



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

**ENDÜSTRİYEL ATIKLARIN CTP KOMPOZİT BORU  
ÜRETİMİNDE KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

**HAKAN MİS**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN  
DOÇ. DR. AHMET BEYCİOĞLU**

**DÜZCE, 2019**

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

**ENDÜSTRİYEL ATIKLARIN CTP KOMPOZİT BORU**  
**ÜRETİMİNDE KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

Hakan MİS 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

**Jüri Üyeleri**

Doç. Dr. Ahmet BEYÇİOĞLU

Adana Bilim ve Teknoloji Üniversitesi

Prof. Dr. Serkan SUBAŞI

Düzce Üniversitesi

Dr. Öğr.Üyesi Ali MARDANI-AGHABAGLOU

Uludağ Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: .../.../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

Hakan MİS

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmalarındaki her aşamada büyük bir özveriyle her türlü desteği sağlayan, yılmaz enerjisiyle baştan sona bu çalışmanın lokomotifi olan, çok kıymetli hocam Doç. Dr. Ahmet BEYCIÖĞLU'na en içten dileklerle teşekkür ederim.

Tez çalışmamın ana omurgasını oluşturan boru üretimlerinde; fabrikanın tüm imkanlarını seferber eden üst yönetiminden Sn.Turgay AYTEKİN ve Sn. Özcan ÇAĞLAR 'a, üretim ve laboratuvar bölümlerinde görev yapan ve çalışmada katkıları olmuş tüm SUPERLİT çalışanlarına, özellikle üretim müdürü Erol GÖKÇE, Ar-ge Yöneticisi Hasan GÜNER ve laboratuvar yöneticisi Neslihan GÖKÇE hanım efendiye, bu bilimsel çalışmaya ayırdığım vakit konusunda anlayış ve desteğini esirgemeyen kıymetli yöneticim Alperen EROĞLU'na teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca tezin hazırlanarak savunma aşamasına getirilmesinde çok büyük emeği olan kıymetli hocam Dr. Esra Deniz GÜNER'e teşekkürü bir borç bilirim.

En nihayetinde bu çalışmanın layıkıyla tamamlanabilmesi için beraberce geçireceğimiz kıymetli vakitlerden çokça çaldığım değerli eşim Gül Nihal'e, oğullarım Abdurrahman Sami ve Abdullah Ömer'e, çalışmaların son dönemesinde ailemize katılan biricik kızım Esmâ'ya teşekkür ederim.

25 Ocak 2019

Hakan MİS

# İÇİNDEKİLER

Sayfa No

|  |      |
|--|------|
| ŞEKİL LİSTESİ.....   | vii  |
| ÇİZELGE LİSTESİ.....   | ix   |
| KISALTMALAR.....   | x    |
| SİMGELER.....  | xi   |
| ÖZET.....  | xii  |
| ABSTRACT.....  | xiii |
| 1. GİRİŞ.....  | 1    |
| 2. CTP KOMPOZİT BORULAR.....   | 10   |
| 2.1. CTP KOMPOZİT BORULARIN KULLANIM ALANLARI VE GENEL<br>ÖZELLİKLERİ..... | 10   |
| 2.2. CTP KOMPOZİT BORULARDAN BEKLENEN MÜHENDİSLİK<br>ÖZELLİKLERİ.....      | 15   |
| 2.3. CTP KOMPOZİT BORULARIN ÜRETİM YÖNTEMLERİ.....                         | 17   |
| 2.3.1. Sürekli Elyaf Sarma (CFW) Yöntemi.....                              | 17   |
| 2.3.2. Savurma Döküm (CC) Yöntemi.....                                     | 19   |
| 2.4. CTP KOMPOZİT BORULARLA İLGİLİ STANDARTLAR VE TESTLER                  | 21   |
| 2.4.1. CTP Kompozit Borularla İlgili Standartlar.....                      | 21   |
| 2.4.2. CTP Kompozit Borularla İlgili Testler.....                          | 22   |
| 2.4.2.1. Rijitlik Deneyi.....  | 22   |
| 2.4.2.2. Çember Çekme Deneyi.....  | 24   |
| 2.4.2.3. Boyuna (Eksenel) Çekme Deneyi.....                                | 25   |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>3. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>                                     | <b>27</b> |
| <b>3.1. MATERYAL .....</b>  | <b>27</b> |
| <b>3.1.1. CTP Boru Üretiminde Kullanılan Matris Malzemesi .....</b>   | <b>27</b> |
| <b>3.1.2. CTP Boru Üretiminde Kullanılan Takviye Malzemesi .....</b>  | <b>27</b> |
| <b>3.1.3. CTP Boru Üretiminde Kullanılan Dolgu Malzemesi.....</b>     | <b>28</b> |
| <b>3.2. YÖNTEM .....</b>  | <b>29</b> |
| <b>3.2.1. Dolgu Malzemesi Karışımlarının Hazırlanması .....</b>       | <b>29</b> |
| <b>3.2.2. Boru Numunelerinin Üretimi .....</b>                        | <b>30</b> |
| <b>3.2.3. Boru Örnekleri Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi.....</b> | <b>36</b> |
| 3.2.3.1. <i>Deney Numunelerinin Hazırlanması.....</i>                 | 36        |
| 3.2.3.2. <i>Deneyler.....</i>   | 38        |
| 3.2.3.2.1. <i>Rijitlik Deneyi.....</i>                                | 38        |
| 3.2.3.2.2. <i>Çember Çekme Deneyi .....</i>                           | 40        |
| 3.2.3.2.3. <i>Eksenel Çekme Deneyi .....</i>                          | 41        |
| <b>4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....</b>                                   | <b>43</b> |
| <b>4.1. RİJİTLİK TESTİ BULGULARI .....</b>                            | <b>43</b> |
| <b>4.2. ÇEMBER ÇEKME TESTİ BULGULARI.....</b>                         | <b>45</b> |
| <b>4.3. BOYUNA (EKSENEL) ÇEKME TESTİ BULGULARI .....</b>              | <b>48</b> |
| <b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>                                  | <b>53</b> |
| <b>6. KAYNAKLAR .....</b>   | <b>55</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>   | <b>58</b> |

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa No

|   |    |
|---|----|
| Şekil 1.1. Kompozitlerin matris malzemelerine göre sınıflandırılması.....   | 1  |
| Şekil 1.2. Kompozitlerin takviye malzemelerine göre sınıflandırılması.....  | 2  |
| Şekil 1.3. Sektörel kompozit malzeme kullanım oranları (%) [2, 3].....  | 3  |
| Şekil 1.4. Atık yönetim hiyerarşisi [4].....  | 7  |
| Şekil 2.1. Sulama Projesinde CTP boru uygulaması a) Boru hattı b) Borunun hendeğe indirilişi.....                       | 11 |
| Şekil 2.2. Atık su arıtma tesisi projesinde CTP boru uygulaması.....  | 11 |
| Şekil 2.3. Atık su kanalizasyon projesinde CTP boru a) Boru hattı b) Menhol.....  | 12 |
| Şekil 2.4. İtme (jacking) CTP boru uygulaması.....  | 12 |
| Şekil 2.5. CTP boruların cebri hatta ve iletim hattında uygulamaları a) Norveç b)Karaman – Balkusan hes.....            | 13 |
| Şekil 2.6. CTP boruların a) Denizaltı uygulaması b) Pompa binası bağlantısında basınçlı pantolon yapısı uygulaması..... | 14 |
| Şekil 2.7. Sürekli elyaf sarma metodu ile CTP boru üretimi.....   | 18 |
| Şekil 2.8. Sürekli elyaf sarma metodunda üretilen boru.....   | 18 |
| Şekil 2.9. Santrifüj (savurma) döküm yöntemi üretim akış şeması.....  | 20 |
| Şekil 2.10. Savurma döküm (CC) yöntemi ile boru üretimi a) Kalıp içten görünümü b) Borunun kalıptan çıkarılması.....    | 20 |
| Şekil 2.11. CTP – CC boru katmanları.....   | 21 |
| Şekil 2.12. Rijitlik deneyi.....  | 22 |
| Şekil 2.13. Rijitlik deneyi sırasında defleksiyona tabi tutulmuş boru numunesi.....                                     | 23 |
| Şekil 2.14. Çember çekme numunesinin a) boyutları b) test cihazının görünümü.....                                       | 24 |
| Şekil 2.15. Eksenel çekme deney numunesi.....   | 25 |
| Şekil 2.16. Eksenel çekme a) Düzeneği b) Test cihazı.....   | 26 |
| Şekil 3.1. Çalışmada takviye olarak kullanılan E-Cam elyafı.....  | 28 |
| Şekil 3.2. UK'un karışım için tartılarak hazırlanması.....  | 30 |
| Şekil 3.3. UK içeren silis kumu a) %10 UK karışımı b) %20 UK karışımı.....  | 30 |
| Şekil 3.4. UK ikameli boru kesiti.....  | 31 |
| Şekil 3.5. Referans boru üretim başlangıcı.....   | 32 |
| Şekil 3.6. Referans borunun döner kalıptan çıkarılması.....   | 32 |
| Şekil 3.7 Referans boru üretim sonunda silis kumunun boşaltılma anı.....  | 33 |
| Şekil 3.8 UK- Silis Kumu karışımı dolgunun boru üretimi için hazırlanan hazneye aktarılması.....                        | 33 |
| Şekil 3.9. Üretim sistemi bilgisayarlı kontrol odası.....   | 34 |
| Şekil 3.10. Feeder ile üretimde hammadde beslemesi.....   | 34 |
| Şekil 3.11. %10 UK ikameli 1. No'lu boru numunesinin kalıptan çıkarılışı.....   | 35 |
| Şekil 3.12. Üretimi tamamlanan 2 adet - 6 mt boyunda UK katkılı boru numunesi.....                                      | 36 |
| Şekil 3.13. Borularda test numunesi kesim noktalarının işaretlenmesi.....   | 37 |
| Şekil 3.14. Performans testine tabi tutulacak a) Rijitlik b) Çember c) Eksenel çekme numuneleri.....                    | 37 |
| Şekil 3.15. Rijitlik test numunelerinin dijital kumpas ile ölçümü.....  | 38 |

|   |    |
|---|----|
| Şekil 3.16. Rijitlik test cihazında defleksiyon a) Verilmeden önce b) Sonraki durum...                    | 39 |
| Şekil 3.17. Çember çekme testi a) Test numuneleri b) Çentiklerin yakın çekim detay görüntüsü.....         | 40 |
| Şekil 3.18. Numunelerin test cihazına yerleştirilmeden önce ölçümlerinin yapılması...                     | 40 |
| Şekil 3.19. Numunenin test çemberine yerleştirilmesi. ....  | 41 |
| Şekil 3.20. Test sonrası çember numunesinin a) Hasar almış görüntüsü b) Yakın çekim detay görüntüsü. .... | 41 |
| Şekil 3.21. Eksenel çekme testi a) Kodlanmış numuneler b) Testin uygulanışı.....                          | 42 |
| Şekil 3.22. Eksenel çekme testi uygulanmış numune örneği.....   | 42 |
| Şekil 4.1. Rijitlik test sonuçlarının standart limit değere uygunluğu.....                                | 44 |
| Şekil 4.2. Çember çekme test sonuçlarının standart limit değere uygunluğu.....                            | 48 |
| Şekil 4.3. Boyuna çekme test sonuçlarının standart limit değere uygunluğu. ....                           | 52 |



## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa No

|  |    |
|--|----|
| Çizelge 1.1. Türkiye'deki bazı UK'ların kimyasal kompozisyonları.....                    | 4  |
| Çizelge 1.2. UK'ların inşaat sektöründe kullanıldığı alanlar.....                        | 5  |
| Çizelge 3.1. CTP boru üretiminde kullanılan polyester reçine için mekanik değerler... 27 |    |
| Çizelge 3.2. CTP boru üretiminde kullanılan E-cam özellikleri.....                       | 28 |
| Çizelge 3.3. Kullanılan UK'a ait özellikler. ....  | 29 |
| Çizelge 3.4. CTP boru üretiminde kullanılan silis kumuna ait özellikler.....             | 29 |
| Çizelge 3.5. Boru numuneleri üzerinden alınan test örneklerinin açıklanması. ....        | 36 |
| Çizelge 4.1. Rijitlik testi özet tablosu. ....   | 43 |
| Çizelge 4.2. CTP boruların elastisite modülü sonuçları.....                              | 44 |
| Çizelge 4.3. Referans CTP boru için çember çekme sonuçları. ....                         | 45 |
| Çizelge 4.4. %10 UK içeren CTP boru için çember çekme sonuçları.....                     | 46 |
| Çizelge 4.5. %20 UK içeren CTP boru için çember çekme sonuçları.....                     | 47 |
| Çizelge 4.6. Referans CTP boru için boyuna çekme test sonuçları.....                     | 49 |
| Çizelge 4.7. %10 UK içeren CTP boru için boyuna çekme test sonuçları. ....               | 50 |
| Çizelge 4.8. %20 UK içeren CTP boru için boyuna çekme test sonuçları. ....               | 51 |

## KISALTMALAR

|     |   |
|-----|---|
| ABD | Amerika birleşik devletleri                       |
| CC  | Centrifugal casting (Savurma döküm)               |
| CFW | Continuous filament winding (Sürekli elyaf sarma) |
| CTP | Cam elyaf takviyeli polyester                     |
| DN  | Boru çapı   |
| PN  | Basınç sınıfı                                     |
| SN  | Rijitlik sınıfı                                   |
| UK  | Uçucu kül   |



## SİMGELER

|               |                           |
|---------------|---------------------------|
| $b$           | Test parçasının genişliği |
| $d_e$         | Dış çap                   |
| $d_m$         | Ortalama çap              |
| $e$           | Et kalınlığı              |
| $f$           | Defleksiyon faktörü       |
| $F$           | Uygulanan kuvvet          |
| $GPa$         | Giga Pascal               |
| $L$           | Numune ortalama genişliği |
| $mm$          | Milimetre                 |
| $MPa$         | Mega Pascal               |
| $N$           | Newton                    |
| $S_0$         | Rijitlik                  |
| $y$           | Defleksiyon               |
| $\sigma_A$    | Çember çekme dayanımı     |
| $\sigma_{LA}$ | Eksenel çekme dayanımı    |

## ÖZET

### ENDÜSTRİYEL ATIKLARIN CTP KOMPOZİT BORU ÜRETİMİNDE KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Hakan MİS

Düzce Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Müh. Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Ahmet BEYÇİOĞLU

Ocak 2019, 57 sayfa

Termik santrallerin atığı olan ve artan enerji talebiyle yüksek miktarlarda oluşan Uçucu Küllerin (UK) geri dönüşüm olanaklarının incelenmesi hem ekonomik hemde ekolojik açıdan önemlidir. Bu çalışmada, santrifüj metodu ile üretilen Cam elyaf Takviyeli Polyester (CTP) esaslı kompozit boruların üretiminde kullanılan dolgu malzemesi içerisinde UK'un kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla endüstriyel bir atık olan UK ağırlıkça %10 ve %20 oranlarında dolgu malzemesi olan silis kumu yerine kullanılmıştır. Standart karışıma sahip silis kumu dolgulu referans CTP boru ve UK ikameli dolgu ile üretilen CTP borular PN 6 bar basınç sınıfı ve SN 5000 N/m<sup>2</sup> rijitlik sınıfında, 350 mm çap ve 6 metre uzunluğa sahip olarak santrifüj yöntemiyle birebir ölçekli olarak üretilmiştir. Üretimi yapılan birebir ölçekli borularda mekanik özelliklerin değişimi çember çekme dayanımı, eksenel çekme dayanımı ve rijitlik testleri ile değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular karşılaştırmalı olarak incelenmiş ve tüm CTP boruların ilgili standartlara uygunluğu değerlendirilmiştir. Sonuç olarak UK ikameli dolgu ile üretimi yapılan CTP borular ilgili standartların alt limitlerine uygun performanslar göstermiş olup CTP boruların üretiminde UK kullanımının mümkün olduğu görülmüştür. Ayrıca tez çalışması, UK gibi endüstriyel atıkların faydalı geri dönüşüm mekanizmaları ile tüketilmesi açısından CTP boru sektörünün önemli bir alternatif olabileceğini göstermiştir.

**Anahtar sözcükler:** CTP boru, Cam elyaf, Polimer, Uçucu kül, Geri dönüşüm.

## ABSTRACT

### INVESTIGATION OF USABILITY OF INDUSTRIAL WASTES IN GRP COMPOSITE PIPE PRODUCTION

Hakan MIS

Duzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences. Department of Civil Engineering  
Master's Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ahmet BEYCIOGLU

January 2019, 57 pages

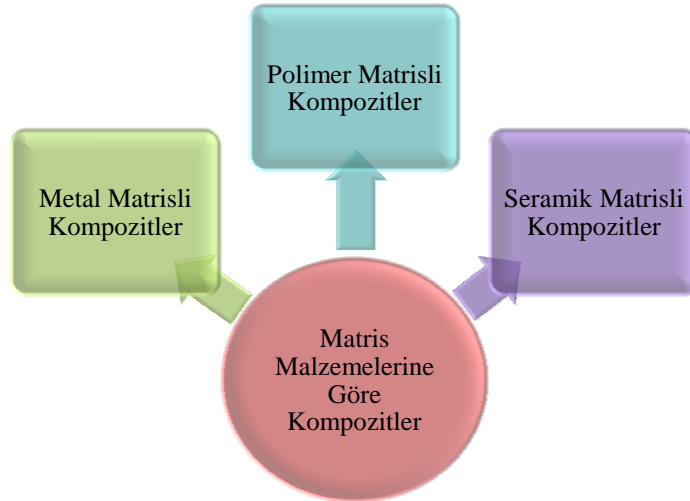
Investigation of the recyclability of Fly Ash (FA), which is a waste of thermal power plants and produced in high amounts with increasing energy demand, is both economically and ecologically important. In this study, the usability of fly ash in the filler material used in the production of Glass fiber Reinforced Polyester (GRP) based composite pipes produced by centrifugal casting method was investigated. For this purpose, an industrial waste, FA, was used instead of silica sand by 10% and 20% by weight. GRP pipes with standard silica sand filling and GRP pipes with FA substitution filler are produced in one-to-one scale by centrifugal casting method with nominal 350 mm diameter and 6 meter length in PN 6 bar pressure class and SN 5000 N / m<sup>2</sup> rigidity class. The changes in mechanical properties of these one-to-one scaled pipes were evaluated by means of tensile strength, axial tensile strength and rigidity tests. The findings obtained were compared with each other and the conformity of all GRP pipes to the relevant standards was evaluated. As a result, GRP pipes produced with FA substitution filler have performed according to the lower limits of the relevant standards and it has been seen that fly ash can be used in the production of GRP pipes. In addition, the thesis showed that GRP pipe industry could be an important alternative in terms of consuming industrial wastes such as the FA with useful recycling mechanisms.

