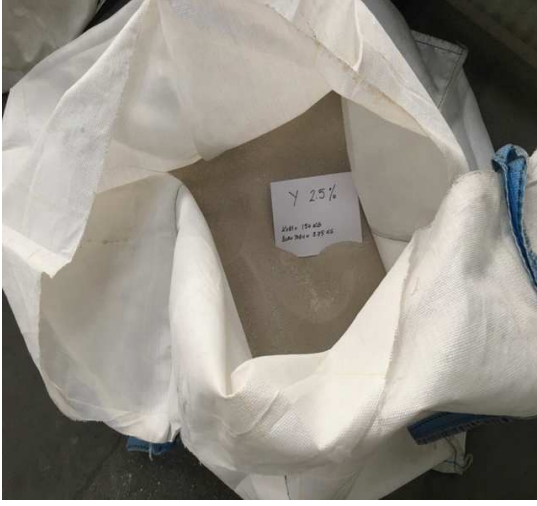
CTP atık boru tozuna ait SEM görüntüsü, herhangi bir işleme tabi tutulmamış orjinal yüzey üzerinden alınmıştır. Buradaki mikro yapıda cam elyaf ve reçine parçacıklarının varlığı net bir biçimde görülebilmektedir. Toz içerisinde mevcut olan bu mikro elyaf parçalarının, özellikle çekme yönünde olumlu davranış göstererek bazı mekanik özellikleri iyileştirmesi beklenmektedir.

2.2. YÖNTEM

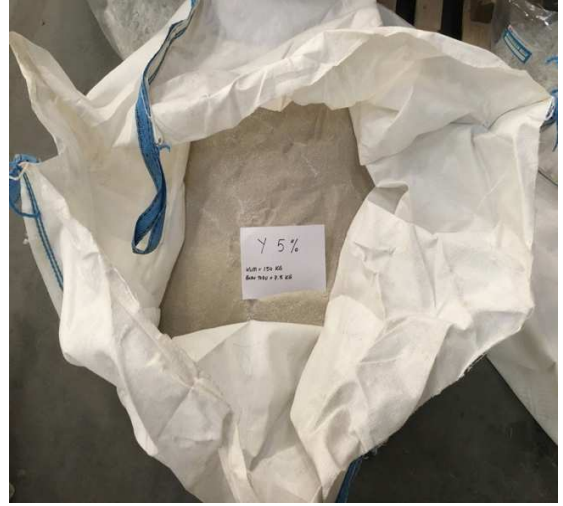
2.2.1. Karışıma Giren Malzemelerin Hazırlanması

Çalışmada farklı oranlarda CTP atık boru tozu kullanılarak savurma döküm prosesi ile CTP boru üretimi yapılmıştır. Polyester reçine, silika kum ve cam elyaf, üretilmesi hedeflenen 350 mm çapa sahip, 6 bar basınç sınıfında ve 5000 N/m² rijitlik sınıfındaki boruların üretimi için gereken malzeme miktarları dikkate alınarak hazırlanmıştır. Boru tozu ise silis kumu ağırlığının %2.5, %5, %7.5 ve %10 oranlarında kuma ilave edilip karıştırılarak kullanılmıştır. İlave edilen atık toz miktarı, referans boruda kullanılan toplam kum miktarı üzerinden oranlanmıştır. Tüm üretimlerde aynı cins hammaddeler kullanılmış olup numunelerin birbirinden farkı sadece ilave edilen boru tozu miktarıdır.

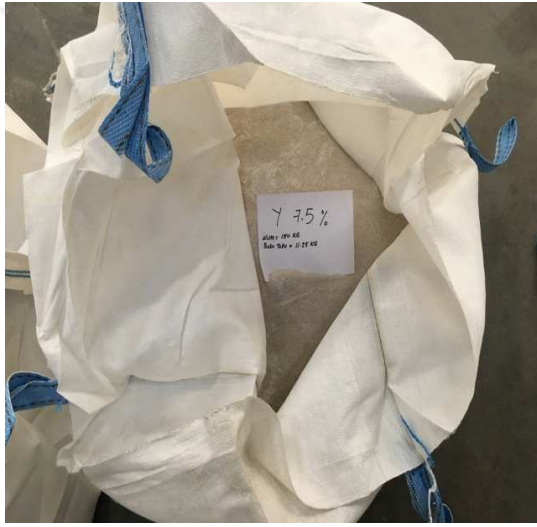
Atık boru tozu Şekil 2.2.'de görüldüğü gibi silika kumuna karıştırılarak besleme ünitesine verilmiştir. Silika kumu ve boru tozunun homojen olarak karıştırılması işleminde el mikseri kullanılmıştır. Bununla beraber besleyici kol içerisinde geçerken de helezonik mikser ile karışım yapılmıştır.



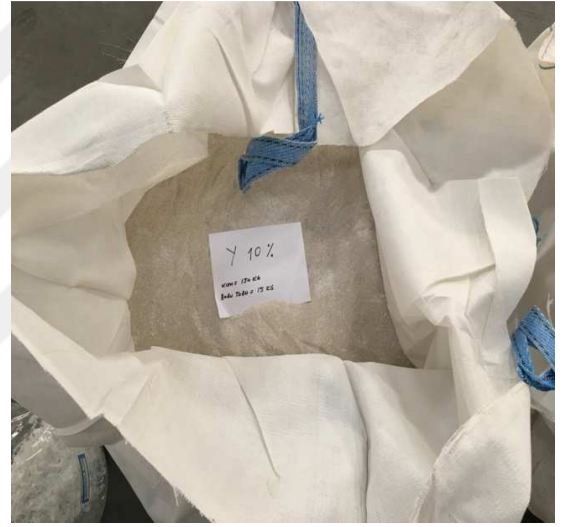
a)



b)



c)



d)

Şekil 2.2. Karıştırılmış numuneler a) %2.5 b) %5 c) %7.5 d) %10.

Üretilen tüm CTP boru numuneleri için karışıma giren malzeme miktarları Şekil 2.5.'te verilmiştir. Fabrika'da açığa çıkan boru tozu çalışma kapsamında yan ürün (Y) olarak adlandırılmış ve yan ürün içeren borular, boru tozu miktarı ile birlikte kodlanarak Y-2.5, Y-5, Y-7.5 ve Y-10 olarak isimlendirilmiştir.

Çizelge 2.5. Boru karışımlarına giren malzeme miktarları.

Kullanılan malzeme	Miktarı
Reçine Miktarı	43.200 Kg
Elyaf Miktarı	16.700 Kg
Kum Miktarı	48.600 Kg
Atık Boru Tozu İlave Edilmemiş Referans Numune (KOD: REF)	0 Kg
% 2.5 Atık Boru Tozu İlave Edilmiş Numune (KOD: Y-2.5)	1.215 Kg
%5 Atık Boru Tozu İlave Edilmiş Numune (KOD: Y-5)	2.430 Kg
%7.5 Atık Boru Tozu İlave Edilmiş Numune (KOD: Y-7.5)	3.645 Kg
%10 Atık Boru Tozu İlave Edilmiş Numune (KOD: Y-10)	4.860 Kg

2.2.2. Boru Örneklerinin Üretimi

Santrifüj prosesi ile üretim yapılırken, dolgu malzemesi olarak kullanılan kum ve atık boru tozu karışımları için 150 Kg’lık silis kumu naylon çuvallar içerisine doldurulmuş ve Şekil 2.3.’te gösterilen şekilde karışıma girecek atık boru tozu ilave edilerek el mikseri vasıtasıyla karıştırma yapılmıştır. Bununla beraber hammaddenin beslenmesi sırasında kum haznesi içerisine doldurulan karışım, besleyici kol içerisinden geçmeden önce de mekanik bir karıştırmaya tabi tutulmaktadır.



Şekil 2.3. Atık boru tozu ve kumun karıştırılması.

Şekil 2.4.’te görüldüğü gibi hazırlanan karışım otomasyon sisteminin kum haznesine boşaltılmıştır ve her üretimden sonra hammadde besleme ünitesi tamamen boşaltılarak bir sonraki karışımda kullanılacak dolgu üretim sistemine yeniden eklenmiştir.



