

T.C.
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK YOĞUNLUKLU POLİETİLEN (HDPE)
SİRAL SARIMLI BORULARDA ELASTİKLİK
MODÜLÜ İLE PROFİL HATVESİ ARASINDAKİ
İLİŞKİNİN İNCELENMESİ**

Tamer BİRTANE

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI
MAKİNE PROGRAMI

DANIŞMAN
Yrd. Doç. Dr. Oğuz GİRİT

İSTANBUL 2010

T.C.
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK YOĞUNLUKLU POLİETİLEN (HDPE)
SİRAL SARIMLI BORULARDA ELASTİKLİK
MODÜLÜ İLE PROFİL HATVESİ ARASINDAKİ
İLİŞKİNİN İNCELENMESİ**

Tamer BİRTANE
(522408007)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI
MAKİNE PROGRAMI

DANIŞMAN
Yrd. Doç. Dr. Oğuz GİRİT

İSTANBUL 2010

T.C.
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KABUL ve ONAY BELGESİ

Tamer BİRTANE'nin Yüksek Yoğunluklu Polietilen (HDPE) Spiral Sarımlı Borularda Elastiklik Modülü ile Profil Hatvesi Arasındaki İlişkinin İncelenmesi başlıklı Lisansüstü tez çalışması, M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 20.07.2010 tarih ve 2010/14-16 sayılı kararı ile oluşturulan jüri tarafından Makine Eğitimi Anabilim Dalı YÜKSEK LİSANS Tezi olarak Kabul edilmiştir.

Danışman : Yrd. Doç. Dr.Oğuz GİRİT (M.Ü.T.E.F. Makine Eğt.)

1. Üye : Prof Dr. Mustafa KURT (M.Ü.T.E.F. Makine Eğt.)

2. Üye : Yrd. Doç. Dr. Halil DEMİRER (M.Ü.T.E.F. Metal Eğt.)

Tezin Savunulduğu Tarih : 30.07.2010

ONAY

M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve sayılı kararı ile Tamer BİRTANE'nin Makine Eğitimi Anabilim Dalı Y.Lisans (MSc.) derecesi alması onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü
Prof. Dr. Meral ÜNAL

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın tamamlanması için beni motive unsurlardan en önemlisi, sonuçlarının bir katma değer oluşturacağını ve gelecek çalışmalar için bir basamak olacağını bilmem olmuştur.

Değerli fikirleri ile bana destek olan, moral veren tutum sergilemesinden dolayı tez danışmanın Sayın Yrd. Doç. Dr Oğuz Girit'e ve zamanı olmadığı halde bana zaman ayırabilen, emeğini esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Mustafa Kurt'a teşekkür ediyorum.

Ayrıca problemlere bakış açısı ile çalışmama farklı boyut kazandıran ve desteğini eksik etmeyen Sayın Prof. Dr. İsmail Teke'ye teşekkürü borç bilirim.

Deneyisel ve sayısal çalışmaların yürütülmesinde her türlü desteği veren Dizayn Teknik Plastik Boru ve Elemanları San. Tic. A.Ş'ne teşekkür etmek istiyorum.

Son olarak çalışmalarım esnasında her zaman yanımda olan eşime ve beni uzaktan da olsa destekleyen aileme teşekkür ederim.

Haziran 2010

Tamer BİRTANE

İÇİNDEKİLER

	SAYFA
ÖNSÖZ.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
SEMBOLLER	vi
KISALTMALAR	viii
ŞEKİLLER	ix
TABLolar	xi
BÖLÜM I.....	1
GİRİŞ ve AMAÇ	1
I.1 GİRİŞ	1
I.2. AMAÇ	2
BÖLÜM II.	4
GENEL BİLGİLER.....	4
II.1 GENEL BİLGİLER	4
II.1.1 Yüksek Yoğunluklu Polietilen (HDPE) Hammaddenin Özellikleri	4
II.1.2 Spiral Sarımlı Boru Standartları.....	7
II.1.3 Spiral Sarımlı Boru Profil Geometrileri.....	9
II.1.4 Spiral Sarımlı Boruların Üretim Teknolojisi	11

II.2 LİTERATÜR BİLGİLERİ.....	17
II.2.1 Termoplastik Boru Davranışının Profil Geometrisine Etkisi.....	17
II.2.2 HDPE Boru Geometrisinin Yapısal Performansının İncelenmesi	19
BÖLÜM III. ÇALIŞMALAR	20
III.1 SPİRAL SARIMLI BORULARIN TASARLANMASI	20
III.2 SPİRAL SARIMLI BORULARIN ÜRETİLMESİ	25
III.3 SPİRAL SARIMLI BORULARIN TEST EDİLMESİ	30
III.3.1 Üretilen Boruların Şartlandırılması	31
III.3.2 Boruların Üzerinden Ölçü Alınması ve Markalanması	31
III.3.3 Teorik Halka Rijitliğinin ve Test yükünün Tespit Edilmesi.....	32
III.3.4 Borunun Test Cihazına Bağlanması ve Test Edilmesi	33
III.3.5 Çökme Miktarının Tespit Edilmesi	35
III.3.6 Halka Rijitliği Değerinin Yeniden Hesaplanması	36
III.3.7 Grafiklerin Elde Edilmesi	37
BÖLÜM IV. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	40
BÖLÜM V. SON DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER	42
ÖZGEÇMİŞ.....	45

ÖZET

YÜKSEK YOĞUNLUKLU POLİETİLEN (HDPE) SİRAL SARIMLI BORULARDA ELASTİKLİK MODÜLÜ İLE PROFİL HATVESİ ARASINDAKİ İLİŞKİNİN İNCELENMESİ

Yüksek yoğunluklu polietilenden mamul spiral sarımlı borular alt yapı borusu olarak atık suların arıtma sistemlerine taşınmasında ve Arıtma tesislerinden alınan ön arıtılmış suyun deniz akıntılarına kadar tahliyesinde kullanılmaktadır. Ayrıca bu borular yerleşim yerlerinin yağmur suyu sistemlerinde ve derelerin ıslah edilmesinde sıklıkla kullanılmaktadır. Son yıllarda spiral sarımlı borular nehir tipi hidroelektrik santrallerinde su toplama havuzuna suların getirilmesi ve toplanan suların kayıpsız olarak santrale iletilmesinde tercih edilmektedir.

Bu borular alt taban ve profilden oluşan boru kesit geometrisinin spiral şeklinde ve belirli bir aralıkla (hatve) ile sarılması ile üretilmektedir. Boru dayanımına etki eden parametreler polietilen malzemenin elastiklik modülü, boru geometrisi kesit atalet momenti ve boru kesit atalet eksenidir. Yapılan uygulamalarda aynı malzemeden mamul boruların farklı hatvelerde aynı atalet momentine sahip olsalar bile farklı dayanımlar sergiledikleri görülmüştür.

Bu çalışmadaki amacımız profil sarım hatvesinin boru dayanımına etkisinin olup olmadığının araştırılmasıdır. Çalışmada söz konusu boru numuneleri bilinen üretim teknolojileri ile üretilcek ve numunelere standartların belirlediği dayanım testleri yapılarak deneysel sonuçlar elde edilecektir.

Çalışmada sarım hatvesinin boru dayanımını etkilediği küçük sarım hatvelerinde borunun beklenenden daha az esnediği ve tersi olarak büyük sarım hatvelerinde borunun beklenenden daha fazla esnediği görülmüştür.

Polietilen malzemenin elastiklik modülünün sabit olduğu düşünüldüğünde boruda oluşan dayanım farklarının görünen elastiklik modülünü etkilediği anlaşılmaktadır. Spiral sarımlı boru hammaddesi olan HDPE'nin daha verimli kullanılması için boru tasarımı yapılırken sarım hatvesinin etkisinin göz önünde bulundurulması fayda sağlayacaktır.

Haziran 2010

Tamer BİRTANE

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE RELATION BETWEEN ELASTIC MODULUS AND PROFILE PITCH IN THE SPIRALLY WOUND HIGH DENSITY POLYETHYLENE (HDPE) PIPES

Spirally wound made of high density polyethylene are used in infrastructure for transporting waste water to treatment facilities and for transporting pre-treated water from treatment facilities to sea discharge lines. Additionally, these pipes are used frequently at the rain water drainage systems of residential areas and stream improvement systems. In the last years, spirally wound pipes are preferred for collecting water to main pond of the river-type hydroelectric power plants and transporting this water from pond to plant with no loss.

These pipes are manufactured by winding pipe sectional geometry, including the base part and the profile, spirally with a certain pitch. The parameters affecting pipe strength are the elastic modulus of polyethylene material, moment of inertia of pipe sectional geometry and pipe section inertia axis. In the applications performed, it was observed that pipes made of the same materials showed different strength values at different pitch values, even if they have the same moment of inertia.

The aim of this study is to investigate the effect of profile winding pitch on pipe strength. In the study, pipe samples said have been manufactured by the known production technologies, and the strength tests given by the standards have been applied to the samples, so the experimental results have been handled.

It was observed that the pipe bended less than expected at small pitch values at which the pitch value affected the pipe strength, contrarily, the pipe bended more than expected at large pitch values.

If it was assumed that the elastic modulus of polyethylene material is constant, it is found that the strength differences at the pipe affect apparent elastic modulus. While the pipe is designed, it will be useful that the effect of winding pitch value is considered for a more efficient use of spirally wound pipe material.

SEMBOLLER

σ	: Gerilme
ϵ	: Gerinme
t	: Zaman
f	: Fonksiyon
E	: Elastiklik Modülü
E_{ck}	: Kısa Dönem Test için Elastiklik Modülü
E_{c24}	: 24 Saatlik Test İçin Elastiklik Modülü
E_{c2000}	: 2000 Saatlik Test İçin Elastiklik Modülü
E_{c50}	: 50 Yıllık Test İçin Elastiklik Modülü
S_{r24}	: 24 Saatlik halka Rijitliği Değeri (kN/m ²)
I	: Boru Kesit Geometrisi Kesit Atalet Momenti (m ⁴ /m)
r	: Boru Kesit Geometrisi Kesit Atalet Yarıçapı (m)
F	: Test Yüğü (kN)
d	: Boru İç Çapı (m)
l	: Boru Uzunluğu (m)
ξ	: Deformasyon Katsayısı
dv	: 24h Sonraki Deneysel Çökme Miktarı
t_{min}	: Minimum Et Kalınlığı
L_{uns}	: Desteksiz Bölge Uzunluğu
A	: Birim Boru Kesit Geometrisi Alanı
L_p	: Korige Profil hatvesi
y_p	: Profil Yüksekliği
g_p	: Profil Genişliğı
t_{pa}	: Profil Alt Et Kalınlığı
t_{pu}	: Profil Üst Et Kalınlığı
t_{py}	: Profil Yan Et Kalınlığı
t_a	: Alt Taban Et Kalınlığı

h	: Hatve
Eg	: Görünen Elastiklik Modülü
MPa	: Mega Paskal
kPa	: Kilo Paskal
°C	: Sıcaklık Ölçü Birimi (Derece)
g/10dak	: 10 Dakikalık Zaman Diliminde Akan Malzeme Miktarı
g/cm³	: 1 Santimetreküp'e Eşdeğer Ağırlık Miktarı
mm	: Milimetre
inç	: 25,4 mm Uzunluğa Eşdeğer İngiliz Ölçü birimi

KISALTMALAR

HDPE	: Yüksek Yoğunluklu Polietilen
TS	: Türk Standartları
DIN	: Alman Standartları
U-PVC	: Plastikleştirici Katılmamış PoliVinilKlorür
PP	: Polipropilen
ASTM	: Amerikan Malzeme Test Birliği