**Keywords:** GRP pipe, Glass fiber, Polymer, Fly ash, Recycling.

# 1. GİRİŞ

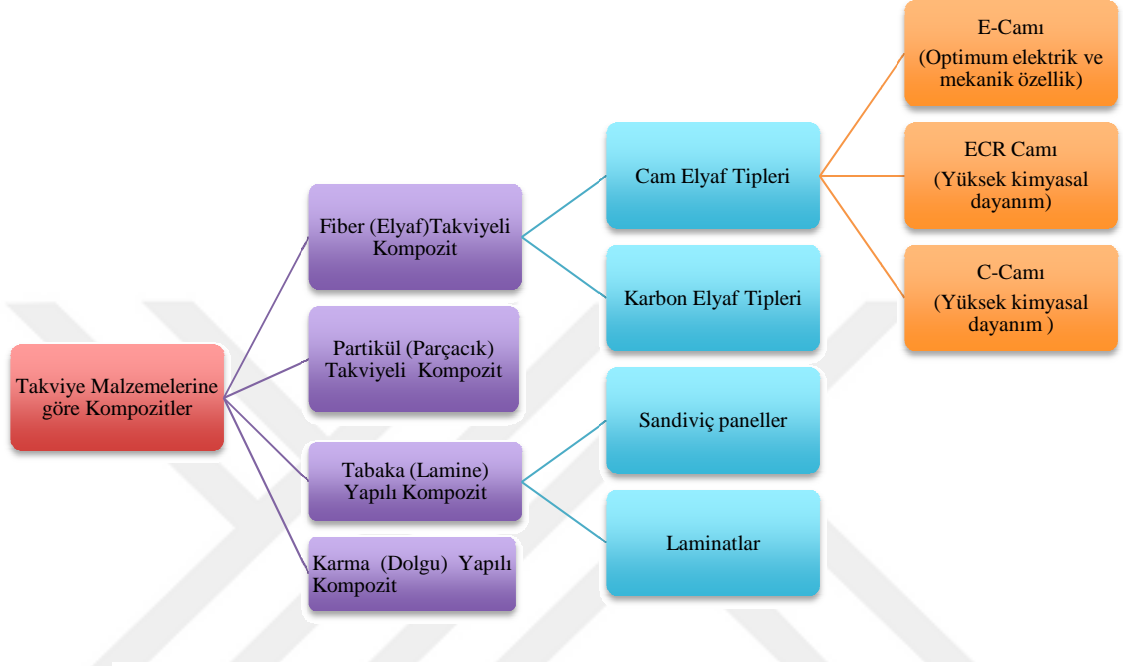
Teknolojik ilerleme ile hızla gelişen endüstride hafif, üstün ve spesifik özelliklere sahip malzemeye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu ihtiyaç, tek başına malzemelerin sahip olamayacakları fakat bir araya geldiklerinde üstün son ürün elde edilmesini sağlayan kompozit malzemeler ile çözülmeye çalışılmıştır. Kompozit malzemeler, birbiri içerisinde çözünmeyen, şekil ve kimyasal bileşimleri farklı en az iki malzemenin makro seviyede bir araya getirilmesi ile meydana gelen malzeme grubu olarak ifade edilebilir. Bu malzeme grubu, istenen amaca yönelik bileşen kombinasyonlarına imkân sağlayarak daha üstün özelliklere sahip malzeme üretilmesini mümkün kılmaktadır. Bu üstün özelliği ile kompozit malzemeler inşaat, otomobil, havacılık, denizcilik, elektrik, rüzgâr enerjisi, ev aletleri, mobilya ve spor malzemeleri sektörleri gibi geniş bir yelpazede kullanılmaktadırlar.

Kompozit malzemede matris ve takviye elemanı olarak iki ana yapı görülür. Kompozit malzemelerde temel yapı görevi gören ve malzemedeki takviye malzemesini bir arada tutan/destekleyen madde matris olarak adlandırılır. İmalat aşamasında sıvı olup, daha sonra katı forma kolaylıkla geçebilen matris yapıların Şekil 1.1'de gösterildiği gibi polimer, metal ve seramik matrisler olmak üzere üç türü bulunmaktadır.



Şekil 1.1. Kompozitlerin matris malzemelerine göre sınıflandırılması.

Kompozit malzemenin diğ er önemli bileş eni ise, takviye elemanıdır. Matris malzeme ile birarada tutulan takviye elemanı malzemeye üstün özellikler (rijitlik ve dayanım) kazandırılmasını sağladığından morfolojik yapıları önemlidir. Takviye malzemelerine göre fiber takviyeli, parçacık takviyeli, tabakalı yapı ve karma yapı olarak kompozit malzemeler Ş ekil 1.2'deki gibi dört grupta sınıflandırılabilirler.

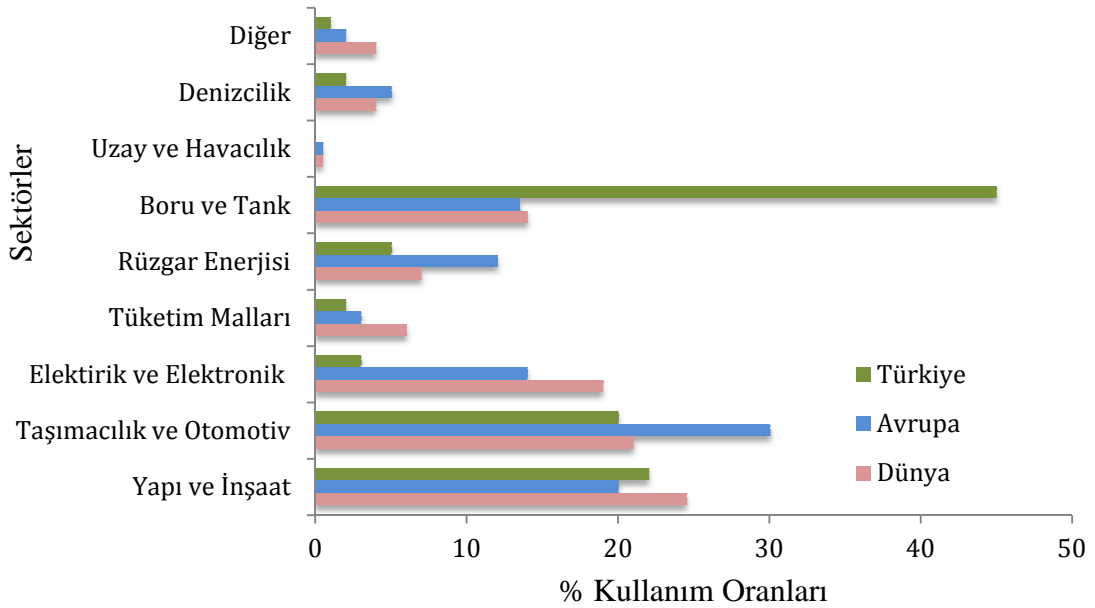


Ş ekil 1.2. Kompozitlerin takviye malzemelerine göre sınıflandırılması.

Belirli dönemlerde yaşanan bazı ekonomik krizler dışında sürekli artan miktarlarda kompozit üretimi gerçekleşmektedir. 2016'da Amerika Birleşik Devletleri (ABD) kompozit malzeme pazarında %3.7 büyüme ile 8 milyar dolar rakamına ulaşmıştır. 2022'de pazarın yıllık %4.9 bileşik büyüme oranıyla 10.6 milyar dolar boyutuna ulaşması beklenmektedir [1]. Türkiye kompozit malzeme pazarı 2016 yılı verilerine göre ülkemizde kompozit pazarı 1.225 milyar Avro ve 245.000 tonluk bir hacime ulaşmış bulunmaktadır [2]. Ülkelerin gelişmişlik düzeylerinin bir göstergesi olarak kabul gören kişi başına düşen kompozit tüketim miktarı dünya'da 4-10 Kg, ülkemizde de 3 Kg düzeyindedir [2]. Bu açıdan bakıldığında ülkemiz kompozit tüketimi açısından iyi bir pazar sunmaktadır.

İlk polyester reçineler, 1847 yılında Berzelius'un ve 1883'te Gay-Lussac ve Pelouze'in çalışmalarında görüşmüştür. İlk cam elyaf takviyeli kompozitlerin ise 1940'lı yılların başlarında kullanımı başlamıştır.

Ülkemizde kompozit sektörünün büyük yüzdesini Cam elyaf Takviyeli Polyester (CTP) boru üretimi kapsamaktadır. Doğal kaynakların sürdürülebilir yönetiminde ve küresel ısınma ile mücadelede su kaynaklarının etkin kullanımı en önemli faktörü oluşturmaktadır. Kompozit malzemenin üretim sektörlerine göre bir karşılaştırma yapılmak istenirse Şekil 1.3'teki gibi bir dağılım karşımıza çıkmaktadır. Ülkemizde kompozit malzeme boru ve tank (%45) ile yapı ve inşaat (%22) sektörlerinde ağırlıklı olarak kullanılmaktadır [3]. Özellikle Türkiye ve çevresindeki ülkelerde suyun verimli kullanılması, kullanım alanlarına doğru şekilde ulaştırılması, atık suların doğru yöntemlerle taşınması önemlidir. Bundan dolayı kompozit bir malzeme olan CTP boruya olan talep hızla artarak sektörde hızlı bir büyümeye neden olmuştur. Türkiye pazarında faaliyet gösteren şirketler, 2015 yılında, 800 km boruya eşdeğer olan 200 bin ton CTP boru üretimi gerçekleştirmiştir. Sektörde faaliyet gösteren firmalar 2015 yılı için yaklaşık 500 milyon liralık ciroya ulaşmıştır.



Şekil 1.3. Sektörel kompozit malzeme kullanım oranları (%) [2, 3].

Kompozit CTP boru antikorozyon özelliği ile altyapı projelerinin büyük sorunu olan korozyon sorununa çözüm olmuştur. CTP boruları, yüksek mukavemet, hafiflik, uzun hizmet ömrü, kolay ve hızlı dönebilme özelliği, tasarım esnekliği ve çevre dostu özellikleri sayesinde dünyada ve ülkemizde içmesuyu, sulama, atıksu, endüstriyel tesis ve enerji projelerinde tercih edilmekte olup yatırımların artarak devam edeceği düşünülmektedir [5].

Mekanik özellikleri iyileştirmek veya ticari olarak maliyeti azaltmak amacıyla kompozit malzemelerin üretiminde çeşitli dolgu malzemeleri kullanılmaktadır.

Endüstriyel bir atık olan Uçucu Kül (UK), termik santrallerde enerji üretimi için kömürün yakılması sırasında ortaya çıkan ve çevresel bir kirletici olarak kabul edilen bir yan üründür. Santrallerde kömürün yakılmasından sonra baca gazları ile taşınan ve elektro filtrelerde tutulan çok ince boyutlu (1-150 µm) artık malzemedir [6].

UK'un fiziksel, kimyasal ve mineralojik özelliklerinin anlaşılması önemlidir, çünkü bu özellikler sonraki kullanımını ve bertarafını etkiler. Spesifik özellikler, diğer faktörlerin yanı sıra, kullanılan kömürün türüne, yanma koşullarına ve kül tutma teknolojisine bağlıdır. Fiziksel olarak, UK ortalama boyutu <20 µm olan ince partiküller halinde meydana gelir ve orta veya düşük yoğunluğa (0.54–0.86 g/cm<sup>3</sup>), yüksek yüzey alanına (300-500 m<sup>2</sup>/Kg) ve hafif bir yapıya sahiptir. Demir ve yanmamış karbon içeriği külün rengini etkilerken, su-beyazdan sarıya, turuncudan koyu kırmızıya veya kahverengiden opaklığa kadar değişen renk skalasına sahiptir [7]. PH değerleri 1.2 ile 12.5 arasında değişmekte olup, çoğu kül alkali özelliktedir [8].

Kömür UK'sı, karakterize edilebilen malzemelerin en karmaşıklarından biridir [9, 10]. Başlıca bileşenler, tutuşma (LOI) testi ile ölçülen, yanmamış karbon içeriğine sahip metalik oksitlerdir. Oksitlerin içeriği genellikle azalan bir sırada; SiO<sub>2</sub> > Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> > Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> > CaO > MgO > K<sub>2</sub>O şeklindedir. Ayrıca UK, çevresel açıdan tehlikeli olan Cr, Pb, Ni, Ba, Sr, V ve Zn gibi birçok eser element içerir. Türkiye'deki bazı UK'ların kimyasal kompozisyonları Çizelge 1.1'de özetlenmiştir [11].

Çizelge 1.1. Türkiye'deki bazı UK'ların kimyasal kompozisyonları.

| Bileşim (%)                    | Afşin-Elbistan | Çatalağzı | Tunçbilek | Çayırhan | TS 639 sınırları | ASTM C 618 sınırları |      |
|--------------------------------|----------------|-----------|-----------|----------|------------------|----------------------|------|
|                                |                |           |           |          |                  | F                    | C    |
| SiO <sub>2</sub>               | 27.4           | 56.8      | 58.59     | 49.13    | -                | -                    | -    |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 12.8           | 24.1      | 21.89     | 15.04    | -                | -                    | -    |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 5.5            | 6.8       | 9.31      | 8.25     | -                | -                    | -    |
| S+A+F                          | 45.7           | 87.7      | 89.79     | 72.42    | >70              | >70                  | >50  |
| CaO                            | 47.0           | 1.4       | 4.43      | 13.2     | -                | -                    | -    |
| MgO                            | 2.5            | 2.4       | 1.41      | 4.76     | <5               | <5                   | <5   |
| Na <sub>2</sub> O              | (N+K) 0.3      | (N+K) 3.0 | 0.24      | 2.2      | -                | <1.5                 | <1.5 |
| K <sub>2</sub> O               | -              | -         | 1.81      | 1.76     | -                | -                    | -    |
| SO <sub>3</sub>                | 6.2            | 2.9       | 0.41      | 3.84     | <5               | <5                   | <5   |
| K.K                            | 2.4            | 0.6       | 1.39      | 0.72     | <10              | <12                  | <6   |

UK'lar, ASTM C 618 standardında kimyasal kompozisyonlarına göre F ve C olarak sınıflandırılmaktadır. UK'lar, ağırlıkça %70'den fazla SiO<sub>2</sub>+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeren ve

kireç (CaO) içeriği %10'dan düşük olan düşük kül sınıfı F olarak tanımlanırken;  $SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3$  %50 ile 70 arasında ve kireç (CaO) içeriği %10'dan fazla ise C sınıfı olarak tanımlanır [6].

Yüksek kalsiyumlu C sınıfı UK normal olarak düşük dereceli kömürlerin (linyit veya yarı-bitümlü kömürlerin) yakılmasından üretilir ve çimento (su ile reaksiyona girdiğinde kendiliğinden sertleşir/bağlayıcı) özelliklerine sahiptir. Öte yandan, düşük kalsiyumlu F sınıfı uçucu kül genellikle, doğada puzolanik olan  $Ca(OH)_2$  ve su ile reaksiyona girdiğinde sertleşmiş yüksek dereceli kömürlerin (bitümlü kömürler veya antrasitlerin) yakılmasından üretilir [6].

F ve C Sınıfı UK arasındaki en büyük fark, kül içindeki kalsiyum miktarı ile silica, alümina ve demir içeriğidir. F sınıfı UK, toplam kalsiyum genel olarak %1 ila 12 arasında değişmektedir ve çoğunlukla kalsiyum hidroksit, kalsiyum sülfat ve camsı bileşenler halindedir (silika ve alümina ile değişik kombinasyonlarda bulunur). Aksine, C sınıfı UK %30-40 gibi yüksek oranda kalsiyum oksit içeriği rapor edilmiştir.

Artan enerji talebi, kömür kullanımını arttıracak ve bu kömürün enerji elde edilmesi amacıyla yakılmasıyla çıkan kül miktarında artacaktır. Dünyada mevcut kömür külü üretiminin yıllık yaklaşık 600 milyon ton olduğu tahmin edilmektedir. UK, üretilen toplam külün %75-80'ini (yaklaşık 500 milyon ton) oluşturmaktadır [12]. UK küresel ortalama kullanım oranının yaklaşık %25 olduğu tahmin edilmektedir [13, 14]. Türkiye'de ise 16 milyon ton UK atık olarak doğal çevreye bırakılmaktadır [15]. Fiziksel, kimyasal ve minerolojik özellikleri sayesinde, teknolojik ve ekonomik değeri olan UK'un değerlendirilmesi çok düşük seviyede kalmaktadır. Bunun için UK'un bertarafı için yeni alternatif yöntemlerin geliştirilmesine ihtiyaç olduğu açıktır. Bazı güncel inşaat uygulamalarında uçucu küllerin kullanım amaçları ve kullanım yerleri, Çizelge 1.2'de özetlenmiştir [15].

Çizelge 1.2. UK'ların inşaat sektöründe kullanıldığı alanlar.

| Malzeme                     | Kullanım amacı/yeri  |
|-----------------------------|--|
| Çimento                     | Hammadde, katkı ve ikame malzemesi olarak                                    |
| Agrega                      | İnce agrega, iri agrega ve hafif agrega olarak                               |
| Beton                       | Katkı ve ikame malzemesi olarak  |
| Tuğla, ateş tuğlası         | Katkı malzemesi olarak   |
| Kerpiç                      | Bağlayıcı malzeme olarak   |
| Yapı malzemeleri            | Blok, panel, duvar, gaz beton, beton boru, cam, boya, seramik, plastik, harç |
| Çeşitli yapılar/uygulamalar | Baraj, otoyol, nükleer santral, geoteknik uygulamalar                        |

Birçok ülkede üretilen UK'un %80'i başta çimento ve beton sanayisinde kullanılırken bu değer Türkiye'de %2-3 arasındadır [16]. Enerjiye olan talebin artmasıyla termik santrallerden salınan UK miktarının da artması beklenmektedir. UK'un sunduğu çevresel problemler nedeniyle, büyük miktarlardaki UK betarafı için dünya çapında ciddi araştırmalar yapılmıştır. Çevresel bir kirletici olarak kabul edilen UK'un çeşitli alanlarda kullanılması ve değerlendirilmesi çok önemlidir. UK partiküllerinin, baca gazından yoğunlaşan potansiyel olarak toksik eser elementlerdeki zenginleştirilmeleri nedeniyle yüksek oranda kirletici olduğu düşünülmektedir. Bu sebeple atıkların potansiyel uygulamaları üzerine yapılan araştırmalar, endüstriyel ilgiye nazaran çevresel öneme de sahiptir. Çevreye olan toksik tehdidini önlemek için atık malzemelerin kullanım/bertaraf tekniklerinin daha uygun maliyetli hale getirilmesi konusunda araştırmalar yapılmaktadır. Bu soruna ekonomik açıdan uygun bir çözümün, atık bertarafı yerine yeni ürünler için atık malzemelerin kullanımını içermesi gerektiği ortaya çıkmaktadır. Atık malzemelerin atık yönetimi hiyerarşisinde kaynakta önlemeden sonra aynı veya farklı amaçlarla kullanılması için tekrar kullanımı veya geri dönüşümü öncelikli seçenektir. Atık bertarafı için düzenli depolama ile ortadan kaldırmak Şekil 1.4'te görüldüğü gibi en son seçenektir. Fakat, UK'un büyük bir kısmı düzenli depolama tesislerinde bertaraf edilip, sadece ortalama %16'sı geri kazanılmaktadır. Büyük miktarlarda oluşan bu külün bertarafı ekonomik olarak maliyet olup, uygun şekilde düzenli depolama yapılmamışsa, su ve toprak kirliliğine neden olabilir, ekolojik döngüleri bozabilir. Bu bakış açısı, gelişen teknoloji, çevresel duyarlılık ve bilinç ile atık malzemelerin bertarafı için depolanma alanlarına toplanmasının azaltılması yönünde bir tutum oluşmuştur. Bunun yerine atık malzemelerin özellikle yapı sektöründe dolgu maddesi olarak kullanım olanaklarının araştırılması artış göstermektedir.