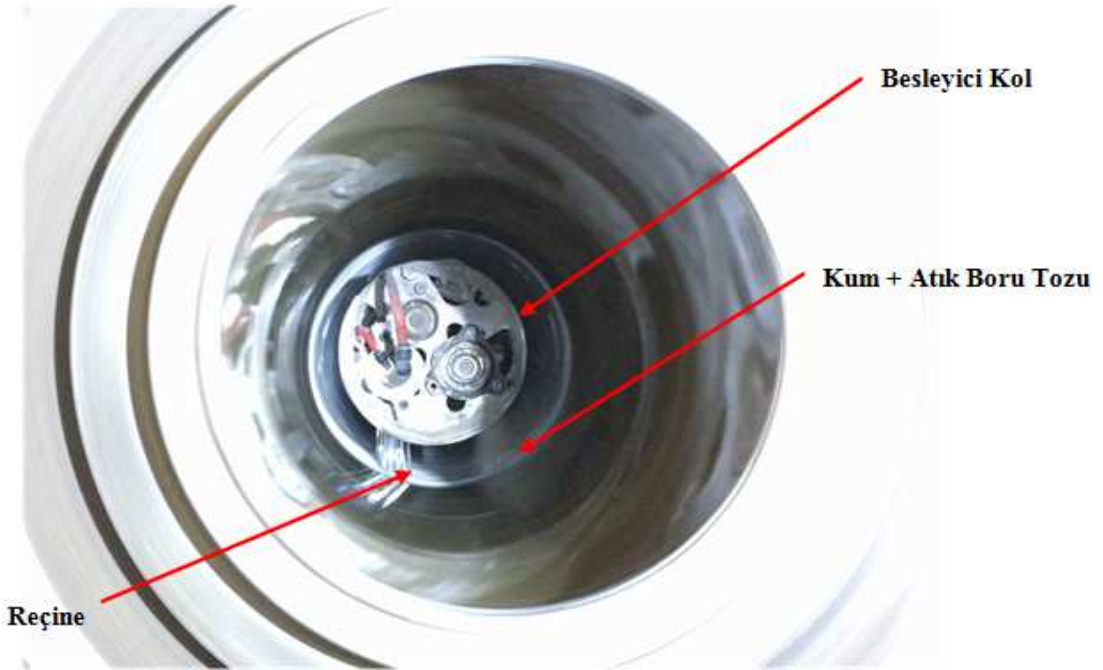
a)



b)

Şekil 2.4. Operasyon a) Kum haznesine boşaltma b) Kullanılan karışımın boşaltılması.

Santrifüj yöntemiyle borular üretilirken Şekil 2.5.'te görülen besleyici kol (feeder) aracılığıyla Çizelge 2.5.'te verilen miktarlarda hammadde kalıp içerisine bırakılmıştır.



Şekil 2.5. Savurma döküm yöntemi ile boru üretiminde kullanılan besleyici kol.

Besleyici kol sonundaki kafadan, doldurma işlemi boyunca polimerize olmayacak şekilde formüle edilen reçine ve tasarım boyunda kesilen elyaflar kalıba dökülmüştür. Katmanlar içindeki elyafların dağılımı ve organizasyonu borunun tasarlanan çevresel ve eksenel yöndeki mukavemetlerini karşılayacak şekilde ayarlanmıştır. Kalıp başlangıçta göreceli olarak yavaş döndürülmüştür. Tüm hammaddelerin besleme işlemi bitince sıkıştırma kuvvetini artırmak için kalıp devir hızı arttırılmıştır. Kalıp devir hızındaki

artış ile tam bir sıkıştırma ve katı malzemeye geçiş (kürleşme) sağlanmıştır. Besleme kolunun kalıp içerisindeki doğrusal ileri ve geri hareketiyle boru et kalınlığı tabaka tabaka üretilmiştir. Takviye malzemesi olan cam elyaflar boru cidarındaki nötr ekseninin her iki tarafına yerleştirilerek, arada kalan boşluk da silika kum, reçine ve cam elyaf ile doldurulmuştur. Üretilmiş CTP kompozit borulara ait bir görsel Şekil 2.6.'da verilmiştir.



Şekil 2.6. Üretilmiş CTP kompozit borular.

Boru mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla çember çekme dayanımı, eksenel çekme dayanımı, rijitlik testi için Çizelge 2.6.'da tanımlanan mekanik testler için üretimi tamamlanmış olan borular üzerinden numuneler kesilerek hazırlanmıştır.

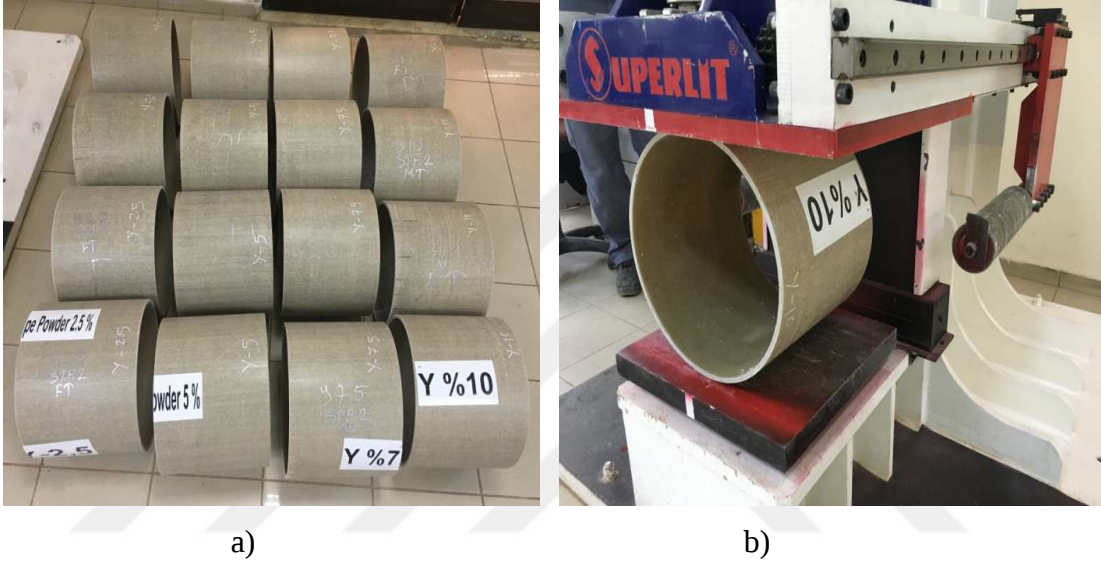
Çizelge 2.6. Boru numunelerinden alınan test örneklerinin açıklanması.

Test Adı	Numune Hazırlama Aşamaları
Rijitlik Testi	4 adet-30 cm genişliğinde boru parçası (2 adet bir uçtan ve 2 adet diğer uçtan olmak üzere)
Çember Çekme	20 adet- 2.5 cm genişliğinde çember şeklinde şerit (Rijitlik numuneleri kesildikten sonra kalan parça boru üzerinden 10 adet bir uçtan ve 10 adet diğer uçtan olmak üzere)
Eksenel Gerilme	20 adet-2cmx30 cm ölçülerinde boru eksenine boyunca alınmış şerit (Çember kesme numuneleri kesildikten sonra kalan parça boru üzerinden 10 adet bir uçtan ve 10 adet diğer uçtan olmak üzere)

2.2.3. Boru Örnekleri Üzerinde Gerçekleştirilen Mekanik Testler

2.2.3.1. Rijitlik Deneyi

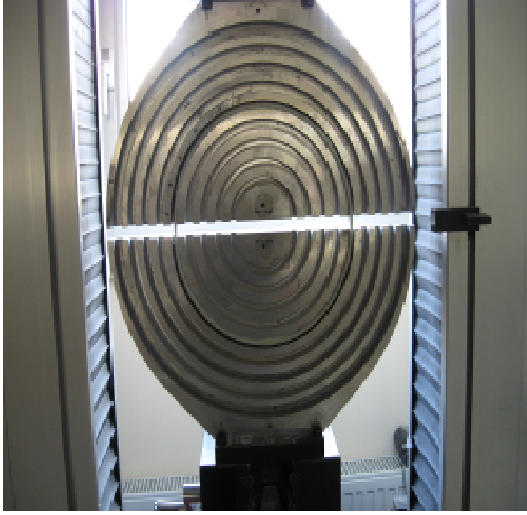
Boru rijitliği, dış ortamın oluşturduğu üst ve yanal yüklere karşı çembersel yöndeki eğilmeye karşı gösterdiği direncin ölçüsü olarak ifade edilebilir. Üretilen referans ve atık boru tozu katkılı borularda rijitlik testi için hazırlanmış numuneler ve testin uygulanışına ait görsel Şekil 2.7.'de verilmiştir. Deney sonrası tüm boruların rijitlik değerleri Denklem (1.1)'de tanımlandığı şekilde hesaplanmıştır.



Şekil 2.7. Test numuneleri a) Rijitlik deneyi için b) Deneyin uygulanması.