ŞEKİLLER

SAYFA NO

Şekil II.1 Polimerik Bir Malzemenin Lineer Zaman-şekil Değişirme Grafiği [3].....	5
Şekil II.2 HDPE için Viskoelastik Modeller [4]	6
Şekil II.3 Korige Boru Profilinin Kontrolü için Boyutsuz Geometrik Parametreleri [1].....	10
Şekil II.4 Spiral Sarımlı Boruların Üretim Teknolojisinde Profillerin Birleştirilmesi [8].....	11
Şekil II.5 Profilli Boru Üretim Makinesi [8].....	13
Şekil II.6 Spiral Boru Üretim Tekniği.....	14
Şekil II.7 Spiral Sarımlı Boru Üretim Makinesi [9].....	15
Şekil II.8 Spiral Sarımlı Boru Üretimi	16
Şekil II.9 Korige Boru Profil Yüksekliği 58.7 mm [10]	17
Şekil II.10 Korige Boru Profil Yüksekliği 55.15 mm [10]	18
Şekil II.11 Kare Kutu Profil [10]	18
Şekil II.12 Dairesel Kesitli Profil [10]	18
Şekil III.1 Profilli Boru Kesit Geometrisi	20
Şekil III.2 Profilsiz Boru Kesit Geometrisi.....	21
Şekil III.3 Tip 1 Boru Kesit Geomerisi Teknik Resmi	21
Şekil III.4 Tip 2 Boru Kesit Geomerisi Teknik Resmi	22
Şekil III.5 Tip 3 Boru Kesit Geomerisi Teknik Resmi	22
Şekil III.6 Tip 4 Boru Kesit Geomerisi Teknik Resmi	23
Şekil III.7 Tip 5 Boru Kesit Geomerisi Teknik Resmi	23
Şekil III.8 Tip 6 Boru Kesit Geomerisi Teknik Resmi	24
Şekil III.9 Tip 7 Boru Kesit Geomerisi Teknik Resmi	24
Şekil III.10 Tip 8 Boru Kesit Geomerisi Teknik Resmi	25
Şekil III.11 Tip 1 Boru Numunesi	26
Şekil III.12 Tip 2 Boru Numunesi	26

Şekil III.13 Tip 3 Boru Numunesi	27
Şekil III.14 Tip 4 Boru Numunesi	27
Şekil III.15 Tip 5 Boru Numunesi	28
Şekil III.16 Tip 6 Boru Numunesi	28
Şekil III.17 Tip 7 Boru Numunesi	29
Şekil III.18 Tip 8 Boru Numunesi	29
Şekil III.19 Halka Rijitliği Test Cihazı	30
Şekil III.20 Test Cihazına Bağlanmış Profilli Borunun Ön Görünüşü	33
Şekil III.21 Test Cihazına Bağlanmış Profilli Borunun Yan Görünüşü	34
Şekil III.22 Test Cihazına Bağlanmış Profilsiz Boru Ön Görünüşü	34
Şekil III.23 Test Cihazına Bağlanmış Profilsiz Boru Yan Görünüşü	35
Şekil III.24 Tip1-Tip2-Tip3-Tip4-Tip5-Tip6-Tip7 Hatve - Elastiklik Modülü Grafiği	38
Şekil III.25 Tip1-Tip2-Tip3-Tip4-Tip5-Tip6-Tip7-Tip8 Hatve-Elastiklik Modülü Grafiği	39

TABLÖLAR

SAYFA NO

Tablo II.1 Termoplastiklerin Elastiklik Modülü Değerleri [6]	7
Tablo II.2 Deformasyon Katsayıları [6]	8
Tablo II.3 Korige Boru Profilinin Boyutsuz Geometrik Parametreler Tablosu [1]..	10
Tablo II.4 Profillerin % Çökme Miktarları [10]	19
Tablo III.1 Deney Numuneleri Hammaddesi [13].....	25
Tablo III.2 Boru Numunelerinin Ölçüm Değerleri.....	31
Tablo III.3 Test Yükünün Hesaplanması.....	32
Tablo III.4 Test Sonuçları.....	36
Tablo III.5 Elastiklik Modülünü Değerleri.....	37

BÖLÜM I.

GİRİŞ ve AMAÇ

I.1 GİRİŞ

Yüksek yoğunluklu polietilen malzemeden mamul borular uzun yıllar alt yapı sistemlerinde yağmur sularının uzaklaştırılması ve atık suların taşınması amacı ile kullanılmaktadır. Bu amaçla kullanılan boruları korige boru ve spiral sarımlı boru olarak tanımlamak mümkündür. Korige borular ile spiral sarımlı borular aynı amaç için kullanılmakla beraber üretim yöntemleri birbirinden çok farklı olup birbirlerine göre avantaj ve dezavantajlara sahiptirler. Korige borularda üretim teknolojisi gereği belirli bir çapın üzerine çıkılamazken spiral sarımlı borularda büyük çaplara çıkmak mümkündür. Korige borular belirli bir halka rijitliğinin (dış yüke dayanım) üzerinde üretilmezken spiral sarımlı borular istenilen yüksek dayanımlara sahip olabilmektedir. Bu çalışmada spiral sarımlı borular üzerinde çalışılmıştır.

Spiral sarımlı sarmal borular toprak altında yıllardır başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Polietilenden yapılan spiral sarımlı borular betondan ve çelikten yapılmış borulara göre birçok avantajlara sahiptir. Polietilenden yapılmış borular diğer borulara göre daha hafif oldukları için daha hızlı ve düşük maliyetle döşenebilmektedir. Polietilen boruların kullanılması ile üretim, montaj ve bakım maliyetlerinden önemli ölçüde tasarruf edilebilir. Polietilen boruların iç yüzeyi diğer borulara göre daha pürüzsüz olduğu için kayıplar daha az olmakta ve bu pürüzsüzlük servis süresince sağlanabilmektedir. Bir diğer önemli avantajlarından biride korozyon ve erozyona karşı dayanımıdır. Spiral sarımlı borularda çok büyük çaplarda üretim imkanı vardır. Ayrıca polietilen borulara hammaddesi gereği kimyasallara karşı dayanım özelliğine sahiptir.

Spiral sarımlı boruların kullanım yerine uygun dış yük dayanımına sahip olması gerekmektedir. Bu borular genellikle toprak altına gömülü olarak kullanıldıkları için bu yük toprak yükü olarak bilinmektedir. Spiral sarımlı borular profilli olarak üretilmektedir. Borunun profilli olması profilsiz (sadece alt tabanlı) borulara göre daha az hammadde kullanılarak aynı dayanımın elde edilmesine imkan sağlamaktadır. Sadece profilden de oluşmuş borular da piyasada bulunmasına rağmen spiral sarımlı boruların boru kesit geometrisi alt taban ve profil olarak iki kısımdan oluşmaktadır. Alt taban borunun iç yüzeyini oluşturmakta ve profilleri üzerinde barındırmaktadır. Profiller istenilen dayanım değerlerine uygun farklı geometrilerde olabilmektedir. Profiller üretim teknolojisine uygun sarma makineleri üzerinde sarılarak borular üretilmektedir.

I.2. AMAÇ

Toprak altında kullanılan boruların tasarımına etki eden parametreler boru üzerine gelen yük, toprak rijitliği özellikleri, toprak rijitliği özellikleri ve boru kesitinin geometrisidir. [1]

Boru kesit geometrisi, borunun halka rijitliğini belirlemektedir. Spiral sarımlı borularda spiral şeklinde bir sarım vardır ve bu sarımlar arasında bir mesafe (hatve) mevcuttur.

Spiral sarımlı borularda dayanımının hesaplanmasında polietilen hammaddenin elastiklik modülü, boru kesit geometrisinin atalet momenti ve boru kesit geometrisinin atalet eksenini kullanılmaktadır. Boru kesit geometrisinin atalet momenti, boru profil geometrisi ve hatve ile ilişkilidir.

Değişik boru kesit geometrilerinde halka rijitliği boru kesit geometrisinin atalet momenti ile orantılı olmasına rağmen, uygulamada böyle olmamaktadır. Borunun halka rijitliği değeri borunun kesit geometrisine göre değişmektedir. Aynı atalet momentine sahip boruların halka rijitliği bile borunun kesit geometrisindeki farklılıklar nedeni ile aynı çıkmamaktadır.

Spiral sarımlı borular üzerinde yıllardan beri çalışmalar yapılmaktadır. Çalışmaların çoğunda toprak-boru ilişkisi incelenmiş boru üzerine gelen toprak çeşidi, boru üzerindeki yüksekliği ve çap ilişkileri araştırılmıştır. Boru kesit geometrisi üzerinde yapılan çalışmalar çok sınırlıdır.

Boru kesit geometrisi üzerinde yapılacak bu çalışma ile yüksek yoğunluklu polietilen hammaddenin daha verimli kullanılması sağlanacak ve daha az hammadde ile aynı dayanıma sahip borular elde edilecektir. Ülkemizin alt yapısında genellikle Spiral sarımlı boruların kullanıldığı düşünüldüğünde elde edilecek faydanın çok küçük olmadığı görülecektir. Elde edilecek çoklu faydaların en önemlisi petrol türevli hammaddenin ithali azalacak dolayısı ile milli servetimizin ülkemizde kalmasının önü açılacaktır. Diğer bir fayda ise hammaddenin verimli kullanılması ile üretim için gerekli enerji, işçilik ve makine yatırımlarının azalması olacaktır.

Bu çalışmanın temel hedefi spiral sarımlı borularda polietilen malzemenin verimli olarak kullanılmasının sağlanmasıdır. Boru kesit geometrisi boru dayanımına etki etmektedir ve bu üzerinde çalışılmaya değer bir konudur.

BÖLÜM II.

GENEL BİLGİLER

II.1 GENEL BİLGİLER

II.1.1 Yüksek Yoğunluklu Polietilen (HDPE) Hammaddenin Özellikleri

Polietilen, Sarmal boru hammaddesi olarak başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Bilindiği gibi elastik malzeme, üzerine bir dış yükün etkimesiyle yeni denge şekline gelir. Bu deformasyon sırasında malzeme etkiyen kuvvetten doğan iç enerjiyi biriktirir ve kuvvetin kaldırılmasıyla orijinal şekline geri döner. Viskoz sıvılarda ise belirli bir şekil yoktur, malzeme kuvvet etkisiyle geriye dönüşü olmayacak şekilde akar. Polimerler ise zamana bağlı olarak elastik katı ve viskoz sıvının özellikleri arasında davranış gösterir, Polietilen de bunlardan biridir. Malzemenin lineer mi nonlinear mi davranış sergilediği ise gerilme değerinin zamana bağımlılığı ile açıklanabilir.

Viskoelastik bir malzemede gerilme sadece zamana bağlı olarak değişiyorsa lineer karakterdedir.

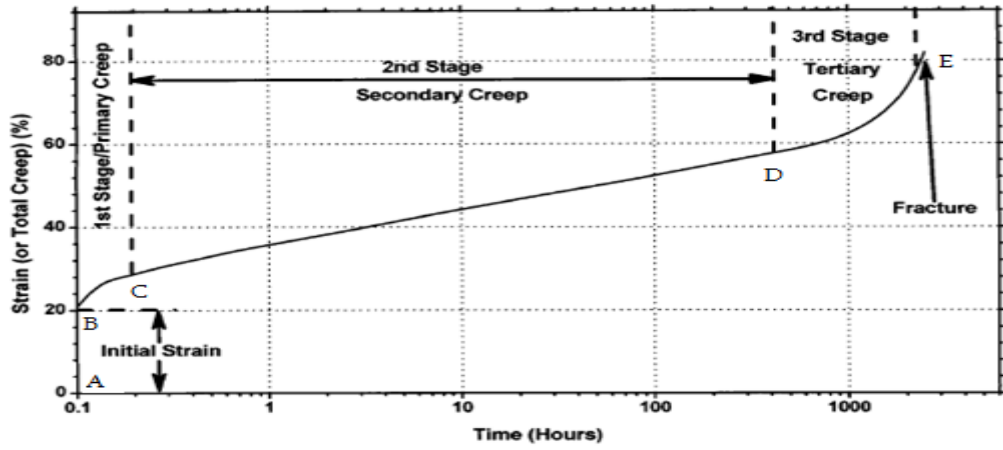
$$\sigma = \varepsilon f(t) \quad (\text{II.1})$$

Viskoelastik malzemenin gerilme değeri sadece zamanla değil aynı zamanda gerinme değeriyle de değişiyorsa malzeme nonlinear karakterdir denir. [2]

$$\sigma = f(\varepsilon; t) \quad (\text{II.2})$$

Aşağıdaki şekilde, sabit yük altındaki polimerik bir malzemenin lineer zaman-şekil değiştirme grafiği verilmiştir. (Şekil II.1) Grafik, başlangıçtaki ani şekil değiştirmeyi gösteren AB sonrası üç bölgeye ayrılmıştır. Bunlar; BC arasındaki birincil ya da geçiş sürünmesi bölgesi, CD arasındaki ikincil ya da kararlı hal sürünmesi bölgesi ve

DE arasındaki üçüncül ya da hızlanmış sürünme bölgesidir. Birincil sürünme bölgesinde malzemenin sürünme hızı süratle azalır. Bu bölgedeki durum gecikmiş bir elastiklik mekanizmasına benzer ve yük kaldırıldığında deformasyon toparlanabilir. İkincil sürünme esas olarak viskoz karakterdedir ve bu yüzden toparlanabilir değildir. Bu bölgedeki şekil değiştirme hızı sürünme hızı olarak anılır ve malzemenin ömrünü belirlemede kullanılır. Üçüncül sürünme bölgesinde ise numunedeki yönelmelerden dolayı gerilme değeri artar.