Son zamanlarda UK geri dönüşümü için çalışmalar yapılmıştır [6, 12, 17, 18]. UK kompozisyonu, mineralojik özellikleri, yüzey kimyası ve reaktivite açısından karakterizasyonu, UK'un çeşitli uygulamalar için kullanılmasına olanak vermektedir. UK'un jeo-teknik özellikleri (özgül ağırlık, geçirgenlik, iç açılma sürtünme ve konsolidasyon özellikleri), yolların ve setlerin yapımında, yapısal dolgularda, çimento, yapı malzemeleri betonu ve betonla karıştırılmış ürünlerin imalatında faydalıdır. UK yüksek oranda silika (%60–65), alümina (%25–30), manyetit  $Fe_2O_3$  (%6-15) gibi kimyasal bileşimi, zeolit, alum ve çöktürülmüş silikanın sentezi için kullanılmasına olanak sağlar. UK kütle yoğunluğu, parçacık boyutu, gözeneklilik, su tutma kapasitesi ve yüzey alanı gibi diğer önemli fiziko-kimyasal özellikleri, bir adsorban olarak kullanılmasını uygun hale getirir. UK'un beton üretiminde, yol temel yapısında, toprak

iyileştirmede, inşaat endüstrisinde, seramik kullanımı da dahil olmak üzere birçok alanda mevcut ve potansiyel uygulamaları vardır [6, 12, 17, 18].



Şekil 1.4. Atık yönetim hiyerarşisi [4].

UK'un, inşaat sektöründe, hammadde ya da çimento endüstrisinde katkı maddesi yerine kullanıma ait birçok çalışma yapılmıştır [6, 12, 18]. Özellikle çimento endüstrisinde UK kullanımı teknik olarak oldukça elverişlidir. Türkiye'deki Afşin-Elbistan, Çatalağzı, Çayırhan, Orhaneli, Soma ve Tunçbilek UK'larına ait UK'lar ile ilgili olarak yapılan bir çalışmada, çimento standartlarında aranan özgül yüzey değerleri en az 2800 cm<sup>2</sup>/g değerinden büyük veya yaklaşık eşit olarak bulunmuştur [19]. Çimento, betonun en maliyetli ve yoğun enerji talep eden bileşenidir. Çimentoyu UK ile kısmen değiştirerek betonun birim maliyeti düşürülebilir. UK'un çimentoda kullanılmasında, CaO içeriğine göre, Portlant çimentosu betonunda, yapay bir puzolan maddesi gibi mineral katkı olarak veya alçı taşı yerine geciktirici katkı maddesi olarak kullanılabilir.

Puzolanik özelliklerinden dolayı, UK çimento ile yer değiştirebilir [20]. UK içindeki silika, kalsiyum silikat hidratın üretilmesi için kalsiyum oksit hidrasyonu ile açığa çıkan kalsiyum hidroksit ile reaksiyona girer [21]. Böylece F sınıfı UK kısmi olarak çimentoyla ikamesinde hidrasyon ısısını ve dolayısıyla betonun erken aşamalarında çatlama riskini azaltır [22]. Başka bir çalışmada, %40-60 aralığında değişen oranlarda UK içeren çimentoya, %3'lük Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> katkısı yapılarak hidrasyonun hızlandırıldığı belirtilmiştir [23].

UK ilavesi ile üretilen betonlarda geçirimsizliklerin arttığı, tekrarlanan donma ve çözülme açısından iyi dayanıklılık gösterdiği ve klor girişini azaltarak betonun uzun

sureli dayanıklılık özelliklerini önemli oranda geliştirdiği gözlemlenmiştir [24]. %20-30 oranında UK kullanımının korozyon direnci ve beton dayanımı açısından olumlu sonuçlar verdiği belirtilmiştir [25]. Kendiliğinden yerleşen lifli beton yapımında yüksek oranda UK kullanılabilmesi önerilmektedir [26, 27]. UK'un betonarme çeliği üzerinde olumlu etkisi olduğu ve beton karışımında UK kullanılması durumunda betonarmede donatı korozyonunun azaldığı belirlenmiştir [28]. Ayrıca düşük oranlarda UK kullanımının betonlarda kılcal su geçirimsizliğini azalttığı tespit edilmiştir [29].

UK içeren betonların, uygun şekilde tasarlandığında, daha düşük bir geçirgenlik ile birlikte daha fazla dayanıklılık gösterdiği tespit edilmiştir [30, 31]. Genel olarak, çimentoların UK ile kısmen değiştirilmesi, betonun su ihtiyacını azaltır; işlenebilirliğini artırır ve üretim maliyetlerini düşürür. Ayrıca, elyaf takviyeli betonun en büyük dezavantajı düşük işlenebilirliğidir. Bu eksikliğin üstesinden gelmek için, işlenebilirliği artırabilecek bir malzeme gereklidir. UK'un betonda kullanımı betonun işlenebilirliğini artırır ve erken yaşlarda çatlamasını azaltır [12]. Kompozit malzeme üretiminde ise, kloroplen kauçuk ve UK kullanılarak bu malzemelerin kompozitlerin mekanik performanslarına etkisi araştırılmıştır. UK bağlayıcının %1'i oranınca eklenerek kompozit bir malzeme üretilmiştir [32]. Başka bir çalışmada ise; epoksi reçine kompozitine farklı ağırlık yüzdelerinde UK ilave edilmiştir. Kompozit santrifüj kuvveti altında hazırlanarak yoğunluk, sertlik ve elektriksel özellikleri incelenmiştir [33]. Lateks harçlarının basınç dayanımları UK oranının artmasıyla azalma göstermektedir [34]. F ve C sınıfı UK ile çimento kullanılarak kompozit malzeme üretimi gerçekleştirilmiştir. Elastisite modülü F sınıfı UK kullanılan kompozitlerde C sınıfına göre daha yüksek tespit edilmiştir [35]. UK tane dağılımı F tipi UK ve çimento kompozitinin akışkanlığını etkilediği belirtilmiştir [36].

İnşaat sektöründe UK'un bir diğer kullanımı da tuğla üretiminde mümkündür. UK kullanımını ile hafifleyen tuğlalarda, düşen nakliyat maliyeti dikkate alındığında konu önemli hale gelmektedir [6].

Ancak, bu uygulamalar ortaya çıkan atık UK'un tam olarak tüketilmesi için yeterli değildir. UK atığının bertarafı için yeni geri dönüşüm tekniklerinin geliştirilmesi önemlidir. Bu çalışmada, santrifüj metodu ile üretilen CTP kompozit boruların üretiminde kullanılan dolgu malzemesi içerisinde UK'un kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla UK ağırlıkça %10 ve %20 oranlarında dolgu malzemesi olan

silis kumuna ikame edilerek kullanılmış ve üretilen boruların performansları çeşitli mekanik testlerle belirlenmiştir.



## 2. CTP KOMPOZİT BORULAR

### 2.1. CTP KOMPOZİT BORULARIN KULLANIM ALANLARI VE GENEL ÖZELLİKLERİ

Cam elyaf takviyeli polyester kompozit isminin kısaltması olan CTP, cam elyafı ile taşıyıcı bir matris reçinenin birleştirilmesi sonucu elde edilen kompozit bir malzemedir. Reçine, cam elyaf ve dolgu malzemelerinin, farklı tasarımlardaki kombinasyonları ile değişik işlemlere hizmet eden ürünler elde etmek CTP ile mümkün olabilmektedir. Altyapı sektöründe; akışkan transferlerinde CTP malzemeden boru üretilmesi CTP'nin bu çok yönlü tasarım ürünü olması özelliğinden kaynaklanmaktadır. CTP boru ilk olarak 1948 yılında imal edilmiştir. İlk sarma patenti de 1948 yılında ABD' de alınmıştır [37]. CTP borunun ilk ve hala en yaygın kullanım alanlarından birisi petrol endüstrisidir. Korozyona olan direnci, düşük maliyeti nedeniyle metal borulara alternatif olarak kullanıma başlanmıştır.

1950-1960 yılları arasında yüksek basınçlı uygulamalarda ve kimyasallara karşı dirençli yapısı nedeniyle endüstriyel proseslerde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. 1960'lardan 1990'lara gelindiğinde de CTP boruların içme suyu ve atık su hatlarında kullanımı giderek artmıştır [38]. Günümüzde hemen hemen bütün boru uygulamalarında kullanılmaktadır. CTP borularının ana uygulama alanları arasında; içme suyu iletim ve dağıtım projeleri, kanalizasyon projeleri, kent yağmur suyu projeleri, drenaj projeleri, sulama projeleri sanat yapısı 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 sayılabilir. Bu projelerin dışında CTP boruları; sanayi boru hatlarında, hidroelektrik santralleri cebri borularında, jacking (çakma) uygulamalarında, gaz hattı ve petrol enjeksiyon projelerinde, kimyasal atıkların uzaklaştırılması projelerinde, arıtma tesisi projelerinde de kullanılmaktadır [39].

Tezdeki deneysel çalışmaların yürütüldüğü fabrika olan Superlit Boru San. A.Ş.'nin arşivinden alınan ve CTP boruların çeşitli saha uygulamalarını gösteren proje fotoğrafları ve proje detayları aşağıda sunulmuştur;

Şekil 2.1’de Yeni Zelanda BCI Sulama Projesinde. DN 900 – DN 1600 mm çap aralığında; PN 6-10 basınç sınıfında; SN 2500 N/m<sup>2</sup> rijitlik sınıfında CTP boruların kullanımı gösterilmiştir.



a)

b)

Şekil 2.1. Sulama Projesinde CTP boru uygulaması a) Boru hattı b) Borunun hendeğe indirilişi.

Şekil 2.2’de Rusya St. Petersburg Atık Su Arıtma Tesisi Projesinde DN 900- DN 2000 mm çap aralığında, PN 6 bar basınç sınıfında ve SN 5000 N/m<sup>2</sup> rijitlik sınıfında CTP kompozit boruların atık su tesislerinde kulanımlarına örnek olarak verilmiştir.



Şekil 2.2. Atık su arıtma tesisi projesinde CTP boru uygulaması.

Şekil 2.3'te Konya Su ve Kanalizasyon İdaresi'nde Ilgın ilçesinin kanalizasyon hatlarında kullanılan CTP boru ve yine CTP'den mamul menhol bacası imalat görüntüleri gösterilmiştir.



a)

b)

Şekil 2.3. Atık su kanalizasyon projesinde CTP boru a) Boru hattı b) Menhol.

DN 600 mm çapında CTP boru, 100 ton basma kuvvetine dayanıklı şekilde tasarlanarak, projenin tamamlanmasında çözümün bir parçası olmuştur. Bu örnek proje; Avustralya Sydney şehrinde jacking (itme) boru uygulaması Şekil 2.4'te gösterilmiştir.



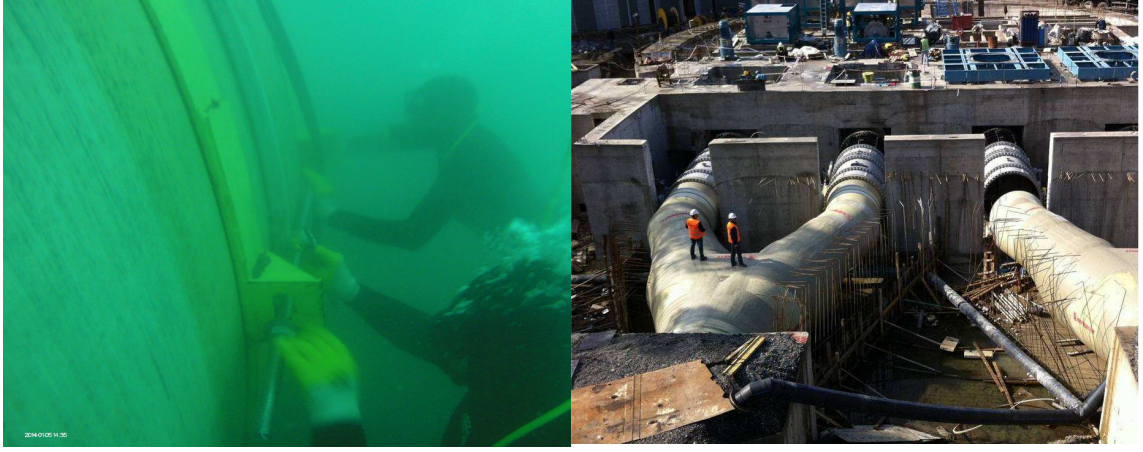
Şekil 2.4. İtme (jacking) CTP boru uygulaması.

Şekil 2.5 a)'da Norveç, Ovre Forsland'da hidroelektrik santrali projesinde CTP borular Cebri boru hattı elemanı olarak seçilmiştir. Bu hatta DN 1800 mm çapında PN 16 – PN 25 bar yüksek basınç sınıfında, SN 5000 N/m<sup>2</sup> rijitlik sınıfında CTP borular kullanılmıştır. Projenin bir kısmında borular toprak altında gömülü iken, diğer kısmında hattın yukarı kısmında soldaki fotoğraf üzerinde görülen tünel içerisinde, beton mesnetler üzerinde CTP boruların montajı yapılmıştır. Şekil 2.5 b)'de ise yurt içinde Balkusan Hes projesine ait bir iletim hattından görüntüdür.



Şekil 2.5. CTP boruların cebri hatta ve iletim hattında uygulamaları a) Norveç  
b)Karaman – Balkusan hes.

CTP boruların denizaltı su alma ve deşarj hatlarında kullanımına ait örnek bir resim Şekil 2.6 a)'da gösterilmiştir. Proje, Atlas Enerji'ye ait 1200 MW kurulu gücünde termik santrali projesidir. Bu projede deniz deşarj hattında DN 4000 mm çapında PN 4 bar basınç sınıfında SN 5000 N/m<sup>2</sup> rijitlikte CTP borular kullanılmıştır. İskenderun Körfezinde olan proje yapıldığı yıl itibariyle (işletmeye alınış yılı 2014) Dünya'nın deniz altına döşenen en büyük çaplı CTP boru unvanını almıştır. Şekil 2.6 b)'de ise CTP kompozit borulardan üretilmiş, basınçlı pantolon yapısı gözükmemektedir. Projede pompa bağlantısında kullanılan DN 3200/2400/2400 mm çaplarında PN 10 bar basınç sınıfında özel üretim pantolon parçası kullanılmıştır. Proje orijinalinde çelik olan ek parça elemanı, deniz suyunun aşırı korozyon etkisi nedeniyle, CTP'ye dönüştürülmüştür.



a)

b)

Şekil 2.6. CTP boruların a) Denizaltı uygulaması b) Pompa binası bağlantısında basınçlı pantolon yapısı uygulaması.

#### **CTP boruların genel özellikleri:**

CTP borular uzun ömürlüdürler ve yüksek teknoloji ile üretilirler. Projenin gereksinimlerine göre özel olarak tasarlanabilirler, yüksek basınçlar için üretilebilirler, farklı rijitlik sınıflarında dış çap değeri değişmez şekilde üretim olanağı sağlarlar, pürüzsüz iç yüzeye sahiptirler, hidrolik kayıpları düşüktür, korozyondan etkilenmezler, katodik koruma gerektirmezler, boru iç çeperinde zaman içinde daralma tıkanma olmaz, pompaj hatlarda enerji tasarrufu sağlarlar, diğer borulara nazaran daha düşük çapla aynı debiyi taşırlar, aşınma dayanımları yüksektir, farklı koşullar için astar tabakası tasarımı yapılabilir, hafiftirler, döşemesi kolay ve hızlıdır, gerektiğinde tamirata kolaydır, pompaj hatlarda enerji tasarrufu sağlarlar, bakım gerektirmezler, indüksiyon yer akımından etkilenmezler, yalıtıkandırlar, yüksek akış hızında kullanılabilirler, dış yüzeyi emici değildir, dış yüklere karşı dayanıklıdırlar, montaj maliyetleri düşüktür, şantiyede ihtiyaca göre kesilebilirler, yüksek eğimli arazilerde kullanılabilirler, su darbelerine daha dayanıklıdırlar, pek çok kimyasala karşı dayanıklıdırlar, eski hatların içine döşenebilirler, boru jacking (çakma) uygulamasına uygun olarak üretilebilirler [40].

Yukarıda bahsedilen üstün özellikleri sayesinde CTP borular akışkan transferlerinde tercih edilen önemli bir yapı malzemesi konumundadır.

## 2.2. CTP KOMPOZİT BORULARDAN BEKLENEN MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİ

CTP kompozit borulardan beklenen mühendislik özellikleri aşağıda detaylandırılmıştır;

**İç Basınç Dayanımı:** 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, İşletme basıncı, boru hattında meydana gelebilecek ani akışkan hızı değişimlerinde ortaya çıkan Koç darbesi (Su darbesi – Water hammer) basınçları, negatif basınçlar. CTP borunun basınç sınıfının belirlenmesi için gerekli basınç ile ilgili dizayn parametreleridir.

**Rijitlik Dayanımı:** CTP borular dış yükler altında emniyetli bir şekilde servis verebilmesi adına, hesaplanan rijitlik değerine göre üretilmelidir. CTP borular dış yükler altında elastik davranış gösteren boru sınıfına girmektedir. Bu davranış biçiminde elastik boru, dış yükler etkisiyle 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. Bu davranış biçimi sayesinde CTP borular, elastik davranış göstermeyen boru tiplerine göre daha ince et kalınlıklarında üretilebilmekte ve daha derinlere gömülebilmektedir.

Bir projede CTP borunun; proje ihtiyacını karşılayabilmek adına sahip olması gereken rijitlik sınıfı belirlenirken; gömülü borunun düşeyde yaptığı defleksiyonun belirli bir değerin üzerine çıkmaması esası üzerine tasarlanır. Basıncılı hatlarda %5, basınçsız hatlarda %6 düşey defleksiyon değerleri genel tasarım kriterleridir [39].

Boru üzerinde oluşacak maksimum düşey defleksiyon değerinin %5'in altında kaldığının kontrolü, dünya genelinde yaygın olarak. AWWA m45 - Fiberglass Pipe Design Manual veya ATV A127 standardında verilen hesap yönergelerine göre yapılmaktadır. Elastik davranış biçiminde, boru – zemin arasında yük aktarımı olduğundan, 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 (Standard Proctor Yoğunluğu)
- Hendek Genişliği
- Maksimum Boru Üstü Dolgu Yüksekliği
- Minimum Boru Üstü Dolgu Yüksekliği
- Yeraltı Suyu
- Trafik Yükleri

Yerüstünde giden borularda, mesnetler arası mesafeler dizayn kriteri olur. Burada CTP boruya etki eden yükler; borunun kendi ağırlığı, içerisindeki suyun ağırlığı, bölgesine göre var ise boru üstündeki kar yükleri önem arz eder. Burada orta açıklıkta oluşan eğilme momentlerini ve sehimi karşılayabilecek şekilde boru rijitlik sınıfı ve eğilme stres dayanımına göre boru tasarlanır.

**Aşınma Dayanımı:** CTP boru; içerisinden geçen akışkanların ve akışkan içerisindeki katı partiküllerin aşındırıcı etkilerine karşı yeterli düzeyde dayanımı sahip olmalıdır. Burada aşınma miktarına karşı dayanımı gerçekleştiren iç yüzey astar (liner) tabakasıdır. Aşınma miktarını etkileyen en önemli parametrelerden biri de akış hızıdır.

Bu nedenle CTP borularda korozif maddelerin yoğun olduğu (atık su – kanalizasyon hatları gibi) iletim hatlarında akış hızı, temiz su hatlarındaki akış hızından daha düşük 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 [38]. Kompozit borular tasarım borusu olduğu için, geliştirilmiş iç yüzey 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.