2.2.3.2. Çember Çekme Deneyi

Çember çekme dayanımı, borunun çembersel yönde iç basınç sebebi ile oluşan gerilmelere karşı direncinin bir ölçüsüdür. Üretilen referans ve atık boru tozu katkılı borularda çember çekme dayanımı testi için hazırlanmış numuneler ve testin uygulanışına ait bir görsel Şekil 2.8.'de verilmiştir. Deney sonrası tüm boruların çember çekme dayanımı değerleri Denklem (1.3)'te tanımlandığı şekilde hesaplanmıştır.



a)



b)

Şekil 2.8. Çember çekme deneyi a) Aparat b) Deney için hazırlanan numuneler.

2.2.3.3. Eksenel Çekme Deneyi

Eksenel çekme dayanımı; ortam şartları veya ilave yüklemeler sonucunda boruların boyuna yönünde oluşan kuvvetlere karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanabilir. Deney için hazırlanan numuneler ve deneyin uygulanışı Şekil 2.9.'da görülmektedir. Deney sonrası tüm boruların eksenel çekme dayanımı değerleri Denklem (1.4)'de tanımlandığı şekilde hesaplanmıştır.



a)



b)

Şekil 2.9. Eksenel çekme deneyi a) Hazırlanan numuneler b) Deney düzeneği.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Üretimi yapılmış olan CTP boruların savurma döküm makinasının üretim yönüne göre hammadde beslemenin yapıldığı taraf FT, arka tarafta kalan kapak tarafı da KT olarak isimlendirilmiştir. Her iki yönden de ikişer set numune olmak üzere her bir CTP borudan 4 set mekanik test numunesi alınmıştır. Alınan 4 set numune de 5 tekrar olacak şekilde her bir boru türü için 20 tane numune testlere tabi tutularak sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen bulgular bu bölümde tartışılmıştır.

3.1. ÇEMBER ÇEKME TESTİ SONUÇLARI

Çember çekme dayanımları, cam elyaf takviyeli kompozitlerde performans analizi ve tasarımında dikkate alınan önemli bir malzeme özelliğidir. AWWA C950’de çember çekme dayanımı alt limiti olarak PN 6 bar basınç sınıfı ve SN 5000 N/m² rijitlik sınıfındaki borular için 443 N/mm verilmiştir. Boru tozu içermeyen referans CTP borudan elde edilen çember çekme dayanımı deney sonuçları Çizelge 3.1.’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Referans CTP boru için çember çekme dayanımı deney sonuçları.

REF	Numune		Kalınlık	Genişlik	Kuvvet (F)	Çekme Dayanımı	Numune Ort.
			mm	mm	N	N/mm	N/mm
	FT1	1	8.65	12.03	29520	1226.93	1131.01
		2	8.73	11.42	26173	1145.59	
		3	8.63	12.79	27302	1067.32	
		4	8.57	11.86	25380	1070.15	
		5	8.59	11.73	26863	1145.06	
	FT2	1	8.74	12.78	27528	1076.71	1108.78
		2	8.81	13.34	32042	1200.97	
		3	8.68	12.16	27979	1150.45	
		4	8.91	13.55	27354	1009.62	
		5	8.81	12.63	27941	1106.14	
	KT1	1	8.79	12.92	24123	933.31	1078.69
		2	8.77	13.52	25509	943.38	
		3	8.77	11.96	31739	1326.88	
		4	8.81	12.37	29285	1183.71	
		5	8.98	12.73	25624	1006.18	

Çizelge 3.1. (devam) Referans CTP boru için çember çekme dayanımı deney sonuçları.

REF	KT2	1	8.71	13.86	28756	1037.37	1095.00
		2	8.81	10.67	26892	1260.56	
		3	8.72	12.27	30311	1235.50	
		4	8.75	10.44	20189	966.91	
		5	8.73	10.48	20422	974.64	
Referans Genel Ortalama (N/mm)							1103.37

Çizelge 3.1.'de görüldüğü gibi referans numune için FT değerlerinin grup ortalaması sırasıyla 1131.01 N/mm ve 1108.78 N/mm bulunmuştur. KT değerlerinin grup ortalaması da sırasıyla 1078.69 N/mm ve 1095.00 N/mm olarak bulunmuştur. Tüm gruplardan elde edilen sonuçların genel ortalaması ise 1103.37 N/mm'dir.

%2.5 boru tozu içeren CTP borulardan elde edilen çember çekme dayanımı deney sonuçları Çizelge 3.2.'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. %2.5 boru tozu içeren CTP boru için çember çekme dayanımı deney sonuçları.

Y-2.5	Numune		Kalınlık	Genişlik	Kuvvet (F)	Çekme Dayanımı	Numune Ort.
			mm	mm	N	N/mm	N/mm
	FT1	1	8.75	12.82	37826	1475.66	1325.58
		2	8.69	12.35	34496	1396.98	
		3	8.78	13.03	30126	1156.02	
		4	8.44	12.22	27613	1129.83	
		5	8.64	11.31	33228	1469.40	
	FT2	1	8.80	12.75	28761	1128.18	1196.36
		2	8.62	12.77	29898	1170.94	
		3	8.46	10.91	28388	1301.41	
		4	8.51	10.44	23972	1147.72	
		5	8.75	10.72	26447	1233.54	
	KT1	1	8.72	11.73	32038	1365.26	1373.58
		2	8.75	12.33	32545	1319.75	
		3	8.68	10.52	29238	1390.08	
		4	8.73	11.90	36448	1531.86	
		5	8.81	11.89	29986	1260.98	
	KT2	1	8.68	12.26	30362	1237.92	1334.51
		2	8.73	12.02	39407	1639.68	
		3	8.69	12.44	36530	1468.64	
4		8.74	12.82	31143	1214.31		
5		8.72	13.15	43452	1652.17		
%2.5 Katkı İçin Genel Ortalama (N/mm)						1334.51	

Çizelge 3.2.'de görüldüğü gibi %2.5 karışım oranı ile en düşük boru tozu içeren CTP borular için FT değerlerinin grup ortalaması sırasıyla 1325.58 N/mm ve 1196.36 N/mm

olarak bulunmuştur. KT değerlerinin grup ortalaması da sırasıyla 1373.58 N/mm ve 1334.51 N/mm olarak bulunmuştur. Tüm gruplardan elde edilen sonuçların genel ortalaması ise 1334.51 N/mm'dir. Y-2.5 numunelerinin çember çekme dayanımı sonuçlarının genel ortalaması gözönünde bulundurulduğunda referansa göre %21'e varan bir artışın olduğu görülmektedir.

%5 boru tozu içeren CTP borulardan elde edilen çember çekme dayanımı deney sonuçları Çizelge 3.3.'te verilmiştir.

Çizelge 3.3. %5 boru tozu içeren CTP boru için çember çekme dayanımı deney sonuçları.

Y-5	Numune		Kalınlık	Genişlik	Kuvvet (F)	Çekme Dayanımı	Numune Ort.
			mm	mm	N	N/mm	N/mm
	FT1	1	8.43	11.13	36360	1633.91	1459.72
		2	8.47	11.52	36758	1595.40	
		3	8.56	12.39	37102	1497.66	
		4	8.60	12.91	32365	1253.16	
		5	8.51	11.57	30500	1318.44	
	FT2	1	8.68	13.16	28938	1099.47	1216.08
		2	8.55	12.19	27060	1109.93	
		3	8.58	12.04	35832	1487.63	
		4	8.55	12.65	32234	1274.41	
		5	8.47	12.06	26756	1108.98	
	KT1	1	8.81	11.82	32326	1367.43	1441.83
		2	8.65	11.40	35866	1573.07	
		3	8.66	13.87	38993	1406.00	
		4	8.75	13.50	32348	1198.37	
		5	8.74	12.30	40930	1664.27	
	KT2	1	8.58	12.62	38319	1517.78	1397.38
		2	8.64	11.85	27319	1152.38	
		3	8.61	12.05	36894	1530.45	
4		8.64	10.99	23519	1069.69		
5		8.61	12.43	42663	1716.59		
%5 Katkı İçin Genel Ortalama (N/mm)							1378.75

Çizelge 3.3.'te görüldüğü gibi %5 boru tozu içeren CTP borular için FT değerlerinin grup ortalaması sırasıyla 1459.72 N/mm ve 1216.08 N/mm olarak bulunmuştur. KT değerlerinin grup ortalaması da sırasıyla 1441.83 N/mm ve 1397.38 N/mm olarak bulunmuştur. Tüm gruplardan elde edilen sonuçların genel ortalaması ise 1378.75 N/mm'dir. Y-5 numunelerinin çember çekme dayanımı sonuçlarının genel ortalaması gözönünde bulundurulduğunda da Y-2.5 numunelerinde olduğu gibi referansa göre belirgin bir artışın olduğu görülmektedir. Bu artış REF numuneye kıyasla %25

seviyelerine ulaşan değerler almıştır. Çizelge 3.4'te %7.5 boru tozu içeren CTP borulardan elde edilen çember çekme dayanımı sonuçları görülmektedir.