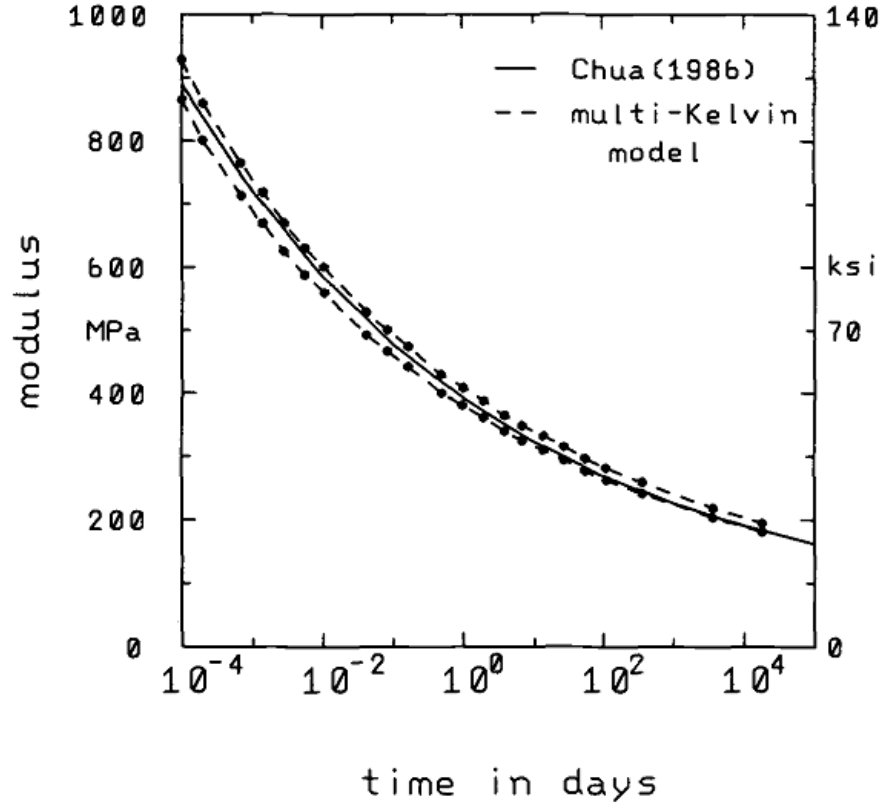
Şekil II.1 Polimerik Bir Malzemenin Lineer Zaman-şekil Değiştirme Grafiği [3]

Birincil sürünme bölgesi, ikincil sürünme bölgesine göre karşılaştırıldığında çok kısa bir zaman periyodunda meydana gelir. Üçüncül sürünme bölgesi çok kısa zamanda oluşur ve genelde çatlak oluşumu, patlama, boyun verme gibi hasarların başlangıcında olur.

Genellikle sürünme eğrileri logaritmik zaman ölçeğinde çizilir. Böylece uzun bir zaman periyodu için gerinmenin zamana bağımlı değişimi görülebilir. Eğer malzeme, lineer olarak viskoelastik ise belirlenen bir zamanda sürünme eğrilerindeki her bir eğri aynı oranda gerinme eksenini boyunca birbirinin ötelenmiş hali olur.

Polietilenin viskoz, elastik ya da plastik davranışı, yükleme koşullarına, zamana, gerilim değerlerine ve sıcaklığa bağlı olarak değişir. Bununla birlikte malzemenin içyapısı kristalinite oranı, molekül ağırlığı dağılımı ve zincir üzerindeki dallanmalar polietilenin viskoelastik davranışını doğrudan etkilemektedir. Bu durum Polietilenin kendi içinde dahi farklı mekanik davranışlar sergilemesine sebep olur.

Chua Yüksek yoğunluklu polietilen'in elastik modül değerinin zamana karşı değişimini Güç Yasası'nı kullanarak formüle etmeye çalışmıştır. Aşağıdaki grafikte, elde edilen sonuçların Kelvin Model'i ile uyum içinde olduğu gözlenmektedir. (Şekil II.2)



Şekil II.2 HDPE için Viskoelastik Modeller [4]

Hashash ise bu çalışmaları geliştirmiş ve aşağıdaki eşitliği elde etmiştir. Bu eşitlik plastik boruların uzun dönem performanslarının tespitinde sıklıkla kullanılmaktadır. [5]

$$E(t) = 467t^{-0.0859} \quad (II.3)$$

Burada E(t): MPa ve t: saat olarak alınmıştır.

Aşağıdaki tabloda termoplastik malzemelerin elastiklik modülü değerleri zamana bağlı olarak verilmiştir.

Tablo II.1 Termoplastiklerin Elastiklik Modülü Değerleri [6]

Test Süresi / Elastiklik modülü	Elastiklik modülünün en küçük değeri, kN/m ²			
	HDPE	U-PVC	PP	
			Homopolimer	Kopolimer
1 Dakika/E _{ck}	8×10 ⁵	36×10 ⁵	12.5×10 ⁵	8×10 ⁵
24 Saat/E _{c24}	3.8×10 ⁵	30×10 ⁵	5.1×10 ⁵	3.6×10 ⁵
2000 Saat/E _{c2000}	2.5×10 ⁵	23×10 ⁵	4.2×10 ⁵	2.1×10 ⁵
50 Yıl/E _{c50}	1.5×10 ⁵	1.5×10 ⁵	2.7×10 ⁵	1.2×10 ⁵

II.1.2 Spiral Sarımlı Boru Standartları

Spiral sarımlı boruların üretim ve kontrol kriterleri uluslararası kabul görmüş olan DIN 16961-2 standardında belirlenmiştir. Bu standarda ilave olarak ülkemizde TS 12132 nolu standart 1997 yılında yürürlüğe girmiş ve halen geçerlidir.[7] Her iki standartta termoplastik malzemelerin genel özelliklerine yer verilerek özellikle çalışma konumuz olan HDPE'nin malzemenin genel özellikleri tanımlanmıştır.

Çalışma konumuzun temelini oluşturan termoplastik boruların halka rijitliği testi her iki standartta yer almaktadır. Halka rijitliği testi borunun dayanımını belirlemek için yapılan bir test metodudur. Halka rijitliği borunun eğilme deformasyonuna karşı gösterdiği direncin ölçülmesi olup üretimde bir kalite kontrol aracı olarak kullanılmaktadır.[4]

Halka rijitliği testinde boru teorik halka rijitliğine karşılık gelen bir F kuvveti hesaplanmakta ve boru üzerine 24 saat süre ile uygulanmaktadır. Test yükü uygulandıktan sonra 1 saat, 6 saat ve 24 saat sonra esneme değerleri ölçülmektedir. Halka rijitliği testinde boru iç çapının %3'ü kadar bir esnemeye izin verilmektedir. Spiral sarımlı borularda halka rijitliği malzeme özelliklerine bağlı olarak aşağıdaki eşitlikle verilir ve bu değer çaptaki deformasyon ölçülerek tayin edilir.

$$S_{r24} = \frac{E_{c24} \times I}{r^3} \quad (\text{II.4})$$

Teorik halka rijitliğine göre test yükü aşağıdaki denklem ile hesaplanmaktadır. Test yükü %3'lük deformasyona karşılık gelen F kuvvetidir. Test yükü test makinesine

10 dakika içerisinde yüklenmekte ve boruda oluşan düşey yöndeki yer değiştirme tespit edilmektedir. F kuvveti hesap edilirken numune boru ve test edilecek borunun teorik halka rijitliği bilinmelidir. Deformasyon katsayıları aşağıdaki tabloya uygun alınmaktadır.(Tablo II.2)

$$F = \frac{S_{r24} \times 0.03d \times l}{\xi} \quad (II.5)$$

Tablo II.2 Deformasyon Katsayıları [6]

Yüzde Deformasyon, dv/d	Deformasyon Katsayısı, ξ
0	0,1488
1	0,1508
2	0,1528
3	0,1548
4	0,1568
5	0,1588
6	0,1608
7	0,1628
8	0,1648
9	0,1668
10	0,1688
11	0,1708
12	0,1728
13	0,1748
14	0,1768
15	0,1788
Not: Ara değerler lineer İnterpolasyonla elde edilebilir.	

Test sonucunda bulunan düşey yöndeki yer değiştirme miktarına bağlı olarak Teorik halka rijitliği değerinin esneme miktarına bağlı olarak yeniden hesaplanması

gerekmektedir. Test numunesinde %3'lük bir deformasyon oluştu ise boru halka rijitliği teorik boru halka rijitliği ile aynıdır. %3'ten daha büyük deformasyonlarda boru teorik halka rijitliğinin altında bir dayanıma sahip olduğu anlaşılmaktadır. %3'ten küçük ise boru teorik halka rijitliğinin üzerinde bir dayanıma sahiptir.

Deneysel halka rijitliği aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır. Buradaki deformasyon katsayısı % gerçekleşen yer değiştirmeye karşılık gelmektedir.

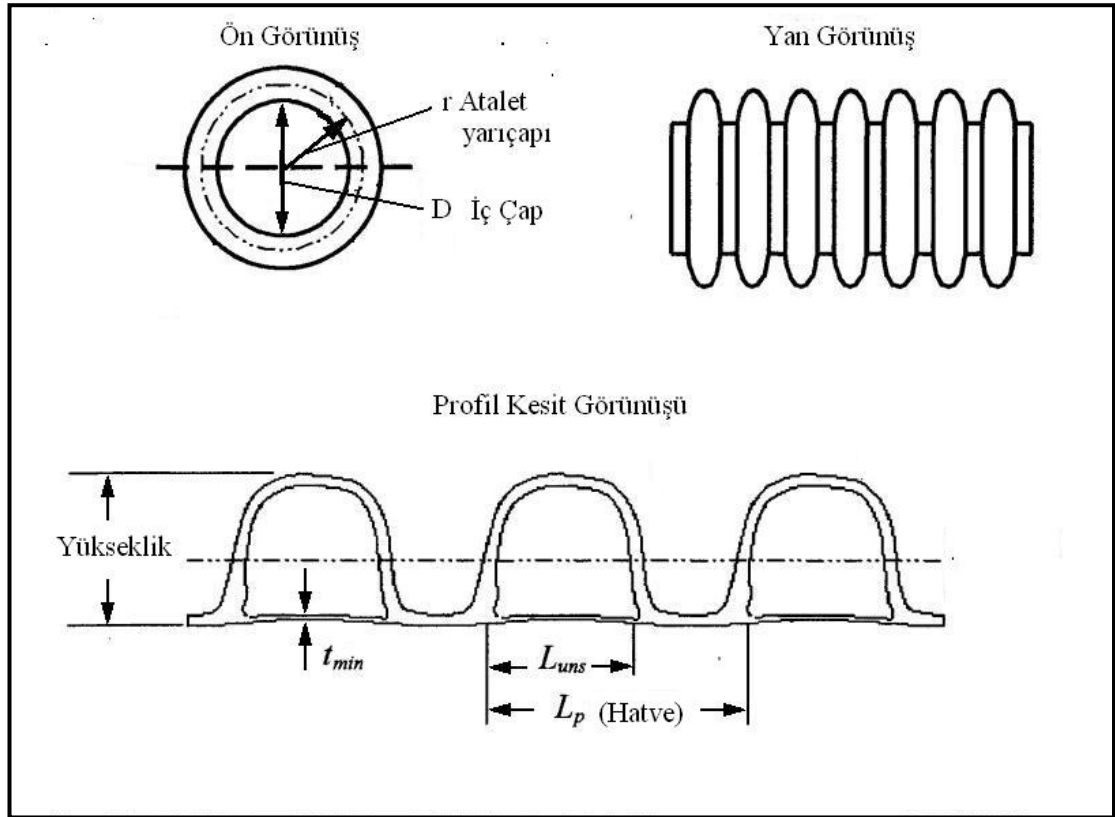
$$S_{r24} = \frac{F \times \xi}{di \times l} \quad (II.6)$$

Halka rijitliği , profilli borunun etkin atalet momenti değeri ile boru malzemesinin elastiklik modülü değerini içerdiğinden bu bilgiler boru tasarımında güvenilir parametrelerdir.

II.1.3 Spiral Sarımlı Boru Profil Geometrileri

Yüksek yoğunluklu polietilen boruların performans limitleri ve ön dizayn tavsiyeleri Moser tarafından oluşturulmuştur. [1] Polietilen borularda görülen kabul edilemeyen durumlar borunun aşırı çap değiştirmesi profillerin burkulması ve profillerin ezilmesidir. Borunun aşırı çap değiştirmesi döşeme kurallarına uyulması ile kontrol edilebilir. Profillerin burkulması profiller üzerinde oluşan gerilmelerin kontrolü ve profil et kalınlığının değiştirilmesi ile sağlanabilir. Profillerin ezilmesi ise birim uzunluktaki profil kesit alanı ile ilgilidir. Profil et kalınlığı doğrudan profil alanı ile ilişkilendirildiği için birim boya düşen kesit alanı önem kazanmıştır.