**Hidrolik Özellikler:** 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, akışkan direnci zamanla birlikte artmaz. Buna ek olarak pürüzsüz iç yüzey istenilen debiyi sağlamanın yanı sıra boru çapının düşürülmesine olanak tanır [38]. Hidrolik cilalı iç yüzeyi sayesinde bir çok projede CTP boru muadillerine göre avantaj sağlar. Bu avantajları; pürüzlülük katsayısı ( $C=150$  - Hazen – Williams katsayısı; uzun dönemde) pompaj projelerinde, öncelikle sürtünmeden kaynaklı enerji kayıplarını diğer boru tiplerine göre daha az verdiği için pompa seçiminde basma yüksekliği daha düşük pompa seçilerek ilk yatırım maliyetinin azalmasına neden olur. Bunun yanında; işletme

boyunca sürekli diğler boru tiplerine göre daha az basma yüksekliği ile ihtiyacı karşılıadığından, elektrik masrafları ciddi anlamda düşer. Bunun tersi olarak hidrolik cilalı iç yüzeyi sayesinde, hidroelektrik santrali projelerinde boru hattı boyunca sürtünmeden kaynaklı enerji kaybı daha az olduğu için. türbinlerden üretilecek enerji miktarı çoğalır. Yine bu hidrolik özellik 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, inşaat masraflarına kadar (kazı, montaj – geri dolgu) 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 özellikler ve sıcaklık ile ilgili özellikler de göz önünde bulundurulması gereken CTP boruların mühendislik özelliklerini belirleyen faktörlerdir.

### **2.3. CTP KOMPOZİT BORULARIN ÜRETİM YÖNTEMLERİ**

Son nesil olarak geliştirilen üretim teknolojileri Santrifuj Savurma Döküm (CC) ve Sürekli Elyaf Sarma (CFW) teknolojileridir.

#### **2.3.1. Sürekli Elyaf Sarma (CFW) Yöntemi**

Elyaf sarma (Filament winding) 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 aksenal hem de radyal yönde ilerler. Mandren üzerinden belirli aralıklarla, belirlenmiş miktarlarda hammadde beslemesi yapılarak boru et kalınlığı oluşturulur. Hammadde beslemesi, mandrenin hızına uyumlu olarak PLC ve PC 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 boyunca; takviye malzemesi olarak kullanılan hoop elyaflar belirli aralıklarla mandrene sarılır, chop elyaflar da 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 k rleşmenin tamamlanması sağlanır. K rleşme boyunca sıcaklık termal kamera yardımıyla  l l r ve sıcaklık grafiği PC monitöründen izlenir. Mandrenin eksenel hareketine uyumlu olan kesme  nitesi yardımıyla boru istenilen boyda düzgün olarak kesilir. Kesilen boru, özel olarak tasarlanmış sehpa yardımıyla kalibrasyon ünitesine ulaşır. Bu  nitede boru çapı standartlara uygun ölülerde 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 kontrollü de yapıldıktan sonra boru stok sahasına alınır [40]. Sürekli Elyaf Sarma metodu ile CTP boru üretimine ait görseller Şekil 2.7 ve Şekil 2.8’de verilmiştir.



Şekil 2.7. Sürekli elyaf sarma metodu ile CTP boru üretimini.



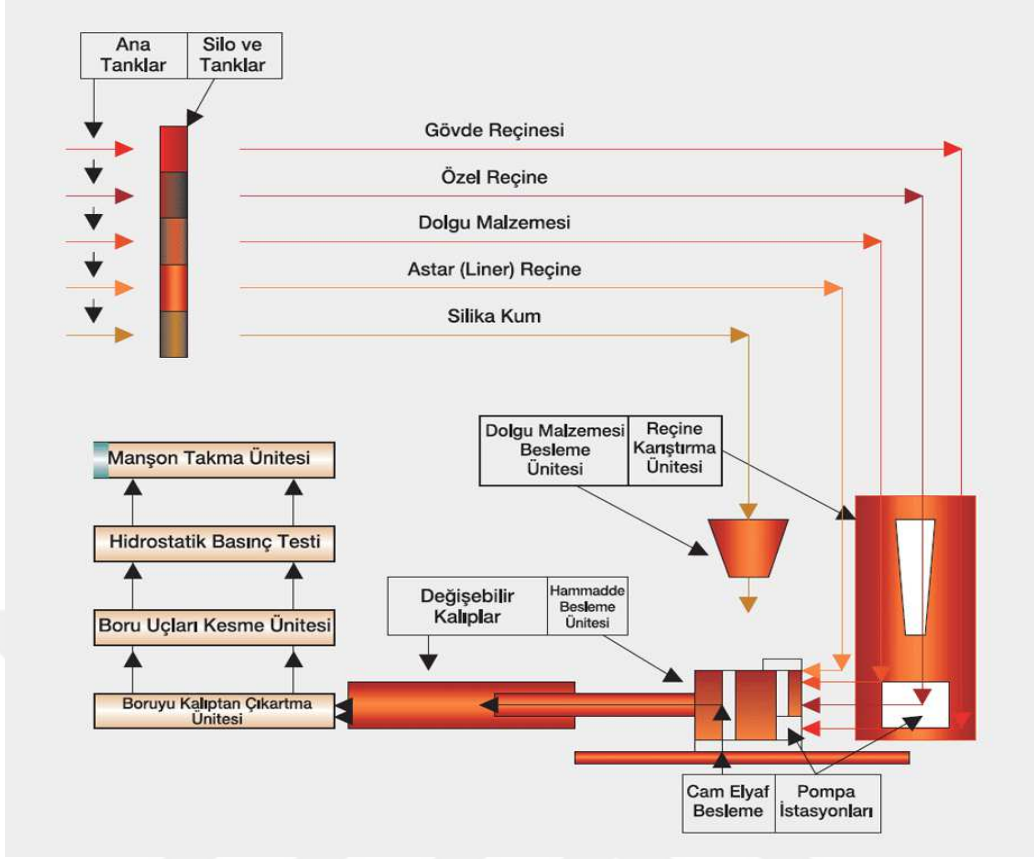
Şekil 2.8. Sürekli elyaf sarma metodunda üretilen boru.

### 2.3.2. Savurma Döküm (CC) Yöntemi

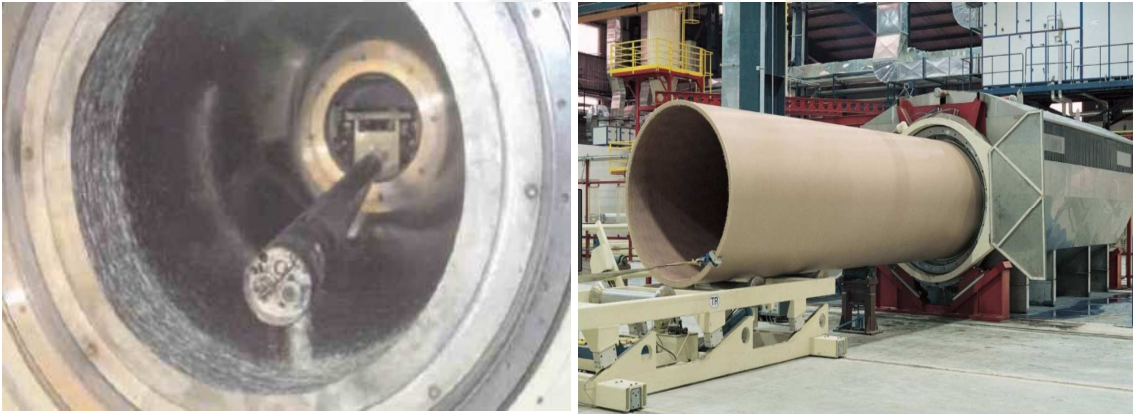
Tamamen otomatik ve elektronik olan bu üretim yönteminde dönen kalıp içine hammaddelerin boru dış yüzeyinden başlayarak projede gerekli olan boru et kalınlığına ulaşılan kadar beslenmesi yoluyla boru üretimi yapılmaktadır. Sürekli tekrarlanan bu proseste; hammadde miktarları, kalıbın dönme hızı, tabaka tabaka oluşturulan boru katmanları ve kalıp içindeki sıcaklık değerleri de ayrıca ölçülmektedir. Tanımlanan miktarda malzeme kalıp içerisine besleyici kol (feeder) aracılığıyla bırakılmaktadır. Kalıp doldurma işlemi süresince polimerizasyonu geciktirilecek şekilde formüle edilmiş olan reçine ve tasarımda tayin edilen boylarda kesilerek ayarlanmış elyaf da besleyici kol sonundaki kafa aracılığıyla kalıp içerisine dökülmektedir. Kalıp başlangıçta yavaş dönüş hızına sahip olup, hammaddelerin tamamının besleme işlemi bitirildiğinde sıkıştırma kuvvetini artırmak amacıyla kalıp devir hızı artırılmaktadır. Kalıp devir hızındaki artış sıkıştırmanın tam yapılmasını sağlamakta ve katı malzemeye geçişi (kürleşme) tamamlamaktadır. Borunun ideal kürleşmesi tamamlandıktan sonra kalıp durdurularak, boru kalıptan çıkarılır. Boruyu kalıptan çıkartabilmek için boru uçlarındaki itme ve çekme payları kesilerek boru boyu standart 6 metreye getirilir. Savurma döküm yönteminin üretim akış şeması Şekil 2.9'da ve boru üretim prosesine ait görüntüler Şekil 2.10 a) ve b)'de verilmektedir. Besleme kolu kalıp içerisinde doğrusal olarak ileri ve geri hareket eder ve boru et kalınlığının tabaka tabaka üretilmesini sağlar.

Boru üretiminde takviye malzemesi olarak kullanılan cam elyaf, boru cidarındaki nötr ekseninin her iki tarafına yerleştirilmekte ve arada kalan boşluklar da reçine, silika kumu ve cam elyaf ile doldurulmaktadır. Bu yöntem ile, CTP boru katmanlarındaki malzeme miktarı ve oranları ile borunun mekanik özellikleri ayarlanmaktadır. Borunun kullanılacağı saha koşulları dikkate alınarak bu koşullardaki etkileri kaşılayacak şekilde reçine tipi de değiştirilebilmektedir.

Önceden tasarlanıp, programlanan ve her boru için aynı şekilde sürekli tekrarlanan bu prosesin tüm aşamalarında kontrol bilgisayar tarafından sağlandığı için insanlardan kaynaklanabilecek hatalara yer kalmamakta ve homojen üretim gerçekleşmektedir. CTP-CC boru üretiminde, bilgisayar teknolojisindeki en son gelişmeler kullanılmakta, bu sayede hammadde dağılım ve miktarları kontrol altında tutulmaktadır. Üretim sürecinde, boruyu oluşturmak için beslenen hammadde miktarları sürekli takip edilebilmektedir. Ayrıca her boru için borunun kimlik bilgilerini oluşturacak teorik ve



Şekil 2.9. Santrifüj (savurma) döküm yöntemi üretim akış şeması.



a)

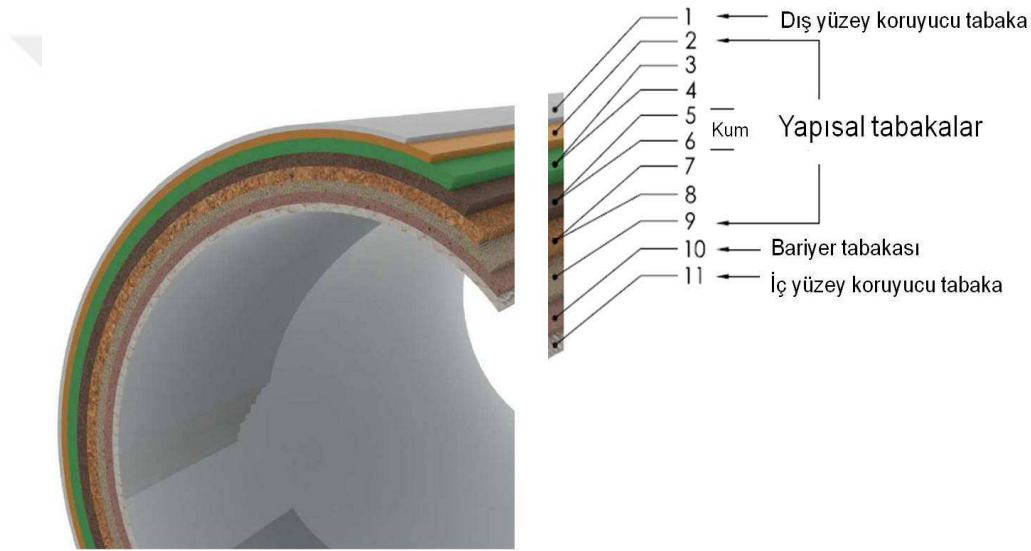
b)

Şekil 2.10. Savurma döküm (CC) yöntemi ile boru üretimi a) Kalıp içten görünümü  
b) Borunun kalıptan çıkarılması.

gerçek hammadde miktarları, cinsleri, proses sıcaklık değerleri raporlanmaktadır. Numara bazlı boru takibinde bu sayede geriye dönük izlenebilirlik sağlanmaktadır.

Şekil 2.11'de görüldüğü üzere, CTP-CC boru, her biri ayrı işlemlere sahip 11 ayrı tabakadan oluşur. Bu 11 tabaka, her boruda gözle rahatça görülebilecek 5 katmanı

oluşturur ve her katman özel bir işleve sahiptir. Boru içine bakıldığında, iç yüzeyinde elyaf bulunmayan esnek bir reçine tabakası (liner tabaka) olduğu görülür. Saf özel reçine ile üretilen bu tabaka en az 1 mm kalınlığında olup, boruya hidrolik özellikler ve projede beklenen düzeyde aşınma direnci kazandırır. Liner tabakasının gerisinde ayrıca bir bariyer tabakası da bulunmaktadır. Bu iki tabaka borunun yapısal katmanlarına dışarıdan nüfuz edecek maddeleri de engellerler. Bariyer tabakasının gerisinde de borunun basınç ve rijitlik sınıfına göre tasarımında değişiklik gösteren yapısal tabakalar başlamaktadır. Boru sonunda ise, boruyu yükleme esnasında darbe ve çiziklerden koruyan dış tabaka bulunmaktadır. Bu tabaka ayrıca boruyu UV radyasyon penetrasyonundan da korumaktadır.



Şekil 2.11. CTP – CC boru katmanları.

## 2.4. CTP KOMPOZİT BORULARLA İLGİLİ STANDARTLAR VE TESTLER

### 2.4.1. CTP Kompozit Borularla İlgili Standartlar

CTP kompozit borular ile ilgili yürürlükte olan birçok standart vardır. Bu standartlar; dizayn, üretim, döşeme konularına göre ayrılmaktadır. CTP borular tasarım borusu olduğu için her ülkenin kendi standardına uygun bir şekilde tasarlanabilmektedir. Dünya çapında su ve atık su hatları için yaygın olarak kabul görmüş ürün standartlarının isimleri aşağıda verilmiştir.

- AWWA C 950 / AWWA M-45
- ATV-DVWK-A-127

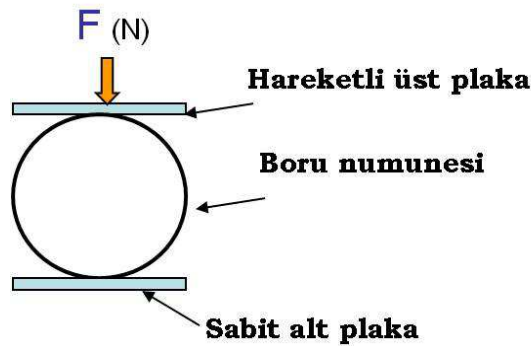
- AS/NZ S 2280
- AS 3571.1
- AS 3571.2
- ASTM D 3262 / ASTM D 3754
- ASTM D 3517
- DIN 16869
- EN 1796 / EN 14364
- ISO 10639 / ISO 10467
- TS EN 1796
- TS EN 14364

#### 2.4.2. CTP Kompozit Borularla İlgili Testler

CTP kompozit borularda ürün performansını ölçmeye yarayan kısa dönem ve uzun dönem testleri yapılmaktadır. Uzun dönem testleri 10.000 saat süren testler olduğundan bu tez çalışması kapsamında incelenmeyecektir. Kısa dönem testlerinden, yukarıdaki bölümlerde CTP borulardan beklenen mühendislik özellikleri başlığı altında incelenen, basınç dayanımı ve dış yükler altında dayanım performanslarının ölçülmesine yarayan rijitlik testi, çember çekme testi ve boyuna (eksenel) çekme testi bu bölümde tanımlanmıştır.

##### 2.4.2.1. Rijitlik Deneyi

Rijitlik deneyi ISO 7685 Standardı Metod B ye göre yapılmaktadır. Teste tabi tutulacak boru üzerinden 300 mm genişliğinde bir halka numune kesilerek Şekil 2.12’de şematik olarak gösterildiği biçimde paralel plakaya sahip basma makinesi üzerine yerleştirilir.



Şekil 2.12. Rijitlik deneyi.

Rijitlik testi uygulanan bir numune örneğine ait test öncesi ve test sonrasına ait bir görsel Şekil 2.13'te görülmektedir.



Şekil 2.13. Rijitlik deneyi sırasında defleksiyona tabi tutulmuş boru numunesi.

Test, numuneye uygulanmadan önce ISO 7685 standardına göre farklı noktalardan boru numunesinin et kalınlığı, dış çapı ve genişliği ölçülür. İlk olarak %3 defleksiyon verilir. %3 defleksiyona ulaşıldıktan sonra 2 dakika beklenerek kuvvet makine üzerinden okunur ve aşağıda yer alan Denklem (2.1) ve Denklem (2.2) formülasyonları ile boru rijitlik değeri hesaplanmıştır [41].

$$S_0 = \frac{F \times f}{L \times y} \quad (2.1)$$

$$f = \left\{ \frac{1860 + \left[ \frac{(2500 \times y)}{dm} \right]}{100000} \right\} \quad (2.2)$$

$dm = de - e$  (m)

$S_0$  : rijitlik ( $N/m^2$ )

$dm$ : ortalama çap (m)

$e$ : et kalınlığı (m)

$de$  : dış çap (m)

$L$  : numune ortalama genişliği (m)

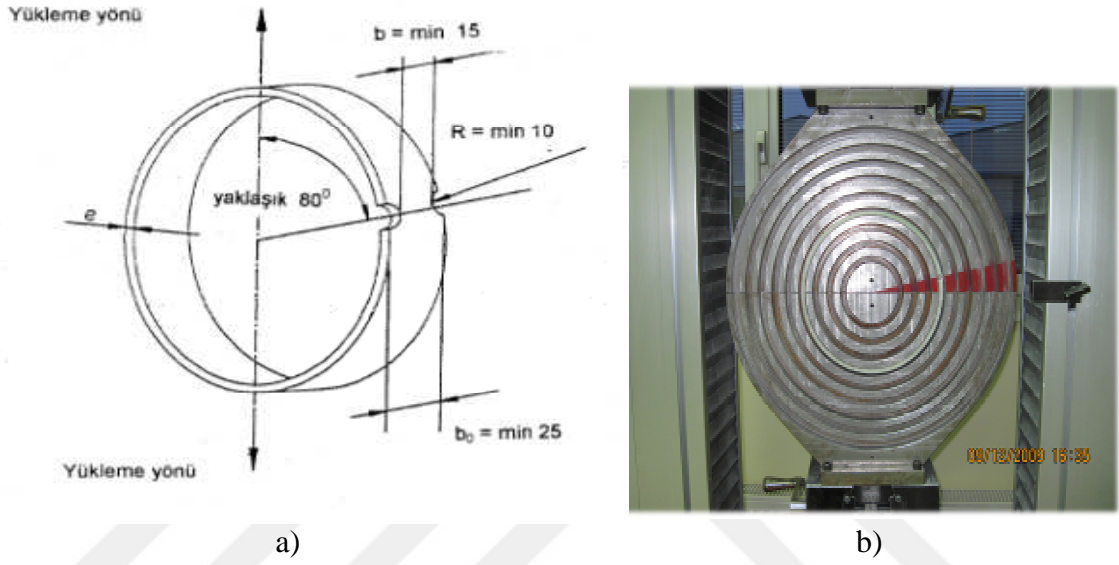
$y$  : defleksiyon (m)

$f$  : defleksiyon faktörü

F : uygulanan kuvvet (N)

#### 2.4.2.2. Çember Çekme Deneyi

CTP borular için borudan minimum 10 mm, maksimum 30 mm genişliğinde bir halka kesilerek TS EN 1394 (veya eşdeğeri ISO 8521) standardında belirtilen Metot B'ye göre testler gerçekleştirilmektedir. Test numunesi şematik olarak Şekil 2.14 a)'da ve testin uygulaması da Şekil 2.14 b)'de görülmektedir.