Çizelge 3.4. %7.5 boru tozu içeren CTP boru için çember çekme dayanımı deney sonuçları.

Y-7.5	Numune		Kalınlık	Genişlik	Kuvvet (F)	Çekme Dayanımı	Numune Ort.
			mm	mm	N	N/mm	N/mm
	FT1	1	8.63	11.79	41052	1740.47	1432.32
		2	8.65	12.58	27883	1107.93	
		3	8.41	10.84	28869	1331.19	
		4	8.60	12.47	37964	1522.21	
		5	8.68	11.49	33546	1459.79	
	FT2	1	8.51	12.43	28025	1127.01	1280.50
		2	8.59	11.98	28186	1176.38	
		3	8.48	12.77	32732	1281.60	
		4	8.55	11.69	35592	1521.89	
		5	8.84	12.64	32753	1295.61	
	KT1	1	8.66	13.41	32375	1207.42	1275.45
		2	8.75	12.22	27067	1107.49	
		3	8.82	13.99	41235	1473.38	
		4	8.80	12.62	31504	1247.85	
		5	8.62	12.91	34637	1341.13	
	KT2	1	8.60	12.90	37891	1468.64	1283.74
		2	8.55	11.73	25675	1094.42	
		3	8.57	12.10	22489	929.55	
4		8.53	11.71	37887	1617.72		
5		8.57	9.99	26141	1308.36		
%7.5 Katkı İçin Genel Ortalama (N/mm)						1318.00	

%7.5 boru tozu içeren CTP boruların çember çekme dayanımı sonuçları incelendiğinde FT değerlerinin grup ortalamasının sırasıyla 1432.32 N/mm ile 1280.50 N/mm ve KT değerlerinin grup ortalamasının da sırasıyla 1275.45 N/mm ile 1283.74 N/mm olarak elde edildiği görülmektedir. Grupların genel ortalaması ise 1318.00 N/mm'dir. Boru tozu miktarının %7.5'e çıkarılmış olması elde edilen çember çekme dayanımı değerleri açısından referans numuneye göre önemli bir artış sağlamış olsa da (%19.5 artış) %2.5 ve %5 boru tozunun kullanımına kıyasla anlamlı bir değişime neden olmamıştır. Bu durum boru tozu kullanımının bir eşik değere ulaştığını işaret etse de atık tüketimi açısından faydalı ve kabul edilebilir sonuçlar olarak değerlendirilebilir.

%10 boru tozu içeren CTP boruların çember çekme dayanımı sonuçları ise Çizelge 3.5.'te verilmiştir.

Çizelge 3.5. %10 boru tozu içeren CTP boru için çember çekme dayanımı deney sonuçları.

Y-10	Numune		Kalınlık	Genişlik	Kuvvet (F)	Çekme Dayanımı	Numune Ort.
			mm	mm	N	N/mm	N/mm
	FT1	1	8.39	11.81	29157	1234.42	1173.87
		2	8.40	11.76	29638	1260.12	
		3	8.46	11.24	22833	1015.70	
		4	8.43	11.11	26263	1181.95	
		5	8.46	12.33	29036	1177.14	
	FT2	1	8.46	12.37	34001	1374.70	1304.98
		2	8.54	11.32	27465	1213.48	
		3	8.43	12.24	38289	1564.09	
		4	8.45	12.04	30904	1283.03	
		5	8.46	13.24	28845	1089.59	
	KT1	1	8.68	12.67	36719	1448.67	1330.51
		2	8.74	12.15	32545	1339.67	
		3	8.68	11.55	34067	1474.76	
		4	8.92	13.28	32853	1237.25	
		5	8.82	12.41	28590	1152.20	
	KT2	1	8.76	11.72	29828	1272.89	1289.08
		2	8.70	12.04	26023	1080.99	
		3	8.68	11.05	35541	1607.71	
4		8.62	11.70	25387	1085.22		
5		8.74	10.42	29156	1398.59		
%10 Katkı İçin Genel Ortalama (N/mm)						1274.61	

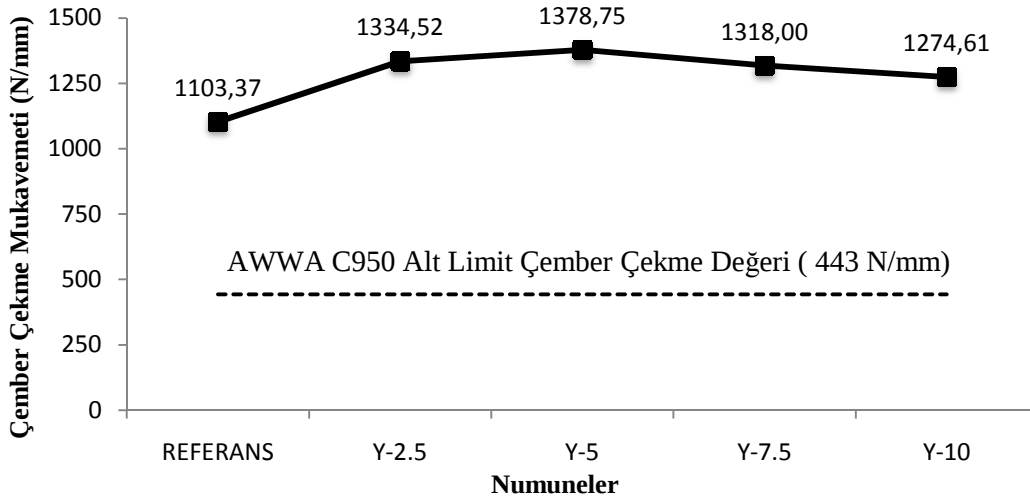
Çizelge 3.5.'teki sonuçlar incelendiğinde, FT değerlerinin grup ortalamasının sırasıyla 1173.87 N/mm ile 1304.98 N/mm ve KT değerlerinin grup ortalamasının da sırasıyla 1330.51 N/mm ile 1289.08 N/mm olarak elde edildiği görülmektedir. Genel ortalama ise 1274.61 N/mm olarak bulunmuştur. %5 boru tozu kullanımından %7.5 boru tozu kullanımına geçişte görülen düşüş boru tozu kullanımının %10 seviyesine çıkarılmasında da devam ettiği görülmektedir. Bu düşüş yalnızca boru tozu kullanım miktarı açısından bir anlam ifade etmekte olup REF numunesine göre %16 artışla boru tozu kullanımının yine avantaj getirdiği söylenebilir. %7.5 boru tozu kullanımından elde edilen sonuçlar %5 boru tozu kullanımı ile kıyaslandığında yapılan değerlendirmeyi %10 boru tozu kullanımından elde edilen sonuçlarda desteklemektedir.

Çember çekme dayanımı açısından tüm sonuçlar birlikte değerlendirilecek olursa REF numuneye göre sırasıyla, %2.5 ilavesi %20.95, %5 ilavesi %24.96, %7.5 ilavesi %19.5 ve %10 ilavesi ise %15.5 oranında çember çekme dayanımını arttırmıştır. Referansa

göre %25 seviyelerine varan bir performans artışı çok önemli bir bulgu olarak görülmektedir.

Ayrıca boru tozu kullanımı ile mekanik özelliklerdeki kademeli artışı sağlayan pik değerin %5 boru tozu kullanımı olduğu söylenebilir.

Daha önce de belirtildiği gibi AWWA C950 standardında PN 6 bar basınç sınıfı ve SN 5000 N/m² rijitlik sınıfındaki borular için çember çekme dayanımının 443 N/mm'nin üzerinde olması gerektiği belirtilmiştir. Bu çalışmada üretilen tüm boruların çember çekme dayanımı genel ortalamalarının AWWA C950'de tanımlanan alt limit değerine uygunluğu Şekil 3.1.'de görülen grafik kullanılarak değerlendirilmiştir. Görüleceği üzere tüm borular AWWA C950 standardın alt limit değerini sağlamaktadır.



Şekil 3.1. Çember çekme ortalama değerleri ve AWWA standardı [43].

3.2. EKSENEL ÇEKME TESTİ SONUÇLARI

Çalışmada gerçekleştirilen bir diğer önemli mekanik test ise eksenel çekme dayanımı testidir. AWWA C950 eksenel çekme alt limit değerini 102 N/mm olarak belirtmektedir. Referans numuneden elde edilen eksenel çekme dayanımı sonuçları Çizelge 3.6.'da görülmektedir.

Çizelge 3.6. Referans CTP boru için eksenel çekme deney sonuçları.