Boru rijitliği boru kesit atalet momenti ile doğrudan ilişkilidir. Boru kesit atalet momenti ise kesit yüksekliği, şekli ve kesit alanının bir fonksiyonudur. En önemli parametre birim uzunluğa düşen profil kesit alanı ve et kalınlığıdır. Profil yüksekliği kesit alanının ve et kalınlığı ile doğrudan ilişkilidir. Profil geometrisi ve et kalınlığı bilindiği takdirde birim kesit alan rahatlıkla hesaplanabilir. Profil yüksekliği çok fazla olduğu takdirde eğilme gerilmeleri daha önemli hale gelecektir. (Şekil II.3)



Şekil II.3 Korige Boru Profiline Kontrolü için Boyutsuz Geometrik Parametreleri [1]

Moser'e göre Hatve çapın bir fonksiyonu olmalıdır. Eğer 24 inç'lik boruda 4 inç hatve iyi sonuçlar veriyor ise 8 inç'lik bir hatve de 48 inç'lik bir boruda iyi sonuç verecektir.

Aşağıdaki tabloda Korige Boru Profiline kontrolü için Boyutsuz geometrik parametreleri yer almaktadır. (Tablo II.3)

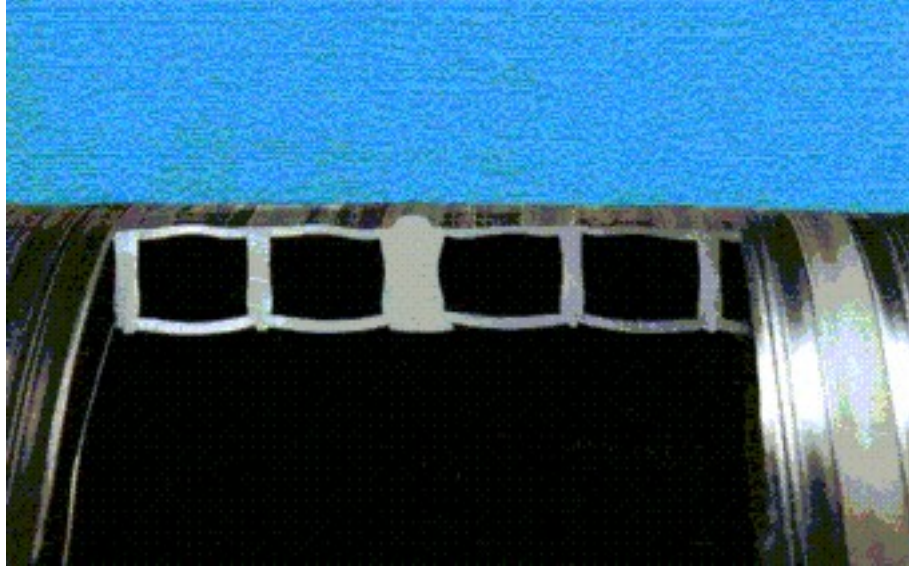
Tablo II.3 Korige Boru Profiline Boyutsuz Geometrik Parametreler Tablosu [1]

Boyutsuz parametreler	HDPE için yaklaşık değerler
t_{min}/r	≥ 0.005
t_{min}/L_{uns}	≥ 0.02
I/r^3	$\geq 4 \times 10^{-5}$
A/r	≥ 0.02
L_p/r	≤ 0.3

II.1.4 Spiral Sarımlı Boruların Üretim Teknolojisi

Spiral sarımlı borular, boruyu oluşturan kesit geometrilerinin spiral şeklinde sarılması ile elde edilmektedir. Spiral sarım tekniği özellikle büyük çaplı boruların üretilmesinde kullanılmaktadır. Bu amaçla plastik boru sektöründe bilinen birden fazla sarım teknolojisi mevcuttur.

Spiral sarımlı boru üretim teknolojilerinden birinde boru profillerin birbirine bitişik olarak sarılması ile elde edilmektedir. Sarılan profillerin aralarına eriyik kıvamdaki profil hammaddesi akıtılarak profillerin birbirine yapışması sağlanmaktadır. (Şekil II.4) Bu teknolojiye profiller aynı zamanda alt taban olarak kullanılmakta ve profiller akışkanın temas ettiği iç yüzeyi oluşturmaktadır.



Şekil II.4 Spiral Sarımlı Boruların Üretim Teknolojisinde Profillerin Birleştirilmesi [8]

Bu teknolojiye sarılan profiller ayrı bir extruder hattı kullanılarak üretilmektedir. Bu profiller sarma makinesi adı verilen makine kullanılarak boru şekline getirilmektedir. (Şekil II.5) Genellikle sarma makinesine dik olarak duran bir extruderden üretilen, istenilen halka rijitliğine göre tasarlanmış profiller sarma makinesinin mandreli üzerinde sarılır. Üretilen profillerin henüz tam olarak soğuması gerçekleşmemiş olduğundan sarım işlemi kolaylıkla yapılmaktadır. İlave bir extruderden profillerin birbirine değen yüzeyleri arasına eriyik malzeme doldurularak profillerin birbiri ile sağlam bir şekilde birleşmesi sağlanmış ve pürüzsüz bir iç yüzey elde edilmiştir. Dönen mandrel üzerine sarılan profillerin birbirini itmesi ile boru

ilerlemektedir. Dolayısı ile profil üretim hızı spiral boru üretim hızını belirlemektedir. Üretim sırasında Extruder ve sarma makinesi sabit dururken boruda ilerleme olmaktadır. Bu üretim yöntemi ile sonsuz boyda üretim imkanı sağlanmaktadır. Sarım makinesi üzerinde bulunan dönen mandrel değiştirilerek çap değişimi çok hızlı ve zahmetsiz bir şekilde yapılabilmektedir. Benzer şekilde sadece profil extruderindeki extruder kafası dolayısı ile profil ölçüleri değiştirilerek Boru halka rijitliği dayanımı kolaylıkla istenilen değere getirilebilmektedir.

Bu üretim teknolojisinin tercih edilmesinin en büyük sebebi olarak düşük makine yatırım ve boru üretim maliyetleri gösterilebilir. Bu teknolojinin diğer avantajlarından biri ise kullanım yerine uygun halka rijitliğindeki boruların makine üzerinde küçük değişikliklerle üretilebilir olmasıdır. Teknolojinin karmaşık olmaması sebebi ile projenin uygulama yerinde üretim imkânı sağlayarak nakliye avantajı sağlanabilmektedir. Yerinde üretim avantajı beraberinde istenilen boyda boru üretim imkanı getirebilmektedir. Bu teknolojinin beraberinde getirdiği avantajlardan biride istenilen boru kesit geometrisinde üretim yapılabilmesidir.

Üretim teknolojisinin dezavantajlarından en önemlisi profillerin birbirine sağlam ve emniyetli olarak birleştirilememesi ve uygulama ve servis sırasında eriyik akıtılan bölgelerden kırılmalar yaşanmasıdır. Ayrıca ek bölgelerine akıtılan eriyik malzeme yüzey pürüzlülüğüne sebebiyet vermektedir. Bu teknoloji üretim ekipmanları profilli boru üretimine kurgulandığı için profilsiz olarak boru üretmek mümkün değildir.



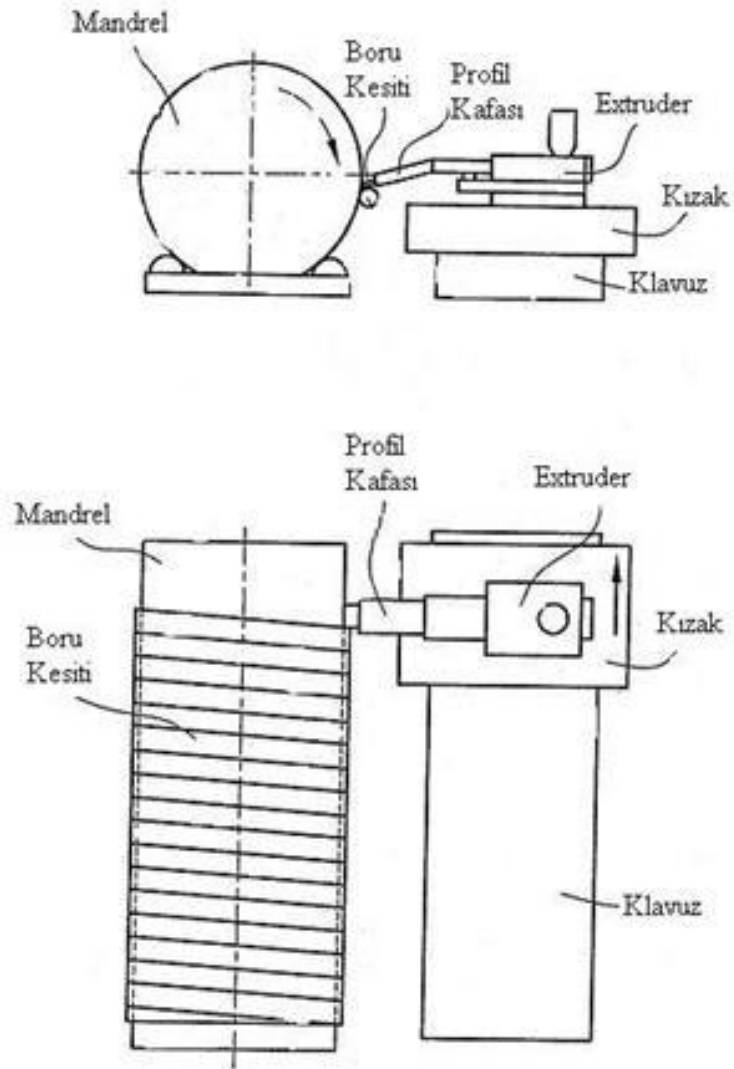
Şekil II.5 Profilli Boru Üretim Makinesi [8]

Spiral sarımlı boru üretim teknolojisinden diğerinin şematik gösterimi yer almaktadır. (Şekil II.6) Bu teknikte kendi eksenini etrafında sürekli olarak dönen mandrel vardır. Mandrel üzerinden borunun hasarsız olarak çıkarılabilmesi için mandrel içerisindeki bir mekanizma ile mandrel çapı boru mandrel üzerinden çıkabilecek kadar küçültülebilmektedir. Extruder mandrel eksenini boyunca hareket edebilen bir kızak üzerine bağlanmıştır. Kızak bir klavuz üzerinde sağa ve sola rahatlıkla hareket edebilmektedir. Kızığın mandrel boyunca hareket edebilmesi için klavuz mandrelle paralel olarak yerleştirilmiştir. Kızık üzerindeki ekstruderin çıkışına bir ekstruder kafası bağlanmıştır. Extruder kafası mandrel üzerine sarılacak plastik kesit formundadır. Plastik kesit boru kesit geometrisini oluşturmaktadır. Extruderden basılan termoplastik malzeme amaca göre tasarlanmış kafadan geçerek dönen mandrel üzerine sıcak bir şekilde sarılmaktadır. Sarma işleminden önce mandrel belirli bir sıcaklığa kadar ön ısıtma işlemine tabii tutulmuştur. Bu esnada kızak boyunca belirli bir hızda ilerlemektedir. Mandrelin dönme hızı ve kızığın ilerleme hızı sarım genişliğini yani hatveyi oluşturmaktadır. Bu esnada silindir

şeklindeki baskılar ek yeri üzerine basarak ek yerlerinin birbiri ile sağlam şekilde kaynak edilmesi sağlanmaktadır.

Profilsiz bir boru üretilecek ise ekstruder kafasından çıkan Boru kesit geometrisi düz bir levha şeklinde mandrel üzerine sarılır. Levhalar bir miktar üst üste bindirilir. Binme yerlerine baskılar vasıtası ile basılarak bu bölgelerin birbiri ile kaynak yapması sağlanır.

Profilli boru üretimlerinde önce profilsiz olarak bir boru üretilerek profilli borunun alt tabanı oluşturulur. Profiller alt taban üzerine ayrı bir ekstruder kafasından verilerek borunun profilli olması sağlanmaktadır.



Şekil II.6 Spiral Boru Üretim Tekniği

Profillerin alt taban ile birlikte aynı anda üretimi (Şekil II.7) gösterilmektedir. Resimden görüleceği üzere boru alt tabanı iki ekstruder kullanılarak iki farklı renkten üretilir. Aynı anda profillerde alt tabanın üzerine sarılarak tek adımda boru üretimi gerçekleştirilmiş olur.