Şekil 2.14. Çember çekme numunesinin a) Boyutları b) Test cihazının görünümü.

Deney parçasının genişliği (b) birisi çentikli bölgedeki halkanın içinden, diğeri dışından alınan iki ölçmenin ortalaması olarak  $\pm 0.1$  mm hassasiyetle belirlenir. Hasar beklenen bölgede yer alan yarı disk dış çevresi üzerine yerleştirilir. Yarı diske, 1 dakika ile 3 dakika arasında hasar meydana gelecek şekilde, sabit bir ayırma hızı uygulanır. Uygulanan en büyük kuvvet ve hasar için geçen süre kaydedilir [42]. Çember çekme dayanımı aşağıda yer alan Denklem (2.3) formülasyonu kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\sigma_A = \frac{F}{2xbG} \quad (2.3)$$

$\sigma_A$  : çember çekme dayanımı (N/mm)

F : maksimum kuvvet (N)

bG: test parçasının genişliği (mm)

### 2.4.2.3. Boyuna (Eksenel) Çekme Deneyi

ISO 8513 standardının içerisinde metod A (şerit test parçası) olarak tanımlanan deney için test parçası; çekme testi cihazının çeneleri arasında çekme yönüne paralel olacak şekilde yerleştirilir. Numunenin genişliği (mm) ve kalınlığı 3'er noktadan ölçülüp veriler kaydedilir. Numune çentikli veya çentiksiz olarak hazırlanabilir. Test hızı 5mm veya numune 1-3 dakika arasında kopacak şekilde olmalıdır. Kelepçelerin birbirinden uzaklaşması ile yük uygulanır ve kopma anındaki maksimum yük kaydedilir [43]. Şekil 2.15'te eksenel çekme numunesi ve Şekil 2.16'da eksenel çekme deneyine ait test düzeneği ve test cihazı gösterilmiştir.

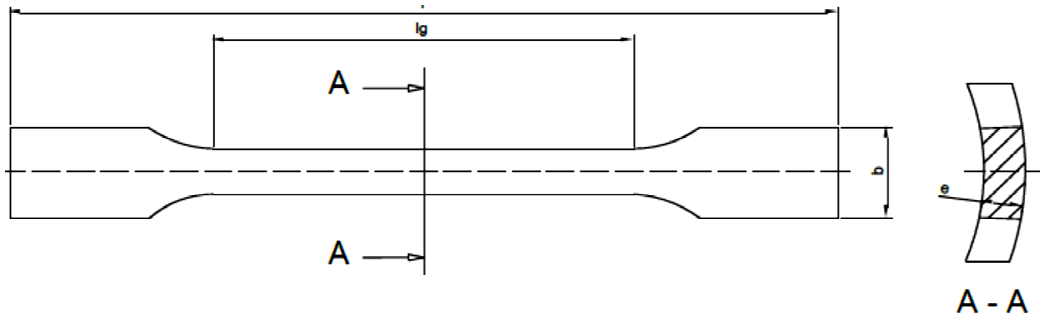
Boyuna çekme dayanımı değerleri aşağıda yer alan Denklem (2.4) formülasyonu kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\sigma_{LA} = \frac{F}{bG} \quad (2.4)$$

$\sigma_{LA}$  : eksenel çekme dayanımı (N/mm)

F : maksimum kuvvet (N)

bG: test parçasının genişliği (mm)



Şekil 2.15. Eksenel çekme deney numunesi.



a)



b)

Şekil 2.16. Eksenel çekme a) Düzenegi b) Test cihazı.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. MATERYAL

##### 3.1.1. CTP Boru Üretiminde Kullanılan Matris Malzemesi

Bu tez çalışmasında bağlayıcı matris olarak iki tip reçine kullanılmıştır. Boru iç yüzeyinde kullanılan ve kimyasal dayanımı daha yüksek olan liner reçine ilk 1 mm kalınlıkta yer almaktadır. Borunun kalan tüm katmanlarında ise ortofitalik polyester reçine kullanılmıştır.

Proses içerisinde yer alacak reçine, tank haznesine girmeden önce fiziksel ve mekanik özelliklerinin uygun olup olmadığını değerlendirmek üzere viskozite, jelleşme ve katı madde tayini testleri uygulanarak kontrolden geçirilmiştir. Kullanılan reçinelerin viskozite, jelleşme süresi, pik sıcaklığı, jelleşme süresi ve katı madde miktarı ile bunların ilgili standartlara uygunluğu Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. CTP boru üretiminde kullanılan polyester reçine için mekanik değerler.

| Parametre                       | Test Metodu | Ortoftalik Polyester Reçine (gövde tabakası) |        | Liner Polyester Reçine (astar tabakası) |          |
|---------------------------------|-------------|--|--------|---|----------|
|                                 |             | Kabul Aralığı                                | Sonuç  | Kabul Aralığı                           | Sonuç    |
| Viskozite (@25 <sup>0</sup> C)  | ASTM D 2196 | 175 – 250 cp                                 | 225 cp | 500 – 600 cp                            | 570 cp   |
| Jel Süresi (@25 <sup>0</sup> 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   |

##### 3.1.2. CTP Boru Üretiminde Kullanılan Takviye Malzemesi

Çalışmada takviye malzemesi olarak Şekil 3.1’de görülen E-Cam elyafı kullanılmıştır. Geniş bir kullanım alanı bulan alüminyum bor silikatlı E-tipi camlar, yüksek mukavemet gereken durumlarda tercih edilir.



Şekil 3.1. Çalışmada takviye olarak kullanılan E-Cam elyafı.

Çalışma kapsamında üretilen CTP borularda kullanılan E-Cam elyafına ait özellikler, kabul koşullarına uygunluğu için yapılan test sonuçları ve ilgili standart limitleri Çizelge 3.2’de özetlenmiştir.

Çizelge 3.2. CTP boru üretiminde kullanılan E-Cam özellikleri.

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

### 3.1.3. CTP Boru Üretiminde Kullanılan Dolgu Malzemesi

Bu çalışmada dolgu malzemesi olarak silis kumu ve silis kumuna belli oranlarda ilave olarak karıştırılan UK kullanılmıştır. Kullanılan UK Çatalağzı Termik Santralinden temin edilmiştir. UK’a ait fiziksel özellikler ve kimyasal kompozisyon Çizelge 3.3’te görülmektedir. Bu verilere göre çalışmada kullanılan uçucu külün F sınıfı olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 3.3. Kullanılan UK'a ait özellikler.

| <b>Kimyasal Özellikler</b>       | <b>Miktar (%)</b> |
|----------------------------------|-------------------|
| SiO <sub>2</sub>                 | 58.56             |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>   | 6.51              |
| TiO <sub>2</sub>                 | 1.21              |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>   | 23.39             |
| CaO                              | 1.81              |
| MgO                              | 2.02              |
| Na <sub>2</sub> O                | 0.53              |
| K <sub>2</sub> O                 | 4.13              |
| SO <sub>3</sub>                  | 0.0013            |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>    | 0.14              |
| Kızdırma kaybı                   | 1.25              |
| <b>Fiziksel Özellikler</b>       | <b>Miktar</b>     |
| Özgül ağırlık                    | 2.09              |
| Özgül yüzey (cm <sup>2</sup> /g) | 4252              |

Çalışmada kullanılan silis kumuna ait özellikler ise Çizelge 3.4'te görülmektedir.

Çizelge 3.4. CTP boru üretiminde kullanılan silis kumuna ait özellikler.

| Parametre                                 | Kabul Aralığı                          | Test Sonucu            |
|---|--|------------------------|
| Reçine ve Kum Karışımının Jel Süresi      | 5-10 dk.                               | 07:15 dk.              |
| Nem İçeriği (@105 <sup>0</sup> C, 2 saat) | Mak. %0.5                              | %0.03                  |
| Yoğunluk                                  | Min. 1.5- Mak. 1.7 g/cm <sup>3</sup>   | 1.52 g/cm <sup>3</sup> |
| Tane boyut dağılımı                       | Min. 0.0 - Mak. 0.85 mm<br>(AFS 40-45) | 0.0 - 0.85 mm          |
| Yanma Kaybı (@ 625 <sup>0</sup> C, 30 dk) | Mak. %2.0                              | %0.13                  |

## 3.2. YÖNTEM

### 3.2.1. Dolgu Malzemesi Karışımlarının Hazırlanması

Santrifüj döküm CTP boru üretiminde dolgu malzemesi olarak kullanılan silis kumu beslemesi günlük kum silosundan yapılmaktadır. Makinanın sağlıklı bir şekilde hammaddeyi alabilmesi için bu deponun boşaltılıp tamamen UK ikameli dolgu malzemesi ile doldurulması gerekmektedir. Farklı denemelerden sonra boru üretiminde homojen bir karışım verilebilmesi için kum silosunun tamamen boşaltılıp 150 Kg'lık büyük karışımlar hazırlanarak silolara tekrar doldurulması gerektiği sonucuna varılmıştır. Bu amaçla öncelikle UK Şekil 3.2'de görüldüğü gibi tartılarak hazırlanmıştır.



Şekil 3.2. UK'un karışım için tartılarak hazırlanması.

Daha sonra üretim için makineye eklenecek olan, %10 UK karışımı için 135 Kg silis kumu – 15 Kg UK ve %20 UK karışımı için 120 Kg silis kumu – 30 Kg UK olmak üzere Şekil 3.3'te görüldüğü gibi 2 adet 150 Kg'lık dolgu malzemesi hazırlanmıştır. Homojen bir karışım elde etmek amacıyla silis kumu ve UK büyük bir kap içerisinde mekanik karıştırma yöntemiyle belirli bir süre karıştırılmıştır.



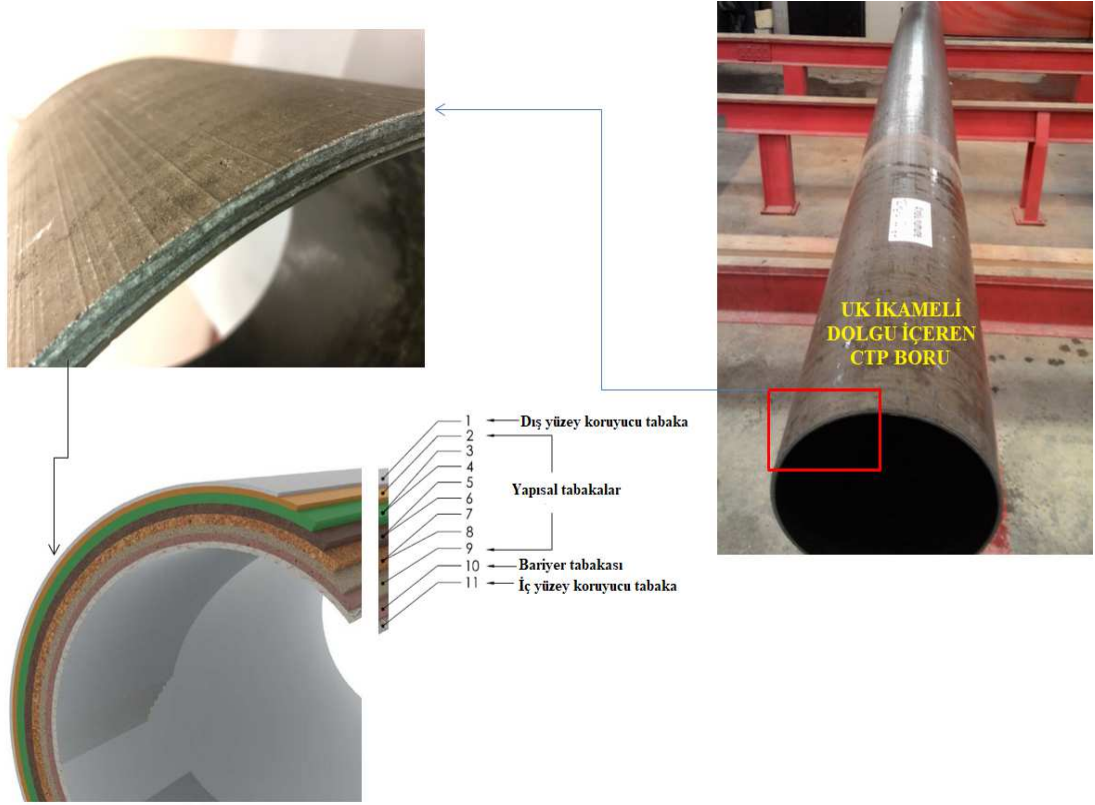
a)

b)

Şekil 3.3. UK içeren silis kumu a) %10 UK karışımı b) %20 UK karışımı.

### 3.2.2. Boru Numunelerinin Üretimi

Çalışmada UK ağırlıkça %10 ve %20 oranlarında dolgu malzemesi olan silis kumu yerine kullanılmıştır. UK kullanımı ile hazırlanan ikameli dolgular Şekil 3.4'te görülen boru kesitinde 1 nolu dış yüzey koruyucu tabaka ile 5 ve 6 nolu yapısal tabakanın gövde kısmında kullanılmıştır.



Şekil 3.4. UK ikameli boru kesiti.

Boruların üretiminde, hammadde, işçilik, makina, personel kriterlerinden dolayı ürünlerin etkilenmemesi için Referans boru üretimi de dahil tüm boru üretimleri aynı gün içerisinde yapılmıştır. Öncelikle, bilgisayarda döküm ayarları yapılan DN 350 mm çapında, PN 6 bar basınç sınıfında ve SN 5000 N/m<sup>2</sup> rijitlik sınıfındaki referans boru üretimi gerçekleştirilmiştir. Döküm için tüm ayarlar yapılarak besleyici (feeder kol) Şekil 3.5'te görüldüğü gibi dairesel döküm kalıbının başlangıç noktasında sabitlenerek döküm hazırlığı tamamlanmıştır. Referans boru standart olarak fabrikada üretimi yapılan boru tiplerinden olduğu için bu borunun döküm işleminde ek hazırlık yapılmamış olup boru seri bir şekilde üretilmiştir. Üretilen referans borunun döner kalıptan çıkarılma anı Şekil 3.6'da verilmiştir.

Standart boru görünümü, dış yüzeyde yer alan reçinece zengin silis kumundan kaynaklı olarak açık tona sahip bir renktedir. UK ikameli dolgunun kullanıldığı boruların üretimine geçilmeden önce ise dolgunun homojen dağılımını sağlamak amacıyla referans boru üretiminde kullanılan silis kumunun tamamı Şekil 3.7'de görüldüğü gibi besleyici koldan boşaltılmıştır.



Şekil 3.5. Referans boru üretim başlangıcı.



Şekil 3.6. Referans borunun döner kalıptan çıkarılması.

UK katkıli boruların üretiminde önce makina mevcut hammaddeden tamamen arındırılmıştır. Daha sonra %10 UK karışımı için hazırlanmış olan 135 Kg silis kumu – 15 Kg UK karışımı dolgu malzemesi forklift yardımıyla hammadde depo haznesine kaldırılıp Şekil 3.8’de görüldüğü gibi manuel olarak boşaltılmıştır.



Şekil 3.7 Referans boru üretim sonunda silis kumunun boşaltılma anı.



Şekil 3.8 UK- silis kumu karışımı dolgunun boru üretimi için hazırlanan hazneye aktarılması.

Hammadde besleme işlemi tamamlandıktan sonra Şekil 3.9'da görülen kontrol odasındaki bilgisayar sisteminde reçine, elyaf, dolgu ve diğer malzemelerle ilgili son ayarlamalar yapılarak UK katkılı boru üretimi başlatılmıştır.



Şekil 3.9. Üretim sistemi bilgisayarlı kontrol odası.

Üretim başladıktan sonra Şekil 3.10’da görüldüğü gibi feeder her ileri geri hareketinde ürün reçetesinde belirtilen hammaddeleri kalıp içerisine beslemektedir.



Şekil 3.10. Feeder ile üretimde hammadde beslemesi.

Besleyici kolun uç kısmından doldurma işlemi tamamlanıncaya kadar polimerize olmayacak biçimde formüle edilmiş olan reçine ve proje için hedeflenen boylarda kesilen cam elyaflar kalıba dökülmüştür. Kalıp üretim başlangıcında göreceli olarak yavaş döndürülmeye başlanmıştır. Tüm hammaddelerin kalıp içerisine besleme işlemi tamamlanınca sıkıştırma için gerekli kuvvetin sağlanması amacıyla kalıp dönme hızı artırılmıştır. Bu artış ile kalıp içerisinde tam bir sıkıştırma ve katı malzeme formuna geçiş (kürleşme) sağlanmıştır. Besleme kolu kalıp içerisinde doğrusal bir şekilde eksen

boyunca ileri ve geri hareket ederek boru et kalınlığını tabaka tabaka üretmeyi sağlamıştır. Tanımlanan bu üretim adımlarının tamamı %20 UK karışımı için hazırlanmış olan ve 120 Kg silis kumu - 30 Kg UK karışımı dolgu malzemesi kullanılan borunun üretimi içinde uygulanmıştır. Üretilen UK katkılı borunun kalıptan çıkarılışı Şekil 3.11’de görülmektedir.



Şekil 3.11. %10 UK ikameli 1. No’lu boru numunesinin kalıptan çıkarılışı.

Üretilen ve kalıptan alınan UK içeren boru üzerinde standart üretimde olduğu gibi gözlem yapılmış ve boru yapısının gayet düzgün olduğu ve UK içeriğinin topaklanma, homojenlikte farklılık gibi herhangi bir üretimsel kusura sebep olmadığı gözlemlenmiştir.

Üretilen UK katkılı borularda referansa göre önemli bir renk farklılığı görülmektedir. Şekil 3.12’de görüldüğü gibi UK kullanılan borularda ağırlıkça %10 miktarında UK kullanılması durumunda bile borunun renginde tıpkı bir boya katkı maddesi kullanılmış gibi önemli düzeyde bir koyulaşma meydana gelmiştir.

UK katkılı boruların ikinci serisi olan ve %20 UK karışımı için hazırlanmış dolgu malzemesi kullanılan borunun üretimi de yukarıda bahsedilen adımlarla sorunsuz bir şekilde gerçekleştirildikten sonra borular yıkanarak gerekli ölçüm ve testler için Şekil 3.12’de görüldüğü gibi hazır hale getirilmiştir.



Şekil 3.12. Üretimi tamamlanan 2 adet - 6 mt boyunda UK katkılı boru numunesi.

### 3.2.3. Boru Örnekleri Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi

#### 3.2.3.1. Deney Numunelerinin Hazırlanması

Mekanik performans değerlendirmesi için yapılacak testlerden olan rijitlik testi, çember çekme testi ve boyuna çekme testi için ISO 7685 ve AWWA C950 standartlarında çeşitli numune tarifleri verilmiştir. Standartlarda tarif edilen test numunesi hazırlık prosedürü Çizelge 3.5'te görülmektedir.