REF	Numune		Kalınlık	Uzunluk	Genişlik	Kuvvet (F)	Eksenel Çekme	Numune Ort.
			mm	mm	mm	N	N/mm	N/mm
	FT1	1	8.62	300	23.9	3506	146.67	146.05
		2	8.62	300	23.83	3218	135.02	
		3	8.62	300	22.91	3448	150.50	
		4	8.68	300	23.87	3799	159.18	
		5	8.70	300	24.24	3366	138.86	
	FT2	1	8.45	300	24.15	3190	132.07	146.20
		2	8.61	300	25.04	3844	153.51	
		3	8.56	300	23.79	3281	137.92	
		4	8.53	300	23.51	3832	162.97	
		5	8.53	300	23.04	3330	144.53	
	KT1	1	8.68	300	24.01	4250	177.03	166.45
		2	8.70	300	24.05	4494	186.89	
		3	8.66	300	22.96	3776	164.46	
		4	8.71	300	23.05	3804	165.01	
		5	8.71	300	24.96	3467	138.88	
	KT2	1	8.69	300	24.33	3767	154.85	146.42
		2	8.73	300	23.62	3298	139.65	
		3	8.75	300	24.04	3305	137.50	
4		8.66	300	25.03	3649	145.77		
5		8.76	300	24.45	3773	154.31		
Referans Genel Ortalama (N/mm)								151.28

Referans numune için FT değerleri sırasıyla 146.05 N/mm ile 146.2 N/mm bulunmuştur. KT değerleri de sırasıyla 166.45 ile 146.42 N/mm bulunmuş ve tüm numunelerin genel ortalama ise 151.28 N/mm olarak elde edilmiştir. Y-2.5'ten elde edilen eksenel çekme dayanımı sonuçları Çizelge 3.7.'de görülmektedir.

Çizelge 3.7. %2.5 boru tozu içeren CTP boru için eksenel çekme deney sonuçları.

%2.5 Katkılı Numune	Numune		Kalınlık	Uzunluk	Genişlik	Kuvvet (F)	Eksenel Çekme	Numune Ort.
			mm	mm	mm	N	N/mm	N/mm
	FT1	1	8.46	300	23.85	3343	140.20	138.12
		2	8.43	300	22.80	3204	140.50	
		3	8.46	300	25.40	3402	133.90	
		4	8.45	300	23.29	3224	138.40	
		5	8.44	300	25.03	3443	137.60	
	FT2	1	8.46	300	24.18	3868	159.97	147.13
		2	8.47	300	22.75	3430	150.75	
		3	8.45	300	23.99	3626	151.13	
		4	8.54	300	23.27	3228	138.74	
		5	8.40	300	23.33	3151	135.06	
	KT1	1	8.68	300	23.86	3820	160.10	160.67
		2	8.63	300	24.39	3840	157.42	
		3	8.58	300	24.49	4402	179.75	
		4	8.66	300	25.99	4205	161.79	
		5	8.57	300	23.41	3378	144.28	
	KT2	1	8.63	300	23.88	3922	164.26	160.19
		2	8.71	300	23.49	3731	158.83	
		3	8.62	300	23.81	3686	154.79	
4		8.75	300	24.62	4207	170.90		
5		8.63	300	23.38	3557	152.16		
%2.5 Katkı İçin Genel Ortalama (N/mm)								151.53

Y-2.5 numunelerinin hem grup ortalamaları hemde genel ortalamaları değerlendirilecek olursa boru tozu ilavesinin eksenel çekme dayanımında bir artışa neden olmadığı görülmektedir. Buna rağmen herhangi bir mekanik performans kaybına neden olmaması da dikkat çekici bir sonuçtur.

%5 boru tozu içeren CTP borulardan elde edilen eksenel çekme dayanımı sonuçları Çizelge 3.8.'de görülmektedir.

Çizelge 3.8. %5 boru tozu içeren CTP boru için eksenel çekme deney sonuçları.

Y-5	Numune		Kalınlık	Uzunluk	Genişlik	Kuvvet (F)	Eksenel Çekme	Numune Ort.
			mm	mm	mm	N	N/mm	N/mm
	FT1	1	8.47	300	23.74	3969	167.16	154.49
		2	8.61	300	25.41	4046	159.23	
		3	8.54	300	24.55	3752	152.85	
		4	8.50	300	23.13	3353	144.96	
		5	8.49	300	25.83	3829	148.26	
	FT2	1	8.41	300	24.67	4032	163.44	157.34
		2	8.51	300	24.41	4069	166.69	
		3	8.45	300	23.39	3615	154.55	
		4	8.47	300	23.61	3567	151.10	
		5	8.50	300	24.59	3711	150.94	
	KT1	1	8.73	300	22.66	3832	169.13	150.58
		2	8.83	300	25.20	3877	153.85	
		3	8.72	300	24.10	3304	137.10	
		4	8.73	300	24.33	3621	148.83	
		5	8.69	300	23.92	3444	143.98	
	KT2	1	8.78	300	23.47	3639	155.05	155.76
		2	8.74	300	24.71	3536	143.12	
		3	8.86	300	23.87	3636	152.33	
4		8.69	300	24.30	4595	189.12		
5		8.75	300	21.93	3052	139.19		
%5 Katkı İçin Genel Ortalama (N/mm)								154.54

Çizelge 3.8.'de yer alan sonuçlar gözönüne alınacak olursa; Y-2.5 ve Y-5 boru numunelerinde eksenel çekme değerlerinin birbirlerine yakın olduğu görülmektedir. Buna göre REF numuneden %2.5 boru tozu kullanımına geçişte elde edilen bulgular üzerinde yapılan değerlendirmelere benzer yorumlar %5 boru tozu içeren borulardan elde edilen bulgular için de yapılabilir.

Çizelge 3.9.'da %7.5 boru tozu içeren CTP borulardan elde edilen eksenel çekme dayanımı sonuçlarını göstermektedir.

Çizelge 3.9. %7.5 boru tozu içeren CTP boru için eksenel çekme deney sonuçları.

Y-7.5	Numune		Kalınlık	Uzunluk	Genişlik	Kuvvet (F)	Eksenel Çekme	Numune Ort.
			mm	mm	mm	N	N/mm	N/mm
	FT1	1	8.67	300	28.51	4096	143.69	176.80
		2	8.52	300	23.69	4869	205.50	
		3	8.64	300	24.83	5005	201.57	
		4	8.53	300	24.12	3917	162.42	
		5	8.54	300	24.11	4118	170.8	
	FT2	1	8.66	300	24.31	4641	190.91	191.99
		2	8.56	300	23.19	4762	205.38	
		3	8.67	300	24.22	5221	215.60	
		4	8.66	300	24.53	4541	185.12	
		5	8.69	300	24.45	3984	162.94	
	KT1	1	8.99	300	23.18	4548	196.20	199.51
		2	8.73	300	24.17	4489	185.70	
		3	8.69	300	23.35	3905	167.21	
		4	8.72	300	25.48	6073	238.34	
		5	8.61	300	23.58	4953	210.08	
	KT2	1	8.60	300	23.98	3445	143.66	154.75
		2	8.73	300	23.60	3498	148.24	
		3	8.69	300	22.54	3767	167.15	
4		8.88	300	24.96	4284	171.63		
5		8.89	300	23.19	3318	143.08		
%7.5 Katkı İçin Genel Ortalama (N/mm)								180.76

Çizelge 3.9.'da görülen eksenel çekme dayanımı bulgularının genel ortalaması dikkat çekici bir sonuç ortaya koymaktadır. 180.76 N/mm olarak bulunan eksenel çekme dayanımı sonucu referans numuneden elde edilen 151.28 N/mm değerinden %19.5 daha yüksektir. Bu çok anlamlı bir artışı ortaya koyuyor olsa da çember çekme dayanımında boru tozu kullanımına bağlı olarak elde edilen değişimi tam olarak yansıtmamaktadır.

Çizelge 3.10.'da ise %10 boru tozu içeren CTP borulardan elde edilen eksenel çekme dayanımı sonuçları görülmektedir.