Şekil II.7 Spiral Sarımlı Boru Üretim Makinesi [9]

Bu yöntemin avantajlarından biri alt taban ile profilin eriyik kıvamda birbirine kaynak edilmesidir. Dolayısı ile diğer yöntemlerde olduğu gibi ek yerlerinde boru işlevini bozacak ek yeri problemi oluşmamaktadır. Profilsiz boru üretimi bu yöntemle mümkün olmaktadır. Alt taban sıcak mandrel üzerinde eriyik kıvamında sarıldığı için boru iç yüzeyi pürüzsüz olmaktadır. İstenilen boru halka rijitliği dayanımları elde etmek diğer yöntemler kadar kolaydır.

Yöntemin dezavantajlarından biri boru boyunun mandrel boyu kadar olma zorunluluğu olduğundan uzun boylara sahip tek parça borular üretmek mümkün değildir. Üretim hızı diğer yonteme göre çok çok düşüktür. Borunun mandrel üzerinde soğutulması zorunluluğu üretim sürelerini arttırmaktadır. Bu üretim yöntemi işçilik yoğun bir yöntem olup birim üretim maliyetleri daha yüksektir.

Özet olarak Spiral sarımlı boru üretim teknolojisinde boru kesit geometrisini alt taban üzerine belirli aralıklarla sarılmış profiller oluşturmaktadır. Alt taban ve profil kendi eksenini etrafında dönen mandrel üzerine belirlenmiş genişlikte yani hatvede sarılmaktadır. (Şekil II.8) Spiral sarımlı borularda Alt taban borunun iç yüzeyini oluşturmakta ve taşıyıcı profilleri üzerinde barındırmaktadır. Profiller ise boru dayanım değerlerine göre hesaplanmış alt taban üzerindeki geometrilerdir. Profillerin kesitleri dairesel, elips ve trapez olabileceği gibi dörtgen kesitli de olabilmektedir. Bu kesitlerin ve kesit ölçülerinin seçimi tamamen dayanım ihtiyaçlarına göre belirlenmektedir. Çalışmada dikdörtgen kesitli profiller kullanılmıştır.



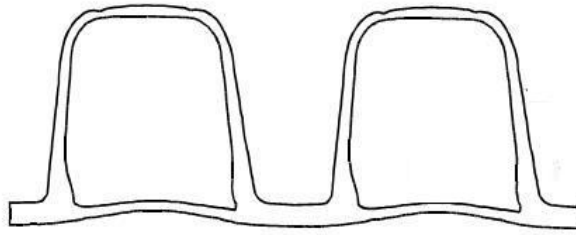
II.2 LİTERATÜR BİLGİLERİ

II.2.1 Termoplastik Boru Davranışının Profil Geometrisine Etkisi

Profilli borular genellikle az malzeme ile daha yüksek boru dayanımı elde etmek için kullanılmaktadır. Kullanılan profillerin bir standartı olmadığından çok çeşitli profil geometrileri kullanılmaktadır. Profil geometrilerin bölgesel bozulmalara maruz kalmaları borunun genel davranışını etkileyebilmektedir. Boru hammadesinin daha verimli kullanılması için termoplastik borular farklı kesit geometrilerinde üretilmektedir. Termoplastik boruların üç boyutlu davranışını Ashutosh S. Dhar ve Ian D. Moore araştırmak amacı ile farklı kesit geometrileri üzerinde çalışmışlardır. [10] Çalışmada sonlu elemanlar yöntemini kullanarak HDPE 'den üretilmiş boru kesit geometrilerinde oluşan üç boyutlu değişimleri incelemiştir.

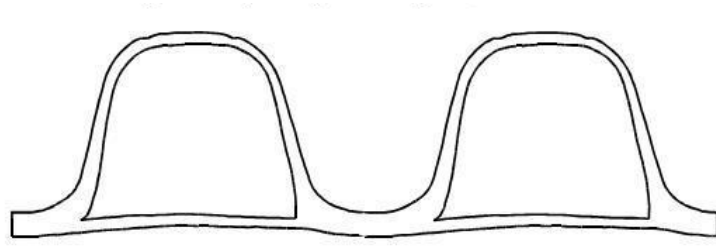
Çalışılan kesit geometrilerinin üretim yöntemi incelendiğinde iki tanesi spiral sarımlı boru üretim metodu ile diğer ikisi de bilinen diğer yöntemle üretilmiştir.

Korige boru profili çift katmanlı profil olup iç çapı 610 mm'dir. Bu Profilin korige yüksekliği 58,70 mm ve profil adımı 80 mm'dir. Profilin birim başına düşen kesit alanı 10.1 mm²/mm dir.(Şekil II.9)



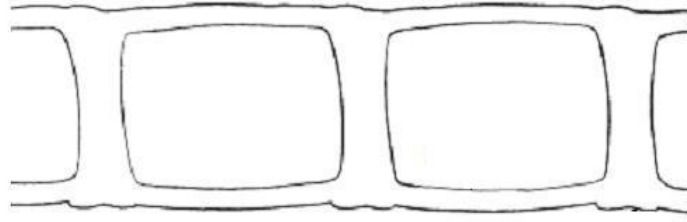
Şekil II.9 Korige Boru Profil Yüksekliği 58.7 mm [10]

İkinci profilin korige yüksekliği 55.15 mm ve profil adımı 101 mm'dir. Bu profilin birim başına düşen kesit alanı 9.3 mm²/mm dir. (Şekil II.10)



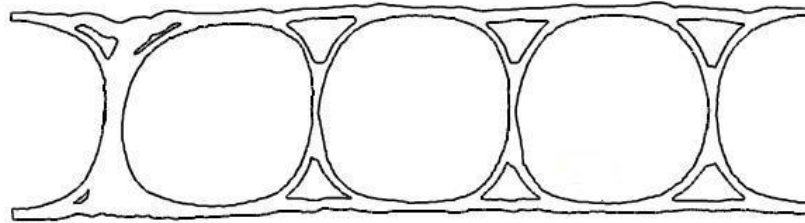
Şekil II.10 Korige Boru Profil Yüksekliği 55.15 mm [10]

Kare kutu profile sahip borunun iç çapı 760 mm olup boru spiral sarım yöntemi ile üretilmiştir. Sarım açısı yaklaşık 2° olup profil yüksekliği 48.3 mm ve profil genişliği 61.1 mm'dir. Ayrıca bu profilin birim başına düşen kesit alanı $15.75 \text{ mm}^2/\text{mm}$ dir. (Şekil II.11)



Şekil II.11 Kare Kutu Profil [10]

Dairesel kesitli profile sahip boru spiral sarım yöntemi ile üretilmiş olup boru iç çapı 1060 mm'dir. Profil sarım açısı yaklaşık 6° 'dir. Profil yüksekliği 67,5 mm olup profilin birim başına düşen kesit alanı $16,6 \text{ mm}^2/\text{mm}$ dir. (Şekil II.12)



Şekil II.12 Dairesel Kesitli Profil [10]

Borulara 500 kPa bir yük uygulandığında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir. (Tablo II.4)

Tablo II.4 Profillerin % Çökme Miktarları [10]

Boru Kesiti	% Çökme
Korige profil yüksekliği 58.70 mm	2.49
Korige profile yüksekliği 55.15 mm	2.55
Kare kutu profil	2.09
Dairesel Kesitli Profil	3.46

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde bölgesel eğilmenin en çok korige profil kesitinin iç yüzeyinde olduğu görülmüştür. Gerilme dağılımı kare kutu profili ve dairese kesitli profilde daha homojen gerçekleşmiştir.

II.2.2 HDPE Boru Geometrisinin Yapısal Performansının İncelenmesi

Nadim Ayche HDPE'den üretilmiş boru kesitlerinin yapısal performanslarını lineer elastik malzeme modeli ile sonlu elemanlar yöntemi kullanarak incelemiştir.[11] Bu çalışmada mevcut bilinen korige boru kesit geometrilerinden kutu kesit ve yuvarlak kesit kullanılmıştır. Bu kesitlerin farklı kesit yükseklikleri ve hatvelerinde nasıl bir performans gösterdikleri incelenmiştir. Ayrıca bu kesitlerin üzerine ilave bir kesit konulması halinde, ilave kesitin mevcut kesit geometrisinde nasıl bir rol oynayacağı araştırılmıştır.

Çalışmanın sonucunda kutu kesitin yuvarlak kesite göre daha yüksek rijitliğe sahip olduğu ve kutu kesitin yuvarlak kesite göre daha iyi bir performans sergilediği gözlemlenmiştir. Ayrıca kesitlerin üzerine ilave bir kesit koymanın boru performansını arttırmak için gerekli olmadığı ilave bir kesit kullanmadan mevcut kesitin yüksekliğini arttırarak aynı performansın elde edileceği vurgulanmıştır.

BÖLÜM III. ÇALIŞMALAR

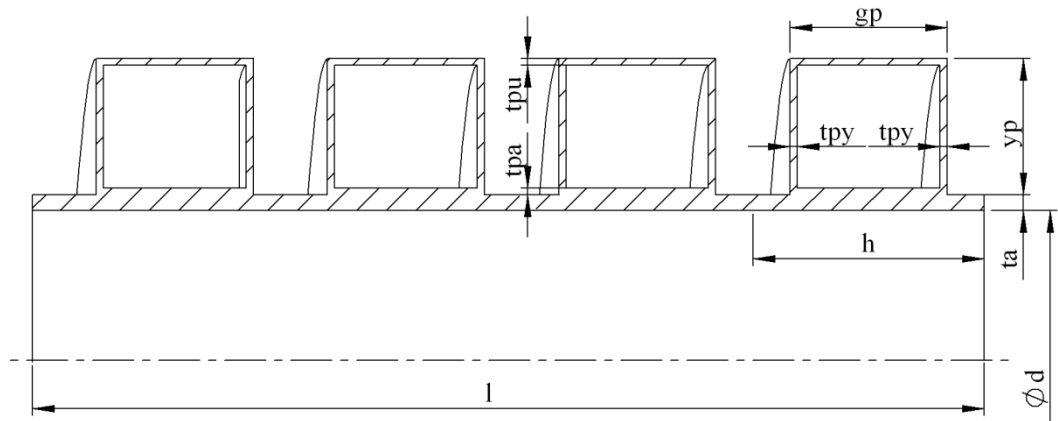
III.1 SPİRAL SARIMLI BORULARIN TASARLANMASI

Araştırmaya konu olan borular Solidworks, üç boyutlu katı model programı ile tasarlanarak her bir borunun teknik resimleri oluşturuldu. [12]

8 farklı tipte spiral sarımlı boru tasarımından 7 tanesi profilli olarak ve 1 tanesi de profilsiz olarak tasarlanmıştır.

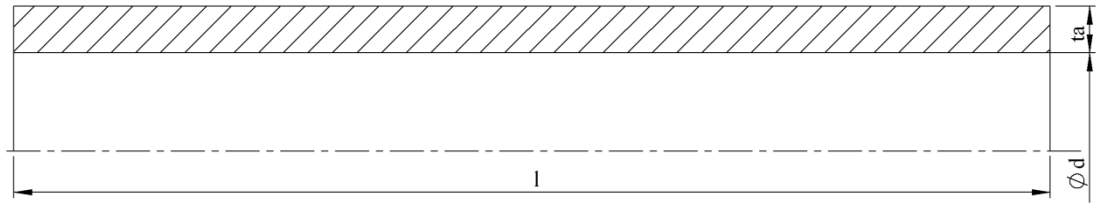
Profilli olarak üretilen numune borular alt taban ve profilden oluşmaktadır. Profilli boru kesit geometrisine bakıldığında (Şekil III.1) alt taban üzerine sarılı olan profillerin y_p , g_p , t_{pa} , t_{pu} , t_{py} , ölçülerinin numune boyunca sabit ve homojen olacağı öngörülmüştür. Numuneler üzerindeki t_a ölçüsünün numune boyunca homojenliğini koruyacağı tahmin edilmektedir. Üretim teknolojisinde belirtildiği gibi numunelerin mandrel üzerinde üretilmesi sebebi ile ϕd ölçüleri aynıdır. Numune çapları 500 mm olacaktır. Numuneler 3 tam sarım profilden oluştuğu ve sarım hatvelerinin birbirinden farklı olması sebebi ile l ölçüsü numunelerde farklıdır.

Profilli olarak üretilen boru numunelerinde değişen parametre h ölçüsüdür. Tip1- Tip2- Tip3-Tip4-Tip5-Tip6-Tip7 nolu numuneler profilli olarak üretilmişlerdir.