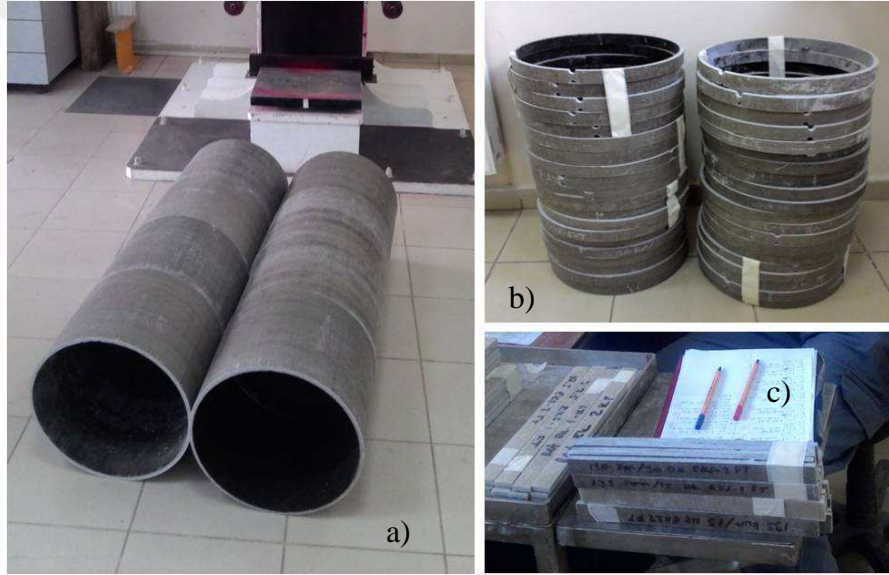
Çizelge 3.5. Boru numuneleri üzerinden alınan test örneklerinin açıklanması.

| Test Adı                   | Numune Hazırlama Aşamaları  |
|----------------------------|---|
| Rijitlik Testi<br>ISO 7685 | 4 adet-30 cm genişliğinde boru parçası (2 adet bir uçtan, 2 adet diğer uçtan olmak üzere)   |
| Çember Çekme<br>ISO8521    | 20 adet- 2.5 cm genişliğinde çember şeklinde şerit (Rijitlik numuneleri kesildikten sonra kalan parça boru üzerinden 10 adet bir uçtan, 10 adet diğer uçtan olmak üzere)                    |
| Boyuna Çekme<br>ISO8513    | 20 adet-2cmx30 cm ölçülerinde boru eksenine boyunca alınmış şerit (Çember kesme numuneleri kesildikten sonra kalan parça boru üzerinden 10 adet bir uçtan, 10 adet diğer uçtan olmak üzere) |

Referans, %10 UK içeren ve %20 UK içeren borularda Çizelge 3.5’de tarif edilen numuneler üzerinde Şekil 3.13’te görüldüğü gibi kesim noktaları işaretlenmiş ve işaretlenen noktalardan kesimler gerçekleştirilerek Şekil 3.14’te görülen test numuneleri hazırlanmıştır.



Şekil 3.13. Borularda test numunesi kesim noktalarının işaretlenmesi.



Şekil 3.14. Performans testine tabi tutulacak a) Rijitlik b) Çember c) Eksenel çekme numuneleri.

Kesilerek hazırlanan test numuneleri üzerinde aşağıda tarif edilen kodlamalar yapılmıştır;

**FT:** Kalıbın içerisinden çıkarılan borunun feeder besleyici kola yakın olan tarafından kesilmiş numuneyi ifade eder.

**FT 1:** Kalıbın içerisinden çıkarılan borunun feeder besleyici kola yakın olan tarafından kesilmiş ilk numuneyi ifade eder.

**FT 2:** Kalıbın içerisinden çıkarılan borunun feeder besleyici kola yakın olan tarafından kesilmiş ikinci numuneyi ifade eder.

**KT:** Kalıbın içerisinden çıkarılan borunun feeder besleyici kola uzak olan tarafından kesilmiş numuneyi ifade eder.

**KT 1:** Kalıbın içerisinden çıkarılan borunun feeder besleyici kola uzak olan tarafından kesilmiş ilk numuneyi ifade eder.

**KT 2:** Kalıbın içerisinden çıkarılan borunun feeder besleyici kola uzak olan tarafından kesilmiş ikinci numuneyi ifade eder.

### 3.2.3.2. Deneyler

#### 3.2.3.2.1. Rijitlik Deneyi

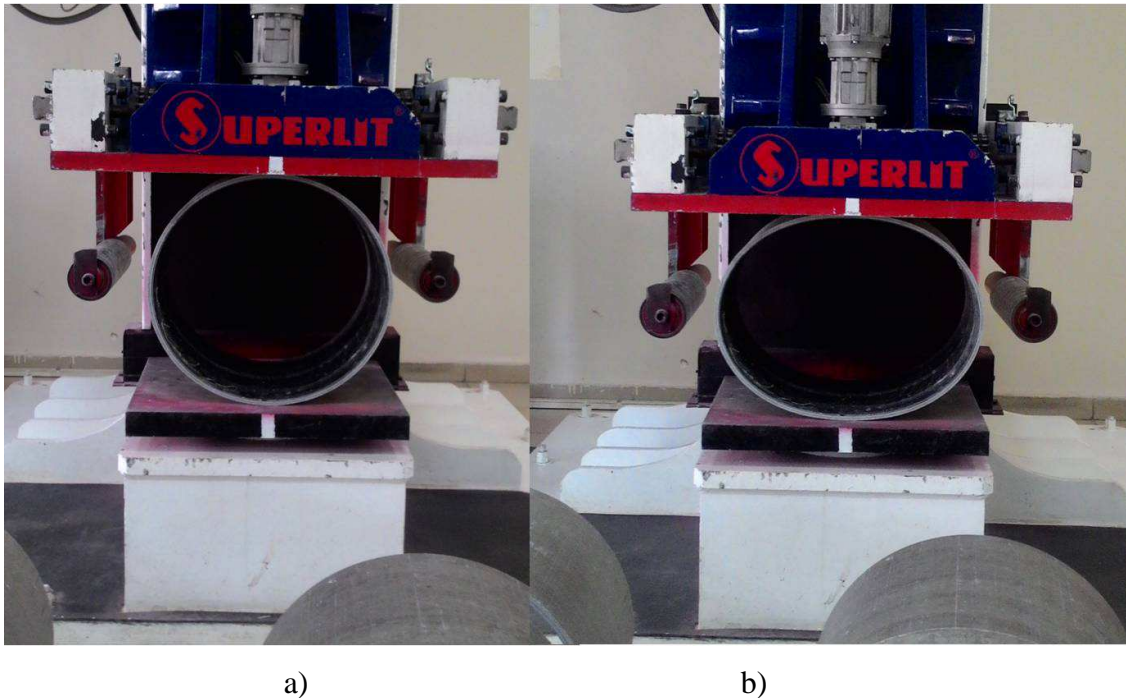
CTP Kompozit borularda Rijitlik, borunun dış yükler altında şekil değişimine karşı gösterdiği dirençtir. Rijitlik testleri ISO 7685 standardında belirtildiği gibi gerçekleştirilmiştir. Rijitlik testi için hazırlanan numunelerin herbiri üzerinden, dış çap, et kalınlığı ve genişlik ölçüleri alınarak hesaplama modülüne girilmiştir. Bu işleme ait bir görsel Şekil 3.15'te verilmiştir.



Şekil 3.15. Rijitlik test numunelerinin dijital kumpas ile ölçümü.

Daha sonra numune test tablalarının arasına yerleştirilmiş, kontrol paneline ortalama çap, defleksiyon yüzdesi ve yükleme hızı değerleri girilerek, yükleme ve yer değiştirme değerleri sıfırlandıktan sonra test başlatılmıştır. Numuneler ortalama 11 mm/dk yükleme hızı ile teste tabi tutulmuştur. Gerçekleştirilen tüm deneyler SUPERLİT Boru San. A.Ş.'ye ait akredite edilmiş laboratuvarlarda ve güncel kalibrasyona sahip cihazlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

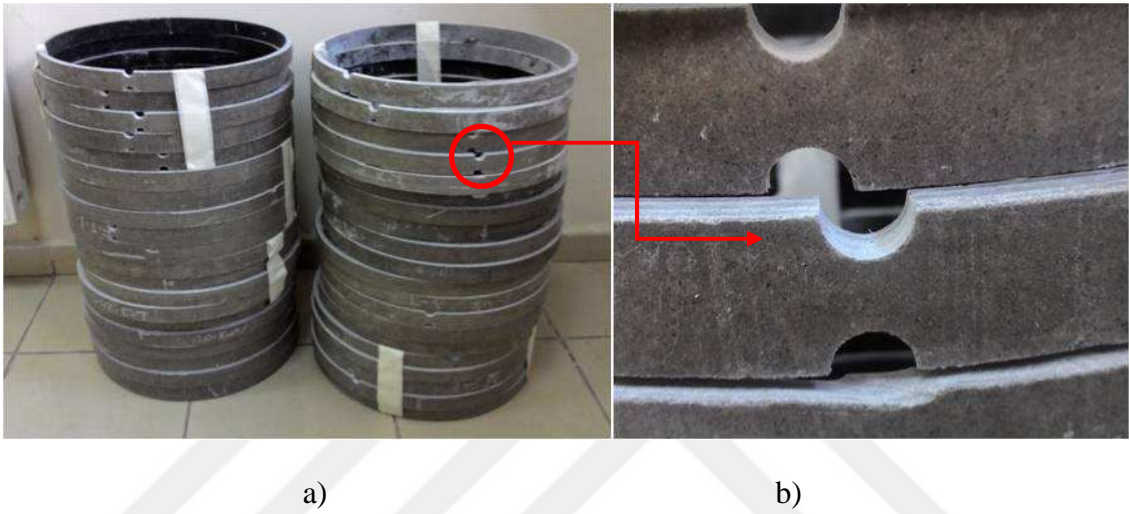
Deney esnasında numune %3 defleksiyona ulaştığında cihaz otomatik olarak durduktan sonra 2 dk beklenecek şekilde panelden kuvvet okuması yapılmış ve kaydedilmiştir. Bu şekilde 4 adet referans boru, 4 adet %10 UK içeren boru ve 4 adet %20 UK içeren boru numuneleri üzerinde rijitlik testleri tamamlanmıştır. Ayrıca standartta belirtildiği gibi defleksiyonlar Seviye A ve Seviye B noktalarına kadar arttırılmış, böylece boruda görsel kusur veya yapısal çatlak oluşma durumu incelenmiştir. Şekil 3.16'da rijitlik test cihazında defleksiyon verilmeden önce ve sonraki durumlar gösterilmiştir. Çalışmada hedef rijitlik sınıfı olan SN 5000 için rijitlik test standardının belirlediği Seviye A %11.3, Seviye B %18.9 defleksiyona karşılık gelmektedir. Seviye A'da beklenen durum yüzeyde herhangi bir görsel kusur oluşmaması, Seviye B de beklenen durum ise test numunesinde herhangi bir yapısal çatlak oluşmamasıdır.



Şekil 3.16. Rijitlik test cihazında defleksiyon a) Verilmeden önce b) Sonraki durum.

### 3.2.3.2.2. Çember Çekme Deneyi

CTP kompozit borularda çember çekme deneyi ile borunun iç basınca karşı dayanımı ölçülmektedir. Referans boru, %10 UK karışımlı boru ve %20 UK karışımlı borudan minimum 10 mm, maksimum 30 mm kalınlığında halkalar kesilerek ISO8521 standardında belirtildiği gibi testler gerçekleştirilmiştir. Her borudan Çizelge 3.5’de tarif edilen şekilde hazırlanan 20 adet çember çekme numunesi üzerinde çember çekme testi gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan test numuneleri Şekil 3.17’de görülmektedir.



Şekil 3.17. Çember çekme testi a) Test numuneleri b) Çentiklerin yakın çekim detay görüntüsü.

Hazırlanan çember çekme numuneleri kumpas yardımıyla boyut hassasiyeti açısından Şekil 3.18’de görüldüğü gibi kontrol edildikten sonra test çemberine yerleştirilmiştir.



Şekil 3.18. Numunelerin test cihazına yerleştirilmeden önce ölçümlerinin yapılması.

Hazırlanan numuneler Şekil 3.19’da görülen çember çekme testi deney düzeneğinde yer alan test çemberine dikkatli bir şekilde yerleştirilerek cihazın dijital gösterge ekranından numune boyutları girilerek yükleme hızı ayarı yapılmıştır. Çember çekme testi tamamlanmış bazı numuneler Şekil 3.20’de verilmiştir.



Şekil 3.19. Numunenin test çemberine yerleştirilmesi.



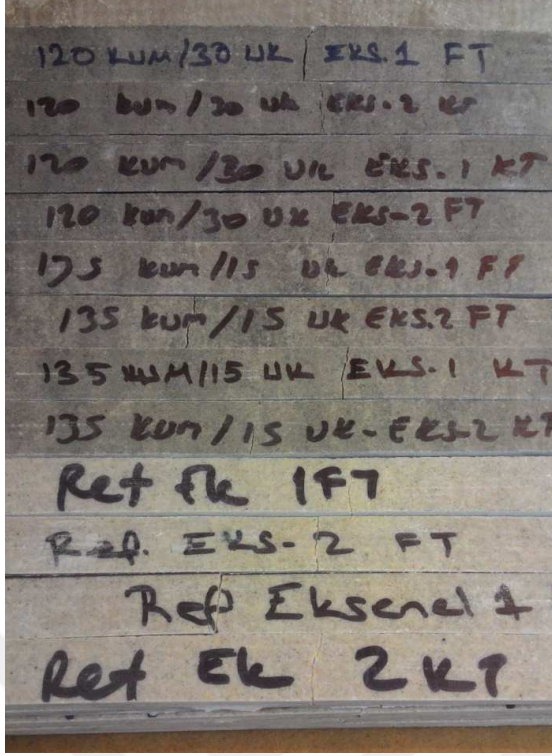
a)

b)

Şekil 3.20. Test sonrası çember numunesinin a) Hasar almış görüntüsü b) Yakın çekim detay görüntüsü.

### 3.2.3.2.3. 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 ISO 8513 standardına göre deneyin uygulanışı Şekil 3.21’de görülmektedir. Test sonrası numunenin kopma biçimine ait bir görsel ise Şekil 3.22’de verilmiştir.

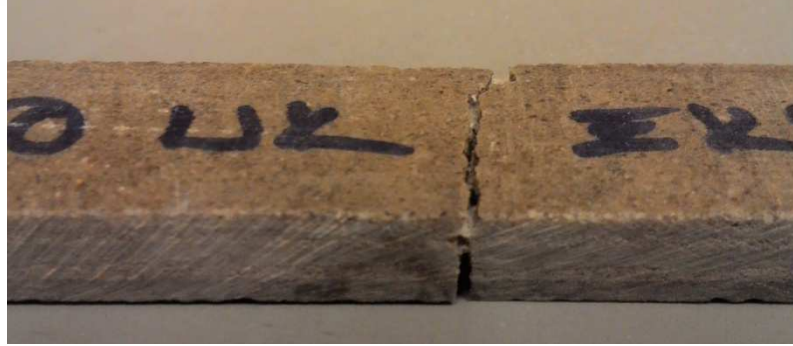


a)



b)

Şekil 3.21. Eksenel çekme testi a) Kodlanmış numuneler b) Testin uygulanışı.



Şekil 3.22. Eksenel çekme testi uygulanmış numune örneği.

## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 4.1. RİJİTLİK TESTİ BULGULARI

Referans numuneler ile %10 ve %20 UK ikameli dolgu malzemesiyle üretilen numunelerden elde edilen rijitlik testi sonuçları Çizelge 4.1’de verilmiştir. Çizelgede üretilen boruların Seviye A %11.3 defleksiyonda görsel kusur oluşmaması ve Seviye B %18.9 defleksiyonda yapısal çatlak oluşmaması koşullarına uygunluğu da verilmiştir.

Çizelge 4.1. Rijitlik testi özet tablosu.

| Numune Kodları | Genişlik (mm) | Kalınlık (mm) | Dış Çap (mm) | Rijitlik (N/m <sup>2</sup> ) | Ortalama Rijitlik (N/m <sup>2</sup> ) | Seviye A* | Seviye B** |     |
|----------------|---------------|---------------|--------------|------------------------------|---------------------------------------|-----------|------------|-----|
| Referans       | FT1           | 298           | 8.74         | 375.5                        | 5465                                  | 5753.25   | Yok        | Yok |
|                | FT2           | 292           | 8.58         | 375.5                        | 5352                                  |           | Yok        | Yok |
|                | KT1           | 305           | 8.86         | 375.5                        | 6195                                  |           | Yok        | Yok |
|                | KT2           | 296           | 8.78         | 375.5                        | 6001                                  |           | Yok        | Yok |
| %10 UK         | FT1           | 295           | 9.11         | 375.5                        | 7752                                  | 6762      | Yok        | Yok |
|                | FT2           | 298           | 9.17         | 375.5                        | 6227                                  |           | Yok        | Yok |
|                | KT1           | 300           | 9.29         | 375.5                        | 6487                                  |           | Yok        | Yok |
|                | KT2           | 294           | 9.19         | 375.5                        | 6582                                  |           | Yok        | Yok |
| %20 UK         | FT1           | 297           | 8.76         | 375.5                        | 4625                                  | 6059.75   | Yok        | Yok |
|                | FT2           | 297           | 8.67         | 375.5                        | 5186                                  |           | Yok        | Yok |
|                | KT1           | 300           | 9.22         | 375.5                        | 7701                                  |           | Yok        | Yok |
|                | KT2           | 295           | 9.2          | 375.5                        | 6727                                  |           | Yok        | Yok |

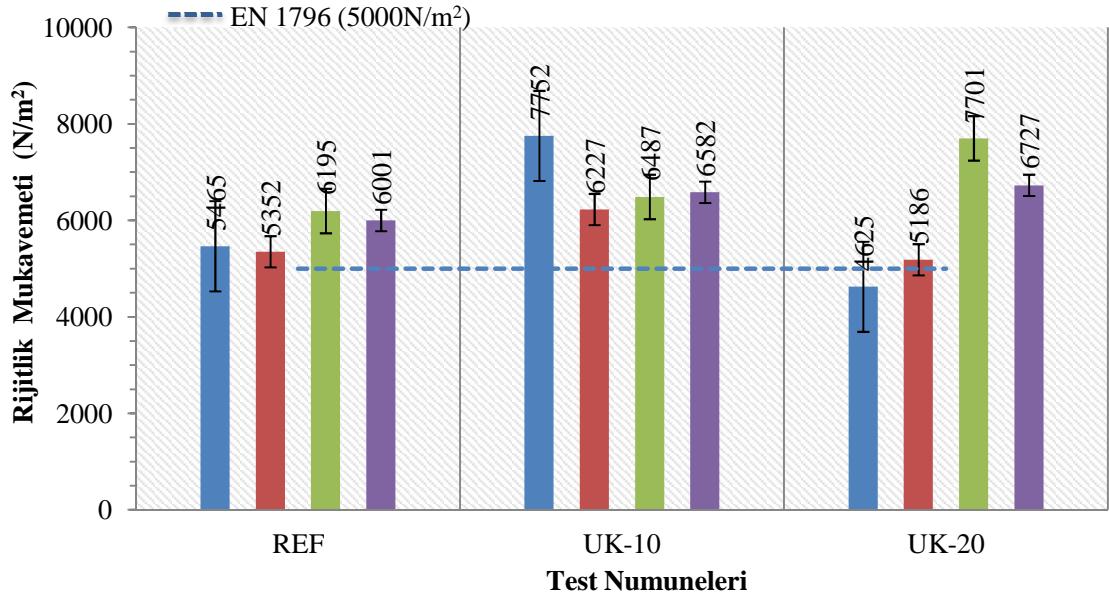
\* %11.3 defleksiyonda görsel kusur yok

\*\* %18.9 defleksiyonda yapısal çatlak yok

Çizelge 4.1’de görüldüğü gibi en yüksek rijitlik değerleri referans boru için 6195 N/m<sup>2</sup>, %10 UK karışımı CTP boru için 7752 N/m<sup>2</sup> ve %20 UK karışımı CTP boru için ise 7701 N/m<sup>2</sup> olarak bulunmuştur. En düşük rijitlik değerleri referans boru için 5352 N/m<sup>2</sup>, %10 UK karışımı CTP boru için 6227 N/m<sup>2</sup> ve %10 UK karışımı CTP boru için ise 4625 N/m<sup>2</sup> olarak bulunmuştur.