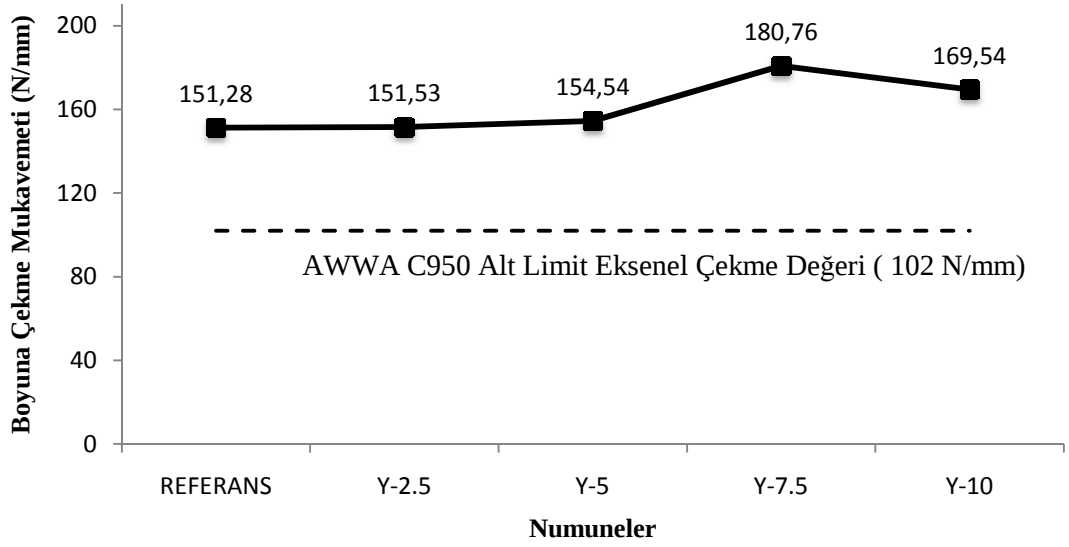
Çizelge 3.10. %10 boru tozu içeren CTP boru için eksenel çekme deney sonuçları.

Y-10	Numune		Kalınlık	Uzunluk	Genişlik	Kuvvet (F)	Eksenel Çekme	Numune Ort.
			mm	mm	mm	N	N/mm	N/mm
	FT1	1	8.54	300	23.98	2996	124.94	153.48
		2	8.39	300	24.96	3216	128.83	
		3	8.49	300	23.84	4149	174.06	
		4	8.36	300	23.36	3510	150.24	
		5	8.45	300	24.84	4704	189.35	
	FT2	1	8.46	300	24.04	4193	174.42	168.58
		2	8.54	300	23.96	3506	146.31	
		3	8.64	300	23.13	5330	230.40	
		4	8.55	300	23.92	3392	141.83	
		5	8.50	300	23.41	3510	149.94	
	KT1	1	8.81	300	24.02	4119	171.46	172.45
		2	8.76	300	22.89	4341	189.65	
		3	8.71	300	23.68	3843	162.31	
		4	8.68	300	23.65	3894	164.63	
		5	8.67	300	23.47	4088	174.2	
	KT2	1	8.74	300	22.82	3907	171.18	183.64
		2	8.72	300	23.13	4906	212.11	
		3	8.84	300	23.61	5033	213.20	
4		8.67	300	24.30	3999	164.55		
5		8.66	300	25.27	3972	157.18		
%10 Katkı İçin Genel Ortalama (N/mm)								169.54

%10 boru tozu içeren CTP borularda da referansa göre anlamlı bir artış görülmüştür. Ayrıca %10 boru tozu kullanımı hem %2.5 hemde %5 boru tozu kullanımından daha yüksek eksenel çekme dayanımı sonuçları vermiştir.

Eksenel çekme dayanımı sonuçları toplu olarak değerlendirilecek olursa; en yüksek eksenel çekme dayanımı sonucu Y-7.5 ile elde edilirken, en düşük değer Y-2.5 numunesinde elde edilmiştir. Sonuçlar %7.5 boru tozu kullanımının eksenel çekme performansı açısından en uygun değer olduğunu ortaya koymaktadır.

Tüm boruların eksenel çekme dayanımı açısından AWWA C950 standardına uygunluğu Şekil 3.2.'de değerlendirilmiştir. Atık boru tozu karışımı yapılarak üretilen CTP kompozit borulardan alınan numunelere uygulanan eksenel çekme testi sonuçlarına göre tüm örneklerin AWWA C950 standardının gerekliliğini yerine getirerek beklenen minimum eksenel çekme dayanımı değerini (102 N/mm) sağladığı görülmektedir.



Şekil 3.2. Eksenel çekme mukavemeti ortalama değerleri ve AWWA standardı [43].

3.3. RİJİTLİK TESTİ SONUÇLARI

Borunun düşeyde yaptığı defleksiyona karşı koyma becerisinin önemli bir göstergesi olan rijitlik testi sonuçları Çizelge 3.11.'de görülmektedir.

Çizelge 3.11. Rijitlik test sonuçları.

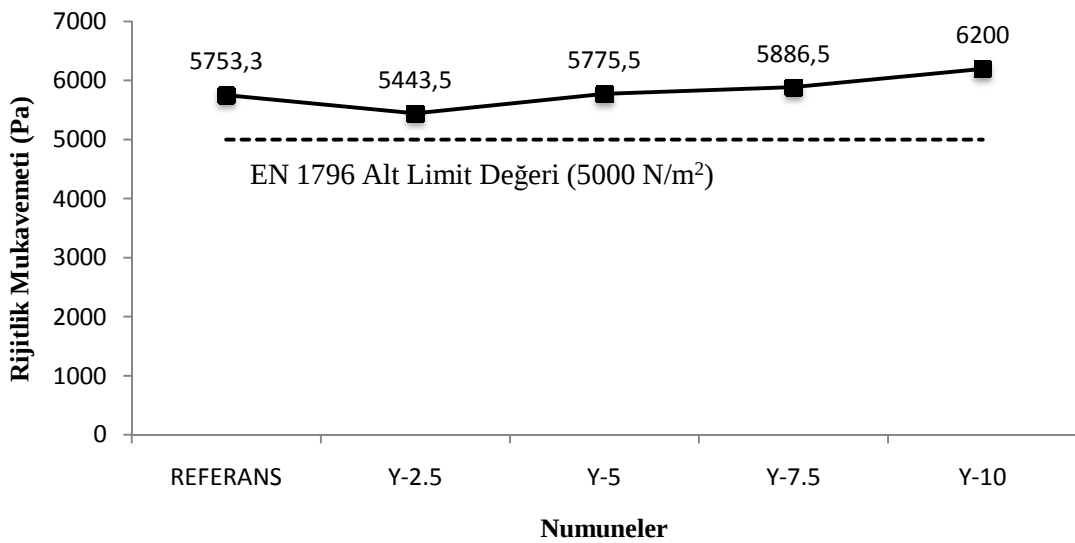
Numune	Kuvvet (N)	Rijitlik (N/m ²)	Ortalama Rijitlik (N/m ²)	Elastisite Modülü (GPa)	Ortalama Elastisite Modülü (GPa)
REF1	1	926	5753.3	4.85	5.09
	2	889		5.02	
	3	1074		5.27	
	4	1010		5.25	
Y-2.5	1	884	5443.5	4.81	4.91
	2	908		4.99	
	3	1016		5.19	
	4	1055		4.66	
Y-5	1	973	5775.5	5.40	5.33
	2	895		5.26	
	3	1043		5.35	
	4	996		5.30	

Çizelge 3.11. (devam) Rijitlik test sonuçları.

Y-7.5	1	1004	5923	5886.5	5.52	5.31
	2	890	5303		5.01	
	3	1099	6465		5.61	
	4	992	5855		5.10	
Y-10	1	1017	5980	6200.0	5.55	5.56
	2	958	5632		5.34	
	3	1184	6943		5.93	
	4	1058	6245		5.42	

Çizelge 3.11.'deki rijitlik deney sonuçlarına göre ortalama rijitlik değerleri REF numune için 5753.3 N/m², Y-2.5 numune için 5443.5 N/m², Y-5 numune için 5775.5 N/m², Y-7.5 numune için 5886.5 N/m² ve Y-10 numune için ise 6200.0 N/m² olarak elde edilmiştir.

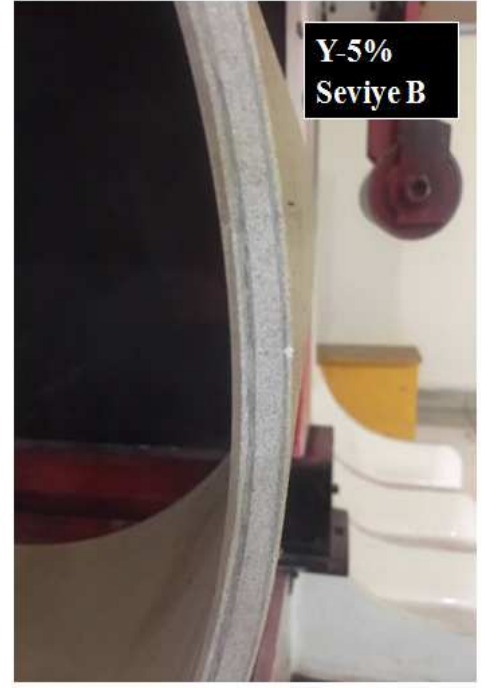
Görüldüğü gibi %10 boru tozu içeren borularda en yüksek rijitlik sonuçları ölçülürken, en düşük değer %2.5 boru tozu ilaveli boruda tespit edilmiştir. Referans numuneye göre %2.5 atık boru tozu içeren boru numunelerinde elde edilen ortalama rijitlik değeri daha düşüktür. Ancak, boru tozu miktarının artmasıyla rijitlik mukavemetinde bir artış görülmüştür. EN 1796 standardı rijitlik testi için alt limit değerini 5000 N/m² olarak belirtmiştir. Üretilen boruların bu değeri sağlayıp sağlamadığını göstermek amacıyla Şekil 3.3. oluşturulmuştur. Burada tüm boruların standartta tanımlanan alt limiti sağladığı net bir şekilde ortaya koyulmaktadır.