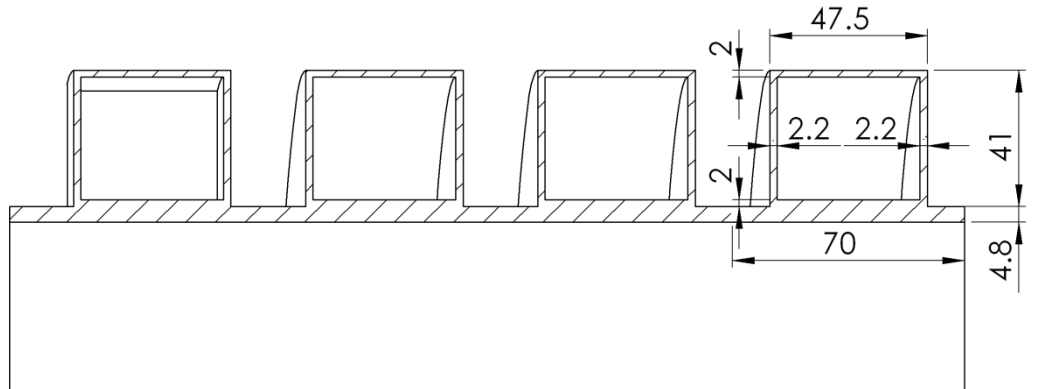
Şekil III.1 Profilli Boru Kesit Geometrisi

Profilsiz boru üzerinde herhangi bir profil olmayıp sadece alt tabandan oluşmaktadır. Profilsiz boru kesit geometrisine bakıldığında (Şekil III.2) ta ölçüsü numune boyunca homojendir. Numunenin $\varnothing d$ ölçüsü mandrel üzerinde üretildiği için profili borulara benzer olacaktır. Tip8 nolu numune profilsiz olarak üretilmiştir.



Şekil III.2 Profilsiz Boru Kesit Geometrisi

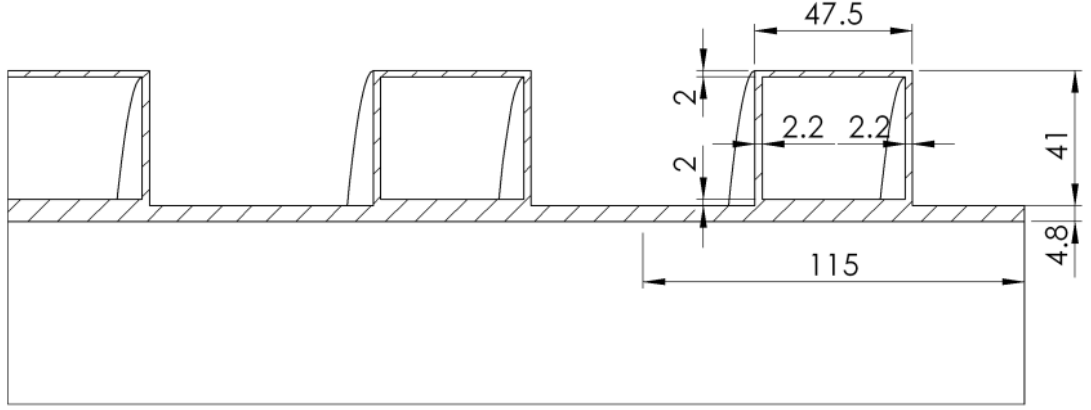
Tip1 nolu numune 500 mm iç çapa sahip olup profil sarım hatvesi 70 mm olarak tasarlanmıştır. Boru kesit geometrisi Dikdörtgen olup aşağıda kesite ait boru kesit geometrisi teknik resmi yer almaktadır. (Şekil III.3)



Şekil III.3 Tip 1 Boru Kesit Geomerisi Teknik Resmi

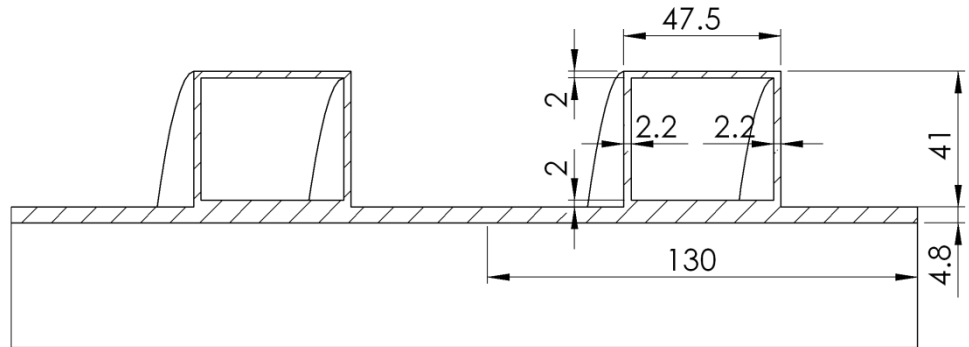


Tip4 nolu numune 500 mm iç çapa sahip olup profil sarım hatvesi 115 mm olarak tasarlanmıştır. Boru kesit geometrisi dikdörtgen olup aşağıda kesite ait boru kesit geometrisi teknik resmi yer almaktadır. (Şekil III.6)



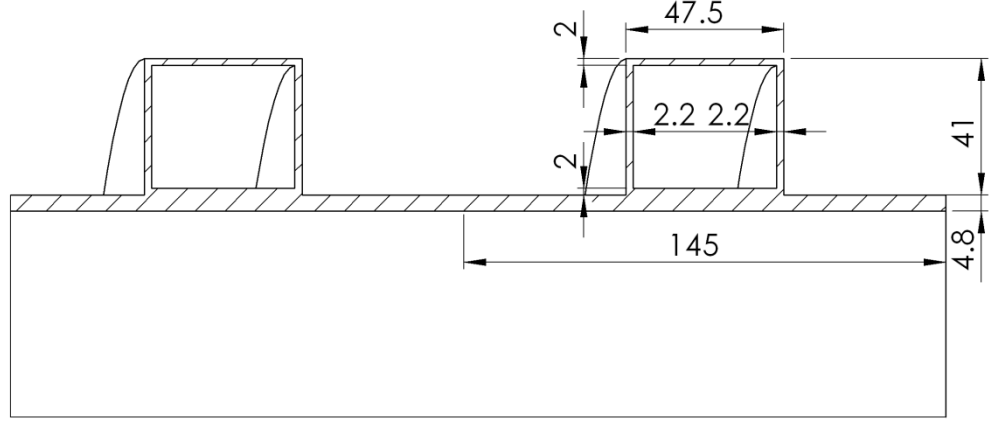
Şekil III.6 Tip 4 Boru Kesit Geomerisi Teknik Resmi

Tip7 nolu numune 500 mm iç çapa sahip olup profil sarım hatvesi 130 mm olarak tasarlanmıştır. Boru kesit geometrisi dikdörtgen olup aşağıda kesite ait boru kesit geometrisi teknik resmi yer almaktadır. (Şekil III.7)



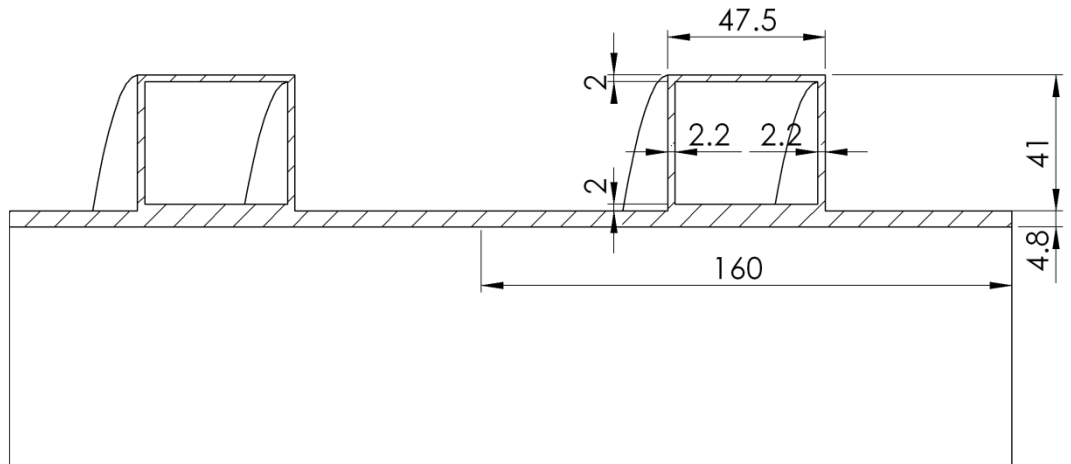
Şekil III.7 Tip 5 Boru Kesit Geomerisi Teknik Resmi

Tip8 nolu numune 500 mm iç çapa sahip olup profil sarım hatvesi 145 mm olarak tasarlanmıştır. Boru kesit geometrisi dikdörtgen olup aşağıda kesite ait boru kesit geometrisi teknik resmi yer almaktadır. (Şekil III.8)



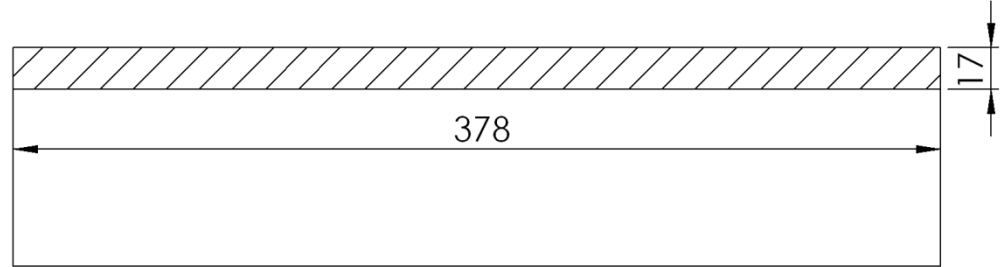
Şekil III.8 Tip 6 Boru Kesit Geomerisi Teknik Resmi

Tip7 nolu numune 500 mm iç çapa sahip olup profil sarım hatvesi 160 mm olarak tasarlanmıştır. Boru kesit geometrisi dikdörtgen olup aşağıda kesite ait boru kesit geometrisi teknik resmi yer almaktadır. (Şekil III.9)



Şekil III.9 Tip 7 Boru Kesit Geomerisi Teknik Resmi

Tip8 nolu numune 500 mm iç çapa sahip olup profilsiz olarak tasarlanmıştır. Aşağıda boru kesit geometrisi teknik resmi yer almaktadır. (Şekil III.10)



Şekil III.10 Tip 8 Boru Kesit Geomerisi Teknik Resmi

III.2 SPİRAL SARIMLI BORULARIN ÜRETİLMESİ

Tasarımları yapılan spiral sarımlı borular Yüksek yoğunluklu polietilen hammadde kullanılarak bilinen üretim teknolojileri ile üretilmişlerdir.

Test numunelerinin üretilmesinde Daelim Poly LH-4100 ticari adlı malzeme kullanılmaktadır. Aşağıda hammaddenin teknik özellikleri tabloda yer almaktadır. (Tablo III.1)

Tablo III.1 Deney Numuneleri Hammaddesi [13]

HDPE hammadde Özellikleri			
Adı	Değer	Birim	Test Metodu
Yoğunluk	0.948	g/cm ³	ASTM D1505
Erime Akış Hızı (190°C/5 kg)	0.30	g/10 dak	ASTM D1238
Elastiklik Modülü	900	MPa	ASTM D790
Çekme Mukavemeti	25	MPa	ASTM D638
Ekstrüzyon Proses Sıcaklığı	190-220	°C	-

Üretilen test numuneleri ve numunelere ait bilgiler aşağıda verilmiştir.