Değerlerin ortalamaları dikkate alındığında referans numuneye %10 oranında UK ikame edilmesi rijitlik değerini %17.53 oranında arttırmaktadır. UK ikame miktarı %20’ye çıkarıldığında ise rijitlik değerinin referansa göre %5.33 artış gösterdiği ancak %10 UK kullanılan boru örneğine göre bir miktar düşüş olduğu görülmektedir. Genel olarak sonuçlar değerlendirildiğinde UK kullanımının rijitlik değerini arttırdığı söylenebilir.

Ayrıca tüm boru örneklerinde %11.3 defleksiyonda görsel kusur oluşmadığı ve %18.9 defleksiyonda ise herhangi bir yapısal çatlak meydana gelmediği görülmüştür. Rijitlik test sonuçları üretilen boru örneklerinin standartlara uygunluğu bakımından değerlendirilecek olursa; UK ikamesi ile üretilen CTP borularının EN 1796 standardına göre rijitlik alt limiti olan  $5000 \text{ N/m}^2$  değerinin üzerinde bir sonuç verdiği Şekil 4.1’de görülmektedir. Elde edilen bu bulgular rijitlik değerleri açısından yorumlanırsa boru üretiminde UK kullanımının mümkün olduğu sonucuna varılabilir.



Şekil 4.1. Rijitlik test sonuçlarının standart limit değere uygunluğu.

Rijitlik özelliğinin bir fonksiyonu olan ve deneylerde belirlenen rijitlik modülü değerleri kullanılarak hesapla bulunan elastisite modülü sonuçları da Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. CTP boruların elastisite modülü sonuçları.

| Kod      | Numune | Elastisite Modülü (Gpa) | Ortalama |
|----------|--------|-------------------------|----------|
| Referans | FT1    | 4.85                    | 5.01     |
|          | FT2    | 5.02                    |          |
|          | KT1    | 5.27                    |          |
|          | KT2    | 5.25                    |          |
| %10 UK   | FT1    | 6.05                    | 5.15     |
|          | FT2    | 4.76                    |          |
|          | KT1    | 4.77                    |          |
|          | KT2    | 5.00                    |          |
| %20 UK   | FT1    | 4.07                    | 4.92     |
|          | FT2    | 4.71                    |          |
|          | KT1    | 5.79                    |          |
|          | KT2    | 5.10                    |          |

#### 4.2. ÇEMBER ÇEKME TESTİ BULGULARI

Hem referans hemde UK ikameli dolgu ile üretilen CTP borular üzerinde herbir boru için feeder tarafından 2 ve kalıp tarafından da 2 olmak üzere 4 bölgeden alınan toplamda 20 adet çekme numunesi üzerinde 5 tekrarlı olarak gerçekleştirilen çekme testi sonuçları Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.3. Referans CTP boru için çember çekme sonuçları.

| Numune                         | Kalınlık | Genişlik | Kuvvet (F) | Çekme Dayanımı | Numune Ort.   |        |
|--------------------------------|----------|----------|------------|----------------|---------------|--------|
|                                |          |          |            |                |               | mm     |
| FT1                            | 1        | 8.65     | 12.03      | 29520          | 1226.9        | 1131.0 |
|                                | 2        | 8.73     | 11.42      | 26173          | 1145.6        |        |
|                                | 3        | 8.63     | 12.79      | 27302          | 1067.3        |        |
|                                | 4        | 8.57     | 11.86      | 25384          | 1070.2        |        |
|                                | 5        | 8.59     | 11.73      | 26863          | 1145.1        |        |
| FT2                            | 1        | 8.74     | 12.78      | 27528          | 1076.7        | 1108.8 |
|                                | 2        | 8.81     | 13.34      | 32042          | 1201.0        |        |
|                                | 3        | 8.68     | 12.16      | 27979          | 1150.5        |        |
|                                | 4        | 8.91     | 13.55      | 27354          | 1009.6        |        |
|                                | 5        | 8.81     | 12.63      | 27941          | 1106.1        |        |
| KT1                            | 1        | 8.79     | 12.92      | 24123          | 933.3         | 1078.7 |
|                                | 2        | 8.77     | 13.52      | 25509          | 943.4         |        |
|                                | 3        | 8.77     | 11.96      | 31739          | 1326.9        |        |
|                                | 4        | 8.81     | 12.37      | 29285          | 1183.7        |        |
|                                | 5        | 8.98     | 12.73      | 25624          | 1006.2        |        |
| KT2                            | 1        | 8.71     | 13.86      | 28756          | 1037.4        | 1095.0 |
|                                | 2        | 8.81     | 10.67      | 26892          | 1260.6        |        |
|                                | 3        | 8.72     | 12.27      | 30311          | 1235.5        |        |
|                                | 4        | 8.75     | 10.44      | 20189          | 966.9         |        |
|                                | 5        | 8.73     | 10.48      | 20422          | 974.6         |        |
| Referans Genel Ortalama (N/mm) |          |          |            |                | <b>1103.4</b> |        |

Referans numune için en düşük çember çekme mukavemeti 933.3 N/mm ve en yüksek çember çekme mukavemeti ise 1326.9 N/mm olarak bulunmuştur. Tüm çember çekme deneyi sonuçlarına ait genel ortalama ise 1103.4 N/mm olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.4'te %10 UK ikameli boru örneğinin çember çekme test sonuçları verilmiştir. %10 UK atığı ikameli boruda en düşük 763.1 N/mm en yüksek ise 1400 N/mm çember çekme mukavemeti elde edilmiştir. Tüm deneylerin genel ortalaması ise 1072.2 N/mm olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.4. %10 UK içeren CTP boru için çember çekme sonuçları.

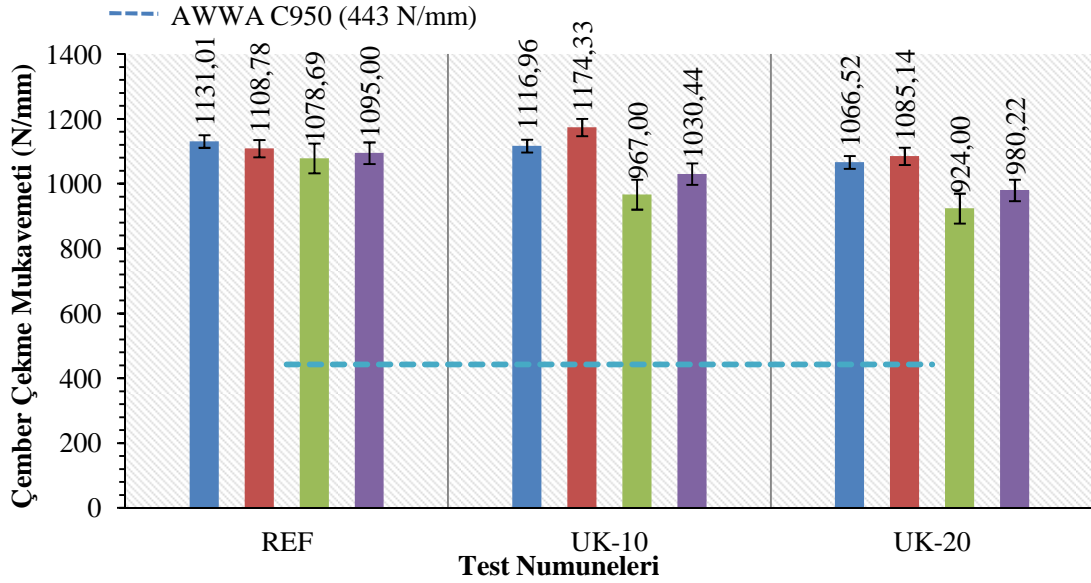
|                                | Numune | Kalınlık | Genişlik | Kuvvet (F) | Çekme Dayanımı | Numune Ort.   |        |
|--------------------------------|--------|----------|----------|------------|----------------|---------------|--------|
|                                |        | mm       | mm       | N          | N/mm           | N/mm          |        |
| %10 UK İkameli Numune          | FT1    | 1        | 8.89     | 11.31      | 23172          | 1024.4        | 1117.0 |
|                                |        | 2        | 9.02     | 12.32      | 29702          | 1205.4        |        |
|                                |        | 3        | 8.94     | 11.38      | 24912          | 1094.6        |        |
|                                |        | 4        | 8.90     | 11.74      | 24943          | 1062.3        |        |
|                                |        | 5        | 8.94     | 12.27      | 29393          | 1198.1        |        |
|                                | FT2    | 1        | 9.01     | 13.58      | 28326          | 1043.2        | 1174.3 |
|                                |        | 2        | 8.91     | 11.42      | 25103          | 1098.8        |        |
|                                |        | 3        | 9.13     | 11.47      | 32115          | 1400.0        |        |
|                                |        | 4        | 8.95     | 12.01      | 27190          | 1131.7        |        |
|                                |        | 5        | 9.02     | 14.43      | 22023          | 763.1         |        |
|                                | KT1    | 1        | 9.13     | 12.80      | 29119          | 1137.46       | 967.0  |
|                                |        | 2        | 9.37     | 12.28      | 24852          | 1011.61       |        |
|                                |        | 3        | 9.09     | 10.04      | 21760          | 1083.31       |        |
|                                |        | 4        | 9.33     | 12.94      | 20044          | 774.50        |        |
|                                |        | 5        | 9.14     | 11.90      | 19704          | 828.13        |        |
|                                | KT2    | 1        | 9.08     | 12.93      | 29556          | 1142.92       | 1030.4 |
|                                |        | 2        | 9.13     | 11.45      | 21540          | 940.34        |        |
|                                |        | 3        | 9.15     | 12.09      | 23518          | 972.89        |        |
|                                |        | 4        | 9.09     | 11.37      | 21183          | 931.80        |        |
|                                |        | 5        | 9.05     | 11.21      | 26095          | 1164.26       |        |
| Referans Genel Ortalama (N/mm) |        |          |          |            |                | <b>1072.2</b> |        |

Çizelge 4.5'te ise %20 UK içeren boru numunelerinde elde edilen çember çekme sonuçlarını göstermektedir. Bulgulara göre en düşük çember çekme mukavemeti 632.9 N/mm ve en yüksek çember çekme mukavemeti ise 1168.1 N/mm değerini almıştır. Tüm test gruplarının genel ortalaması ise 1014 N/mm'dir .

Çizelge 4.5. %20 UK içeren CTP boru için çember çekme sonuçları.

|                                | Numune | Kalınlık | Genişlik | Kuvvet (F) | Çekme Dayanımı | Numune Ort.   |        |
|--------------------------------|--------|----------|----------|------------|----------------|---------------|--------|
|                                |        | mm       | mm       | N          | N/mm           | N/mm          |        |
| %20 UK ikameli Numune          | FT1    | 1        | 8.63     | 11.64      | 22048          | 947.08        | 1066.5 |
|                                |        | 2        | 8.80     | 12.90      | 27887          | 1080.89       |        |
|                                |        | 3        | 8.80     | 11.91      | 25629          | 1075.64       |        |
|                                |        | 4        | 8.63     | 10.16      | 21669          | 1066.74       |        |
|                                |        | 5        | 8.61     | 12.74      | 29606          | 1162.24       |        |
|                                | FT2    | 1        | 8.82     | 11.08      | 25726          | 1160.92       | 1085.1 |
|                                |        | 2        | 8.67     | 12.57      | 29358          | 1168.09       |        |
|                                |        | 3        | 8.74     | 12.63      | 26329          | 1042.04       |        |
|                                |        | 4        | 8.57     | 13.63      | 27635          | 1014.00       |        |
|                                |        | 5        | 8.62     | 13.15      | 27369          | 1040.65       |        |
|                                | KT1    | 1        | 9.30     | 13.45      | 17021          | 632.91        | 924.0  |
|                                |        | 2        | 9.25     | 12.82      | 24661          | 961.57        |        |
|                                |        | 3        | 9.22     | 12.02      | 24984          | 1039.56       |        |
|                                |        | 4        | 9.27     | 12.27      | 20534          | 836.53        |        |
|                                |        | 5        | 9.21     | 12.52      | 28774          | 1149.43       |        |
|                                | KT2    | 1        | 9.20     | 11.73      | 24156          | 1029.38       | 980.2  |
|                                |        | 2        | 9.20     | 12.02      | 25002          | 1040.02       |        |
|                                |        | 3        | 9.24     | 12.20      | 19902          | 815.43        |        |
|                                |        | 4        | 9.13     | 13.31      | 26026          | 977.93        |        |
|                                |        | 5        | 9.19     | 12.48      | 25910          | 1038.34       |        |
| Referans Genel Ortalama (N/mm) |        |          |          |            |                | <b>1014.0</b> |        |

Şekil 4.2'ye göre çember çekme testine ait ortalama değerlerdeki değişim incelendiğinde %10 UK kullanıldığında çember çekme dayanımında %3 düşüş olduğu ve UK oranı %20'ye çıkarıldığında da benzer şekilde bir miktar düşüş olduğu görülmektedir (referansa göre %8 düşüş). Ayrıca, çember çekme test sonuçları, üretilen boru örneklerinin standartlara uygunluğu bakımından değerlendirilecek olursa; UK ikamesi ile üretilen tüm CTP borularının AWWA C950 standartına göre çember çekme alt limiti olan 443 N/mm değerinin üzerinde bir sonuç verdiği Şekil 4.12'de görülmektedir.



Şekil 4.2. Çember çekme test sonuçlarının standart limit değere uygunluğu.

#### 4.3. BOYUNA (EKSENEL) ÇEKME TESTİ BULGULARI

CTP kompozit borularda aksenal çekme deneyi ile boru eksenli boyunca dayanımı ölçülmektedir. Her borudan alınan 20'şer adet numune üzerinde boyuna çekme testi gerçekleştirilmiştir.

Referans numunelere yapılan boyuna çekme dayanım testlerine ait sonuçlar Çizelge 4.6'da verilmiştir. Referans numuneye ait boyuna çekme testinde en düşük sonuç 132.1 N/mm, en yüksek sonuç 186.9 N/mm ve tüm test gruplarının genel ortalaması ise 151.3 N/mm olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.6. Referans CTP boru için boyuna çekme test sonuçları.

|                                | Numune | Kalınlık | Genişlik | Kuvvet (F) | Çekme Dayanımı | Numune Ort. |       |
|--------------------------------|--------|----------|----------|------------|----------------|-------------|-------|
|                                |        | mm       | mm       | N          | N/mm           | N/mm        |       |
| Referans                       | FT1    | 1        | 8.62     | 23.90      | 3506           | 146.67      | 146.0 |
|                                |        | 2        | 8.62     | 23.83      | 3218           | 135.02      |       |
|                                |        | 3        | 8.62     | 22.91      | 3448           | 150.50      |       |
|                                |        | 4        | 8.68     | 23.87      | 3799           | 159.18      |       |
|                                |        | 5        | 8.70     | 24.24      | 3366           | 138.86      |       |
|                                | FT2    | 1        | 8.45     | 24.15      | 3190           | 132.07      | 146.2 |
|                                |        | 2        | 8.61     | 25.04      | 3844           | 153.51      |       |
|                                |        | 3        | 8.56     | 23.79      | 3281           | 137.92      |       |
|                                |        | 4        | 8.53     | 23.51      | 3832           | 162.97      |       |
|                                |        | 5        | 8.53     | 23.04      | 3330           | 144.53      |       |
|                                | KT1    | 1        | 8.68     | 24.01      | 4250           | 177.03      | 166.5 |
|                                |        | 2        | 8.70     | 24.05      | 4494           | 186.89      |       |
|                                |        | 3        | 8.66     | 22.96      | 3776           | 164.46      |       |
|                                |        | 4        | 8.71     | 23.05      | 3804           | 165.01      |       |
|                                |        | 5        | 8.71     | 24.96      | 3467           | 138.88      |       |
|                                | KT2    | 1        | 8.69     | 24.33      | 3767           | 154.85      | 146.4 |
|                                |        | 2        | 8.73     | 23.62      | 3298           | 139.65      |       |
|                                |        | 3        | 8.75     | 24.04      | 3305           | 137.50      |       |
|                                |        | 4        | 8.66     | 25.03      | 3649           | 145.77      |       |
|                                |        | 5        | 8.76     | 24.45      | 3773           | 154.31      |       |
| Referans Genel Ortalama (N/mm) |        |          |          |            |                | 151.3       |       |

Çizelge 4.7’de %10 UK ikameli numunelere yapılan boyuna çekme testine ait sonuçlar verilmiştir. %10 UK ikameli boru örneğinde en düşük çekme mukavemeti 136.9 N/mm, en yüksek 195.2 N/mm ve tüm test gruplarının genel ortalaması ise 161.6 N/mm olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 4.7. %10 UK içeren CTP boru için boyuna çekme test sonuçları.

|                              | Numune | Kalınlık | Genişlik | Kuvvet (F) | Çekme Dayanımı | Numune Ort.  |       |
|------------------------------|--------|----------|----------|------------|----------------|--------------|-------|
|                              |        | mm       | mm       | N          | N/mm           | N/mm         |       |
| %10 UK ikameli Numune        | FT1    | 1        | 8.99     | 23.54      | 3511           | 149.15       | 145.7 |
|                              |        | 2        | 8.89     | 24.38      | 3756           | 154.06       |       |
|                              |        | 3        | 9.14     | 25.42      | 3479           | 136.86       |       |
|                              |        | 4        | 9.00     | 24.35      | 3554           | 145.93       |       |
|                              |        | 5        | 8.85     | 22.19      | 3167           | 142.70       |       |
|                              | FT2    | 1        | 8.89     | 24.82      | 3767           | 151.75       | 166.4 |
|                              |        | 2        | 8.89     | 23.78      | 4162           | 175.00       |       |
|                              |        | 3        | 8.84     | 22.61      | 3605           | 159.42       |       |
|                              |        | 4        | 8.87     | 23.57      | 4076           | 172.96       |       |
|                              |        | 5        | 8.86     | 23.28      | 4024           | 172.83       |       |
|                              | KT1    | 1        | 9.12     | 23.53      | 4592           | 195.18       | 169.0 |
|                              |        | 2        | 9.07     | 23.75      | 3859           | 162.46       |       |
|                              |        | 3        | 9.05     | 24.29      | 3703           | 152.45       |       |
|                              |        | 4        | 9.11     | 24.12      | 3944           | 163.52       |       |
|                              |        | 5        | 9.22     | 22.83      | 3912           | 171.38       |       |
|                              | KT2    | 1        | 9.07     | 24.28      | 3696           | 152.20       | 165.1 |
|                              |        | 2        | 9.23     | 23.53      | 4385           | 186.36       |       |
|                              |        | 3        | 9.23     | 23.50      | 3713           | 157.98       |       |
|                              |        | 4        | 9.06     | 22.66      | 3588           | 158.36       |       |
|                              |        | 5        | 9.04     | 24.55      | 4188           | 170.57       |       |
| %10 UK Genel Ortalama (N/mm) |        |          |          |            |                | <b>161.6</b> |       |

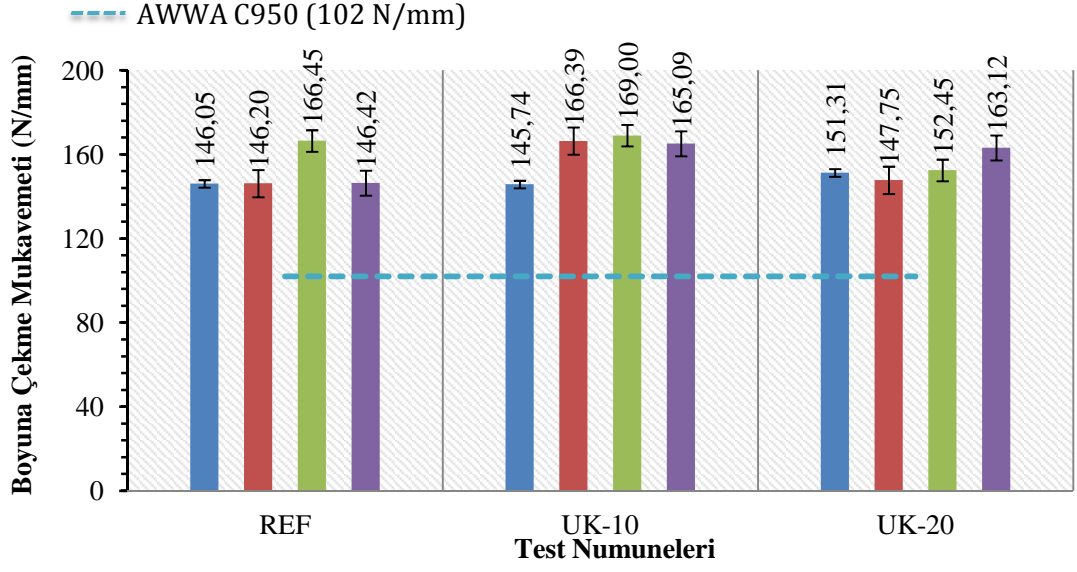
%20 UK ikameli numunelere yapılan boyuna çekme dayanımı testlerine ait sonuçlar Çizelge 4.8’de görülmektedir. %20 UK ikameli boruda en düşük çekme mukavemeti 126.2 N/mm, en yüksek 178.2 N/mm ve tüm test gruplarının genel ortalaması ise 153.7 N/mm olarak ölçülmüştür.