Şekil 3.3. Rijitlik mukavemeti ortalama değerleri ve EN standardı [49].



a)



b)



c)



d)

Şekil 3.4. Defleksiyon altındaki yapısal tabakalar a) Y-2.5 b) Y-5 c) Y-7.5 d) Y-10.

Seviye A ve Seviye B testleri uygulandığında, defleksiyon altında yapılan gözlemler sonucunda hiç bir atık boru tozu karıştırılmış boruda iç cidar, tabakalar arası ve yapısal hasar gözlenmemiştir. %18.9 çembersel sehim uygulanmış numunelere ait yapısal tabakalar Şekil 3.4.'te gösterilmektedir.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında CTP boru tozunun tekrar boru üretimindeki kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla CTP atık boru tozu ilaveli bire bir ölçekli boru üretimi gerçekleştirilmiş ve üretimi gerçekleştirilen boruların mekanik performansları belirlenmiştir.

Elde edilen bulgulara göre çalışmanın sonuçları aşağıdaki şekilde özetlenebilir;

- Çember çekme dayanımı testi sonuçları, boru tozunu içeren boruların AWWA C950 alt sınırına uygun olarak üretilebildiğini göstermiştir. Ayrıca, boru tozu içeren borularda en yüksek çember çekme dayanımı %5 boru tozu içeren boruda ölçülmüş olup referans boruya kıyasla %24.96'a varan artış elde edilmiştir.
- Eksenel çekme dayanımı deneyinde en yüksek performans %7.5 boru tozu içeren boruda elde edilmiştir. Çember çekme dayanımı sonuçlarına benzer şekilde, eksenel çekme mukavemeti sonuçları da, atık boru tozu kullanımıyla AWWA alt sınırına uygun boru üretiminin yapılabildiğini göstermiştir. Buna ek olarak, elde edilen sonuçlar %10'a varan boru tozu içeren CTP boruların %19.5'e kadar artan eksenel çekme dayanımı ile üretilebileceğini ortaya çıkarmıştır.
- Rijitlik test performansı en yüksek %10 boru tozu içeren boruda tespit edilmiştir. %2.5 boru tozu ilavesindeki sonuçlarda hafif bir düşüşe rağmen, rijitlik testi sonuçları da boru tozu kullanılarak yeterli dayanım sınıfında boru üretiminin yapılabileceğini desteklemektedir.
- Tüm mekanik performanslar gözönünde bulundurulacak olursa; hem AWWA C950 hem de EN 1796 standartlarına uygun ve %2.5 ila %10 arasında herhangi bir oranda boru tozu içeren CTP boruların üretiminin mümkün olduğu görülmektedir.
- Boru tozundan alınan SEM görüntüsü, boru tozunun küçük parçacık halinde cam elyafı içerdiğini göstermiştir. Boru tozu içeren boruların mekanik performanslarının bu mikro elyaflarla ilişkilendirilebileceği düşünülmektedir.
- CTP boru üretim atığı olan boru tozunun üretimde yeniden kullanımı, hem borunun mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi hem de çevresel atık yönetimine katkıda bulunulması ile iki yönlü fayda sağlamaktadır.

Bundan sonra yapılacak çalışmalar açısından tez değerlendirilecek olursa;

- Boru tozu kullanımı için optimum bir değerin ortaya konulması konusunda çalışmalar yapılabilir,
- Farklı karışım optimizasyonları yapılabilir ve böylelikle atık içeren düşük maliyetli ve performansı daha yüksek boru üretimi sağlanabilir,
- Alternatif atıkların CTP boru üretiminde kullanılabilirliğine yönelik çalışmalar yapılabilir. Böylelikle hammadde giderlerini azaltan, evre ile barışık, ekonomik ve/veya üretici firmaların rekabet gücüne katkı yapan boru üretimi sağlanabilir.

Sonuç olarak farklı projeler için tasarlanabilecek, çeşitli ihtiyaçlara cevap verebilen ve mekanik özellikleri iyileştirilmiş CTP boru üretiminde boru tozu kullanımında bir alternatif olduğu görölmüştür.

5. KAYNAKLAR

- [1] S. Job, G. Leeke, P. T. Mativenga, G. Oliveux, S. Pickering, & N. A. Shuaib, "Composites Recycling/ Where are we now?," Composites UK ltd, Hertfordshire, United Kingdom, June 2016.
- [2] Kompozit Sanayicileri Derneği, "Türk kompozit sektörü 2015 yılı değerlendirmesi ve 2016 yılı beklentileri," *Composites Turkey*, sayı 12, ss. 38-40, 2016.
- [3] Y. Yang, R. Boom, B. Irion, D.-J. Van Heerden, P. Kuiper, & H. De Wit, "Recycling of composite materials," *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, c. 51, ss. 53-68, 2012.
- [4] S. Y. Ye, A. Bounaceur, Y. Soudais, & R. Barna, "Parameter optimization of the steam thermolysis: a process to recover carbon fibers from polymer-matrix composites," *Waste and Biomass Valorization*, c. 4, ss. 73-86, 2013.
- [5] J. Broekel, & G. Scharr, "The specialities of fibre-reinforced plastics in terms of product lifecycle management," *Journal of Materials Processing Technology*, c. 162, ss. 725-729, 2005.
- [6] D. Van Gemert, L. Czarnecki, M. Maultzsch, H. Schorn, A. Beeldens, & P. Łukowski, "Cement concrete and concrete-polymer composites: two merging worlds: a report from 11th ICPIC congress in Berlin, 2004," *Cement and Concrete Composites*, c. 27, ss. 926-933, 2005.
- [7] A. M. Cunliffe, & P. T. Williams, "Characterisation of products from the recycling of glass fibre reinforced polyester waste by pyrolysis," *Fuel*, c. 82, ss. 2223-2230, 2003.
- [8] N. A. Shuaib, & P. T. Mativenga, "Energy demand in mechanical recycling of glass fibre reinforced thermoset plastic composites," *Journal of Cleaner Production*, c. 120, ss. 198-206, 2016.
- [9] A. Conroy, S. Halliwell, & T. Reynolds, "Composite recycling in the construction industry," *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, c. 37, ss. 1216-1222, 2006.
- [10] C. Colombo, & L. Vergani, "Optimization of filament winding parameters for the design of a composite pipe," *Composites Part B: Engineering*, c. 148, ss. 207-216, 2018.
- [11] F. Tittarelli, & G. Moriconi, "Use of GRP industrial by-products in cement based composites," *Cement and Concrete Composites*, c. 32, ss. 219-225, 2010.
- [12] M. Karahan, (2015, 13 Şubat). *Avrupa ve Dünya kompozit malzeme pazar analiz değerlendirmesi*. [Online]. Erişim: <http://www.butekom.org/Data/SayfaEk/775aefa1-5eb2-4157-82d3-9d97815e1ced.pdf>.