Tip1 nolu numune boru Spiral sarım teknolojisi ile tasarlanan ölçülere uygun olarak üretilmiş 70 mm hatveye sahiptir. (Şekil III.11)



Şekil III.11 Tip 1 Boru Numunesi

Tip 2 nolu numune boru Spiral sarım teknolojisi ile tasarlanan ölçülere uygun olarak üretilmiş 85 mm hatveye sahiptir. (Şekil III.12)



Şekil III.12 Tip 2 Boru Numunesi

Tip 3 nolu numune boru Spiral sarım teknolojisi ile tasarlanan ölçülere uygun olarak üretilmiş 100 mm hatveye sahiptir. (Şekil III.13)



Şekil III.13 Tip 3 Boru Numunesi

Tip 4 nolu numune boru Spiral sarım teknolojisi ile tasarlanan ölçülere uygun olarak üretilmiş 115 mm hatveye sahiptir. (Şekil III.14)



Şekil III.14 Tip 4 Boru Numunesi

Tip 5 nolu numune boru Spiral sarım teknolojisi ile tasarlanan ölçülere uygun olarak üretilmiş 130 mm hatveye sahiptir. (Şekil III.15



Şekil III.15 Tip 5 Boru Numunesi

Tip 6 nolu numune boru Spiral sarım teknolojisi ile tasarlanan ölçülere uygun olarak üretilmiş 145 mm hatveye sahiptir. (Şekil III.16)



Şekil III.16 Tip 6 Boru Numunesi

Tip 7 nolu numune boru Spiral sarım teknolojisi ile tasarlanan ölçülere uygun olarak üretilmiş 160 mm hatveye sahiptir. (Şekil III.17)



Şekil III.17 Tip 7 Boru Numunesi

Tip 8 nolu numune boru Spiral sarım teknolojisi ile tasarlanan ölçülere uygun olarak üretilmiştir. (Şekil III.18)



Şekil III.18 Tip 8 Boru Numunesi

III.3 SPİRAL SARIMLI BORULARIN TEST EDİLMESİ

Halka rijitliği test cihazı iki paralel plakadan oluşmaktadır. Altta olan plaka sabit olup üst plaka hareketlidir. Plakaların birbiri ile olan paralelliğini muhafaza etmek için birbirine hassas bir şekilde yataklanmışlardır. (Şekil III.19) Test edilecek numuneler cihaz içerisine yerleştirilmekte ve ölçümler manuel olarak gerçekleştirilmektedir. Halka rijitliği test cihazının sabit ve hareketli plakaları alüminyum dökümden mamul edilmiştir. Üst plaka krom miller üzerinde hareket etmektedir. Üst plakanın miller üzerinde rahat ve hassas hareket edebilmesi için dört noktadan yataklanmıştır. Üst plakanın alt plakaya göre paralelliğini bozmadan yukarı ve aşağı hareketini yapabilmektedir.



Şekil III.19 Halka Rijitliği Test Cihazı

Halka Rijitliği testi aşağıdaki adım sırasına göre yapılmaktadır.

III.3.1 retilen Boruların şartlandırılması

Test edilecek numune boruların en az 15 saat önce üretilmiş olması kriteri göz önünde bulundurulmuştur. Numuneler test odasında 23 ± 2 C’de şartlandırılmıştır. Uygulamada şartlandırılmamış boruların farklı dayanımlar gösterdiği görülmüştür.

III.3.2 Boruların üzerinden l Alınması ve Markalanması

Profilli ve profilsiz olarak 8 farklı tipte üretilen tüm numuneler kumpas ve elik cetvel gibi lm aletleri ile ölçülerek aşağıdaki tablo oluşturulmuştur. (Tablo III.2) İ ap lmlerinde elik cetvel ve metre kullanılırken diğer llerin alınmasında kumpas kullanılmıştır. lm işleminde birçok noktadan lm alınmış ve lm sonuçlarının aritmetik ortalaması kullanılmıştır. Numunelerde oluşan esnemeleri sağlıklı ölçebilmek için boru iç yüzeyinde üç tane lm noktası belirlenerek markalanmıştır. Her üç noktada deney numunesinin i çapı ölçülerek artitmetik ortalaması alınmıştır.

Tablo III.2 Boru Numunelerinin lm Değerleri

Boru No	d (mm)	h (mm)	ta (mm)	pg (mm)	py (mm)	tpy (mm)	tpu, tpa (mm)
Tip1	500	160	4.8	48	41	2.2	2
Tip2	500	145	4.8	48	41	2.2	2
Tip3	500	130	4.8	48	41	2.2	2
Tip4	500	115	4.8	48	41	2.2	2
Tip5	500	100	4.8	48	41	2.2	2
Tip6	500	85	4.8	48	41	2.2	2
Tip7	500	70	4.8	48	41	2.2	2
Tip8	500	-	17	-	-	-	-

III.3.3 Teorik Halka Rijitliğinin ve Test yükünün Tespit Edilmesi

Profilli ve profilsiz olarak üretilen 8 farklı tipteki boruların teorik halka rijitlikleri ve uygulanan test yükleri aşağıdaki tabloda verilmektedir. (Tablo III.3)

Profilli olarak üretilen test numunelerinin Teorik halka rijitliğinin hesaplanmasında HDPE hammaddenin elastiklik modülü değeri 150 MPa olarak alınmıştır. Uygulamalarda profilli olarak üretilen boruların test sonuçlarına göre HDPE'nin 24 saatlik elastiklik modülü 150 MPa civarındadır.

Profilsiz olarak üretilen test numunesinin Teorik halka rijitliğinin hesaplanması esnasında HDPE hammaddenin 24 saatlik elastiklik modülü değeri standartlarda belirtildiği gibi 380 MPa olarak alınmıştır.

Test edilen numunelerde en fazla %3'lük bir deformasyon olması istenmektedir. Numunelerin teorik halka rijitliğinin hesaplanmasında (II.4) nolu formülasyon ve test yüklerinin bulunmasında ise (II.5) formülasyon kullanılmıştır.

Tablo III.3 Test Yükünün Hesaplanması

Boru No	R (mm)	I (mm ⁴ /mm)	E (Mpa)	Teorik S _{R24} (kN/m ²)	l (mm)	F (kg)
Tip1	255	1357	150	12.3	523	61.3
Tip2	258	1466	150	12.9	476	58.8
Tip3	258	1599	150	13.9	430	57.5
Tip4	261	1761	150	14.8	407	58.4
Tip5	263	1962	150	16.3	336	53.1
Tip6	263	2221	150	18.2	256	45.3
Tip7	265	2568	150	20.8	218	44.0
Tip8	258	409	380	9.1	378	33.1

III.3.4 Borunun Test Cihazına Bağlanması ve Test Edilmesi

Profilli olarak üretilen Tip1-Tip2-Tip3-Tip4-Tip5-Tip6-Tip7 nolu numuneler halka rijitliği test cihazına bağlanmışlardır. Test cihazının ön görünüşüne bakıldığında borunun test cihazını ortaladığı görülmektedir. (Şekil III.20) Test cihazının yan görünüşüne bakıldığında numunenin test cihazında ortalandığı ve profil bitiş noktalarının cihazın alt yüzeyine geldiği görülecektir. (Şekil III.21) Test cihazı üzerine yerleştirilen yükün hareketli plakaya homojen bir şekilde etki etmesi sağlanmıştır.



Şekil III.20 Test Cihazına Bağlanmış Profilli Borunun Ön Görünüşü



Şekil III.21 Test Cihazına Bağlanmış Profilli Borunun Yan Görünüşü

Benzer şekilde profilsiz olarak üretilen Tip8 nolu boru numunesine cihazın ön görünüşünde gösterildiği gibi test yükü uygulanmıştır. (Şekil III.22)



Şekil III.22 Test Cihazına Bağlanmış Profilsiz Boru Ön Görünüşü

Cihazın yan görünüşüne bakıldığında test numunesinin cihazı ortaladığı görülür.
(Şekil III.23)



Şekil III.23 Test Cihazına Bağlanmış Profilsiz Boru Yan Görünüşü

III.3.5 Çökme Miktarının Tespit Edilmesi

1mm ölçüm aralığına sahip çelik cetvel ile ± 1 mm hassasiyetle ve %1 doğrulukla ölçümler yapılmıştır. Test yükü uygulandıktan 24 saat sonra ölçülen boru çapı son çap olarak kabul edilmiştir. Boru iç çapı ve çökme miktarı tespit edilirken numunenin uçlarından ve orta noktasından olmak üzere üç noktadan ölçümler elde edilmiş ve bu ölçümlerin aritmetik ortalaması kullanılmıştır. Aşağıda tabloda test sonuçları yer almaktadır. (Tablo III.4)

Tablo III.4 Test Sonuçları

Boru No	İlk Çap (mm)	Son Çap (mm)	dv (mm)	dv/d (%)
Tip1	500	482	18.1	3.6
Tip2	500	483	17.0	3.4
Tip3	500	484	16.0	3.2
Tip4	500	485	15.3	3.1
Tip5	500	486	14.1	2.8
Tip6	500	488	12.2	2.4
Tip7	500	489	10.7	2.1
Tip8	500	485	15.0	3.0

III.3.6 Halka Rijitliği Değerinin Yeniden Hesaplanması

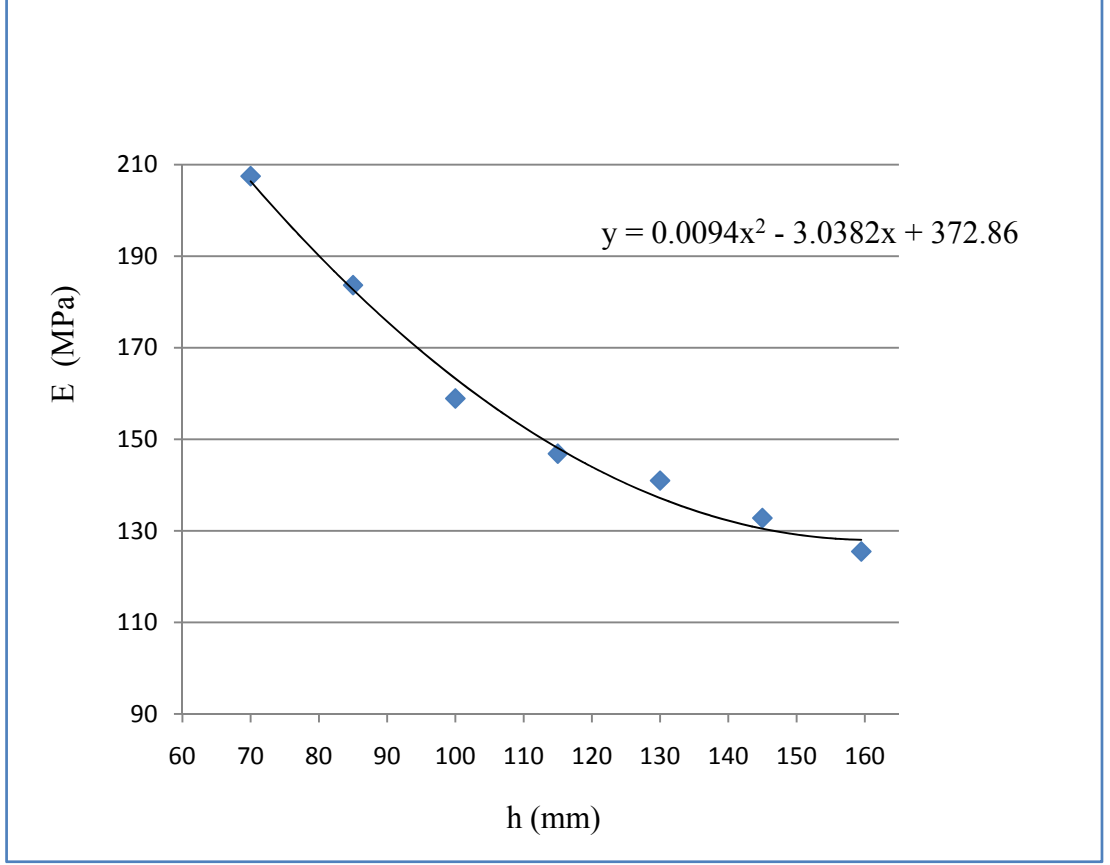
Borudan elde edilen çökme miktarlarına göre test numunelerinin deneysel halka rijitliği (II.6) numaralı denklem kullanılarak yeniden hesaplanmıştır. (Tablo III.5) Aşağıdaki tablodan görüleceği üzere Teorik halka rijitliği ile deneysel olarak hesaplanana halka rijitliği arasında fark vardır. Oluşan bu farkın elastiklik modülüne oranlanması ile bulunan elastiklik modülü değerleri en sağ sütunda yer almaktadır.