Çizelge 4.8. %20 UK içeren CTP boru için boyuna çekme test sonuçları.

|                              | Numune | Kalınlık | Genişlik | Kuvvet (F) | Çekme Dayanımı | Numune Ort.  |       |
|------------------------------|--------|----------|----------|------------|----------------|--------------|-------|
|                              |        | mm       | mm       | N          | N/mm           | N/mm         |       |
| %20 UK İkameli Numune        | FT1    | 1        | 8.65     | 23.08      | 3827           | 165.81       | 151.3 |
|                              |        | 2        | 8.63     | 24.29      | 3859           | 158.89       |       |
|                              |        | 3        | 8.72     | 24.17      | 3206           | 132.64       |       |
|                              |        | 4        | 8.71     | 23.89      | 3215           | 134.58       |       |
|                              |        | 5        | 8.69     | 24.02      | 3955           | 164.63       |       |
|                              | FT2    | 1        | 8.62     | 22.47      | 3294           | 146.60       | 147.8 |
|                              |        | 2        | 8.61     | 24.47      | 3699           | 151.14       |       |
|                              |        | 3        | 8.64     | 22.42      | 3680           | 164.11       |       |
|                              |        | 4        | 8.62     | 23.78      | 3344           | 140.64       |       |
|                              |        | 5        | 8.67     | 24.29      | 3310           | 136.27       |       |
|                              | KT1    | 1        | 9.18     | 24.10      | 3816           | 158.36       | 152.5 |
|                              |        | 2        | 9.08     | 22.69      | 3399           | 149.78       |       |
|                              |        | 3        | 9.15     | 24.94      | 3936           | 157.84       |       |
|                              |        | 4        | 9.17     | 22.34      | 2819           | 126.21       |       |
|                              |        | 5        | 9.13     | 23.53      | 4002           | 170.08       |       |
|                              | KT2    | 1        | 9.15     | 22.75      | 3570           | 156.92       | 163.1 |
|                              |        | 2        | 9.13     | 24.81      | 4420           | 178.18       |       |
|                              |        | 3        | 9.10     | 23.40      | 4070           | 173.93       |       |
|                              |        | 4        | 9.10     | 22.74      | 3404           | 149.67       |       |
|                              |        | 5        | 9.10     | 24.44      | 3834           | 156.90       |       |
| %20 UK Genel Ortalama (N/mm) |        |          |          |            |                | <b>153.7</b> |       |

Değerlerin ortalamaları dikkate alındığında referans numuneye %10 oranında UK ikame edilmesi boyuna çekme dayanım değerini %6.8 oranında arttırmaktadır. UK ikame miktarı %20'ye çıkarıldığında ise boyuna çekme dayanım değerinin referansa göre %1.47 artış gösterdiği görülmektedir. Genel olarak sonuçlar değerlendirildiğinde UK kullanımının boyuna çekme mukavemet değerini artırdığı ancak %10 UK kullanılan boru örneğine göre %20 UK kullanımının çekme mukavemet değerinde bir miktar düşüşe neden olduğu görülmektedir.

Ayrıca, boyuna çekme mukavemeti sonuçları, üretilen boru örneklerinin standartlara uygunluğu bakımından değerlendirilecek olursa; UK ikamesi ile üretilen tüm CTP boruların AWWA C950 standartına göre boyuna çekme mukavemeti alt limiti olan 102 N/mm değerinin üzerinde olduğu Şekil 4.3'te görülmektedir.



Şekil 4.3. Boyuna çekme test sonuçlarının standart limit değere uygunluğu.

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Kompozit malzemeler çok bileşenli yapısı nedeniyle bileşiğindeki hammaddelerin iyileştirilmesine ve daha iyi özellikler kazandırılmasına açık bir malzeme türüdür. Bu çalışmada, CTP boru üretiminde termik santral atığı olan uçucu külün kullanım potansiyeli araştırılmıştır. Elde edilen bugulara göre;

Boruların rijitlik parametreleri ve elastisite modülleri açısından tez değerlendirilirse;

- Hem %10 hemde %20 oranında silis kumuna ikame edilerek UK kullanımı, borularda %11.3 defleksiyonda görsel kusur ve %18.9 defleksiyonda ise yapısal çatlağa neden olmamıştır.
- Rijitlik sonuçları UK ikamesi ile üretilen CTP boruların ISO 7685 standardına göre yapılan rijitlik testine göre rijitlik alt limiti olan 5000 N/m<sup>2</sup> değerinin üzerinde sonuçlar verdiğini ve boru üretiminde UK kullanımının mümkün olduğunu göstermiştir. Ayrıca UK miktarı artışının elastisite modülünü arttırdığı ve buna paralel olarak rijitlik değerlerinin referansa göre %17.53'e varan oranlarda arttığı belirlenmiştir. Bunun nedeni olarak toz halinde bulunan UK malzemesinin silis kumu arasına yayılarak daha sıkı bir yapı oluşturması olarak yorumlanmıştır.

Boruların çember çekme dayanımı parametreleri açısından tez değerlendirilirse;

- UK miktarı artışının çember çekme dayanımı değerlerinde referansa göre %8'e varan bir düşüşe neden olduğu belirlenmiştir. Her ne kadar %8 oranında bir düşüş meydana gelse de, UK ikamesi ile üretilen tüm CTP boruların AWWA C 950 standardına göre çember çekme alt limiti olan 443 N/mm değerinin üzerinde sonuçlar verdiği ve boru üretiminde UK kullanımının mümkün olabileceği belirlenmiştir.

Boruların aksel çekme dayanımı parametreleri açısından tez değerlendirilirse;

- Borular üzerinde gerçekleştirilen aksel çekme dayanımı testlerinde de rijitlik değerlerinde olduğu gibi UK kullanımı ile dayanım artışının sağlandığı belirlenmiştir. Bu artış referans borudan elde edilen aksel çekme

dayanımından %6.8 daha fazla bir değere kadar ulaşmıştır. Üretilen tüm CTP boruların AWWA C 950 standardına göre boyuna çekme mukavemeti alt limiti olan 102 N/mm değerinin üzerinde olduğu belirlenmiştir.

**Tüm sonuçlar birlikte yorumlanacak olursa;**

TS EN 1796 ve AWWA C 950 standartlarında tanımlanan rijitlik, eksenel çekme ve çember çekme dayanımı alt limitlerini karşılayan CTP boruların üretiminde UK kullanımının mümkün olduğu görülmektedir. Bu bulgular ışığında, UK gibi endüstriyel atıkların faydalı geri dönüşüm mekanizmaları ile tüketilmesi açısından CTP boru sektörünün önemli bir alternatif olabileceği söylenebilir.

Bu çalışmada F tipi uçucu kül kullanılmış olup, C tipi uçucu küllerin de kullanılabilirliği araştırılabilir. Ayrıca uzun dönemde yeni yapının davranışının incelenmesi gereklidir. İleriki çalışmalarda uzun dönem testleri ile bünyeye katılan uçucu kül malzemesinin kompozit yapının yaşlanma davranışına etkisi araştırılmalıdır.

## 6. KAYNAKLAR

- [1] Composite Manufacturing Magazine. (2017, January-February). *State of the composites industry report for 2017*. [Online]. Available: <http://compositesmanufacturingmagazine.com/tag/january-february-2017-issue/>.
- [2] Kompozit Sanayicileri Derneği. (2016, Mart). *Türk kompozit sektörü 2015 yılı değerlendirmesi ve 2016 yılı beklentisi*. [Online]. Erişim: <http://www.kompozit.org.tr/wp-content/uploads/2017/03/Composites-Turkey-12.pdf>.
- [3] C. M. Report. (2013, July). *Composites Market Report 2013*. [Online]. Available: [http://www.pultruders.com/files/pultruders.com/Documents/market\\_report\\_2013.pdf](http://www.pultruders.com/files/pultruders.com/Documents/market_report_2013.pdf).
- [4] A. Demirbas, "Waste management, waste resource facilities and waste conversion processes," *Energy Conversion and Management*, c. 52, ss. 1280-1287, 2011.
- [5] Kompozit Sanayicileri Derneği. (2017, 1 Mayıs). *Dünya camelyağı pazarı hakkında*. [Online]. Erişim: <http://www.kompozit.org.tr/tr/yayinlar/>.
- [6] M. Ahmaruzzaman, "A review on the utilization of fly ash," *Progress in Energy and Combustion Science*, c. 36, ss. 327-363, 2010.
- [7] G. L. Fisher, B. A. Prentice, D. Silberman, J. M. Ondov, A. H. Biermann, and R. C. Ragaini, "Physical and morphological studies of size-classified coal fly ash," *Environmental Science & Technology*, c. 12, ss. 447-451, 1978.
- [8] J. L. Kolbe, L. S. Lee, C. T. Jafvert, and I. P. Murarka, "Use of alkaline coal ash for reclamation of a former strip mine," in *World of Coal Ash (WOCA) Conference, USA, 2011*, ss. 1-15.
- [9] S. V. Vassilev, R. Menendez, D. Alvarez, M. Diaz-Somoano, and M. R. Martinez-Tarazona, "Phase-mineral and chemical composition of coal fly ashes as a basis for their multicomponent utilization. 1. Characterization of feed coals and fly ashes\*," *Fuel*, c. 82, ss. 1793-1811, 2003.
- [10] S. V. Vassilev and C. G. Vassileva, "Methods for characterization of composition of fly ashes from coal-fired power stations: a critical overview," *Energy & Fuels*, c. 19, ss. 1084-1098, 2005.
- [11] H. Y. Aruntaş, "Uçucu küllerin inşaat sektöründe kullanım potansiyeli," *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 21, sayı 1, ss 193-203, 2006.
- [12] K. Yeole, P. Kadam, and S. Mhaske, "Synthesis and characterization of fly ash-zinc oxide nanocomposite," *Journal of Materials Research and Technology*, c. 3, ss. 186-190, 2014..
- [13] U. Bhattacharjee and T. C. Kandpal, "Potential of fly ash utilisation in India," *Energy*, c. 27, ss. 151-166, 2002.
- [14] C. F. Wang, J. S. Li, L. J. Wang, and X. Y. Sun, "Influence of NaOH concentrations on synthesis of pure-form zeolite A from fly ash using two-stage method," *Journal of Hazardous Materials*, c. 155, ss. 58-64, 2008.
- [15] G. Görhan, E. Kahraman, M. Baspınar, ve I. Demir, "Uçucu kül bölüm I: oluşumu, sınıflandırılması ve kullanımı," *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, c. 2, ss. 85-94, 2008.

- [16] G. Kaplan ve A. B. Gültekin, "Yapı sektöründe uçucu kül kullanımının çevresel ve toplumsal etkiler açısından incelenmesi," *Uluslararası Sürdürülebilir Yapılar Sempozyumu*, Ankara, 2010, ss.59-64.
- [17] M. Basu, M. Pande, P. Bhadoria, and S. Mahapatra, "Potential fly-ash utilization in agriculture: a global review," *Progress in Natural Science*, c. 19, ss. 1173-1186, 2009.
- [18] Z. Yao, X. Ji, P. Sarker, J. Tang, L. Ge, and M. Xia, "A comprehensive review on the applications of coal fly ash," *Earth-Science Reviews*, c. 141, ss. 105-121, 2015.
- [19] A. N. Yıldırım, "Pomza ve uçucu kül kullanılarak imal edilen hafif betonların agresif su ortamlarında mekanik özelliklerinin araştırılması," Yüksek lisans tezi, İnşaat Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye, 2007.
- [20] A. González, R. Navia, and N. Moreno, "Fly ashes from coal and petroleum coke combustion: current and innovative potential applications," *Waste Management & Research*, c. 27, ss. 976-987, 2009.
- [21] B. Uzbaş ve A. C. Aydın, "Uçucu kül ve silis duman katkılı betonların mekanik özelliklerinin XRD ile incelenmesi," *Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, c. 3, ss.1-22, 2018.
- [22] P. Sarker and L. McKenzie, "Strength and hydration heat of concrete using fly ash as a partial replacement of cement," in *Proceedings of the 24th Biennial Conference of the Concrete Institute Australia*, Sydney, Australia, 2009.
- [23] Y. M. Zhang, W. Sun, and H. D. Yan, "Hydration of high-volume fly ash cement pastes," *Cement and Concrete Composites*, c. 22, ss. 445-452, 2000.
- [24] P. Nath and P. Sarker, "Effect of fly ash on the durability properties of high strength concrete," *Procedia Engineering*, c. 14, ss. 1149-1149, 2011.
- [25] V. Saraswathy, S. Muralidharan, K. Thangavel, and S. Srinivasan, "Influence of activated fly ash on corrosion-resistance and strength of concrete," *Cement and Concrete Composites*, c. 25, ss. 673-680, 2003.
- [26] M. Sahmaran and I. O. Yaman, "Hybrid fiber reinforced self-compacting concrete with a high-volume coarse fly ash," *Construction and Building Materials*, c. 21, ss. 150-156, 2007.
- [27] H. Yazıcı, H. Yiğiter, S. Aydın, and B. Baradan, "Autoclaved SIFCON with high volume Class C fly ash binder phase," *Cement and Concrete Research*, c. 36, ss. 481-486, 2006.
- [28] M. Montemor, A. Simoes, and M. Salta, "Effect of fly ash on concrete reinforcement corrosion studied by EIS," *Cement and Concrete Composites*, c. 22, ss. 175-185, 2000.
- [29] M. H. Çelik, H. Y. Aruntaş ve Y. Baran, "Seyitömer ve Çayırhan uçucu küllerinin portland çimentosu - uçucu kül (PÇ - UK) hamurunun priz başlama ve sonu sürelerine etkisi," *Politeknik Dergisi*, c. 6, ss. 397-409, 2003.
- [30] M. M. Maroto-Valer, D. N. Taulbee, and J. Hower, "Characterization of differing forms of unburned carbon present in fly ash separated by density gradient centrifugation," *Fuel*, c. 80, ss. 795-800, 2001.
- [31] İ. B. Topçu ve M. Canbaz, "Uçucu kül kullanımının betondaki etkileri," *Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 14, ss. 12-23, 2001.
- [32] N. A. Alkadasi, D. Hundiwale, and U. Kapadi, "Effect of titanate coupling agent on the mechanical properties of flyash filled chloroprene rubber," *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, c. 45, ss. 415-420, 2006.

- [33] N. Chand and D. Jain, "Effect of temperature on electrical behavior of fly ash-filled epoxy gradient composites," *Journal of Applied Polymer Science*, c. 100, ss. 1269-1276, 2006.
- [34] J. Y. Shimal, E. Güneyisi, M. Gesoğlu, K. Mermerdaş, and S. İpek, "Resistance of natural rubber latex modified lightweight concrete to chloride," in *7th Asian Symposium on Polymers in Concrete*, İstanbul, Türkiye, 2012, ss. 473-480.
- [35] S. Mishra, S. Kumar, A. Park, J. Rho, J. Losby, and B. Hoffmeister, "Ultrasonic characterization of the curing process of PCC fly ash-cement composites," *Materials Characterization*, c. 50, ss. 317-323, 2003.
- [36] S. H. Lee, H. J. Kim, E. Sakai, and M. Daimon, "Effect of particle size distribution of fly ash-cement system on the fluidity of cement pastes," *Cement and Concrete Research*, c. 33, ss. 763-768, 2003.
- [37] Y. Şahin, *Kompozit Malzemelere Giriş*, Ankara, Türkiye: Gazi Yayınevi, 2000, böl.1, ss. 23-24.
- [38] M. Valentine, *M45-Fiberglass Pipe Design*, 3. baskı, Denver, ABD: American Water Works Association, 2014, böl. 1, ss. 1-2.
- [39] S. Katalog. (2018). *Superlit boru: CTP boru, manşon ve ek parça katalog*. [Online] Erişim: <http://www.superlit.com/en/products-and-services/grp-pipe/#fields-of-use-and-benefits>.
- [40] S. B. S. A.Ş., "Hizmet içi döküman CTP boru hakkında bilinmesi gerekenler," yayınlanmamış rapor.
- [41] *Plastics piping system - glass-reinforced thermosetting plastics (GRP) pipes - determination of initial specific ring stiffness*, ISO 7685, 1998.
- [42] *Plastik boru sistemleri - cam elyaf takviyeli termoset plastik (GRP) borular - başlangıç görünür çember çekme mukavemetinin tayini*, TS EN 1394, 1999.
- [43] *Plastics piping systems - glass-reinforced thermosetting plastics (GRP) pipes - test methods for the determination of the initial longitudinal tensile strength*, ISO 8513, 2016.

# ÖZGEÇMİŞ

## KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Hakan MİS  
Doğum Tarihi ve Yeri : 29/11/1981 / İstanbul  
Yabancı Dili : İngilizce  
E-posta : hakanmis@gmail.com

## ÖĞRENİM DURUMU

| Derece   | Alan                | Okul/Üniversite                 | Mezuniyet Yılı |
|----------|---------------------|---------------------------------|----------------|
| Y.Lisans | İnşaat Mühendisliği | Düzce Üniversitesi              | 2019           |
| Lisans   | İnşaat Mühendisliği | İstanbul Teknik Üniversitesi    | 2005           |
| Lise     | Fen Bilimleri       | Beşiktaş Atatürk Anadolu Lisesi | 1999           |

## YAYINLAR

- 1- MWWD Conferences, “World ‘s Largest Diameter GRP Pipe Installed Subsea”, Large Diameter Marine Pipeline Projects Volume 2, 2014
- 2- 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