- [13] Ö. F. Akyüz, *Plastikler Ve Plastik Enjeksiyon Teknolojisine Giriş*, İstanbul, Türkiye: Pagev Yayınları, 1999, böl.41-55, ss.102-106.
- [14] E. Witten, B. Jahn, & D. Karl, "Composites market report 2012: market developments, trends, challenges and opportunities," AVK-Industrievereinigung Verstärkte Kunststoffe (Federation of Reinforced Plastics), Germany, Technical report.
- [15] E. A. Young, "UK composites supply chain scoping study," *Key Findings UKTI & BIS*, c. 32, ss. 219-225, 2010.
- [16] F. Balikoğlu, T. K. Demircioğlu, A. Akın, S. Beyaz, & N. Arslan, "Termoset matrisli cam elyaf takviyeli polimer (CTP) atıkların mekanik geri dönüşüm ürünlerinin sıcak pres kalıplama bileşiminde (BMC) tekrar değerlendirilmesi," *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, c. 8, ss. 168-180, 2018.
- [17] M. Bains & E. Stokes, "Developing a resource efficiency action plan for the composites sector," *URS & Netcomposites*, c. 30, ss. 210-215, 2013.
- [18] K. Wood, "Carbon fiber reclamation: going commercial," *High Performance Composites*, c. 3, ss.1-2, 2010.
- [19] N. Papadakis, C. Ramírez, & N. Reynolds, "Designing composite wind turbine blades for disposal, recycling or reuse," *Management, Recycling and Reuse of Waste Composites*, 5. baskı, Cambridge, United Kingdom: Woodhead Publishing, 2010, böl.3, ss. 443-457.
- [20] F. Tittarelli, "Effect of low dosages of waste GRP dust on fresh and hardened properties of mortars: part 2," *Construction and Building Materials*, c. 47, ss. 1539-1543, 2013.
- [21] S. J. Pickering, R. M. Kelly, J. Kennerley, C. Rudd, & N. Fenwick, "A fluidised-bed process for the recovery of glass fibres from scrap thermoset composites," *Composites Science and Technology*, c. 60, ss. 509-523, 2000.
- [22] A. Jacob, "Composites can be recycled," *Reinforced Plastics*, c. 55, ss. 45-46, 2011.
- [23] A. Torres, I. De Marco, B. Caballero, M. Laresgoiti, J. Legarreta, M. Cabrero, A.Gonzalez, M. J. Chomon, & K. Gondra, "Recycling by pyrolysis of thermoset composites: characteristics of the liquid and gaseous fuels obtained," *Fuel*, c. 79, ss. 897-902, 2000.
- [24] S. J. Pickering, "Recycling technologies for thermoset composite materials—current status," *Composites Part A: Applied Science And Manufacturing*, c. 37, ss. 1206-1215, 2006.
- [25] J. Palmer, O. Ghita, L. Savage, & K. Evans, "Successful closed-loop recycling of thermoset composites," *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, c.40, ss. 490-498, 2009.
- [26] A. Hedlung-Åström, "Model for end of life treatment of polymer composite materials," Doctoral thesis, Department of Machine Design, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 2005.
- [27] J. R. Correia, N. M. Almeida, & J. R. Figueira, "Recycling of FRP composites: reusing fine GFRP waste in concrete mixtures," *Journal of Cleaner Production*, c. 19, ss. 1745-1753, 2011.

- [28] S. Pickering & M. Benson, "Recovery of materials and energy from thermosetting plastics," *Proceedings of 6th European Composite Materials Conference on Recycling Concepts and Procedures*, Bordeaux, France, ss. 41-46, 1993.
- [29] J. A. T. Palmer, "Mechanical recycling of automotive composites for use as reinforcement in thermoset composites," Doctoral thesis, Engineering Department, University of Exeter, Exeter, United Kingdom, 2009
- [30] A. J. Majumdar & V. Laws, "Fibre cement composites: research at BRE," *Composites*, c. 10, ss. 17-27, 1979.
- [31] A. Pedroso, L. Mei, J. Agnelli, & D. Rosa, "Properties that characterize the propagation of cracks of recycled glass fiber reinforced polyamide 6," *Polymer Testing*, c. 18, ss. 211-215, 1999.
- [32] A. Özüyağlı, C. Mehmetlioğlu, M. Özsoy, & A. Akıncı, "CTP Boru Üretim Atığı İlaveli PVC Matriksli Kompozit Malzemelerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi," *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 31, s. 2, ss. 465-472, 2016.
- [33] M. Jones, A. McCarthy, & R. Dhir, "Recycled and secondary aggregates in foamed concrete," *DTI/WRAP Agregates Research Programme STBF13 C*, c. 13, 2005.
- [34] P. Asokan, M. Osmani, & A. D. Price, "Improvement of the mechanical properties of glass fibre reinforced plastic waste powder filled concrete," *Construction and Building Materials*, c. 24, ss. 448-460, 2010.
- [35] F. Tittarelli, S. Kawashima, N. Tregger, G. Moriconi, & S. P. Shah, "Effect of GRP by-product addition on plastic and hardened properties of cement mortars," *2nd International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies*, Ancona, Italy, ss. 28-30, 2010.
- [36] P. Asokan, M. Osmani, & A. D. Price, "Assessing the recycling potential of glass fibre reinforced plastic waste in concrete and cement composites," *Journal of Cleaner Production*, c. 17, ss. 821-829, 2009.
- [37] F. Tittarelli & S. P. Shah, "Effect of low dosages of waste GRP dust on fresh and hardened properties of mortars: part 1," *Construction and Building Materials*, c. 47, ss. 1532-1538, 2013.
- [38] S. H. Kosmatka, B. Kerkhoff, & W. C. Panarese, *Design And Control Of Concrete Mixtures*, 14. baskı, Illinois, USA: Portland Cement Association, 2011, ss.1-358.
- [39] M. Osmani & A. Pappu, "An assessment of the compressive strength of glass reinforced plastic waste filled concrete for potential applications in construction," *Concrete Research Letters*, c. 1, ss. 1-5, 2010.
- [40] A. Enşici, "Endüstriyel tasarımda polimer esaslı kompozit malzemeler," *Gemi ve Deniz Teknolojisi Dergisi*, c. 1, sayı.178, ss. 6-15, 2008.
- [41] M. Y. Solmaz, & M. Gür, "Tabakalı kompozit plakalarda takviye malzemesi ve oryantasyon açısının gerilme analizine etkisi," *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları*, c.2, sayı.113 , ss. 16-26, 2007.

- [42] U. Yılmaz, & C. Evci, "Havacılık ve savunma sektöründe kompozit malzemelerin geleceği," *The Journal of Defense Sciences*, c. 14, ss. 77-109, 2015.
- [43] *Fiberglass pressure pipe*, American Water Works Association AWWA C950-07, 2007.
- [44] A. A. Eker. (2008, 10 Mart). *Plastik matrisli kompozitler*. [Online]. Erişim: http://www.yildiz.edu.tr/~akdogan/lessons/imalattakompozit/Plastik_Matrisli_Kompozitler.pdf.
- [45] Tubitak. (2009). *Cam sanayii raporu*. Tubitak. Erişim: https://www.tubitak.gov.tr/tubitak_content_files/vizyon2023/mm/Ek2d.pdf.
- [46] Compositeslab. (2018). *Composites compared*. Erişim: <http://compositeslab.com/composite-materials/additives-fillers/>.
- [47] *Fiberglass pipe design manual*, American Water Works Association AWWA 45 3rd edition, 2013.
- [48] Y. Şahin, *Kompozit Malzemelere Giriş*, 1. baskı, Ankara, Türkiye: Gazi Yayınevi, 2000, böl.43-55, ss.1-326.
- [49] *Plastics piping systems for water supply with or without pressure. Glass-reinforced thermosetting plastics (GRP) based on unsaturated polyester resin (UP)*, European Standards BS EN 1796, 2013.
- [50] Superlit Boru A.Ş., "CTP boru hakkında bilinmesi gerekenler," yayınlanmamış rapor.
- [51] Superlit Boru A.Ş., *CTP Boru,Manşon ve Ek Parça Katalogu*. Erişim: <http://www.superlit.com/en/products-and-services/grp-pipe/#fields-of-use-and-benefits>.
- [52] *Plastics piping systems - Glass-reinforced thermosetting plastics (GRP) pipes-Determination of initial specific ring stiffness*, International Organization for Standardization, ISO 7685, 1998.
- [53] *Plastik boru sistemleri-cam elyaf takviyeli termoset plastik (GRP) borular-başlangıç görünür çember çekme mukavemetinin tayini*, Türk Standartları Enstitüsü TS EN 1394, 1999.
- [54] *Glass-reinforced thermosetting plastics (GRP) pipes, Test methods for the determination of the initial longitudinal tensile strength*, International Organization for Standardization, ISO 8513, 2016.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Hasan Güner
Doğum Tarihi ve Yeri : 16 / 09 / 1984
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : hasangnr@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	İnşaat Mühendisliği	Düzce Üniversitesi	2019
Lisans	İnşaat Mühendisliği	Celal Bayar Üniversitesi	2007
Lise		Suphi Koyuncuoğlu Lisesi	2003

YAYINLAR

- 1- TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, “Termik santral soğutma suyu hatlarında DN4000 polimer matrisli kompozit boruların kullanımı ve deniz altına döşenmesi”, 8. Kıyı Mühendisliği Sempozyumu, 2014
- 2- MWWD Conferences, “World’s Largest Diameter Grp Pipe Installed Subsea”, Large Diameter Marine Pipeline Projects Volume 2, 2014
- 3- MWWD Conferences, “Time Saving Solutions With Recent Development On Big Sized Grp Pipe At Shore Applications Of Water Intake And Outfall Lines”, Large Diameter Marine Pipeline Projects Volume 3, 2016