Tablo III.5 Elastiklik Modülünü Değerleri

Boru No	Teorik S_{R24} (kN/m ²)	Deneysel S_{R24} (kN/m ²)	E (Mpa)
Tip1	12.3	10.3	125
Tip2	12.9	11.4	133
Tip3	13.9	13.1	141
Tip4	14.8	14.5	147
Tip5	16.3	17.2	159
Tip6	18.2	22.3	184
Tip7	20.8	28.8	207
Tip8	9.1	9.0	379

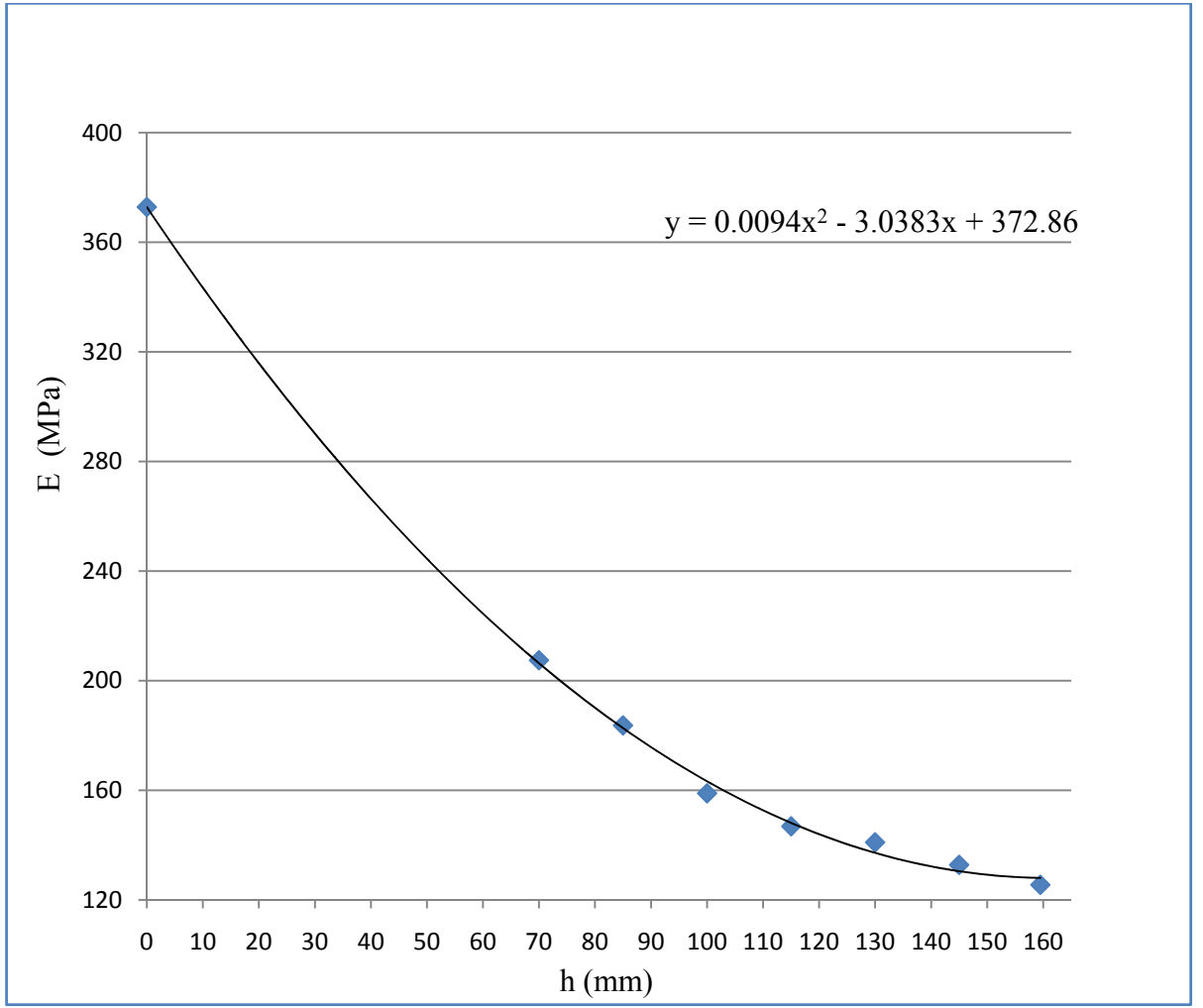
III.3.7 Grafiklerin Elde Edilmesi

Tip1-Tip2-Tip3-Tip4-Tip5-Tip6-Tip7 nolu numunelerden elde edilen test sonuçlarında grafikte görülen noktalar elde edilmiştir. (Şekil III.24) Grafikte X ekseninde porfil hatvesine ait değerler yer alırken Y eksenine Test sonucu elde edilen Elastiklik modülü değerleri tanımlanmıştır. Tespit edilen noktalara Excel kullanılarak eğri uydurulmuş ve ikinci dereceden polinom denklem elde edilmiştir. Elde edilen denkleme bitişik sarıma denk gelen 0 mm hatve girildiğinde elde edilen elastiklik modülünün 372 MPa olduğu görülecektir.



Şekil III.24 Tip1-Tip2-Tip3-Tip4-Tip5-Tip6-Tip7 Hatve - Elastiklik Modülü Grafiği

Tip1-Tip2-Tip3-Tip4-Tip5-Tip6-Tip7 nolu numunelerin test sonuçları ile Tip8 nolu numune test sonucunu aynı grafikte görmek istediğimizde eğri ve denklem aşağıdaki gibi olacaktır. (Şekil III.25) Elde edilen eğri denkleminde istediğimiz bir hatveye karşılık gelen Elastiklik modülü bulunabilecektir.



Şekil III.25 Tip1-Tip2-Tip3-Tip4-Tip5-Tip6-Tip7-Tip8 Hatve-Elastiklik Modülü Grafiği

BÖLÜM IV.

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Ø500 mm çapa sahip Tip 8 nolu numune profilsiz olarak üretilen numune boru TS 12132 nolu standarda uygun olarak test edildiğinde görünür elastiklik modülü 379 Mpa olarak bulunmuştur.

Ø500 mm çapa sahip profilli olarak üretilen Tip1-Tip2-Tip3-Tip4-Tip5-Tip6-Tip7 nolu borular spiral sarımlı borular TS 12132 nolu standarda uygun olarak test edildiğinde boru profil sisteminin davranışına bağlı olarak elastiklik modülü 125 MPa ile 207 MPa arasında değişim göstermiştir.

Boru üretiminde kullanılan hammadde değişmediğinden, hammaddenin elastik modülünün sabit olması beklenmektedir. Ancak sonuçlara bakıldığında, hesaplanan elastik modülünün hatve oranına, yani üretim parametrelerine bağlı olarak değiştiği görülmektedir. Bu sebeple, bilinen halka rijitliği denkleminin aşağıdaki şekilde düzenlenmesi öngörülebilir:

$$Sr_{24} = \frac{E_g \times I}{r^3} \quad (IV.1)$$

$$E_g = f(E, h)$$

Burada görünür elastik modülü olarak tanımlanan E_g , hammaddenin kendi belirlenmiş elastik modül değeri ile sarımdaki (h) hatvenin bir fonksiyonu olarak tanımlanmıştır. Test numunelerinden elde edilen test sonuçları dikkate alınarak bu denklem düzenlendiğinde görünür elastiklik modülü ;

$$E_g = E \times (0.0094x^2 - 3.0383x + 372.86) \quad (IV.2)$$

denklemleriyle tanımlanabilir.

Görünür elastiklik modülü değişimi alt taban ve profil sisteminin yük altında davranışının değişimi sonucunda ortaya çıkmaktadır.

Profil hatvelerine bağlı olarak boru geometrisi kesit atalet momentleri aynı olsa bile boruda meydana gelen esnemeler artmakta ve buna bağlı olarak görünür Elastiklik modülü değerinde düşüşler olmaktadır.

Profilli borularda elastiklik modülü standartlarda belirtildiği 380 MPa çıkmamaktadır. Profillerin birbirine benzer olduğu ve sadece hatvenin değişken olduğu düşünüldüğünde hatve görünen elastiklik modülünü etkilemektedir.

Profilsiz borularda ise görünen elastiklik modülü standartlarda öngörülen değere yakın çıkmaktadır.

Çalışmaya konu olan testler, sadece bir çap ve hammadde üzerinde gerçekleştirildiğinden, bu değerleri ve denklemi genelleştirmek için daha fazla veri ve çalışmaya ihtiyaç vardır.

BÖLÜM V.

SON DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER

Spiral sarımlı borularda boru kesit geometrisi ve görünür elastiklik modülü dayanıma etki eden parametreler arasındadır. Farklı boru kesit geometrileri aynı atalet momentlerine sahip olsalar dahi uygulamada boruların aynı halka rijitliklerine sahip olmadıkları görülmüştür. Çalışmada boru kesit geometrisini oluşturan alt taban ve profil kesitlerinin benzer oldukları ve hatvenin değişken olduğu bilinmektedir. Değişken hatve boru halka rijitliği dayanımını değiştirmekte ve görünür elastiklik modülünü etkilemektedir.

Spiral sarımlı boruların profilli kesit geometrisine sahip olanlarında kesit geometrisinin serbestlik derecesinin görünür elastiklik modülüne etki ettiği anlaşılmaktadır.

Profilsiz dolu borularda, boru kesit geometrisinin serbestlik derecesinin görünür elastiklik modülüne etkisinin profilli borulara göre çok daha az olduğu, görünür elastiklik modülünün standartlarda belirlenen elastiklik modülüne çok yakın olduğu görülmüştür.

Spiral sarımlı borularda kullanılan Polietilen hammaddenin Elastiklik modülünün verimli kullanılabilmesi için profilli boruların mümkün olabilen en küçük hatvelerde üretilmesi uygun görülmektedir.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlarla birlikte profil hatvesi ile spirali oluşturan helis açısı arasındaki ilişki araştırılarak tüm çaplarda kullanılabilecek denklemler elde edilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Moser, A.P.; Folkman, S.: “ *Buried Pipe Design* ” 3 st Edition.; The McGraw-Hill Companies, Inc, USA, **(1990)** 471-505.
- [2] Chanda, M.; Roy, S.K.: “ *Plastic, Fundamentals, and Testing* ”, Hudgin, D.E. Editor 4 st Edition.; Crc Press, Taylor & Francis Group, USA, **(2007)** 154.
- [3] McKeen, L.W.: “ *The effect of Creep and Other Time Related Factors on Plastics and Elastomers*” 1 st Edition.; Elsevier, Oxford, UK, **(2009)** 5-6.
- [4] Moore, I.D.: “ *Profiled HDPE Pipe Response To Parallel Plate Loadings*” Buried Plastic Pipe Technology, 2 nd Volume.; Dave Eckstein Editor.; American Society for Testing and Materials, Philadelphia, USA, **(1994)** 25-40.
- [5] Gondle, R.; Siriwardane, H.: “ *Finite element Modeling of Long Term Performance of Buried Pipes*”, The 12th International Conference of International Association for Computer Methods and Advances in Geomechanics, Goa, India **(2008)** 3993-4000.
- [6] DIN-16961-2.: “ Thermoplastic Pipes and Fittings With profiled outer and Smooth Inner Surfaces”, *Germany Norm*, Berlin, Germany, **(2000)**.
- [7] TS-12132.: “ Termoplastik Boru ve Ekleme Parçaları Spiral Sarımlı Yeraltı Drenaj ,Yağmur suyu ve Kanalizasyon sistemlerinde Kullanılan ” *Türk Standartlar Enstitüsü*, Ankara, Türkiye, **(1997)**.
- [8] Kwh Pipe.: Weholite Pipe System, **(2000)**.
http://www.kwhpipe.com/English/Products_and_Services/Gravity_Pipes/Weholite (04.05.2010).

- [9] Krah AG.: Kr Serie Brochure, **(2007)**.
<http://www.kpps.net/krah.net/cms/images/stories/download/KR-Serie.pdf>
(03.06.2010).
- [10] Dhar S.D.: Moore I.D.: “Sensitivity of thermoplastic pipe behaviour to profile geometry ” *International Specialty Conference on Pipelines 2001*, Advances in Pipeline Engineering and Construction, San Diego, USA, **(2001)**.
- [11] Ayche, N.: “The effect of high density polyethylene (hdpe) pipe profile geometry on its structural performance” *MS Thesis*, Ohio University, USA, **(2005)**.
- [12] Solidworks.: 3D Tasarım Programı **(2009)**.
- [13] Daelim Petrochemical Division: Daelimpoly LH-4100 Product Data Sheet
http://www.daelimchem.co.kr/eng/template/prod_01_01_view.jsp?m=2&s=1_1&grade_seq=1647 (04.06.2010)

ÖZGEÇMİŞ

1975 yılında Bakırköy’de doğmuş olan Tamer Birtane ilkokul ve ortaokulu Vize’de tamamlamıştır. Lise eğitimini Kırklareli Teknik Lisesi Makine bölümünde tamamlayarak 1994 yılında Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Öğretmenliğini kazanmış ve 1998 yılında mezun olmuştur.

1998- 1999 yılları arasında özel sektörde ürün tasarımcısı olarak iş hayatına atılmıştır. Askerlik görevini tamamladıktan sonra 2002 yılı ocak ayında Dizayn Grup A.Ş.’nde Ar-ge bölümünde ürün ve makine tasarımcısı olarak işe başlamıştır. 2008 yılında Dizayn Grup Teknoloji Araştırma ve Geliştirme Ltd. Şti’ne geçen Tamer Birtane bu tarihten bu yana Ar-ge Uzmanı olarak görev yapmaktadır.